

Leerdoelen

Wat je moet kennen en kunnen aan het eind van blok 21

1 Je moet weten dat we de draairichting tegen de klok in 'positief' noemen en de draairichting met de klok mee 'negatief'. [P1, T1]

2 Je moet weten dat de arm van een kracht de loodrechte afstand is van de werklijn tot het draaipunt. [P1, T1, W1]

3 Je moet weten dat het moment van een kracht gelijk is aan het produkt van de grootte van de kracht en de arm van de kracht: $\text{moment} = \text{kracht} \cdot \text{arm}$. [P1, T1, W1]

4 Je moet kunnen bepalen of het moment van een kracht positief of negatief is. [P1, T1, W1]

5 Je moet weten wat een hefboom is en je moet het draaipunt van een hefboom kunnen aanwijzen. [P1, T1]

6 Je moet weten dat een hefboom in evenwicht is als de som van alle momenten ten opzichte van het draaipunt nul is. [P2, T2, W2]

7 Je moet de momentenwet kunnen toepassen. [P2, W2]

8 Je moet weten dat een vaste katrol een hefboom is met twee gelijke armen. [T2, W2]

9 Je moet weten wat een eenparige cirkelbeweging is. [P3, T3, W3]

10 Je moet weten wat wordt bedoeld met het toerental en de frequentie van een eenparige cirkelbeweging. [T3, W3]

11 Je moet de omtreksnelheid kunnen berekenen van een eenparig draaiend voorwerp, als je het toerental of de frequentie en de straal weet. [T3, W3]

12 Je moet weten hoe de draairichting en het toerental veranderen bij een tandwieloverbrenging. [T3, W3]

13 Je moet weten hoe het toerental verandert bij een snaaroverbrenging en bij een kettingoverbrenging. [T3, W3]

14 Je moet weten hoe het moment van de geleverde kracht verandert bij een snaar-, ketting- of tandwieloverbrenging. [T3, W3]

Blok 21

Techniek

Basisstof

T1 Over krachten en momenten 130

W1 131

T2 De momentenwet toepassen 133

W2 134

T3 Cirkelbewegingen en overbrengingen 136

W3 139

Herhaalstof

H1 Momenten 142

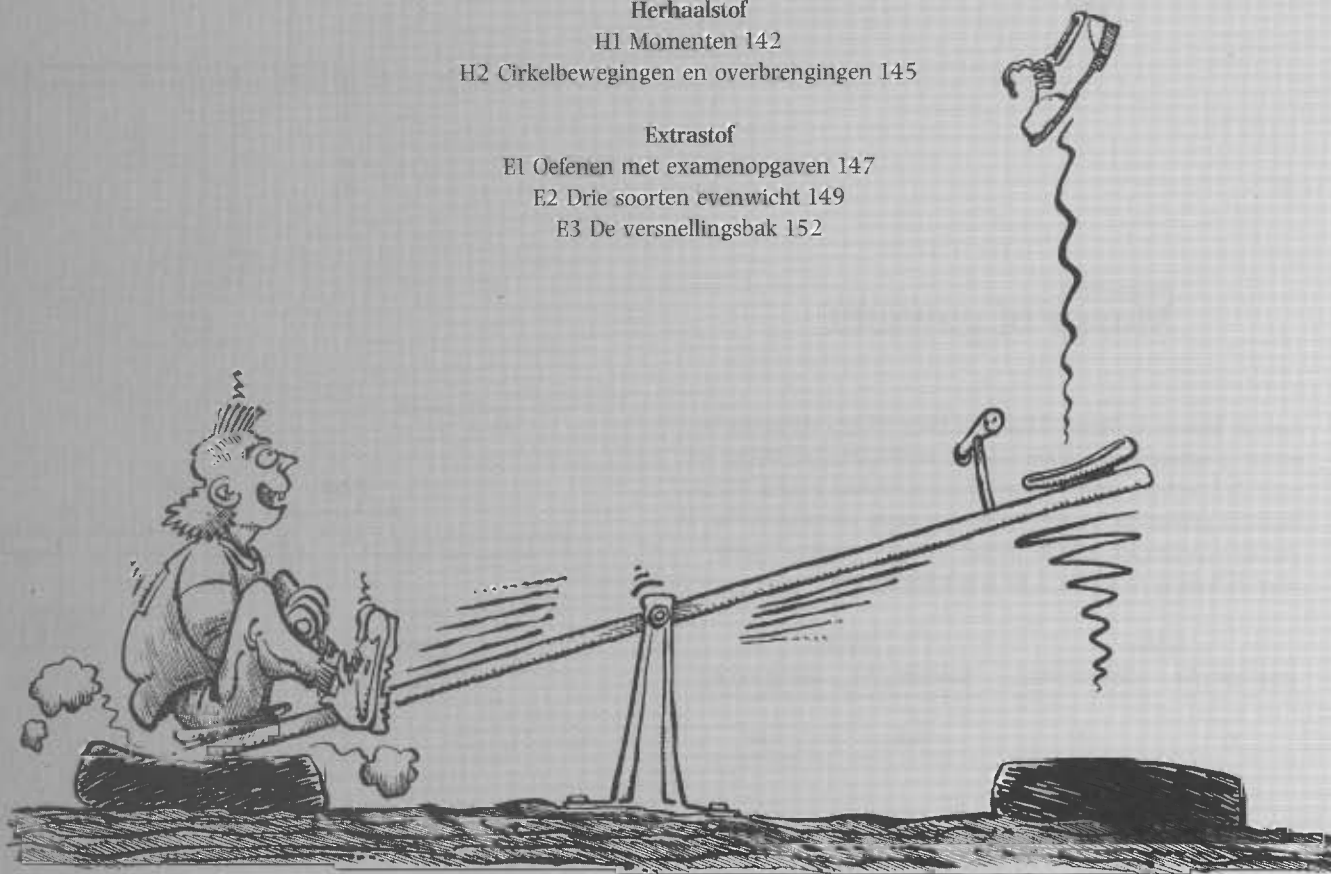
H2 Cirkelbewegingen en overbrengingen 145

Extrastof

E1 Oefenen met examenopgaven 147

E2 Drie soorten evenwicht 149

E3 De versnellingsbak 152



T1 Over krachten en momenten

In blok 6 heb je gezien dat je sommige gereedschappen als een hefboom kunt gebruiken; bijvoorbeeld een schroevendraai-er waarmee je een verblik openmaakt of een sleutel waarmee je een moer vastdraait. In die gevallen is er een kracht maar ook een draaipunt. Hieronder gaan we daar dieper op in en maak je kennis met het begrip *moment*.

Het moment van een kracht

Het produkt van kracht en arm noemen we het *moment* van de kracht. Daarbij is de arm de loodrechte afstand van het draaipunt tot de werklijn van de kracht.

Moment = kracht · arm.

Het symbool voor het moment is *M*.

De eenheid van moment is newton · meter = Nm (of newton · cm = Ncm).

Het moment kan *positief* of *negatief* zijn. Het hangt er van af of de kracht zorgt voor een draaiing 'met de klok mee' of 'tegen de klok in' (figuur 1). Zo zijn de momenten van F_1 en F_3 in figuur 2 positief (tegen de klok in) en de momenten van F_2 , F_4 en F_5 negatief (met de klok mee).

fig. 1

Positief: tegen de klok in;
negatief: met de klok mee.

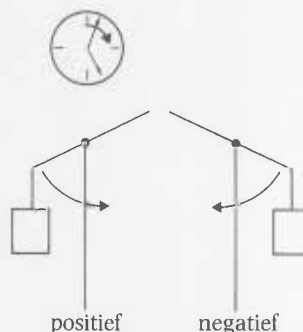
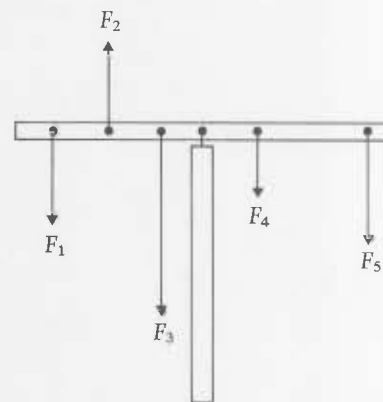


fig. 2

Een balans.

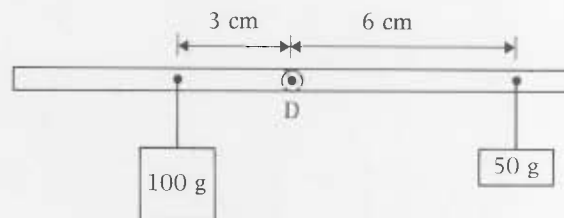


Massa of gewicht

Aan de balans in figuur 3 hangen twee blokjes waarvan de massa is aangegeven. Maar bij evenwichtssituaties kijken we naar de krachten (in N) en niet naar de massa's (in g of kg). Daarom gebruiken we niet de massa, maar het *gewicht* (in N) van de voorwerpen aan de balans. Als $g = 10 \text{ m/s}^2$, geldt voor de balans in figuur 3 (D is het draaipunt):

Links		Rechts	
gewicht (N)	afstand (cm)	gewicht (N)	afstand (cm)
1	3	0,5	6

fig. 3



In het algemeen geldt voor een balans in evenwicht:

$$(\text{kracht} \times \text{afstand})_{\text{links}} = (\text{kracht} \times \text{afstand})_{\text{rechts}}$$

Arm en werklijn

Onder de *werklijn* van een kracht verstaan we de (denkbeeldige) lijn waarlangs die kracht werkt.

In figuur 4 is een balans getekend, maar nu in een schuine stand. Ook hier is er evenwicht, maar je moet oppassen welke afstand je in dit geval neemt voor de arm. Je moet nu niet de afstand van het aangrijpingspunt van de kracht tot het draaipunt nemen, maar de *loodrechte afstand van de werklijn van de kracht tot het draaipunt*. Je moet dus eerst de werklijn tekenen en dan de loodrechte afstand van de werklijn tot het draaipunt bepalen. Dit is de arm van de kracht (zie figuur 4).

De momentenwet

Als je bij een balans die in evenwicht is de momenten van alle krachten uitrekent en bij elkaar optelt, is de som gelijk aan nul. (Je moet dan wel rekening houden met de tekens – plus of min – van de momenten.)

Algemeen geldt: bij een voorwerp in evenwicht is de som van de momenten ten opzichte van het draaipunt nul.

Deze regel heet de *momentenwet*.

Voorbeeld

In figuur 5 staat een balans getekend waarop drie krachten werken. De balans is in evenwicht.

Het moment aan de linkerkant is:

$M_1 = 0,3 \text{ N} \cdot 0,02 \text{ m} = +0,006 \text{ Nm}$. (Het moment krijgt een plusteken omdat de kracht de balans tegen de wijzers van de klok in wil laten draaien.)

De momenten aan de rechterkant zijn:

$$M_2 = -0,2 \text{ N} \cdot 0,01 \text{ m} = -0,002 \text{ Nm}.$$

$$M_3 = -0,1 \text{ N} \cdot 0,04 \text{ m} = -0,004 \text{ Nm}.$$

De som van de momenten is:

$$M_1 + M_2 + M_3 = 0,006 \text{ Nm} + (-0,002) \text{ Nm} + (-0,004) \text{ Nm};$$

$$M_1 + M_2 + M_3 = 0 \text{ Nm}.$$

De som van de momenten is inderdaad 0 Nm.

fig. 4

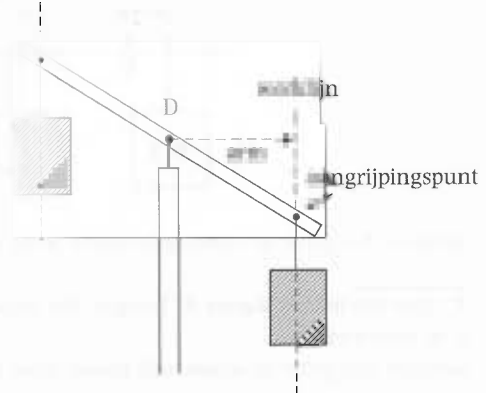
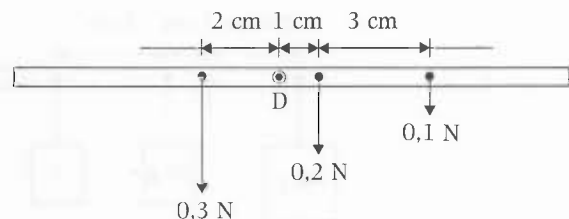


fig. 5



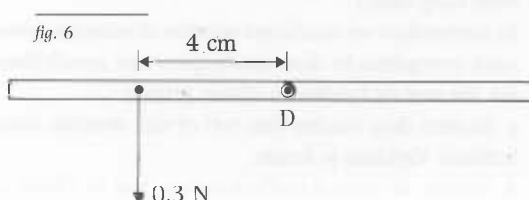
Blok 21

W1

1 Wat wordt bedoeld met het moment van een kracht?

2a Bereken het moment van de kracht in figuur 6.

b Is het moment positief of negatief? Licht je antwoord toe.

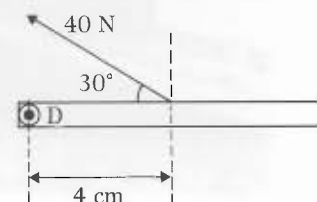


3 In figuur 7 zie je dat een kracht van 40 N onder een hoek van 30° aangrijpt op de balk. Neem de tekening nauwkeurig over en teken daarin de arm van deze kracht.

a Bepaal de grootte van de arm van de kracht.

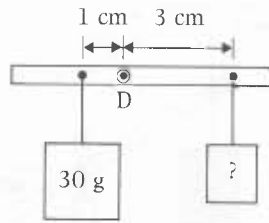
b Bereken het moment van de kracht ten opzichte van punt D.

fig. 7



- 4 In figuur 8 is een balans getekend. De balans is in evenwicht.

fig. 8

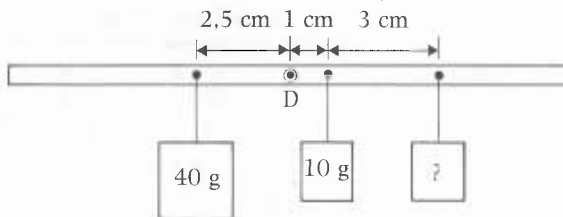


Bereken hoe groot de onbekende massa moet zijn.

- 5 Aan een balans (figuur 9) hangen drie massa's. De balans is in evenwicht.

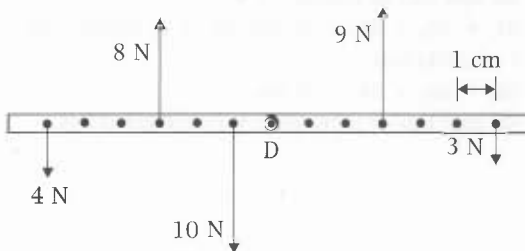
Bereken hoe groot de onbekende massa moet zijn.

fig. 9



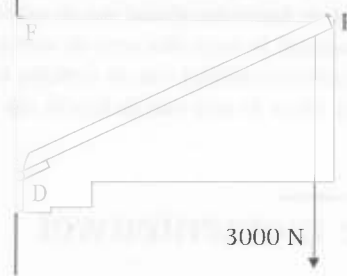
- 6 Ga door berekening na of de balans uit figuur 10 in evenwicht is. D is het draaipunt.

fig. 10



- 7 Een hijsbalk is, draaibaar in punt D, aan een muur bevestigd. Het uiteinde E van de balk wordt met een horizontale kabel in evenwicht gehouden (figuur 11). De kabel zit in punt F aan de muur vast. Op het uiteinde E van de balk werkt óók een kracht van 3000 N, verticaal omlaag. 1 cm in de tekening is 1 m in werkelijkheid. Beschouw punt D als het draaipunt.

fig. 11
Een hijsbalk.

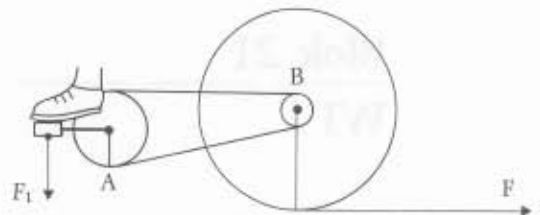


- Bepaal door meting de arm van de verticale kracht.
 - Bereken het moment van die kracht.
- De horizontale kabel oefent – om de balk in evenwicht te houden – in punt E een kracht op de balk uit.
- Is de trekkracht van die kabel van E naar F of van F naar E gericht?
 - Hoe groot is het moment van een kracht die aangrijpt in het draaipunt D zélf? Licht je antwoord toe.

- 8 Waarom knip je karton niet met de punten van een schaar, maar dicht bij het scharnierpunt van de schaar?

- 9 In figuur 12 is schematisch de overbrenging bij een fiets getekend.

fig. 12
De overbrenging bij een fiets.



- Is de omtreksnelheid van het tandwiel bij B groter, kleiner of even groot als die van het tandwiel bij A?
- Verklaar je keuze. (Bedenk dat de ketting tussen A en B even lang blijft.)

In uurwerken en machines worden draaiende bewegingen vaak overgebracht door tandwielen van verschillende diameter, die met de tanden in elkaar grijpen.

- Moeten deze tanden dan wél of niet dezelfde afmetingen hebben? Verklaar je keuze.
- Moeten de omtreksnelheden van deze in elkaar grijpende tandwielen wél of niet even groot zijn? Verklaar je keuze.

In het dagelijks leven maak je (zonder je dat te realiseren) vaak gebruik van de momentenwet; als je fietst, knipt, een deur opent, enzovoort. In een aantal van die situaties kun je, door zelf een kleine kracht te leveren, een grote kracht uitoefenen (nijptang, schaar of breekijzer), maar het omgekeerde komt ook voor, zoals je in figuur 13 ziet.

De kracht die de spieren in je bovenarm moeten leveren om het pak suiker te dragen, is veel groter dan het gewicht (G) van het pak suiker dat op je hand drukt. De momenten van beide krachten zijn immers – ten opzichte van het draaipunt in het ellebooggewricht – gelijk (maar tegengesteld). Maar de arm van de spierkracht is veel kleiner dan die van het gewicht (G). Dus moet F_{spier} veel groter zijn dan G , anders is de som van de momenten niet gelijk aan nul.

Bij het ontwerpen van bruggen, machines en gereedschappen wordt ook altijd gebruik gemaakt van de momentenwet. Hieronder bespreken we enkele situaties waarin je de momentenwet kunt toepassen.

Hefbomen

Er zijn veel voorbeelden van voorwerpen die gaan draaien als je er een kracht op uitoefent. In figuur 14 zie je een steeksleutel. De kracht zorgt ervoor dat de sleutel en de moer gaan draaien rond het draaipunt D .

Het lukt meestal niet om met je vingers een moer los te draaien. Het moment dat je met je vingers kunt uitoefenen is te klein, omdat de arm van de kracht te klein is. De krachtaarm is namelijk de helft van de diameter van de moer (figuur 15). Als je de steeksleutel gebruikt, is de arm van de kracht die je uitoefent veel groter en daardoor is het krachtmoment ook veel groter.

Voorwerpen die draaien om een draaipunt noem je hefboomen. Voorbeelden zijn: een deurkruk, een balans, een notekraker, een nijptang, de arm van een draaitafel, een hijskraan en een ophaalbrug.

Als je de momentenwet toepast op een deurkruk hoeft je geen rekening te houden met de zwaartekracht die op de kruk

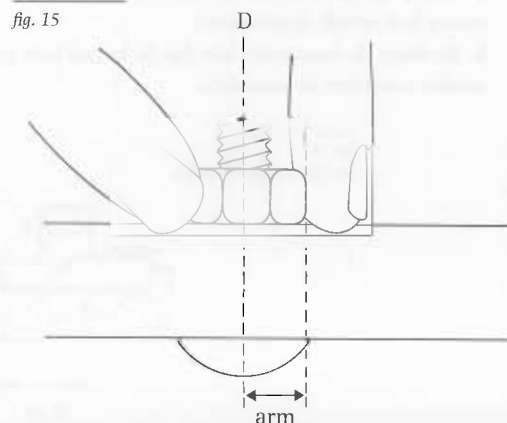


fig. 13

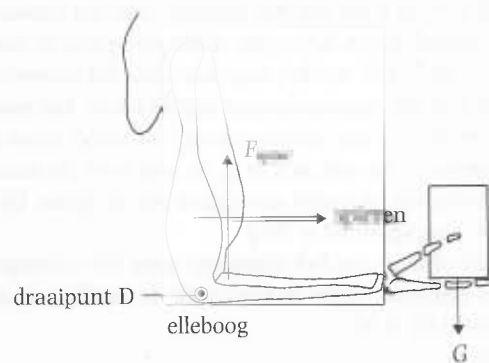
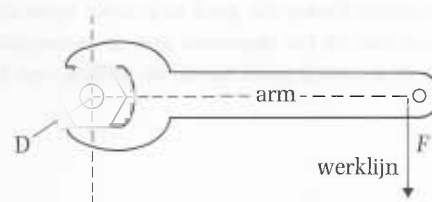


fig. 14

Een moer en een steeksleutel.



werkt. Die zwaartekracht is – vergeleken met je spierkracht – te verwaarlozen. Als je echter de momentenwet toepast op een ophaalbrug moet je wel degelijk rekening houden met de zwaartekracht omdat die hier een belangrijke functie heeft; de zwaartekracht zorgt er immers voor dat de geopende brug kan worden neergelaten.

De grootte van de zwaartekracht bereken je met:

$$F_z = m \cdot 10 \text{ N.}$$

De richting van de zwaartekracht is altijd verticaal omlaag. De zwaartekracht werkt eigenlijk op elk stukje van het voorwerp. Al die krachten samen hebben hetzelfde effect als één zwaartekracht die aangrijpt in het zwaartepunt.

Het zwaartepunt van een rechte lat is eenvoudig te bepalen. De lat is te beschouwen als een homogene balk. Homogeen wil zeggen: de samenstelling is overal hetzelfde; het materiaal heeft overal dezelfde dichtheid. Het zwaartepunt van zo'n homogene balk ligt dus in het midden van de balk.

In tekeningen geven we het zwaartepunt aan met de letter Z .

Voorbeeld

Een eenvoudige draaitafelarm (figuur 16a) bestaat uit een dunne balk met een lengte van 26 cm. Het draaipunt D bevindt zich op 6 cm van het uiteinde. Aan het uiteinde is een contragewicht K bevestigd, waarmee de kracht tussen naald en plaat kan worden ingesteld. Aan het andere uiteinde bevindt zich het opneemelement met de naald. Het zwaartepunt van de arm met opneemelement en naald, maar zonder contragewicht, bevindt zich in Z. De arm heeft (inclusief opneemelement en naald) een massa van 40 gram. De massa van het contragewicht is 50 g.

Op welke afstand van het draaipunt moet het contragewicht worden geplaatst, opdat de kracht die de naald op de plaat uitoefent 0,02 N is?

Uitwerking:

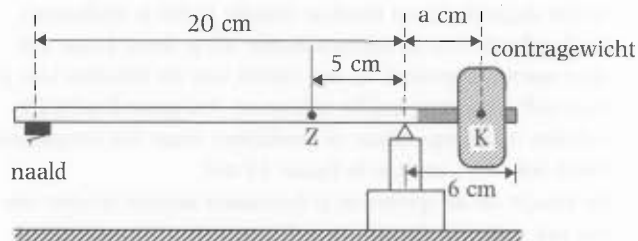
Eerst maak je een eenvoudige tekening, waarin je alle krachten (met de juiste richting) en hun afstanden tot het draaipunt aangeeft (figuur 16b).

We noemen de afstand van het contragewicht tot het draaipunt a .

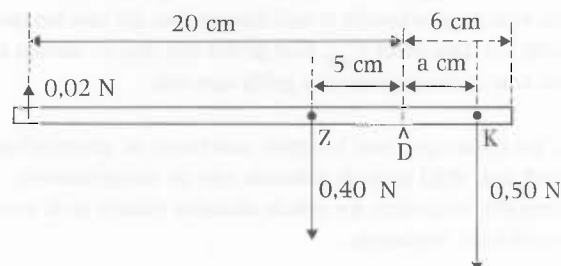
Merk op dat de plaat een normaalkracht omhoog uitoefent op de naald. Volgens 'actie = -reactie' is de normaalkracht even groot als de kracht van 0,02 N, die de naald op de plaat uitoefent. Maar omdat je de momentenwet op de draaitafelarm plus naald en opneemelement gaat toepassen, moet je alléén de krachten beschouwen die *op* de draaitafelarm werken en dus *niet* de krachten die *door* de draaitafelarm worden uitgeoefend! Knoop dat goed in je oren, want dit is de meest gemaakte fout bij het toepassen van de momentenwet! Nu passen we de momentenwet toe op de situatie van figuur 16b.

fig. 16

a Een draaitafelarm.



b Een eenvoudige tekening van een draaitafelarm.



$$M_1 = -0,02 \cdot 20 = -0,40 \text{ Ncm (met de klok mee)} \Rightarrow$$

$$M_1 = -0,40 \text{ Ncm.}$$

$$M_2 = +0,40 \cdot 5 = +2,00 \text{ Ncm (tegen de klok in)} \Rightarrow$$

$$M_2 = +2,00 \text{ Ncm.}$$

$$M_3 = -0,50 \cdot a = -0,50a \text{ Ncm (met de klok mee)} \Rightarrow$$

$$M_3 = -0,50a \text{ Ncm.}$$

$$M_1 + M_2 + M_3 = 0, \text{ dus}$$

$$-0,40 + 2,00 - 0,50a = 0 \Rightarrow a = \frac{1,60}{0,50} = 3,2 \text{ cm.}$$

Het contragewicht moet dus op een afstand van 3,2 cm van het draaipunt worden geplaatst.

Blok 21

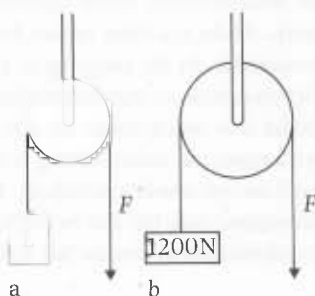
W2

1 Een last L van 900 N hangt aan een katrol (figuur 17a).

a Bereken de kracht die nodig is om de last stil te houden.

b Beantwoord dezelfde vraag voor de situatie in figuur 17b.

fig. 17



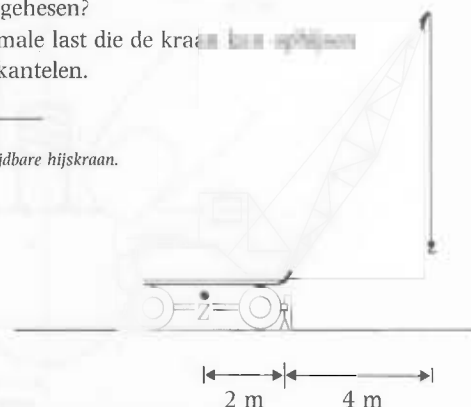
2 Een verrijdbare hijskraan heeft een massa van 6000 kg (figuur 18). Punt Z is het zwaartepunt.

a Waar ligt het draaipunt als de kraan kantelt omdat een te zware last wordt opgehesen?

b Bereken de maximale last die de kraan kan optillen zonder voorover te kantelen.

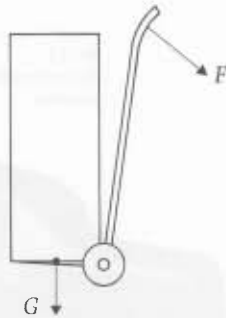
fig. 18

Een verrijdbare hijskraan.



3 Op een steekwagen ligt een kist met een massa van 200 kg (figuur 19). Er wordt bij de handvatten een kracht F uitgeoefend om de kist op te tillen. Zie voor de afmetingen figuur 19.

fig. 19
Een steekwagen met een kist erop.



- Neem de tekening over en geef het draaipunt aan met de letter D.
- Bereken het moment van het gewicht G van de kist ten opzichte van het draaipunt.
(Merk op dat hier correct over 'het gewicht G van de kist' wordt gesproken, en *niet* over de – hier even grote – zwaartekracht F_z op de kist; deze werkt immers op de kist, maar het gaat hier om de krachten die op de steekwagen werken. De kist oefent daarop de kracht G uit!)
- Meet de arm van de kracht F .
- Bereken de kracht die nodig is om de steekwagen met de kist te kantelen.

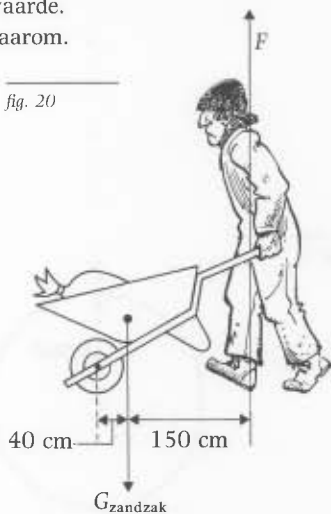
4 Op een kruiwagen ligt een zak zand van 75 kg (figuur 20).

- Bereken de kracht die nodig is om de kruiwagen bij de handvatten op te tillen.

In werkelijkheid moet de kracht groter zijn dan bij de berekende waarde.

- Leg uit waarom.

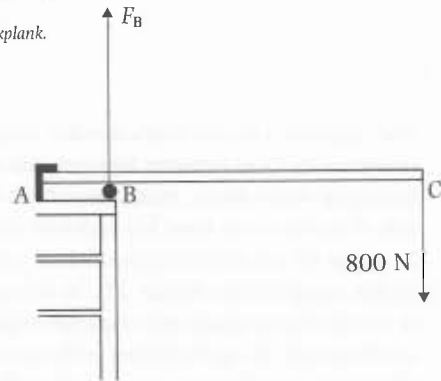
fig. 20



5 Bereken de kracht die je moet uitoefenen om een op de grond liggende homogene paal van 10 m lang, met een massa van 80 kg, aan één uiteinde op te tillen.

6 Een homogene duikplank met een massa van 40 kg is 5,0 m lang (figuur 21). De plank wordt ondersteund in B en is vastgeklemd in A. Afstand $AB = 1,0$ m. Op het uiteinde van de plank staat een duiker met een gewicht van 800 N.

fig. 21
Een duikplank.



- Bereken het gewicht van de duikplank.
- Hoe groot is de massa van de duiker?
- Neem de tekening over en geef aan waar het zwaartepunt van de plank ligt.
- Hoe groot is de arm van de zwaartekracht die op de plank werkt ten opzichte van draaipunt B?
- Geef in je tekening alle krachten aan die op de plank werken.
- Bereken met behulp van de momentenwet de kracht die in punt A op de duikplank wordt uitgeoefend. Hoe is die kracht gericht?

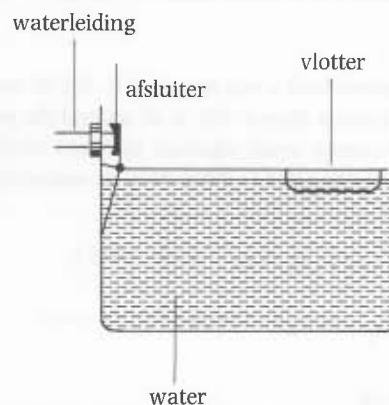
7 In figuur 22 zie je een schematische voorstelling van de stortbak van een toilet.

- Welke kracht zorgt ervoor dat de vlotter omhoog komt als er water in de bak stroomt?

De vlotterstang is 36 cm lang. De vlotter kan over deze stang worden verschoven. Het midden van de vlotter bevindt zich 30 cm van het draaipunt. De vlotter ondervindt een kracht van 3,0 N omhoog. De afstand van de afsluiter tot het draaipunt is 5,0 cm. De massa van de vlotterstang plus de vlotter is te verwaarlozen.

- Bereken het moment van de kracht op de vlotter.
- Bereken de kracht die de watertoevoerbuiss op de afsluiter uitoefent.
- Wordt de bij c berekende kracht groter of kleiner als de zwaartekracht op de arm niet te verwaarlozen is?
- Wat moet je veranderen aan de vlotter om te zorgen dat er minder water in de bak zit als de afsluiter dicht is?

fig. 22
De stortbak van een toilet.



Cirkelbewegingen en overbrengingen

Veel apparaten en machines worden aangedreven door (elektro)motoren. Deze motoren brengen hun ronddraaiende beweging (soms direct, maar meestal via tandwielen, kettin- gen of snaren) over naar het apparaat dat moet draaien. Zo wordt bij een boormachine de boor via een aantal tand- wielen aangedreven (figuur 23); in een cassetterecorder vindt de overbrenging plaats met snaartjes (figuur 24), terwijl bij een bromfiets de overbrenging verloopt via een ketting. Hieronder bespreken we eerst de eigenschappen en regels die gelden bij cirkelbewegingen. Daarna zien we op welke manier die cirkelbeweging kan worden overgebracht en wat de eigen- schappen zijn van de verschillende manieren van overbren- gen.

fig. 24
De aandrijving van een cas-
setterecorder.



fig. 23
De overbrenging van een boor-
machine.



Cirkelbewegingen

Bij een cirkelbeweging kijken we naar de omlooptijd, de frequentie, het toerental en de omtreksnelheid. De omlooptijd T is de tijd die nodig is voor één omwenteling. De frequentie f is het aantal omwentelingen per seconde. De frequentie kun je dus berekenen met:

$$f = \frac{1}{T}$$

Het toerental n wordt meestal opgegeven als het aantal om- wentelingen per minuut. Omdat 1 minuut 60 seconden is, geldt:

$$n = 60 \cdot f$$

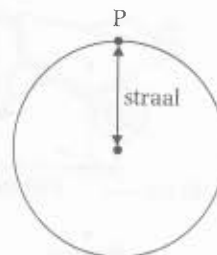
De omtreksnelheid v van een punt P , dat de omtrek van een cirkel doorloopt (figuur 25), is de afstand die per seconde langs de omtrek wordt afgelegd. Je kunt v berekenen door de omtrek van de cirkel te delen door de omlooptijd.

Voor de omtreksnelheid v geldt dus:

$$v = \frac{2\pi \cdot r}{T} \quad (r \text{ is de straal van de cirkel.})$$

$$\text{Of: } v = \frac{\pi \cdot d}{T} \quad (d \text{ is de diameter van de cirkel.})$$

fig. 25



Als de omtreksnelheid constant is, spreken we van een *een- parige cirkelbeweging*.

Voorbeeld

Een stoeltje van een zweefmolen doorloopt met een constante omtreksnelheid een cirkelbaan met een diameter van 10 meter. In een halve minuut maakt het stoeltje 5 omwentelingen.

Bereken de omlooptijd, de frequentie, het toerental en de omtreksnelheid.

Oplossing:

De omlooptijd is de tijd die nodig is voor 1 omwenteling:

$$T = \frac{30}{5} = 6 \text{ s.}$$

De frequentie $f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{1}{6} = 0,17$ omwentelingen/

seconde (of omw/s). Het toerental (het aantal omwentelingen per minuut) volgt uit:

$$n = 60 \cdot f \text{ zodat } n = 60 \cdot \frac{1}{6} = 10 \text{ omwentelingen/minuut (of omw/min).}$$

De omtreksnelheid volgt uit: $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{\pi \cdot d}{T} = \frac{3,14 \cdot 10}{6} = 5,2 \text{ m/s (afgerond).}$

Overbrenging

Bij het overbrengen van cirkelbewegingen kunnen het toerental en de draairichting veranderen (figuur 26a en b). De overbrenging kan gebeuren met een ketting, een snaar of met tandwielen.

Bij de fiets vindt overbrenging plaats met een ketting. Bij deze overbrenging verandert de draairichting niet. De draairichting van je trapas is hetzelfde als die van de achteras. Het toerental verandert wél.

Onder de *overbrengingsverhouding* verstaan we: de verhouding tussen het toerental n_2 van de aangedreven as en het toerental n_1 van de aandrijvende as: $\frac{n_2}{n_1}$.

De overbrengingsverhouding $\frac{n_2}{n_1}$ van cirkelbeweging A naar B (figuur 26a) wordt bepaald door de diameters d_1 en d_2 van de wielen A en B.

$$\text{Er geldt: } \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (1)$$

Uit deze formule blijkt: als wiel 2 een kleinere diameter heeft dan wiel 1, dan heeft wiel 2 een hoger toerental dan wiel 1. Voor twee tandwielen met het aantal tanden z_1 en z_2 geldt:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \quad (2)$$

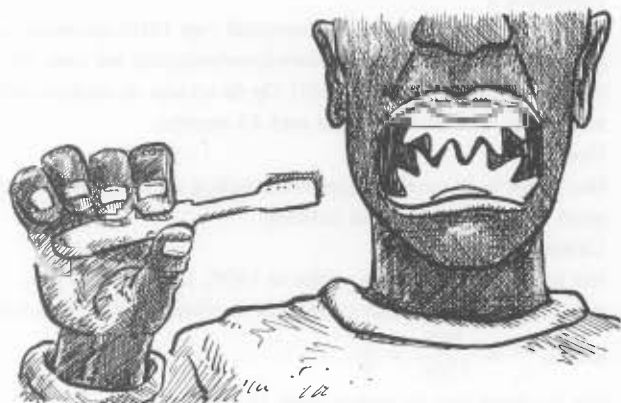
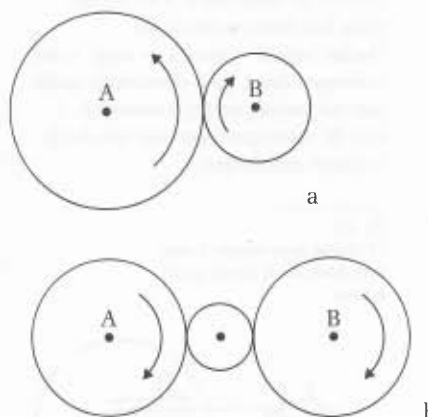


fig. 26
Omkering van de draairichting.



De formules (1) en (2) worden als volgt afgeleid. De omtreksnelheden van beide wielen zijn even groot, dus zijn de (per tijdseenheid) afgelegde afstanden op de omtrek van beide wielen óók even groot.

Toerental \times omtrek wiel = de per minuut op de omtrek afgelegde afstand.

In formulevorm: $n_1 \cdot \pi d_1 = n_2 \cdot \pi d_2$.

Als je beide leden door π deelt, krijg je:

$$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2. \text{ Hieruit volgt: } \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (1)$$

Omdat de tandwielomtrekken $\pi \cdot d$ recht evenredig zijn met het aantal tanden z (de tanden van beide tandwielen moeten immers even groot zijn) mogen we in beide leden van de vergelijking de term $\pi \cdot d$ door z vervangen.

In de vergelijking $n_1 \cdot \pi d_1 = n_2 \cdot \pi d_2$ levert dat: $n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$

$$\text{Hieruit volgt: } \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \quad (2)$$

Moment, kracht en overbrenging

Bij overbrengingen verandert niet alleen het toerental van de beide tandwielen, maar ook de arm van de kracht die (via het tandwiel) op de aangedreven as wordt uitgeoefend (figuur 27). De kracht zelf verandert niet. In figuur 27 is A het aandrijvende en B het aangedreven wiel. De actiekracht F_A die A op B uitoefent, is even groot als de reactiekracht F_r , die B op A uitoefent.

Maar omdat de arm $d_2 (= r_2)$ kleiner is dan $d_1 (= r_1)$, is het op wiel B uitgeoefende moment kleiner.

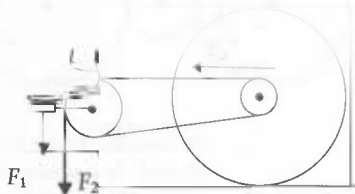
Als we de wrijving tussen beide tandwielen mogen verwaarlozen, blijft de door A op B overgedragen 'arbeid per seconde', het overgedragen vermogen, gelijk.

We zagen hiervoor al dat de per tijdseenheid afgelegde afstand op de omtrek van beide tandwielen gelijk is. Ook oefenen de tandwielen A en B even grote krachten op elkaar uit.

Omdat 'arbeid = kracht \times weg', is het vermogen dat A op B overdraagt, gelijk aan het vermogen dat B ontvangt. B kan dit vermogen weer aan een derde tandwiel overdragen.

fig. 28

De kracht op de trapper is niet even groot als de kracht op de ketting.

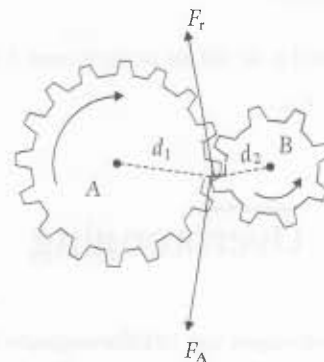


De kracht die je op de trappers uitoefent, is *niet* even groot als de kracht van het tandwiel van de trapas op de ketting. Omdat de crank plus trapper star aan het tandwiel van de trapas zijn bevestigd, mag je hier niet van een 'overbrenging' spreken.

Het moment van de kracht F_1 die de fietser op de trapper uitoefent (figuur 28) is *even groot* als het moment van de kracht F_2 die het tandwiel van de trapas op de ketting uitoefent. Dit betekent dat bij de fiets F_2 groter is dan F_1 . Stel: de crank is 20 cm lang en de straal van het tandwiel van de trapas is 10 cm, dan is F_2 twee keer zo groot als F_1 . F_3 is wel even groot als F_2 .

fig. 27

Een tandwieloverbrenging.



Voorbeeld 1

Een tandwiel A (met 40 tanden) drijft een tandwiel B (met 20 tanden) aan. Het toerental van tandwiel B is dus twee keer zo groot als het toerental van tandwiel A. Het krachtmoment dat tandwiel A op tandwiel B uitoefent, is echter twee keer zo groot als het krachtmoment dat B op A uitoefent. Immers: de krachten zijn gelijk, maar de arm van de kracht bij tandwiel A ($= r_A$), is twee keer zo groot als de arm bij tandwiel B. Als een tandwiel dus een groot moment moet leveren, bijvoorbeeld als een auto optrekt of als je tegen een berg op fietst, moet de overbrengingsverhouding groot zijn. Het geleverde moment is dan ook groot. Zo zul je, als je op een fiets met derailleur bergop fietst, de laagste 'versnelling' – dus de grootste overbrengingsverhouding – kiezen. Dat betekent: je kiest het kleinste blad op de trapas en het grootste tandwiel

op de achteras; $\frac{n_2}{n_1}$ is dan zo groot mogelijk. Daardoor is ook het moment op het tandwiel van de achteras zo groot mogelijk. De kracht die het tandwiel van de trapas op de ketting uitoefent, is weer even groot als de kracht die de ketting op het tandwiel van de achteras uitoefent.

Voorbeeld 2

Een elektromotor maakt een toerental van 1500 omwentelingen per minuut. Via een tandwieloverbrenging wil men dit toerental terugbrengen tot 500. Op de as van de elektromotor wordt een tandwiel geplaatst met 45 tanden.

Vragen:

Hoe groot is de overbrengingsverhouding en hoeveel tanden moet het andere tandwiel hebben?

Uitwerking:

Het toerental (n_1) van de motor is 1500. Het toerental (n_2) van het andere tandwiel is 500. De overbrengingsverhouding

$$\text{is dus: } \frac{n_2}{n_1} = \frac{500}{1500} = \frac{1}{3}.$$

Het tandwiel van de motor heeft 45 tanden ($z_1 = 45$).

Nu geldt: $n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$, dus $1500 \cdot 45 = 500 \cdot z_2 \Rightarrow$
 $z_2 = \frac{1500 \cdot 45}{500} = 135$. Het tweede tandwiel moet dus 135 tanden hebben.

Voorbeeld 3

Van een fiets heeft het tandwiel bij de trapas 54 tanden en het tandwiel bij de achteras 14 tanden. Mirjam trapt met een toerental van 35 omw/min.

De diameter van het achterwiel is 72 cm.

- Bereken het toerental van de achteras.
- Bereken de snelheid waarmee Mirjam fietst.

Uitwerking:

a Het toerental van de achteras kunnen we berekenen met de formule $n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$.

Dus: $35 \cdot 54 = n_2 \cdot 14$; $n_2 = 135$ omw/min.

b Het toerental van de achteras is hetzelfde als van het achterwiel. Het tandwiel op de achteras kan tijdens het trappen immers niet bewegen ten opzichte van het achterwiel. De snelheid waarmee Mirjam fietst, is de omtreksnelheid van het achterwiel.

Deze snelheid berekenen we met:

$$v = \frac{\pi \cdot d}{T}$$

fig. 29
De overbrenging bij een fiets met een derailleur.



We berekenen eerst de omlooptijd T uit het toerental: 135 omwentelingen in 60 seconden houdt in dat 1 omwenteling

$$\frac{60}{135} \text{ s duurt, dus } T = 0,44 \text{ s.}$$

De diameter d van het achterwiel was 72 cm, dus:

$$v = \frac{3,14 \cdot 72}{0,44} = 508,94 \text{ cm/s} = 5,1 \text{ m/s. (Dat is } 3,6 \cdot 5,1 = 18,4 \text{ km/h.)}$$

Blok 21

W3

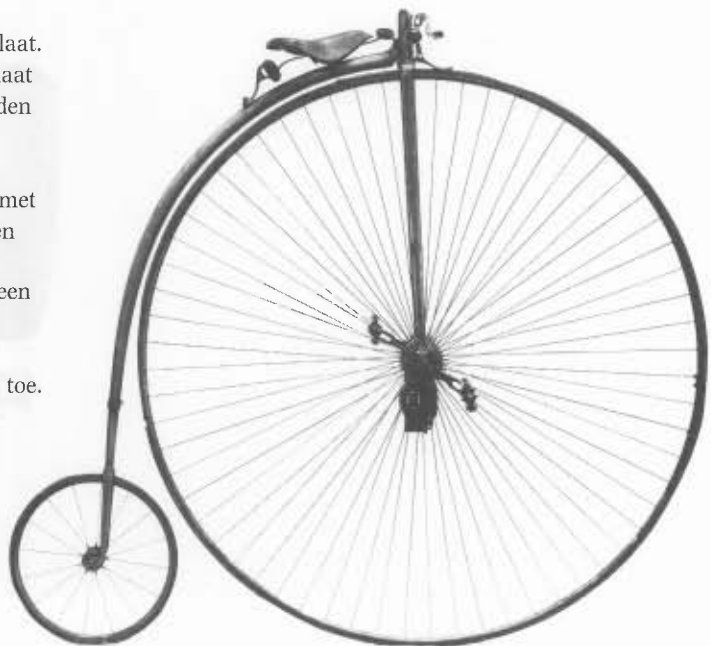
1 Een grammofoonplaat met een straal van 15 cm draait rond met een toerental van 33 toeren per minuut.

- Bereken de omlooptijd van de plaat.
- Bereken de omtreksnelheid van de buitenkant van de plaat.
- Leg uit wat er gebeurt met de omtreksnelheid van de plaat ten opzichte van de naald als de naald dichterbij het midden van de plaat komt.

2 Op een antieke fiets (figuur 30) zit vóór een groot wiel met een diameter van 1,4 m en achter een klein wieltje met een diameter van 35 cm.

- Bereken de omtreksnelheden van beide wielen als met een constante snelheid van 18 km/h wordt gefietst.
- Bereken de omlooptijden van beide wielen.
- Bij welk wiel slijt de band het snelst? Licht je antwoord toe.

fig. 30
Een antieke fiets.



3 De band van een cassette recorder wordt met een constante snelheid langs de opname- en weergavekoppels getrokken (figuur 31). De band loopt van spoel A naar spoel B. Naarmate de band verder wordt afgespeeld, wordt de diameter van de band op spoel B groter.

fig. 31
Een cassettebandje.



- a Wat gebeurt er met het toerental van spoel B?
- b Beantwoord dezelfde vraag voor spoel A.

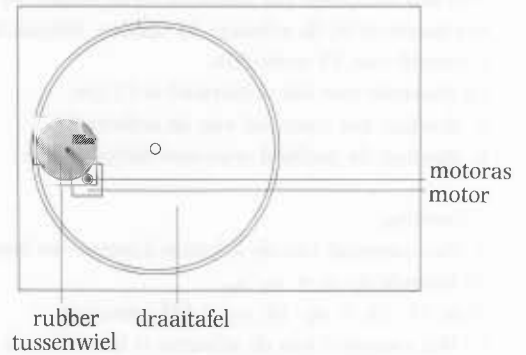
4 Een elektromotor draait met een toerental van 400 omw/min. Via een tandwieloverbrenging moet dat toerental teruggebracht worden tot 50 omw/min. Op de as van de motor wordt een tandwiel gemonteerd met 20 tanden.

- a Bereken het aantal tanden van het andere tandwiel.
- b Wat kun je zeggen over de draairichtingen van beide tandwielen?

5 In sommige platenspelers wordt de draaitafel aangedreven met een rubber tussenwiel (figuur 32). De draaitafel draait met een toerental van 33 toeren per minuut.

De binnendiameter van de draaitafel is 28,8 cm, de diameter van het tussenwiel is 4,8 cm, de diameter van de motoras is 4,8 mm.

fig. 32
Het onderaanzicht van een draaitafel.



- a Bereken het toerental van het rubberen tussenwiel.

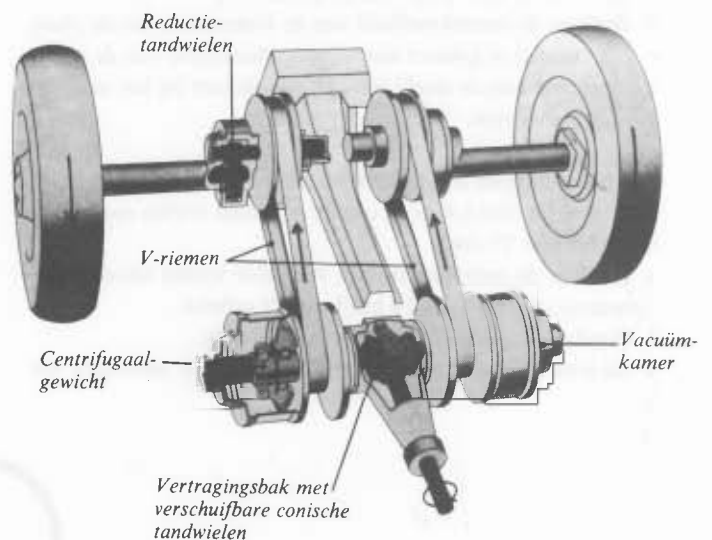
- b Bereken het toerental van de motoras.

Na jaren gebruik is het rubber tussenwiel een beetje afgesleten, waardoor de diameter kleiner is geworden.

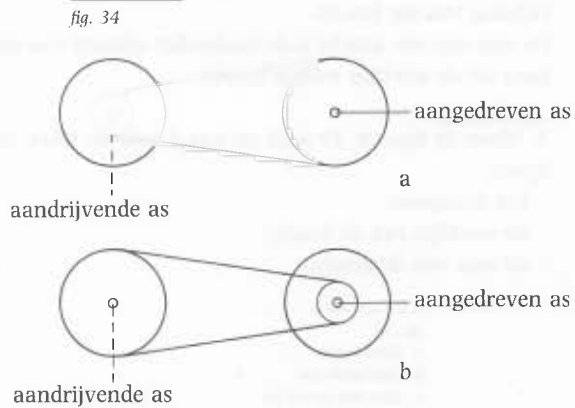
- c Verandert hierdoor het toerental van de draaitafel? Licht je antwoord toe.

6 In sommige auto's wordt een volautomatische, traploze versnelling toegepast. De aandrijving van de achterwielen gaat met twee riemen of banden die elk over twee zogenaamde poelies lopen (figuur 33). De diameter van de cirkelbaan die de riem op de aandrijvende poelie doorloopt, kan (afhankelijk van het toerental van de motor) veranderen, zodat de overbrengingsverhouding verandert.

fig. 33
Een traploze versnellingsbak.

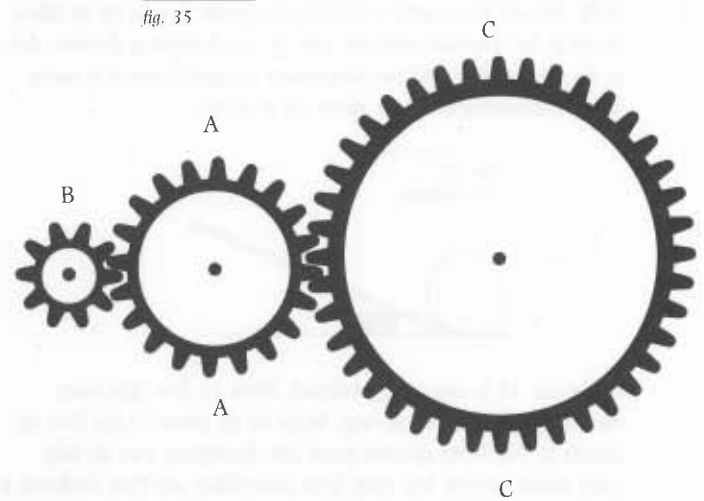


In figuur 34 zijn twee situaties van de riem over de poelies getekend.



Leg uit in welke situatie de auto hard rijdt en in welke langzaam.

7 Tandwiel A drijft twee tandwielen B en C aan. B en C zijn gemonteerd op even dikke assen (figuur 35).



a Leg uit welk tandwiel het grootste toerental krijgt.

b Leg uit op welke as je de grootste kracht moet uitoefenen om hem af te remmen.

In figuur 36 zie je een ijzeren staaf, een steen en een houten balk. Om de steen met zo weinig mogelijk kracht op te tillen, moet je het rechter uiteinde van de staaf omlaag duwen. Als je de staaf dicht bij het draaipunt vastpakt, moet je meer kracht uitoefenen om de steen op te tillen.

fig. 36
Een hefboom.



In figuur 37 is een wip getekend. Wim en Ton zijn even zwaar en spelen met de wip. Wim zit op plaats A en Ton op plaats B. Als Wim dicht naar het draaipunt van de wip gaat zitten, wordt het voor hem moeilijker om Ton omhoog te wippen.

fig. 37
Een wip.



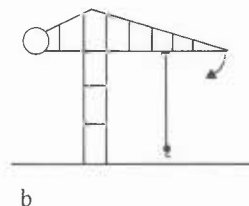
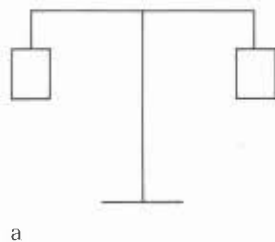
Deze situaties zijn te verklaren met het begrip *moment van een kracht*. Aan het einde van deze herhaalstof moet je dat zelf kunnen. Maar eerst herhalen we alle begrippen die met het moment van een kracht te maken hebben.

Een *hefboom* is een voorwerp dat gaat draaien om een vast punt als je er een kracht op uitoefent.

Het *draaipunt* is het punt waar de hefboom om gaat draaien.

1 In figuur 38 zijn twee hefbomen getekend. Neem de tekeningen over en geef in elke tekening het draaipunt aan.

fig. 38
a Een balans.
b Een hijskraan.



De *werklijn* van een kracht is de (denkbeeldige) lijn in de richting van die kracht.

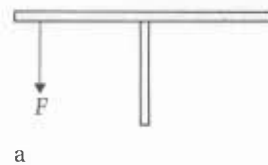
De *arm* van een kracht is de loodrechte afstand van het draaipunt tot de werklijn van de kracht.

2 Neem de figuren 39 a tot en met d over en teken in elke figuur:

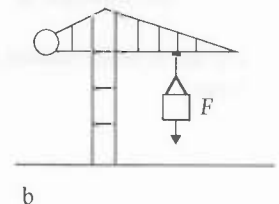
- het draaipunt;
- de werklijn van de kracht;
- de arm van de kracht.

fig. 39

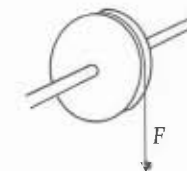
- a Een balans.
- b Een hijskraan.
- c Een wiel op een as.
- d Een handkar met last.



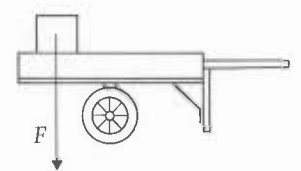
a



b



c



d

Voor het *moment* van een kracht geldt:

$$\text{moment} = \text{kracht} \cdot \text{arm}$$

We noemen het moment *negatief* als de kracht de hefboom met de wijzers van de klok mee wil draaien.

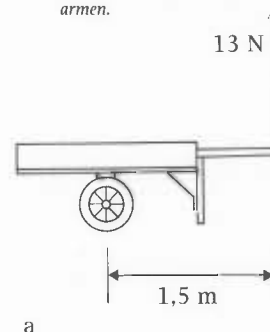
Als de kracht de hefboom tegen de wijzers van de klok in wil draaien is het moment *positief*.

3a Bepaal in de figuren 40 a tot en met c de grootte van de arm van de aangegeven krachten.

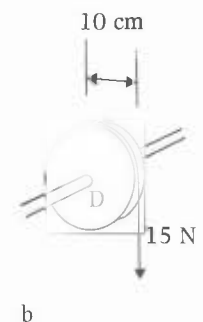
b Bereken de momenten van de krachten. Denk om de tekens!

fig. 40

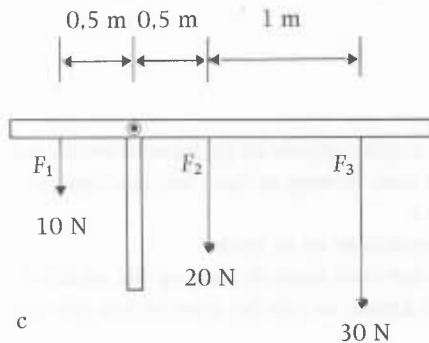
- a Een handkar.
- b Een wiel op een as.
- c Een balans met ongelijke armen.



a



b

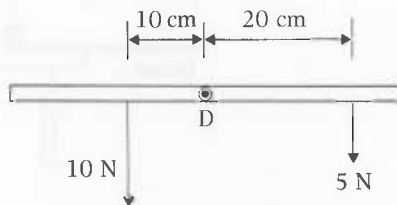


De *momentenwet* luidt: een hefboom is in rust (in evenwicht) als de som van de momenten van alle krachten die op de hefboom werken, gelijk is aan nul.

In het voorbeeld dat nu volgt is deze regel toegepast op een balans.

Op een balans werken twee krachten. $F_1 = 10 \text{ N}$ en $F_2 = 5 \text{ N}$. De afstanden zijn in figuur 41 aangegeven. Is de balans in evenwicht? We kunnen dat berekenen met de momentenwet. Als de balans in evenwicht is moet de som van de momenten nul zijn.

fig. 41

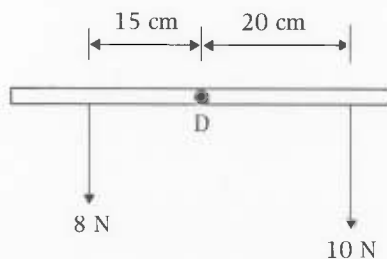


Het moment M_1 van F_1 is $10 \text{ N} \cdot 0,10 \text{ m} = 1,0 \text{ Nm}$. $M_1 = +1,0 \text{ Nm}$, want M_1 wil de balans tegen de klok in draaien. (Let op de eenheden: kracht in newton en arm in meter.)

Het moment M_2 van F_2 is $5 \text{ N} \cdot 0,2 \text{ m} = 1,0 \text{ Nm}$. $M_2 = -1,0 \text{ Nm}$, want M_2 wil de balans met de klok mee laten draaien. De som van de momenten is $1,0 + -1,0 = 0$. De balans is dus in evenwicht.

4 Ga na of de balans in figuur 42 in evenwicht is.

fig. 42

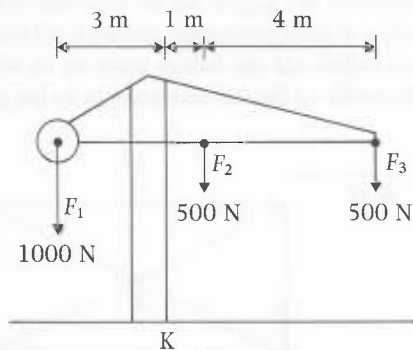


Soms werken er meer dan twee krachten op een hefboom. De berekening verloopt dan hetzelfde: je rekent de som van alle momenten uit en kijkt of die som gelijk aan nul is.

5 In figuur 43 zie je een hijskraan.

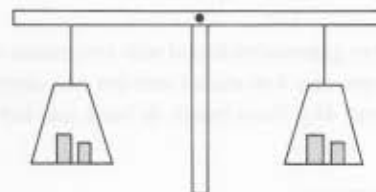
Alle krachten en hun afstanden tot het (ook getekende) kantelpunt K zijn gegeven. Bereken of de kraan in evenwicht is of dat hij zal kantelen.

fig. 43
Een hijskraan.



6 De linkerschaal van de balans in figuur 44 wordt verder van het draaipunt af opgehangen. Moet er op de rechterschaal massa bij of moet er massa af om de balans weer in evenwicht te brengen? Verklaar je antwoord.

fig. 44

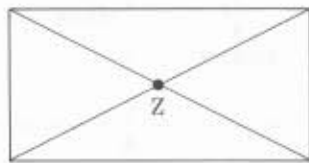


7 Verklaar nu de twee situaties van de figuren 36 en 37 uit het begin van deze herhaalstof (pagina 142).

Het moment van de zwaartekracht

De zwaartekracht (F_z) is een kracht die op elk voorwerp werkt dat massa bezit. Eigenlijk werkt die zwaartekracht op elk massadeeltje van het voorwerp. Wanneer je al die zwaartekrachten zou moeten tekenen en er ook nog de momenten van zou moeten berekenen, ben je lang bezig. Dat hoeft (gelukkig) niet, want al die kleine zwaartekrachten samen hebben hetzelfde effect als één grote zwaartekracht die aangrijpt in het zwaartepunt. We zeggen dat die zwaartekracht de *resultante* is van al die afzonderlijke zwaartekrachten. Bij homogene balken (dit zijn balken waarvan de samenstelling overal hetzelfde is) ligt het zwaartepunt in het midden (figuur 45).

fig. 45



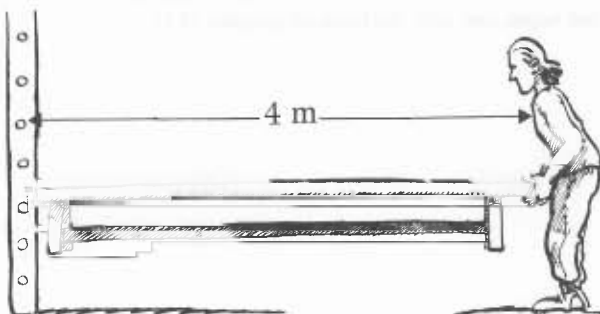
Als je het moment van de zwaartekracht moet berekenen, ga je als volgt te werk.

- 1 Bepaal het zwaartepunt.
- 2 Bepaal de arm ten opzichte van het draaipunt.
- 3 Bereken de zwaartekracht uit de massa met $F_z = m \cdot 10$.
- 4 Bereken het moment; $M = F_z \cdot \text{arm}$.

8 Een bank uit het gymnastieklokaal met een massa van 50 kg en een lengte van 4 m steunt met het ene uiteinde op het wandrek (figuur 46). Hans houdt de bank aan het andere uiteinde vast.

fig. 46

Een bank die op een wandrek steunt.

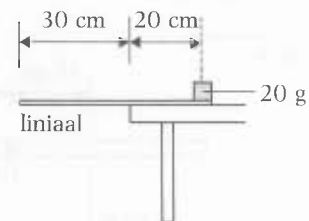


- a Maak een schets van de situatie en geef daarin het zwaartepunt van de bank aan. (Je mag de bank beschouwen als een homogene balk.)
- b Bereken de zwaartekracht op de bank.
- c Waarom moet je het punt waar de bank op het wandrek steunt als draaipunt kiezen, en niet het punt bij het uiteinde dat Hans optilt?
- d Bereken het moment van de zwaartekracht op de bank.
- e Gebruik de momentenwet om de kracht te berekenen die Hans moet uitoefenen.

9 Een liniaal ligt op de rand van een tafel (figuur 47). Op het rechter-uiteinde ligt een blokje van 20 gram. De liniaal staat op het punt om te kantelen. De afstanden staan in de figuur.

fig. 47

Een liniaal op de rand van de tafel.



- a Neem de tekening over en geef het zwaartepunt van de liniaal aan.
- b Welk punt kies je als draaipunt?
- c Bereken het moment van de zwaartekracht op het blokje van 20 gram.
- d Bereken met de momentenwet de massa van de liniaal.

Cirkelbewegingen en overbrengingen

Hieronder herhalen we aan de hand van eenvoudige voorbeelden en opdrachten de leerstof over cirkelbewegingen en overbrengingen.

De cirkelbeweging

Het voorwiel van een fiets die op zijn kop staat, krijgt een flinke zet (figuur 48). Hierdoor gaat het ventiel een cirkelbeweging uitvoeren.

De omlooptijd (T) van het ventiel is de tijd die het ventiel nodig heeft om één keer rond te gaan.

Met een stopwatch meten we voor het ventiel een omlooptijd van 0,8 seconde.

1 Hoe groot is dan de omlooptijd van een spaak?

De frequentie (f) is het aantal keren dat het ventiel in één seconde rondgaat.

$$f = \frac{1}{T}$$

2 Bereken de frequentie waarmee het ventiel ronddraait.

Het toerental (n) is het aantal keren dat het ventiel in 1 minuut (60 seconden) rondgaat. Het toerental is dus 60 maal zo groot als de frequentie.

$$n = 60 \cdot f.$$

3 Bereken het toerental van het ventiel.

Onthoud:

Voor elk punt van het wiel is het toerental (en dus ook de omlooptijd en de frequentie) hetzelfde.

Met de omtreksnelheid (v) wordt de afstand bedoeld die een ronddraaiend voorwerp per seconde aflegt. De omtreksnelheid wordt berekend door de afgelegde afstand (s) te delen door de tijd (t) die daarvoor nodig was.

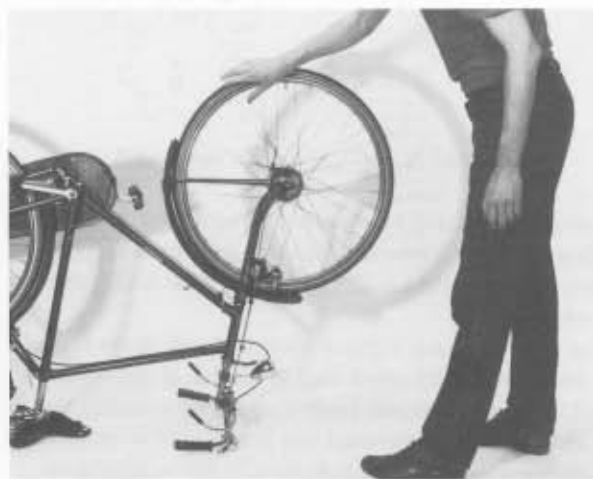
$$v = \frac{s}{t}$$

De in één omloop afgelegde afstand is de omtrek van de cirkel: $2\pi r$. De tijdsduur die daarbij hoort is de omlooptijd T .

$$\text{Dus: } v = \frac{2\pi r}{T}$$

Het ventiel draait rond met een omlooptijd van 0,8 s. De straal r van de cirkelbaan is gelijk aan de afstand van het ventiel tot de as; $r = 0,325$ m.

fig. 48
Een fiets op z'n kop.

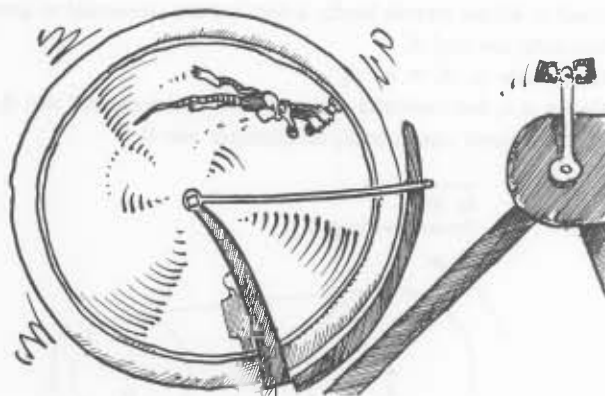


4a Bereken de omtreksnelheid van het ventiel.

b Bereken de omtreksnelheid van een punt op de spaak dat 10 cm van de as af ligt.

Onthoud:

De omtreksnelheid is *niet* voor elk punt van het wiel hetzelfde, maar hangt af van de straal van de cirkelbaan die het punt beschrijft.



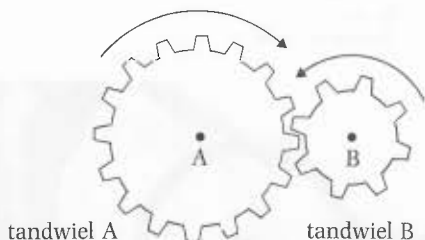
Overbrengingen

In veel machines zorgt een motor voor de aandrijving. Door gebruik te maken van een overbrenging kun je het toerental en de draairichting naar wens aanpassen.

Je moet twee soorten overbrengingen kennen:

- 1 tandwiel- en kettingoverbrenging;
- 2 snaaroverbrenging.

fig. 49
Een tandwieloverbrenging.



In figuur 49 zie je een tandwieloverbrenging. Als het grote tandwiel A op het kleine tandwiel B ingrijpt (of B via een ketting aandrijft), hebben de tanden van beide wielen dezelfde omtreksnelheid.

Omdat tandwiel B een kleinere diameter heeft, draait B rond met een kleinere omlooptijd. Gevolg hiervan is, dat het toerental van B groter wordt. Heeft B tweemaal zo weinig tanden als A, dan is het toerental van B tweemaal zo groot. Je kunt hiervoor ook de formule $n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$ gebruiken. Hierin is n_1 het toerental van tandwiel A, n_2 het toerental van B, z_1 het aantal tanden op tandwiel A en z_2 het aantal tanden van B.

In figuur 50 zie je een snaaroverbrenging. De snaar loopt met dezelfde snelheid over beide wielen. De omtreksnelheden van de buitenkanten van de wielen zijn dus even groot. Het toerental van wiel B is groter dan van wiel A, omdat B een kleinere diameter heeft. (Wiel B moet vaker rondgaan om dezelfde afstand af te leggen als wiel A.) Nu geldt: als de diameter van wiel B tweemaal zo klein is (dus ook een tweemaal zo kleine omtrek heeft), krijgt het een tweemaal zo groot toerental als wiel A.

In formule: $n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2$

Hierin is n_1 het toerental van wiel A, n_2 het toerental van B, d_1 de diameter van A en d_2 de diameter van B.

fig. 50
Een snaaroverbrenging.

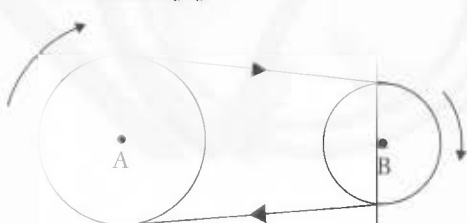
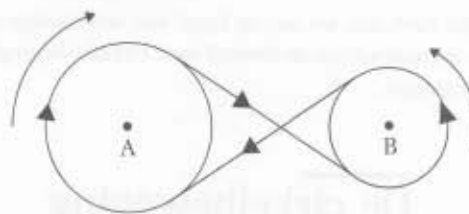


fig. 51
Een snaaroverbrenging waarbij de richting verandert.



De overbrengingsverhouding

De overbrengingsverhouding is de verhouding van de toeren-tallen van de (tand)wielen bij een tandwiel-, snaar- of ketting-overbrenging.

In formule is de overbrengingsverhouding: $\frac{n_2}{n_1}$

Hierin is n_1 het toerental van het aandrijvende wiel en n_2 het toerental van het aangedreven wiel.

De draairichting

Bij een tandwieloverbrenging draaien beide wielen in tegen-gestelde richting. Bij een snaar- of kettingoverbrenging is de draairichting van beide wielen meestal hetzelfde. De situatie in figuur 51 vormt hierop een uitzondering.

Voorbeeld

De krukas van een auto heeft een toerental van 400 omw/min. De beweging van de krukas wordt via een ketting overgebracht op de nokkenas. De krukas heeft 12 tanden, de nokkenas heeft er 24.

Bereken het toerental van de nokkenas en de overbrengings-verhouding.

Uitwerking:

$$n_1 = 400 \text{ omw/min}, z_1 = 12, z_2 = 24.$$

$$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2 \Rightarrow 400 \cdot 12 = n_2 \cdot 24 \Rightarrow n_2 = 200 \text{ omw/min.}$$

$$\text{De overbrengingsverhouding is: } \frac{n_2}{n_1} = \frac{200}{400} = 0,5.$$

5 Op een boormachine die een toerental heeft van 2400 omw/min zit een slijpschijfje gemonteerd met een diameter van 5 cm.

- a Bereken de frequentie waarmee het slijpschijfje ronddraait.
- b Bereken de omtreksnelheid van het slijpschijfje.

6 Een as van een elektromotor maakt 50 omwentelingen per seconde. Op de as zit een schijf bevestigd met een diameter van 5,5 cm. Via een snaar wordt een andere schijf aange-dreven die een diameter heeft van 12,5 cm.

- a Bereken de omtreksnelheid van de schijf op de as van de elektromotor.
- b Hoe groot is (dus) de snelheid van de snaar?
- c Bereken het toerental van de elektromotor.
- d Bereken het toerental van de grote schijf (diameter 12,5 cm).

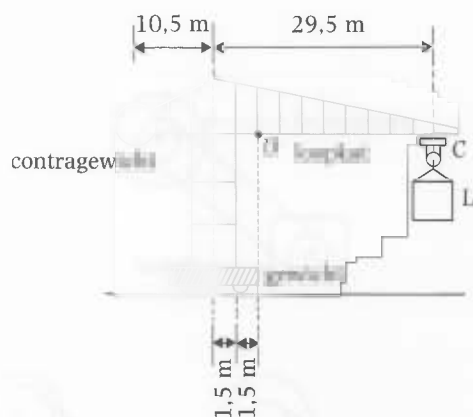
Blok 21 Extrastof

E1 Oefenen met examenopgaven

1 In figuur 52 is een hijskraan getekend. Je kunt er rechts een last mee ophijzen aan de 'loopkat'. Links hangt een contragewicht van 3000 kg. Boven de verrijdbare voet is een gewicht van 12 000 kg geplaatst om de kraan stabiel te maken.

Zonder last en de twee gewichten heeft de kraan een massa van 8000 kg. Het zwaartepunt ligt in D. Alle benodigde afstanden zijn in de tekening vermeld.

fig. 52
Een hijskraan.

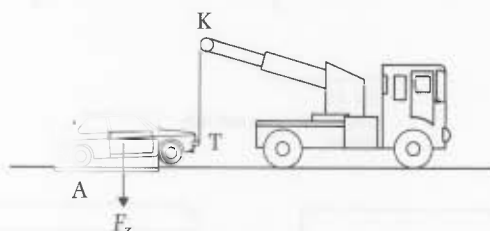


a Bereken de maximale last die je kunt hijsen (zodat de kraan *nét* niet kantelt) als de loopkat in C staat.

b Hoeveel kg kun je in stand D maximaal ophijzen?

2 Een auto wordt met behulp van een takelwagen aan één kant opgetild, waardoor de auto kan worden versleept (figuur 53). De massa van de personenauto is 900 kg. De afstand tussen de achteras A en de trekhaak T aan de voorzijde van de auto is 3,00 m; 1,00 m achter de trekhaak ligt het zwaartepunt van de auto. De kabel waarmee de takelwagen de auto ophijst, loopt verticaal naar de vaste katrol K.

fig. 53
Een takelwagen.



a Bereken de grootte van de zwaartekracht F_z op de auto.

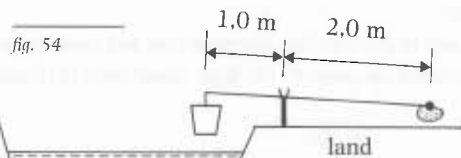
b Bereken de spankracht in de hijskabel bij figuur 53.

c Om welk punt zou de takelwagen kunnen gaan kantelen?

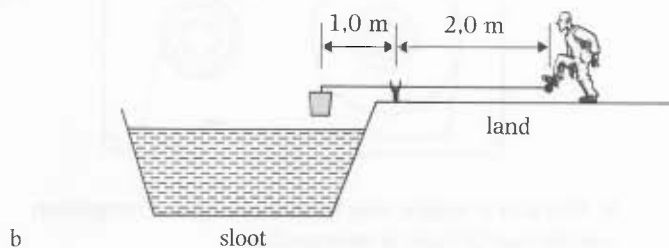
d Het is bij een takelwagen gewenst dat zijn zwaartepunt zo ver mogelijk naar voren ligt. Leg dit uit met behulp van het begrip 'moment van een kracht'.

3 Water halen (1987-II D)

In figuur 54a zie je een hefboom waarmee op een primitieve manier water uit de sloot op het land wordt gebracht. De korte arm van de hefboom is 1,0 m lang, de lange arm is 2,0 m lang. De massa van de hefboom moet je verwaarlozen.



a



b

Om de volle emmer gemakkelijker op te kunnen tillen, is aan het lange eind van de hefboom een steen bevestigd. De massa van de steen is 10 kg.

De hefboom wordt met de voet bediend. In figuur 54b is de emmer vol en houdt de man de hefboom met zijn voet in evenwicht door een kracht verticaal omlaag. De totale massa van de volle emmer is 42 kg.

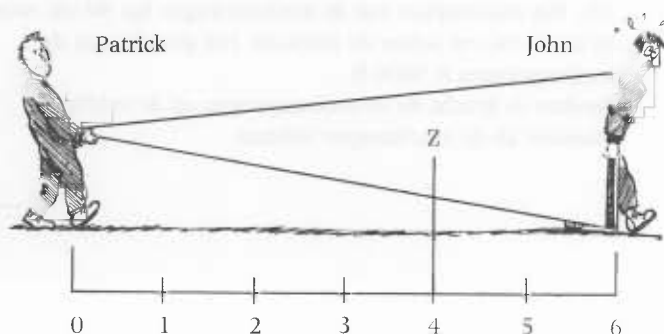
Bereken de grootte van de kracht die de man in deze situatie op het uiteinde van de hefboom uitoefent.

4 Het dragen van een plaat (1989-II D)

Patrick en John dragen een driehoekige plaat (figuur 55). Het gewicht van de plaat is 660 N. Het zwaartepunt van de plaat ligt op 2,0 m van Patrick.

Bereken de kracht die Patrick op de plaat uitoefent. (Los het probleem op door het uiteinde dat John vasthoudt als draaipunt te beschouwen.)

fig. 55
Patrick en John dragen een driehoekige plaat.



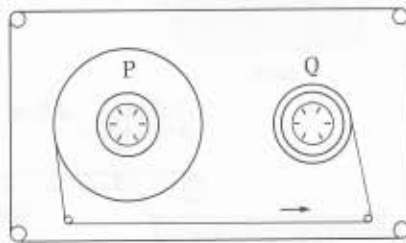
5 Het cassettebandje (1989-II D)

Een C-60 muziekcassette heeft aan één kant een speelduur van 30 minuten. Iemand wil weten hoeveel meter cassetteband er in de cassette zit opgerold. Hij schat de snelheid van het cassettebandje op 5 cm/s.

a Bereken de lengte van de cassetteband volgens deze gegevens.

Bij het begin van het afspelen van het cassettebandje zit bijna alle band op spoel P. De 'lege' spoel heet Q (figuur 56).

fig. 56
Een cassettebandje.



b Wat kun je zeggen over het toerental van P vergeleken met dat van Q? Licht je antwoord toe.

Tijdens het afspelen is op een bepaald moment de omtreksnelheid van spoel P 75 cm/s. De diameter van spoel P is op dat moment 7,2 cm.

c Bereken het aantal omwentelingen per minuut van spoel P.

6 Een transportrol (1989-I D)

Een transportrol trekt papier van een rol onder een schrijfpenn door (figuur 57a). De snelheid van het papier is groot. De aandrijving van de transportrol (figuur 57b) kan op verschillende manieren worden veranderd. De motor blijft daarbij met hetzelfde toerental draaien.

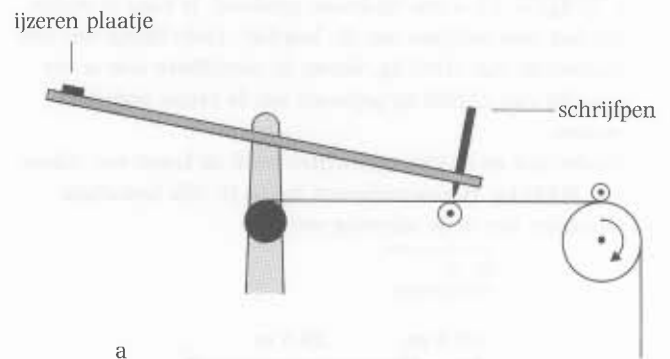
Welke van de getekende aandrijvingen (figuur 57c) is geschikt om de snelheid van het papier te verminderen?

- A Aandrijving 1.
- B Aandrijving 2.
- C Aandrijving 3.
- D Aandrijving 4.

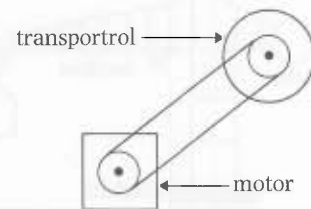
7 Aan een vrachtwagen hangt een aanhangwagen (figuur 58). Het zwaartepunt van de aanhangwagen ligt 90 cm vóór de as en 180 cm achter de trekhaak. Het gewicht van de aanhangwagen is 9000 N.

Bereken de kracht die de aanhangwagen op de trekhaak uitoefent als de vrachtwagen stilstaat.

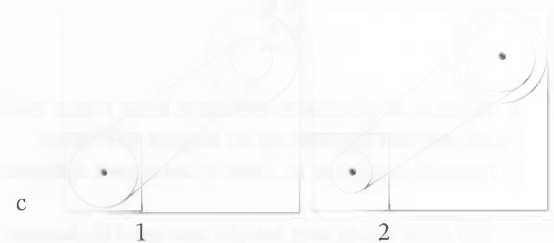
fig. 57



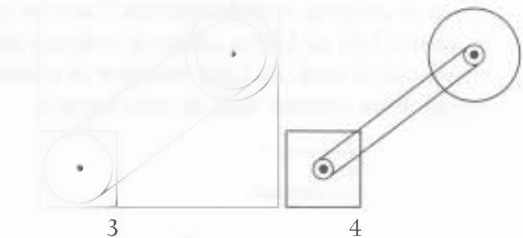
a



b



c

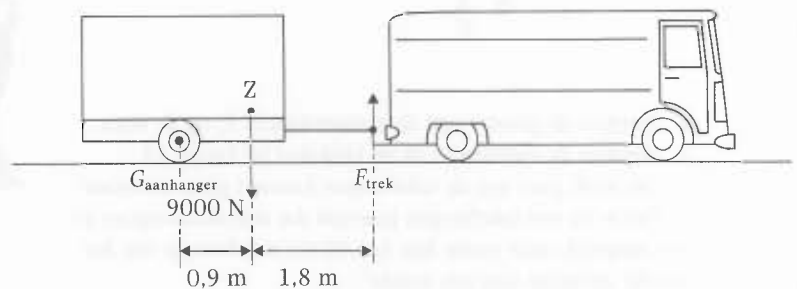


3

4

fig. 58

Een vrachtwagen met aanhangwagen.



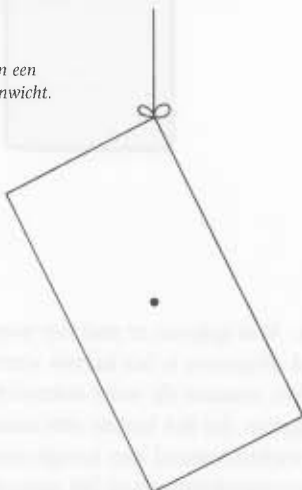
In dit blok hebben we onder meer gekeken naar evenwicht; we hebben onderzocht wanneer een hefboom in evenwicht is. In deze extrastof onderzoeken we wat er gebeurt als we een voorwerp dat in evenwicht is een kleine uitwijking geven. Het blijkt dat er drie soorten evenwicht zijn: *stabiel*, *labiel* en *indifferent* evenwicht.

Stabiel evenwicht

Proef 1

Neem een rechthoekig stuk karton en bepaal de plaats van het zwaartepunt (zie eventueel T2). Geef het zwaartepunt aan op het karton. Hang het karton nu op aan een hoekpunt door er een speld of punaise door te prikken (figuur 59). Het zwaartepunt ligt nu precies onder het ophangpunt.

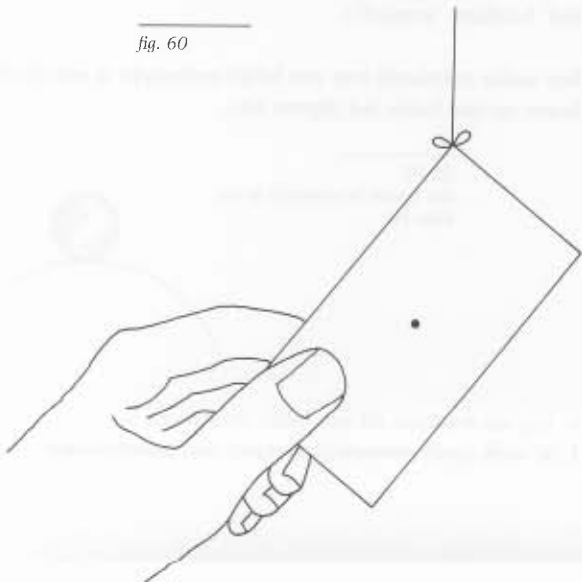
fig. 59
Een stuk karton aan een
touwje: stabiel evenwicht.



Geef het karton nu een kleine uitwijking, zodat het zwaartepunt niet meer recht onder het ophangpunt hangt. Er is nu geen evenwicht meer.

a Neem figuur 60 over en geef in die situatie F_z en de arm van F_z aan. (De hand hoeft je niet te tekenen.)

fig. 60



b Leg met de momentenwet uit waarom er geen evenwicht is als je nu het karton loslaat.

c Gaat het zwaartepunt omhoog of omlaag als je het evenwicht verstoort?

Als je het karton loslaat, komt het weer tot rust in de stand van figuur 59. Het moment van F_z ten opzichte van het ophangpunt is dan weer 0 Nm.

We noemen zo'n evenwicht, waarbij het voorwerp weer in de oorspronkelijke evenwichtsstand terugkomt, een *stabiel evenwicht*.

Het zwaartepunt Z ligt in deze evenwichtstoestand loodrecht onder het steunpunt. Daarom draait het moment van F_z het punt Z naar zijn oorspronkelijke stand terug als het evenwicht is verstoord. Vandaar de benaming 'stabiel evenwicht'. ('Stabiel' betekent 'standvastig'.)

Een ander voorbeeld van een stabiel evenwicht is een knikker in een halve bol (figuur 61). Na een kleine uitwijking keert de knikker terug in dezelfde evenwichtstoestand.

fig. 61
Een knikker in een halve bol.



d Gaat het zwaartepunt van de knikker door de uitwijking omhoog of omlaag?

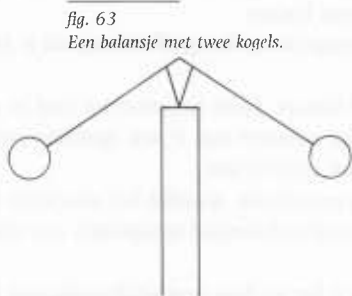
Een bekend voorbeeld van een stabiel evenwicht is het duikelaartje (figuur 62).

e Waarom komt het duikelaartje steeds terug in dezelfde stand?

fig. 62
Een duikelaartje.

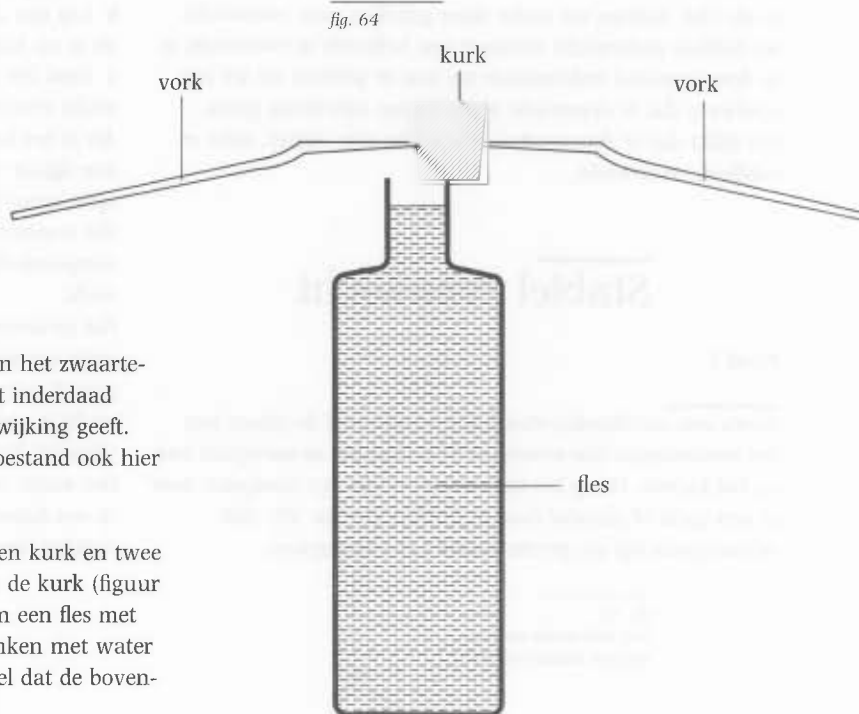


Tegenwoordig kun je in de winkel apparaatjes kopen die een onverwacht stabiel evenwicht vertonen (figuur 63).



f Neem de tekening over en geef de plaats van het zwaartepunt aan. Maak duidelijk dat het zwaartepunt inderdaad omhoog gaat als je een van de kogels een uitwijking geeft. Het zwaartepunt Z ligt dus in de evenwichtstoestand ook hier onder het steunpunt.

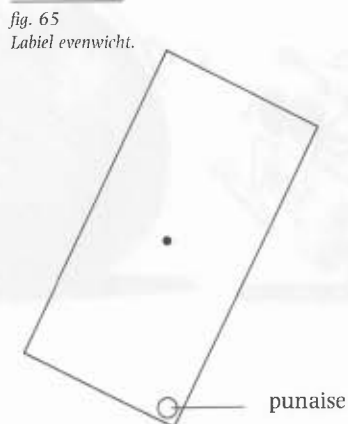
Je kunt zelf ook zo'n balansje maken. Neem een kurk en twee gelijke vorken. Prik de vorken tegen elkaar in de kurk (figuur 64) en zet de kurk op de rand van de hals van een fles met water. Je kunt nu uit de fles een glas volschenken met water zonder dat de kurk van de rand valt! (Zorg wel dat de bovenkant van je fles geen te scherpe rand heeft.)



Labiél evenwicht

Proef 2

Neem weer het rechthoekige stuk karton. Prik een punaise vlak bij een hoekpunt door het karton. Prik de punaise nu een klein stukje in een plankje, maar zorg dat het karton niet vastgeklemd zit op het plankje. Breng het karton nu in een evenwichtstoestand, met het zwaartepunt Z loodrecht boven de punaise (figuur 65).



- a Leg uit waarom er evenwicht is. Geef het karton weer een kleine uitwijking.
b Wat gebeurt er met het zwaartepunt?

c Wat gebeurt er met het moment van F_Z ?

d Wanneer is het karton weer in evenwicht?

We noemen dit soort evenwicht een *labiél evenwicht*. Je hebt gezien dat het karton niet meer vanzelf in de labiele evenwichtstoestand kan terugkomen. Dit komt doordat in de evenwichtstoestand het zwaartepunt Z *boven* het steunpunt ligt. Als je het evenwicht verstoort, draait het moment van F_Z het punt Z terug tot het loodrecht *onder* het steunpunt ligt. Het evenwicht is dan *stabiel* geworden.

Punt Z komt dus niet vanzelf meer loodrecht *boven* het steunpunt terecht. Vandaar de benaming 'labiél evenwicht'. ('Labiél' betekent 'wankel'.)

Een ander voorbeeld van een labiél evenwicht is een knikker boven op een halve bol (figuur 66).

fig. 66
Een knikker in evenwicht op een halve bol.

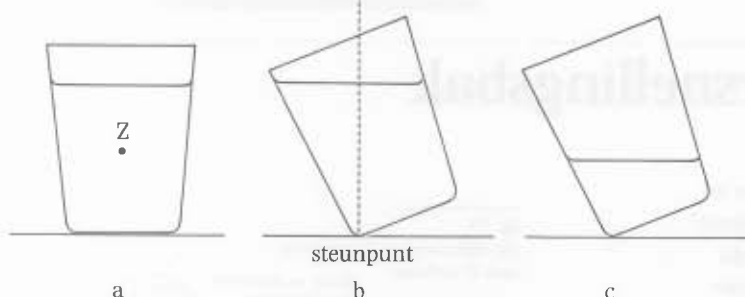


- e Leg uit waarom dit een labiél evenwicht is.
f In welk soort evenwicht verkeert een koorddanser?

In het dagelijks leven komen we nog vele andere voorbeelden van een labiel evenwicht tegen. Steeds als een voorwerp op het punt staat om te kantelen, is er sprake van een labiel evenwicht.

In figuur 67a zie je een glas vol met water. Iemand stoot tegen het glas, zodat het even in een andere stand komt (figuur 67b). Het zwaartepunt ligt nu loodrecht boven het steunpunt. Er is dus evenwicht, maar het is labiel. Als het zwaartepunt iets verder naar links komt te liggen, valt het glas om.

fig. 67



Indifferent evenwicht

Proef 3

Neem weer het rechthoekig karton en prik nu de punaise precies door het zwaartepunt in een plankje (het karton niet vastklemmen). Geef de kaart weer een uitwijking.

a Wat gebeurt er?

In dit geval spreken we van een *indifferent evenwicht*. ('Indifferent' betekent 'onveranderlijk'.) Het maakt niets uit in welke stand het voorwerp staat. Het zwaartepunt blijft steeds even hoog.

b Waar ligt het zwaartepunt ten opzichte van het steunpunt, als er sprake is van een indifferent evenwicht?

c Leg met behulp van het moment van F_z uit waarom het karton nu in elke stand in rust blijft.

Een ander voorbeeld van een indifferent evenwicht is een knikker op een horizontaal vlak (figuur 68).

d Waar ligt nu het zwaartepunt ten opzichte van het steunpunt?

e Leg weer met behulp van het moment van F_z uit waarom de knikker in elke stand op het vlak in rust blijft.

fig. 68

Een knikker op een horizontaal vlak.



Kijk nu eens naar het glas in dezelfde stand als in figuur 67b, maar met veel minder water erin (figuur 67c).

g Neem de tekening over en geef aan waar het zwaartepunt ligt.

h Wat gebeurt er met het glas uit figuur 67c als je het loslaat?

i Teken hoe het glas uit figuur 67c staat als er sprake is van een labiel evenwicht.

j Waarom worden auto's en treinen zo gemaakt dat het zwaartepunt zo laag mogelijk ligt?

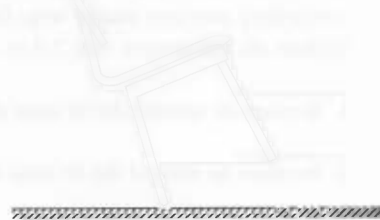


Opgaven

Geef van de volgende evenwichtssituaties aan of ze stabiel, labiel of indifferent zijn, en leg steeds uit waarom.

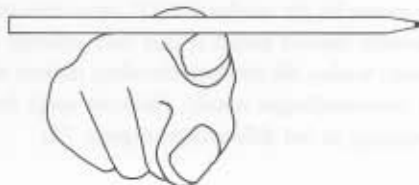
1 Karel zit op zijn stoel te wippen. Hij gaat zo zitten, dat hij net niet omvalt (figuur 69).

fig. 69



2 Je laat een potlood op je vinger balanceren (figuur 70).

fig. 70



3 Een blokje is opgehangen aan een draadje (figuur 71).

fig. 71



4 Een ring hangt aan een ketting (figuur 72).

fig. 72



5 Een dubbeltje op zijn kant (figuur 73).

fig. 73



Blok 21

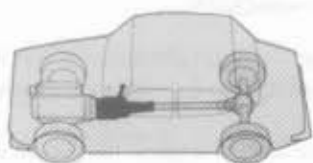
E3

De versnellingsbak

In alle auto's en motorfietsen en in sommige bromfietsen zit een 'versnellingsbak' of 'transmissie' (het woord 'transmissie' betekent 'overbrenging'). In deze extrastof wordt uitgelegd hoe een versnellingsbak werkt. We gaan uit van een personenauto met achterwielaandrijving en met de motor voorin (figuur 74).

fig. 74

Een auto met achterwielaandrijving.



De auto rijdt met een snelheid van 108 km/h in de vierde versnelling over een vlakke weg. De banden van de auto hebben elk een omtrek van 2,0 m.

1 Bereken de afstand die de auto aflegt in 1 seconde.

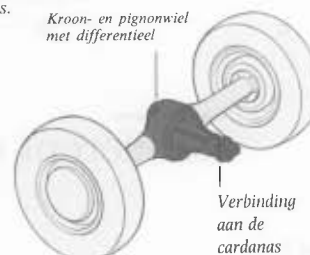
2 Bereken de afstand die de auto aflegt in 1 minuut.

3 Bereken met behulp van het antwoord op vraag 2 hoeveel omwentelingen elk wiel per minuut maakt.

Als je goed hebt gerekend, vind je dat elk wiel van de auto 900 omw/min maakt. De toerenteller in de auto geeft echter aan dat de motor bij die snelheid 3600 omw/min maakt. Op de een of andere manier wordt er dus voor gezorgd dat de (aangedreven) wielen elk één omwenteling maken als de motor vier omwentelingen maakt. Hiervoor zorgt de tandwieloverbrenging in het differentieel (figuur 75).

fig. 75

Het differentieel en de verbinding naar de cardanas.



De verhouding van het aantal tanden is bij die overbrenging meestal 1:4. Deze verhouding is vast; het toerental van de motor en de snelheid van de auto hebben er geen invloed op.

De *hoofdt*taak van het differentieel is niet om die constante vertraging van 1:4 te veroorzaken. Het differentieel is een nogal ingewikkelde tandwielconstructie die het mogelijk maakt dat de twee aangedreven wielen verschillende toerentallen hebben. Als een auto een bocht neemt, draaien de wielen in de buitenbocht sneller rond dan de wielen in de binnenbocht. Voor de niet-aangedreven wielen is dat natuurlijk geen probleem, maar wél voor de aangedreven wielen. Het verschil in snelheid tussen het linker- en rechterwiel zou wringing van de achteras veroorzaken, evenals extra bandenslijtage en een slechtere bestuurbaarheid van de auto. Het differentieel lost deze problemen op. Bovendien is het krachtmoment op het ene aangedreven wiel altijd even groot als het moment op het andere wiel. De *cardanas* verbindt de uitgaande as van de transmissie met het differentieel.

Dit mag geen starre as zijn, want door de vering op een oneffen wegdek blijven de assen van de voor- en achterwielen niet steeds in hetzelfde vlak. De cardanas bestaat daarom uit drie delen, die door kruiskoppelingen met elkaar zijn verbonden. (Kruiskoppelingen zijn een soort vorkvormige scharnieren.) Hierdoor kan het middendeel van de cardanas knikken ten opzichte van de twee andere delen. Dit beïnvloedt de aandrijving van de wielen echter niet.

Als de auto met een constante snelheid over een vlakke weg rijdt, is 1:4 een ideale overbrengingsverhouding waarin het motorvermogen zo goed mogelijk wordt benut. Maar als de auto tegen een steile helling op moet, neemt de snelheid af. Bij een overbrengingsverhouding van 1:4 oefenen de wielen dan te weinig kracht op het wegdek uit. Door nu een lagere 'versnelling' te kiezen gaat de motor – in vergelijking met de wielen – sneller draaien. Daardoor oefenen de wielen weer een grotere kracht uit.

De grootste kracht oefenen de wielen uit in de eerste versnelling. In die versnelling moet een volgeladen auto tegen een steile helling kunnen optrekken.

De overbrengingsverhouding van de versnellingsbak is in de eerste versnelling 3,5:1. Dit betekent dat de as die uit de motor komt (de krukas) 3,5 omwentelingen maakt, als de as naar het differentieel 1 omwenteling maakt. In de tweede versnelling is de overbrenging 2:1, in de derde versnelling 1,4:1 en in de vierde versnelling 1:1.

In auto's met een zogenaamde 'over-drive' kan de cardanas méér omwentelingen per minuut maken dan de krukas. Bij snelheden vanaf 100 km/h op een vlakke weg wordt het motorvermogen dan nog beter benut.

De bestuurder kiest – afhankelijk van de situatie – een bepaalde versnelling. Via de versnellingspook wordt in de versnellingsbak de juiste tandwielcombinatie ingeschakeld. Als de bestuurder schakelt, verandert dus de overbrengingsverhouding in de versnellingsbak en *niet* in het differentieel.

In de vragen hieronder blijft de omtrek van één wiel 2,0 m.

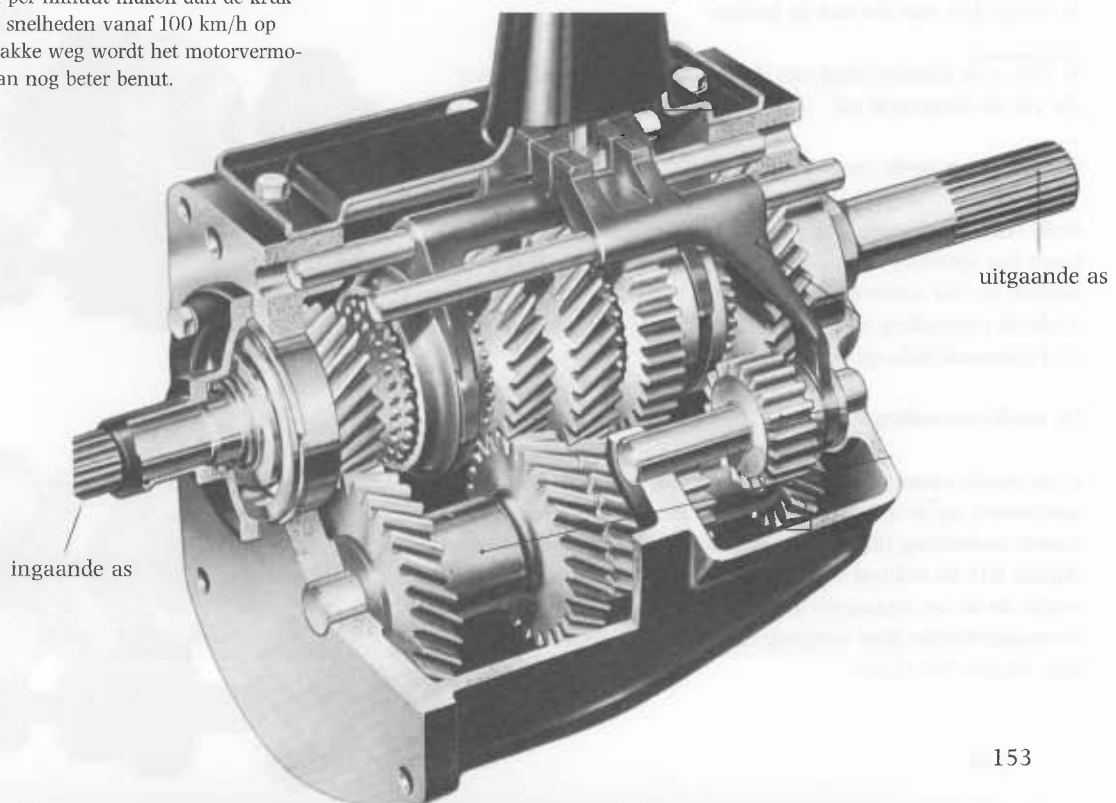
4 Bereken het aantal omwentelingen per minuut van het achterwiel, als de versnellingsbak in de tweede versnelling staat en de motor 3600 omw/min maakt. (Houd rekening met de overbrenging in het differentieel.)

5 Bereken de snelheid die de auto in die situatie zou hebben.

De versnellingsbak (figuur 76) bestaat uit een rechthoekig huis met een ingaande as (die van de motor komt) en een uitgaande as (die naar het differentieel toe gaat). In de figuren 77 t/m 82 zie je steeds de ingaande as linksboven en de uitgaande as rechtsboven afgebeeld.

Bovenop de bak zit de 'pook', waarmee wordt geschakeld. In de bak treffen we verder een hulpas en een groot aantal tandwielen aan (figuur 76).

fig. 76
Een versnellingsbak.



De 'vrijloop' van de versnellingsbak

In figuur 77 zie je de zogenaamde 'vrijloop' van de versnellingsbak. Alle tandwielen (behalve die voor de 'achteruit') grijpen nu in elkaar. De tandwielen op de uitgaande as kunnen vrij draaien op die as. (De as draait dus niet mee als de tandwielen draaien.) De tandwielen op de hulpas zitten wél vast.

In de figuren 77 tot en met 81 draaien de donkere assen; de lichte assen staan stil.

In de vrijloopstand draagt de ingaande as (linksboven) dus géén vermogen over op de uitgaande as (rechtsboven); vandaar de benaming 'vrij' stand. (De 'uitgaande as' rechtsboven geeft aansluiting met de cardanas.)

De eerste versnelling

Als een versnelling wordt ingeschakeld, wordt het tandwiel voor die versnelling op de uitgaande as vastgezet. Dit gebeurt door een *mof* die meedraait met de uitgaande as (maar wél op die as kan verschuiven) tegen dat tandwiel aan te drukken (figuur 82). Een 'mof' is een manchet, een stukje buis, dat over een as geschoven kan worden.

In de eerste versnelling grijpt een klein tandwiel op de hulpas (rechtsonder met omhoog gerichte witte pijl) in een groot tandwiel op de uitgaande as (het tandwiel vlak erboven met omlaag gerichte witte pijl).

6 Is het toerental van de uitgaande as groter of kleiner dan het toerental van de hulpas als de auto in de eerste versnelling rijdt? Licht je antwoord toe.

7 Wat kun je zeggen over de draairichting van de uitgaande as vergeleken met die van de hulpas?

8 Hoe is de draairichting van de ingaande as vergeleken met die van de uitgaande as?

De tweede en derde versnelling

In de tweede versnelling (figuur 79) zit het tandwiel links naast het tandwiel van de eerste versnelling vast op de uitgaande as. Het tandwiel links dáárvan komt vast te zitten als de derde versnelling wordt ingeschakeld. Dat is dus het tandwiel helemaal links op de uitgaande as.

De vierde versnelling

In de vierde versnelling (figuur 80) zet een mof géén van de tandwielen op de uitgaande as vast, maar zorgt hij voor een directe verbinding tussen de ingaande en de uitgaande as (figuur 83). In vaktaal heet deze schakeling de *prise-directe* omdat de in- en uitgaande as rechtstreeks zijn gekoppeld. Het vermogensverlies door wrijving tussen de tandwielen is in deze situatie het kleinst.

fig. 77
De 'vrijloop' van de versnellingsbak.

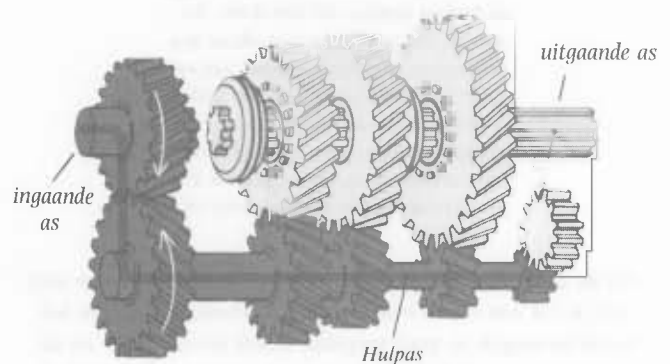


fig. 78
De eerste versnelling.

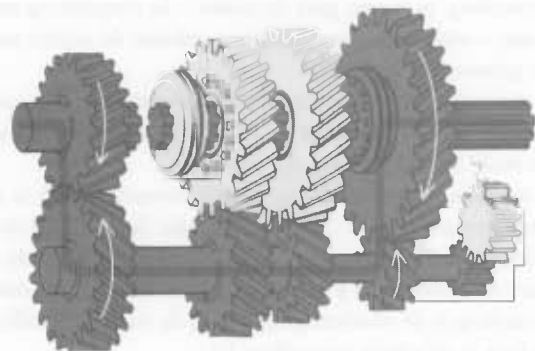


fig. 79
De tweede versnelling.

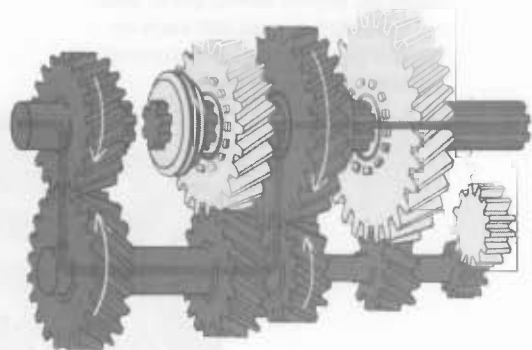
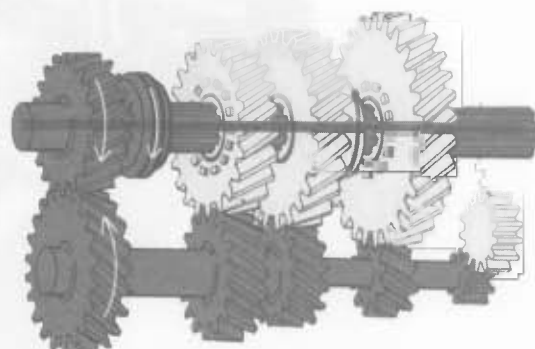


fig. 80
De vierde versnelling.



De 'achteruit'

In figuur 81 staat de versnellingsbak in de 'achteruit'. Het tandwiel op de hulpas drijft het tandwiel op de uitgaande as niet rechtstreeks aan; er zit een extra tandwiel tussen.

9 Waarom is dat extra tandwiel noodzakelijk?

10 Bekijk nu de tandwielen uiterst rechts op de hulpas en de uitgaande as.

Wat kun je zeggen over het toerental van de uitgaande as in deze versnelling, vergeleken met de toerentallen van de uitgaande as in de vier voorwaartse versnellingen?

11 Een auto rijdt in de eerste versnelling. Kun je hem nu tijdens het rijden in zijn 'achteruit' schakelen? Licht je antwoord toe.

De tandwielen die worden gebruikt bij de achteruit hebben een zogenaamde rechte vertanding. Dit soort tandwielen is goedkoper maar werkt minder geruisloos dan tandwielen met een zogenaamde schuine vertanding. Als een auto achteruit rijdt, is het geluid van de (rechte) tandwielen duidelijk te horen. Tandwielen met een schuine vertanding worden gebruikt voor de versnellingen vooruit. In de figuren 77 tot en met 80 is het verschil tussen de rechte en de schuine vertanding goed te zien.

Een ander bekend ratelend geluid treedt op als er verkeerd wordt geschakeld. De versnellingsbak ratelt of kraakt dan.

12 Kan dit geluid veroorzaakt worden doordat de vertandingen van twee tandwielen niet goed in elkaar grijpen? Verklaar je antwoord.

Het geluid ontstaat als de schakelmof tegen een tandwiel wordt gedrukt. Op de voorkant van elk tandwiel op de uitgaande as zit een ring met gaten (zie bijvoorbeeld figuur 80). Op de schakelmof zitten nokken die in de gaten van het tandwiel passen. Als het toerental van de mof gelijk is aan het toerental van het tandwiel, glijden de nokken van de mof gemakkelijk in de ring met gaten op het tandwiel.

fig. 81
De 'achteruit'.

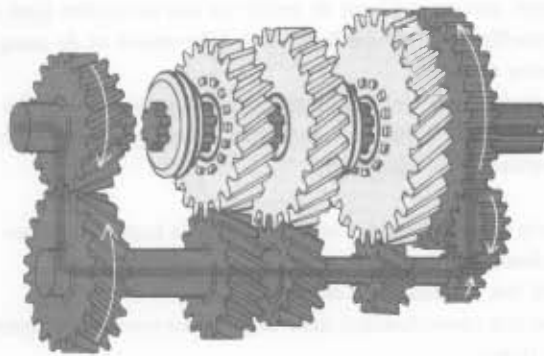
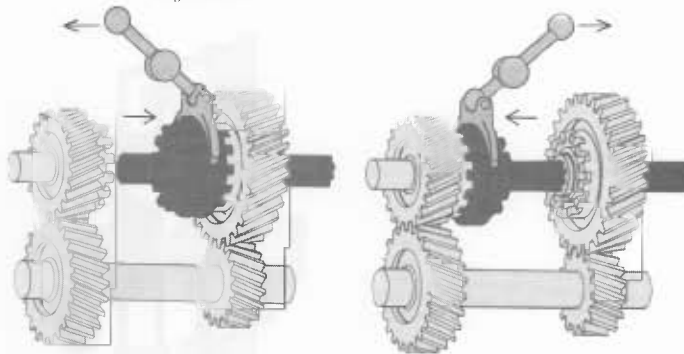


fig. 82
De verschuifbare schakelmof zorgt hier voor een directe verbinding tussen de in- en uitgaande as.



Als de toerentallen verschillend zijn en de mof wordt tóch tegen het tandwiel gedrukt, ratelen de nokken langs de gaten. Dit komt vooral voor bij zogenaamde 'niet-gesynchroniseerde' versnellingsbakken.

In moderne versnellingsbakken zit een zogenaamde synchromesh-inrichting, die ervoor zorgt dat de mof en het tandwiel bij het overschakelen hetzelfde toerental hebben. Het in elkaar schuiven verloopt dan geruisloos.

De koppeling

Bij de bediening van de versnellingsbak speelt de koppeling (figuur 83) een grote rol. Dit onderdeel bevindt zich tussen de motor en de versnellingsbak en bestaat uit drie delen:

- het vliegwiel;
- de koppelingsplaat;
- de zogenaamde drukgroep.

Op de uitgaande as van de motor, de krukas, is een wiel met een grote massa gemonteerd: het vliegwiel. Het vormt een onderdeel van de koppeling en heeft als hoofdtak om de

stotende gang van de krukas te stabiliseren. De krukas wordt namelijk (via de zuigers en de zuigerstangen) in beweging gezet doordat in de cilinders telkens een mengsel van lucht en benzinedamp ontploft. (Over dieselmotoren spreken we hier niet.) De grote massa van het vliegwiel vangt die stoten op waardoor de krukas gelijkmatig draait.

Het vliegwiel en de ingaande as van de versnellingsbak kunnen via de koppelingsplaat worden verbonden of ontkoppeld. De koppelingsplaat is een met speciaal materiaal beklede schijf die door sterke veren tegen het vliegwiel kan worden

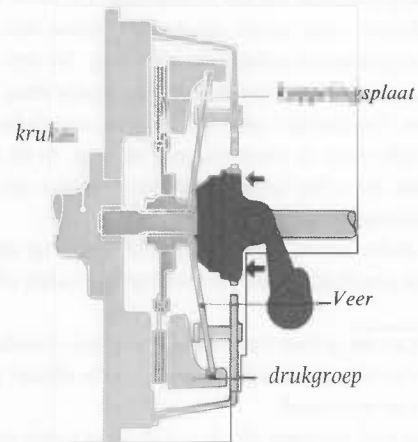
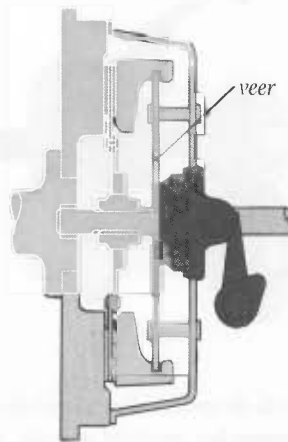
gedrukt. Als je het koppelingspedaal (het meest linkse in de auto) indrukt, hef je de veerdruk op, zodat het vliegwiel vrij van de koppelingsplaat draait. Dan is de verbinding verbroken tussen aan de ene kant de motor en aan de andere kant de versnellingsbak, de cardanas, het differentieel en de aangedreven wielen.

De *drukgroep* is een hefboomsysteem, voorzien van sterke veren, dat de koppelingsplaat naar het vliegwiel toe of ervan af beweegt (zie figuur 83).

Het is in twee situaties belangrijk om de koppeling te gebruiken:

- bij het wegrijden uit stilstand;
- bij het overschakelen naar een andere versnelling tijdens het rijden.

fig. 83
De constructie van een koppeling.



Voordat de motor wordt gestart moet de bestuurder de versnellingsbak in zijn vrijloop schakelen; anders zou de auto meteen schoksgewijs gaan rijden. Nadat de motor is gestart, drukt de bestuurder het koppelingspedaal in en schakelt de 'eerste versnelling' in. De wielen worden nu nog steeds niet aangedreven. Door nu een beetje gas te geven en tegelijkertijd het koppelingspedaal langzaam te laten opkomen, wordt het draaiende vliegwiel geleidelijk en soepel doorverbonden met de ingaande as van de versnellingsbak. Nu begint de auto rustig te rijden. Als de snelheid genoeg is toegenomen, schakelt de bestuurder over naar de volgende versnelling. De bestuurder kan autorijden omdat hij weet hoe hij – onder meer – de versnellingsbak moet bedienen. Als het goed is weet jij nu niet alleen hoe je een versnellingsbak bedient, maar ook hoe hij werkt.

