

Hoofdstuk 4 Krachtwetten

4.1 De tweede wet van Newton

Opgave 1

► Of er sprake is van een versnelling kun je op twee manieren beredeneren.

Er is sprake van een versnelling als:

- 1 de snelheid van het voorwerp verandert van grootte of van richting.
- 2 de resulterende kracht op het voorwerp niet gelijk is aan 0 N.

- a De snelheid van de fietser neemt af als je zonder te trappen een heuvel oprijdt.
Er is dus sprake van een (negatieve) versnelling.
- b De resulterende kracht is 0 N.
Er is dus geen sprake van een versnelling.
- c Het glas blijft op zijn plaats. De snelheid verandert niet.
Er is dus geen sprake van een versnelling.
- d Het glas valt en de snelheid van het glas neemt toe.
Er is dus sprake van een versnelling.

Opgave 2

- a ► Dat de voorwaartse kracht minimaal $1,0 \cdot 10^4$ N is toon je aan met de tweede wet van Newton en de krachten in de bewegingsrichting.

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

$$F_{\text{res}} = 1350 \times 7,5$$

$$F_{\text{res}} = 1,012 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{res}} = 1,0 \cdot 10^4 \text{ N.}$$

In de bewegingsrichting werken de voorwaartse kracht en tegenwerkende krachten.

$F_{\text{voorwaarts}}$ en F_{tegen} zijn tegengesteld gericht.

$$F_{\text{res}} = F_{\text{voorwaarts}} - F_{\text{tegen}}$$

Als $F_{\text{tegen}} = 0$ N, is de voorwaartse kracht gelijk aan de resulterende kracht en dus $1,0 \cdot 10^4$ N.

Als $F_{\text{tegen}} > 0$ N, dan moet de voorwaartse kracht groter zijn dan $1,0 \cdot 10^4$ N om de versnelling van $7,5 \text{ m s}^{-2}$ te bereiken.

Dus de voorwaartse kracht is minimaal $1,0 \cdot 10^4$ N.

- b ► De massa m bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten in de bewegingsrichting.

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

$$a = 6,5 \text{ m s}^{-2}$$

$$F_{\text{res}} = F_{\text{voorwaarts}} - F_{\text{tegen}}$$

De versnelling is maximaal als er geen tegenwerkende krachten zijn: $F_{\text{tegen}} = 0$ N.

$$F_{\text{res}} = F_{\text{voorwaarts}} = 1,0 \cdot 10^4 \text{ N} \quad (\text{zie vraag a})$$

► Invullen van F_{res} en a in $F_{\text{res}} = m \cdot a$:

$$1,0 \cdot 10^4 = m \cdot 6,5$$

$$m = \frac{1,0 \cdot 10^4}{6,5} = 1,538 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$\text{Afgerond: } m = 1,5 \cdot 10^3 \text{ kg.}$$

Opgave 3

- ► De resulterende kracht F_{res} op Ali met zijn fiets bereken je met de tweede wet van Newton.

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

$$F_{\text{res}} = 72 \times 2,3$$

$$F_{\text{res}} = 165,6 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{res}} = 1,7 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

- ► De voorwaartse kracht op Ali bereken je met de krachten in de bewegingsrichting.

In de bewegingsrichting werken de voorwaartse kracht en de tegenwerkende kracht.

$F_{\text{voorwaarts}}$ en F_{tegen} zijn tegengesteld gericht.

$$F_{\text{res}} = F_{\text{voorwaarts}} - F_{\text{tegen}}$$

$$F_{\text{res}} = 165,6 \text{ N}$$

$$F_{\text{tegen}} = 20 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } 165,6 = F_{\text{voorwaarts}} - 20$$

$$F_{\text{voorwaarts}} = 185,6 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{voorwaarts}} = 1,9 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

Opgave 4

- a ► De versnelling a van de boot bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten in de bewegingsrichting.

$$F_{\text{res,hor}} = m \cdot a$$

$$m = 1031 \text{ kg}$$

In de bewegingsrichting werken de voorwaartse kracht $F_{\text{voorwaarts}}$ en wrijvingskracht F_w .

$F_{\text{voorwaarts}}$ en F_w en zijn tegengesteld gericht.

$$F_{\text{res,hor}} = F_{\text{voorwaarts}} - F_w$$

$$F_{\text{voorwaarts}} = 6,01 \text{ kN} = 6,01 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_w = 658 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{res,hor}} = 6,01 \cdot 10^3 - 658 = 5352 \text{ N}$$

- Invullen van $F_{\text{res,hor}}$ en m in $F_{\text{res,hor}} = m \cdot a$:

$$5352 = 1031 \times a$$

$$a = \frac{5352}{1031} = 5,1911 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{Afgerond: } a = 5,19 \text{ m s}^{-2}.$$

- b Fase 1: De grootte van de resulterende kracht **neemt toe**.
De richting van de resulterende kracht is naar **rechts**.
Fase 2: De grootte van de resulterende kracht **blijft gelijk**.
De richting van de resulterende kracht is naar **rechts**.
Fase 3: De grootte van de resulterende kracht **neemt af**.
De richting van de resulterende kracht is naar **rechts**.

Toelichting

In fase 1 loopt de raaklijn steeds steiler: de versnelling neemt toe en dat betekent volgens de tweede wet van Newton dat de resulterende kracht toeneemt. De versnelling is positief, dus is de richting van de resulterende kracht dezelfde als de bewegingsrichting en dat is naar rechts.

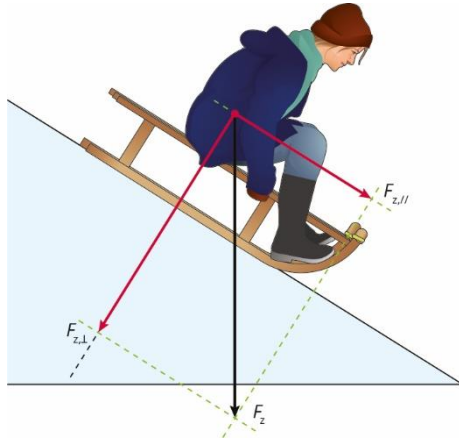
In fase 2 is de raaklijn een rechte lijn. De versnelling verandert niet, dus blijft de resulterende kracht gelijk. De versnelling is positief, dus is de richting van de resulterende kracht dezelfde als de bewegingsrichting en dat is naar rechts.

In fase 3 loopt de raaklijn steeds minder steil: de versnelling neemt af, dus de resulterende kracht neemt af. De versnelling is positief, dus is de richting van de resulterende kracht dezelfde als de bewegingsrichting en dat is naar rechts.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 5

- a ► De component van de zwaartekracht $F_{z,\parallel}$ langs de helling bepaal je uit de lengte van de pijl van $F_{z,\parallel}$ en de krachtschaal.
 ► De component van de zwaartekracht $F_{z,\parallel}$ construeer je door de zwaartekracht te ontbinden.
 Zie de uitwerking in figuur 4.1.

**Figuur 4.1**

- De krachtschaal bepaal je met de lengte van de pijl van F_z en de grootte van de zwaartekracht.
 $F_z = m \cdot g = 41 \times 9,81 = 402 \text{ N}$

De krachtschaal mag je zelf kiezen. In figuur 4.1 is een krachtschaal van $1,0 \text{ cm} \triangleq 100 \text{ N}$ gekozen. Omdat F_z gelijk is aan 402 N , is de lengte van de pijl van de zwaartekracht gelijk aan $4,0 \text{ cm}$.

In figuur 4.1 meet je dat de lengte van de pijl $F_{z,\parallel}$ gelijk is aan $2,1 \text{ cm}$.

De krachtschaal is $1,0 \text{ cm} \triangleq 100 \text{ N}$.

$$F_{z,\parallel} = 2,1 \times 100 = 210,0 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{z,\parallel} = 2,1 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

- b ► De tegenwerkende kracht F_{tegen} die Margreet met haar slee ondervindt, bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten evenwijdig aan de helling.

$$F_{\text{res},\parallel} = m \cdot a$$

$$m = 41 \text{ kg}$$

$$a = 3,0 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{res},\parallel} = 41 \times 3,0 = 123 \text{ N}$$

Langs de helling werken twee krachten: $F_{z,\parallel}$ en F_{tegen} .

$F_{z,\parallel}$ is langs de helling naar beneden gericht in de bewegingsrichting.

F_{tegen} is tegen de bewegingsrichting en dus evenwijdig aan de helling omhoog gericht.

$$F_{\text{res},\parallel} = F_{z,\parallel} - F_{\text{tegen}}$$

$$F_{z,\parallel} = 2,1 \cdot 10^2 \text{ N} \quad (\text{zie vraag a})$$

- Invullen van $F_{\text{res},\parallel}$ en $F_{z,\parallel}$ in de formule $F_{\text{res},\parallel} = F_{z,\parallel} - F_{\text{tegen}}$:

$$123 = 2,1 \cdot 10^2 - F_{\text{tegen}}$$

$$F_{\text{tegen}} = 2,1 \cdot 10^2 - 1,23 \cdot 10^2 = 0,87 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{tegen}} = 9 \cdot 10^1 \text{ N.}$$

(uitkomst in 1 significant cijfer; volgens de regel bij optellen rond je af op het minste aantal decimalen, waarbij de machten van 10 gelijk moeten zijn.)

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 6

- a De oppervlakte onder de grafiek in een (v,t) -diagram geeft de verplaatsing Δx . Je moet dus de oppervlakte onder de grafiek in figuur 7 bepalen.

- b ► De resulterende kracht F_{res} bereken je met de tweede wet van Newton.

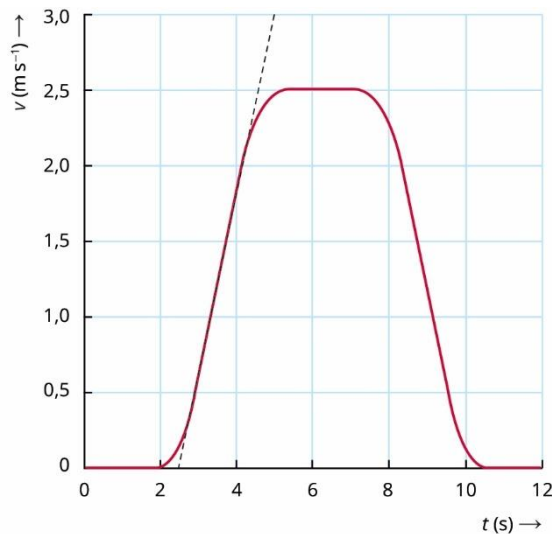
$$F_{\text{res}} = m \cdot a$$

$$m = 53 + 205 = 258 \text{ kg}$$

- De versnelling a op het eerste tijdstip waarop de lift met $v = 1,0 \text{ m s}^{-1}$ omhoog gaat, bepaal je uit de steilheid van de raaklijn aan de grafiek in het (v,t) -diagram.

$$a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

In figuur 4.2 is op $t = 3,3 \text{ s}$ de raaklijn aan de grafiek getekend.



Figuur 4.2

Je gebruikt de coördinaten van twee punten op de raaklijn die ver uit elkaar liggen en gemakkelijk af te lezen zijn. Bijvoorbeeld in figuur 4.2 de punten bij $v = 0 \text{ m s}^{-1}$ en $v = 3,0 \text{ m s}^{-1}$.

$$a = \frac{3,0 - 0,0}{4,9 - 2,3} = 1,15 \text{ m s}^{-2}$$

- Invullen van m en a in de formule $F_{\text{res}} = m \cdot a$:

$$F_{\text{res}} = 258 \times 1,15 = 2,967 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{res}} = 3,0 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

- c ► De kracht F_{kabel} die de liftkabel uitoefent bereken je met de resulterende kracht op de lift.

Op de lift werken de kracht van de liftkabel F_{kabel} en de zwaartekracht F_z .

F_z is naar beneden gericht.

De lift gaat omhoog. Dan moet F_{kabel} naar boven zijn gericht.

$$F_{\text{res}} = F_{\text{kabel}} - F_z$$

$$F_{\text{res}} = 3,0 \cdot 10^2 \text{ N} \quad (\text{zie vraag b})$$

$$F_z = m \cdot g = 258 \times 9,81 = 2,531 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } 3,0 \cdot 10^2 = F_{\text{kabel}} - 2,531 \cdot 10^3$$

$$F_{\text{kabel}} = 2,831 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{kabel}} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- d ► Dat de kracht van de liftkabel F_{kabel} op het tweede tijdstip kleiner is, leg je uit met de tweede wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

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

$$F_{\text{res}} = F_{\text{kabel}} - F_z \quad (\text{zie vraag c})$$

In de grafiek in figuur 7 zie je dat op het tweede tijdstip de snelheid afneemt. Dus is de versnelling negatief. Uit $F_{\text{res}} = m \cdot a$ volgt dan dat de resulterende kracht negatief is.

Uit $F_{\text{res}} = F_{\text{kabel}} - F_z$ volgt dan dat F_{kabel} kleiner is dan F_z .

Op het eerste tijdstip is de versnelling positief en de resulterende kracht dus ook. Dan is F_{kabel} groter dan F_z .

De zwaartekracht F_z is in beide gevallen hetzelfde. Dus is F_{kabel} op het tweede tijdstip kleiner dan op het eerste tijdstip.

Opgave 7

- De versnelling a van een sleetje bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten in de horizontale richting.

$$F_{\text{res,hor}} = m \cdot a$$

In de horizontale richting werken twee krachten: $F_{\text{trek,hor}}$ en F_w .

$F_{\text{trek,hor}}$ is gericht in de bewegingsrichting.

F_w is tegen de bewegingsrichting in.

$$F_{\text{res,hor}} = F_{\text{trek,hor}} - F_w$$

$$\text{Dus } F_{\text{trek,hor}} - F_w = m \cdot a$$

m is voor elk sleetje gelijk.

Vergelijken van de situatie in figuur 8a met die in figuur 8b.

De horizontale componenten $F_{\text{trek,hor}}$ van de trekkracht zijn in beide figuren even groot. De wrijvingskracht is in figuur 8b groter.

Dus is $F_{\text{res,hor}}$ in figuur 8a groter dan in figuur 8b.

- Invullen van de veranderingen van $F_{\text{res,hor}}$ en m in de formule $F_{\text{res,hor}} = m \cdot a$:

$$(F_{\text{res,hor}} \text{ wordt groter}) = (m \text{ blijft gelijk}) \cdot a$$

De versnelling is in figuur 8b dus kleiner dan in figuur 8a: $a_b < a_a$.

Vergelijken van de situatie in figuur 8a met die in figuur 8c.

In figuur 8c is de hoek van het touw met de horizontaal kleiner dan in figuur 8a. Daardoor is de horizontale component $F_{\text{trek,hor}}$ in figuur 8c groter dan in figuur 8a. De wrijvingskracht is in beide figuren even groot.

Dus is $F_{\text{res,hor}}$ in figuur 8c groter dan in figuur 8a.

- Invullen van de veranderingen van $F_{\text{res,hor}}$ en m in de formule $F_{\text{res,hor}} = m \cdot a$:

$$(F_{\text{res,hor}} \text{ wordt groter}) = (m \text{ blijft gelijk}) \cdot a$$

De versnelling in figuur 8a is dus kleiner dan in figuur 8c: $a_a < a_c$.

De volgorde van de sleetjes met toenemende versnelling is figuur b, a, c.

4.2 Luchtweerstand bij bewegingen

Opgave 8

a Zie de uitwerking in figuur 4.4.

- a
- 1 De snelheid op $t = 0$ s is **kleiner dan** de snelheid op $t = 8$ s.
 - 2 De versnelling op $t = 0$ s is **groter dan** de versnelling op $t = 8$ s.
 - 3 De resulterende kracht op $t = 0$ s is **groter dan** de resulterende kracht op $t = 8$ s.
 - 4 De luchtweerstandskracht op $t = 0$ s is **kleiner dan** de luchtweerstandskracht op $t = 8$ s.

Toelichting

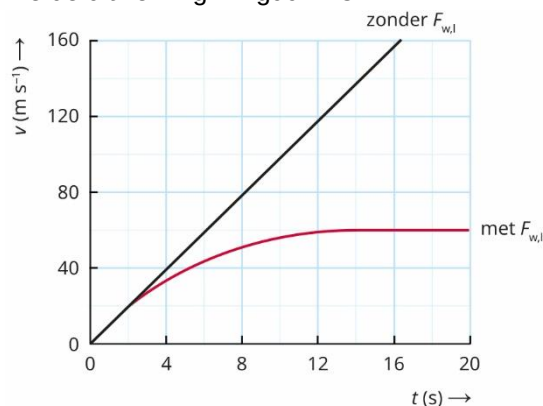
De snelheid lees je af in het (v,t) -diagram van figuur 13.

De versnelling bepaal je met de steilheid van de grafiek in een (v,t) -diagram: hoe steiler de grafiek, hoe groter de versnelling.

De resulterende kracht is volgens de tweede wet van Newton recht evenredig met de versnelling.

De luchtweerstandskracht hangt af van de snelheid: hoe groter de snelheid, hoe groter de luchtweerstandskracht is.

- b Als er geen luchtweerstandskracht werkt, dan is de zwaartekracht de enige kracht op de parachutist. Hij voert dan een vrije val uit met $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$. Dus de grafiek in een (v,t) -diagram is de lijn waarbij de steilheid gelijk is aan $9,81 \text{ m s}^{-2}$.
Zie de uitwerking in figuur 4.3.



Figuur 4.3

Opgave 9

- a ► De snelheid v_{eind} waarmee de kist de grond raakt, bereken je met de formule voor de versnelling.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}}}{\Delta t}$$

$a = g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$, want er is geen luchtweerstandskracht.

$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$, omdat de helikopter stilhangt.

$\Delta t = 10,3 \text{ s}$

Invullen levert: $9,81 = \frac{v_{\text{eind}} - 0}{10,3}$

$v_{\text{eind}} = 9,81 \times 10,3 = 101,04 \text{ m s}^{-1}$

Afgerond: $v_{\text{eind}} = 101 \text{ m s}^{-1}$.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- b ► Dat de luchtweerstandskracht gelijk is aan de zwaartekracht beredeneer je met de eerste wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

Op de kist werken twee krachten: de zwaartekracht en de luchtweerstandskracht. Als de snelheid constant is, dan is volgens de eerste wet van Newton de resulterende kracht gelijk aan 0 N. De twee krachten zijn dan even groot en tegengesteld gericht.

- c ► De eenheid van k leid je af met de gegeven formule $F_{w,l} = k \cdot v^2$ en de eenheden van de andere grootheden.

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

$$[F_{w,l}] = \text{N} = \text{kg m s}^{-2} \text{ (zie Binas tabel 4 bij kracht)}$$

$$[v] = \text{m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } \text{kg m s}^{-2} = [k] \cdot (\text{m s}^{-1})^2$$

$$\text{kg m s}^{-2} = [k] \cdot \text{m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$[k] = \frac{\text{kg m s}^{-2}}{\text{m}^2 \text{ s}^{-2}} = \text{kg m}^{-1}$$

De eenheid van k , uitgedrukt in de grondeenheden van het SI, is dus kg m^{-1} .

- d ► De snelheid van de kist bereken je met de gegeven formule.

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

$$k = 0,65 \text{ kg m}^{-1}$$

$$F_{w,l} = F_z \quad (\text{zie vraag b})$$

$$F_z = m \cdot g = 83 \times 9,81 = 814 \text{ N}$$

- Invullen van k en $F_{w,l}$ in de formule $F_{w,l} = k \cdot v^2$:

$$814 = 0,65 \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{814}{0,65}} = 35,38 \text{ m s}^{-1}$$

Afgerond: $v = 35 \text{ m s}^{-1}$.

Opgave 10

- a ► Dat k groter is bij een grotere bol beredeneer je met de gegeven formule.

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

$F_{w,l}$ is groter bij een grotere bol, omdat de bol dan meer botsingen met de deeltjes in de lucht heeft.

Is de snelheid v hetzelfde en de luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ groter, dan is k dus groter.

- b ► Welke grafiek bij welke bol hoort beredeneer je met de eerste wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

$F_{\text{res}} = 0 \text{ N}$, als de snelheid constant is. Dat is het geval als de eindsnelheid wordt bereikt.

Op een bol werkt de luchtweerstandskracht in de richting omhoog: $F_{w,l} = k \cdot v^2$.

Op een bol werkt de zwaartekracht in de richting omlaag. $F_z = m \cdot g$.

$F_{w,l} = F_z$, als de eindsnelheid wordt bereikt.

$$k \cdot v^2 = m \cdot g$$

g is constant.

Vergelijken van bol a met bol b:

$k_a = k_b$, want bol a en bol b zijn even groot.

m_a is kleiner dan m_b .

Invullen van de verschillen in de formule $k \cdot v^2 = m \cdot g$:

$$(k_a \text{ is gelijk aan } k_b) \cdot v^2 = (m_a \text{ is kleiner dan } m_b) \cdot (g \text{ is gelijk})$$

Daardoor krijgt bol a een kleinere eindsnelheid dan bol b.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Vergelijken van bol a met bol c:

k_a is kleiner dan k_c , want bol a is kleiner dan bol c.

m_a is gelijk aan m_c .

Invullen van de verschillen in de formule $k \cdot v^2 = m \cdot g$:

$(k_a \text{ is kleiner dan } k_c) \cdot v^2 = (m_a \text{ is gelijk aan } m_c) \cdot (g \text{ is gelijk})$

Dus bol a krijgt een grotere eindsnelheid dan bol c.

Grafiek I hoort bij bol b, grafiek II hoort bij bol a en grafiek III hoort bij bol c.

Opgave 11

- a ► De massa m van de parachutist bepaal je met de formule voor de zwaartekracht.

$$F_z = m \cdot g$$

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

- De zwaartekracht F_z bepaal je met de eerste wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

Op de parachutist werken twee krachten: de zwaartekracht en de luchtweerstandskracht. Als de snelheid constant is, dan is volgens de eerste wet van Newton de resulterende kracht gelijk aan 0 N.

De twee krachten zijn dan even groot en tegengesteld gericht.

$$F_{w,l} = 0,72 \text{ kN (aflezen in de grafiek van figuur 17 bij constante snelheid)}$$

$$F_z = F_{w,l} = 0,72 \text{ kN} = 0,72 \cdot 10^3 \text{ N}$$

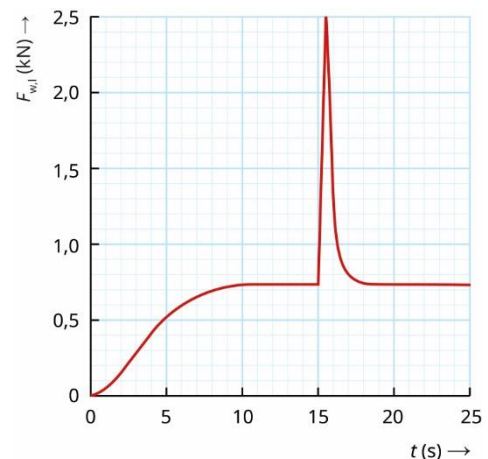
- Invullen van F_z en g in de formule $F_z = m \cdot g$:

$$0,72 \cdot 10^3 = m \cdot 9,81$$

$$m = \frac{0,72 \cdot 10^3}{9,81} = 73,39 \text{ kg}$$

Afgerond: $m = 73 \text{ kg}$.

- b ► Zie de uitwerking in figuur 4.4.



Figuur 4.4

Toelichting

Als de parachutist zijn parachute opent, neemt de luchtweerstandskracht zeer snel toe totdat de parachute helemaal geopend is. Omdat de luchtweerstandskracht toeneemt, is de resulterende kracht niet meer 0 N. De snelheid neemt daardoor af, zoals je ziet in het (v,t) -diagram van figuur 16.

Bij een lagere snelheid is ook de luchtweerstandskracht kleiner. Dit gaat door totdat de luchtweerstandskracht weer gelijk is aan de zwaartekracht. Daarna is de luchtweerstandskracht constant en blijft ook de snelheid constant. Dit is na 18 s het geval, zoals je ziet in figuur 16.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 12

- a ► Dat de luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ kleiner is dan de zwaartekracht, leg je uit met de tweede wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

$$F_{\text{res,vert}} = m \cdot a$$

De luchtweerstandskracht en de zwaartekracht zijn verticaal en tegengesteld gericht.

$$F_{\text{res,vert}} = F_z - F_{w,l}$$

$$\text{Dus } F_z - F_{w,l} = m \cdot a$$

m blijft hetzelfde.

F_z blijft hetzelfde, want m blijft hetzelfde.

- De versnelling a bereken je met de steilheid van de raaklijn aan de grafiek in het (v,t) -diagram vlak voordat de basejumper zijn parachute opent.

$$a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

In het diagram van figuur 19 is de steilheid van de raaklijn aan de grafiek in het (v,t) -diagram op $t = 2,5$ s, vlak voordat de basejumper zijn parachute opent, groter dan 0. De versnelling a is dus groter dan 0 m s^{-2} .

- Invullen van de veranderingen van m , a en F_z in de formule $F_z - F_{w,l} = m \cdot a$:

$$(F_z \text{ blijft gelijk}) - F_{w,l} = (m \text{ blijft gelijk}) \cdot (a \text{ groter dan } 0)$$

Dus $F_z - F_{w,l}$ is groter dan 0 en daardoor is $F_{w,l}$ kleiner dan F_z .

- b ► De versnelling op $t = 3,0$ s bepaal je uit de steilheid van de raaklijn aan de grafiek in het (v,t) -diagram op $t = 3,0$ s.

$$a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

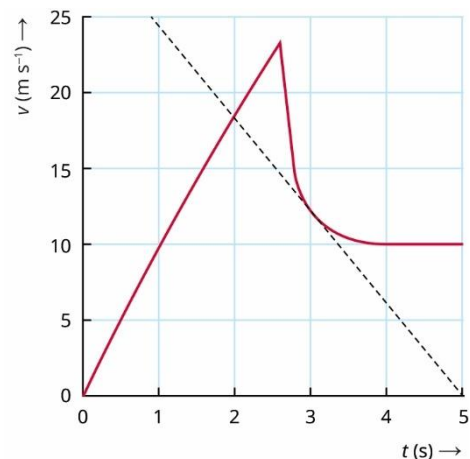
In figuur 4.5 is op $t = 3,0$ s de raaklijn aan de grafiek getekend.

Je gebruikt de coördinaten van twee punten op de raaklijn die ver uit elkaar liggen en gemakkelijk af te lezen zijn.

Bijv. in figuur 4.5 de punten bij $v = 25 \text{ m s}^{-1}$ en 0 m s^{-1} .

$$\text{Invullen levert: } a = \frac{0,0 - 25,0}{5,0 - 0,9} = -6,09 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{Afgerond: } a = -6,1 \text{ m s}^{-2}.$$



Figuur 4.5

- c ► De luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ op $t = 3,0$ s bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

$$F_z - F_{w,l} = m \cdot a \quad (\text{zie vraag a})$$

$$F_z = m \cdot g = 82 \times 9,81 = 8,04 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$m = 82 \text{ kg}$$

$$a = -6,1 \text{ m s}^{-2} \quad (\text{zie vraag b})$$

$$\text{Invullen levert: } 8,04 \cdot 10^2 - F_{w,l} = 82 \times (-6,1)$$

$$F_{w,l} = 8,04 \cdot 10^2 + 5,00 \cdot 10^2 = 13,04 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{w,l} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ N}.$$

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 13

- Of de luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ verwaarloosbaar is, beredeneer je met de tweede wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

$$F_{\text{res}} = m \cdot a \text{ en } F_{\text{res}} = F_z - F_{w,l}$$

Als de luchtweerstandskracht verwaarloosbaar is, dan werkt alleen de zwaartekracht op het voorwerp.

$$F_{\text{res}} = F_z$$

Volgens de tweede wet van Newton is er dan een versnelling (de valversnelling g) en blijft de snelheid steeds toenemen.

- De snelheid bepaal je uit de steilheid van de raaklijn aan de (s,t) -grafiek.

In de eerste 8 seconden neemt de steilheid toe.

Na 8 seconden is de grafiek een rechte lijn. De snelheid blijft dan gelijk.

De snelheid neemt dus niet meer toe.

Dus is de luchtweerstandskracht niet te verwaarlozen.

Opgave 14

- a ► Dat er een derde kracht op de ballon moet werken, beredeneer je met de tweede wet van Newton en de krachten op de ballon in de verticale richting.

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

De ballon gaat versneld omhoog. Dus is de resulterende kracht F_{res} omhoog gericht.

De richting van de zwaartekracht F_z en de richting van de luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ zijn beide omlaag.

Er moet dus nog een derde, naar boven gerichte kracht zijn.

- b ► De versnelling a van de ballon op $t = 0$ s bereken je met de tweede wet van Newton.

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

$$m = 135 \text{ g} = 0,135 \text{ kg}$$

- De resulterende kracht F_{res} bereken je met de drie krachten die werken op de ballon.

$$F_{\text{res}} = F_{\text{opwaarts}} - F_z - F_{w,l}$$

$$F_{\text{opwaarts}} = 3,6 \text{ N}$$

$$F_z = m \cdot g = 0,135 \times 9,81 = 1,324 \text{ N}$$

- De luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ op $t = 0$ s beredeneer je met de snelheid van de ballon.

$F_{w,l}$ hangt af van de snelheid. Op $t = 0$ s is de snelheid van de ballon 0 m s^{-1} .

De luchtweerstandskracht is dan 0 N .

- Invullen van F_{opwaarts} , F_z en $F_{w,l}$ in de formule $F_{\text{res}} = F_{\text{opwaarts}} - F_z - F_{w,l}$:

$$F_{\text{res}} = 3,6 - 1,324 - 0$$

$$F_{\text{res}} = 2,28 \text{ N}$$

- Invullen van F_{res} en m in de formule $F_{\text{res}} = m \cdot a$:

$$2,28 = 0,135 \times a$$

$$a = \frac{2,28}{0,135} = 16,89 \text{ m s}^{-2}$$

Afgerond: $a = 17 \text{ m s}^{-2}$.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

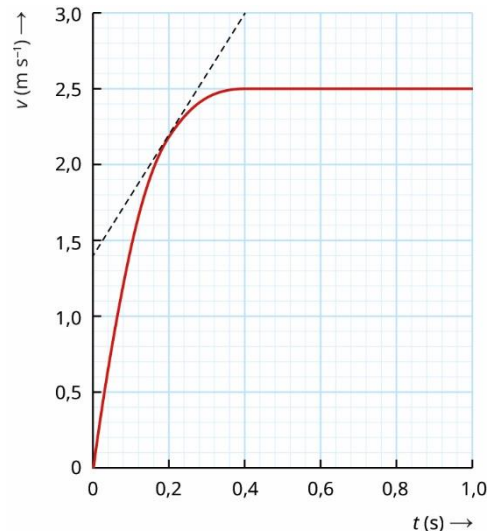
- c – ► De versnelling van de ballon op $t = 0,2$ s bepaal je uit de steilheid van de raaklijn aan de grafiek in het (v,t) -diagram op $t = 0,2$ s.

$$a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

In figuur 4.6 is op $t = 0,2$ s de raaklijn aan de grafiek getekend.

Je gebruikt de coördinaten van twee punten op de raaklijn die ver uit elkaar liggen en gemakkelijk af te lezen zijn. Bijvoorbeeld in figuur 4.6 de punten bij $t = 0,0$ s en $t = 0,4$ s.

$$a = \frac{3,0 - 1,4}{0,40 - 0} = 4,00 \text{ m s}^{-2}$$



Figuur 4.6

- ► De grootte van de luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ op $t = 0,2$ s bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

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

$$m = 135 \text{ g} = 0,135 \text{ kg}$$

$$a = 4,00 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{res}} = 0,135 \times 4,00 = 0,5400 \text{ N}$$

Op de ballon werken drie krachten: F_{opwaarts} , F_z en $F_{w,l}$

$$F_{\text{res}} = F_{\text{opwaarts}} - F_z - F_{w,l}$$

$$F_{\text{res}} = 0,5400 \text{ N}$$

$$F_{\text{opwaarts}} = 3,6 \text{ N}$$

$$F_z = 1,324 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,5400 = 3,6 - 1,324 - F_{w,l}$$

$$F_{w,l} = 1,736 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{w,l} = 1,7 \text{ N.}$$

- d – ► De luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ op $t = 1,0$ s bepaal je met de eerste wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

$$F_{\text{res}} = F_{\text{opwaarts}} - F_z - F_{w,l} \quad (\text{zie vraag c})$$

$$F_{\text{res}} = 0 \text{ N, want de snelheid op } t = 1,0 \text{ s is constant.}$$

$$F_{\text{opwaarts}} = 3,6 \text{ N}$$

$$F_z = 1,324 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } 0 = 3,6 - 1,324 - F_{w,l}$$

$$F_{w,l} = 2,276 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{w,l} = 2,3 \text{ N.}$$

4.3 De derde wet van Newton

Opgave 15

- Je voelt dat de potloodpunt ook tegen je duim drukt.
- Je ziet dat de huid van je duim wordt vervormd door de punt van het potlood.

Opgave 16

- Of en hoe het karretje gaat rijden als de ventilator wordt ingeschakeld, leg je uit met de krachten die werken op het karretje met de ventilator.

De ventilator blaast lucht naar rechts. Dat betekent dat de ventilator een kracht naar rechts uitoefent op de lucht.

Volgens de derde wet van Newton oefent de lucht dan een even grote, naar links gerichte kracht uit op de ventilator.

Omdat de rolweerstandskracht op het karretje verwaarloosbaar klein is, gaat het karretje naar links rijden.

Opgave 17

- a
 - 1 Op de maan is de massa **gelijk aan** de massa op aarde.
 - 2 Op de maan is de normaalkracht **kleiner dan** de normaalkracht op aarde.
 - 3 Op de maan is het gewicht **kleiner dan** het gewicht op aarde.
- b
 - 1 De massa hangt samen met het aantal atomen. Het aantal atomen verandert niet als je met de baksteen van de aarde naar de maan gaat, dus de massa op de maan is gelijk aan de massa op de aarde.
 - 2 De baksteen is in rust. De normaalkracht is dan even groot als de zwaartekracht. De zwaartekracht bereken je met $F_z = m \cdot g$. De gravitatieversnelling is op de maan kleiner dan op de aarde, dus is de zwaartekracht die de maan op de baksteen uitoefent ook kleiner dan de zwaartekracht die de aarde op de baksteen uitoefent. Daardoor is de normaalkracht op de maan ook kleiner dan de normaalkracht op de aarde.
 - 3 Volgens de derde wet van Newton vormen de normaalkracht op de baksteen en het gewicht van de baksteen een krachtenpaar. Als de normaalkracht op de maan kleiner is dan die op de aarde, dan is het gewicht van de baksteen op de maan ook kleiner dan op de aarde.

Opgave 18

- a
 - De grootte en richting van de twee krachten beschrijf je met behulp van de eerste wet van Newton.

Op de bovenste magneet werken de zwaartekracht en de magnetische kracht. De bovenste magneet 'zweeft' los van de onderste magneet. Als de snelheid constant is, dan is volgens de eerste wet van Newton de resulterende kracht gelijk aan 0 N.

Op de magneet werkt de zwaartekracht F_z , verticaal naar beneden gericht.

De afstotende magnetische kracht F_{magneet} is dus even groot en tegengesteld gericht, dus verticaal naar boven gericht.

- b
 - De formule beredeneer je met de eerste wet van Newton en de krachten op de onderste magneet.

De zwaartekracht $F_{z,\text{onder}}$ op de onderste magneet is verticaal naar beneden gericht.

De magnetische krachten vormen een krachtenpaar. Als de magnetische kracht F_{magneet} op de bovenste magneet verticaal omhoog is gericht, is de magnetische kracht F_{magneet} op de onderste magneet verticaal omlaag gericht.

De normaalkracht F_n op de onderste magneet is verticaal omhoog gericht.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

De onderste magneet beweegt niet. Als de snelheid constant is, dan is volgens de eerste wet van Newton de resulterende kracht gelijk aan 0 N.

Dus is de normaalkracht even groot als de zwaartekracht en de magnetische kracht samen.

De formule die het verband tussen de krachten weergeeft, wordt hiermee: $F_n = F_{z, \text{onder}} + F_{\text{magneet}}$

- ► Of het gewicht groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de zwaartekracht op de onderste magneet beredeneer je met de derde wet van Newton.

Volgens de derde wet van Newton is het gewicht van de onderste magneet gelijk aan de normaalkracht op de onderste magneet en tegengesteld gericht.

Omdat de normaalkracht op de onderste magneet groter is dan de zwaartekracht op de onderste magneet, is het gewicht van de onderste magneet dus ook groter dan de zwaartekracht op de onderste magneet.

Opgave 19

- a ► Het gewicht F_{gew} van de baksteen bereken je met de derde wet van Newton en de normaalkracht F_n .
 $F_{\text{gew}} = F_n$ volgens de derde wet van Newton.

- De normaalkracht F_n bereken je met de eerste wet van Newton en de krachten op de baksteen in verticale richting.

$$F_{\text{res, vert}} = 0 \text{ N}$$

Op de baksteen werken de zwaartekracht en de normaalkracht.

De baksteen is in rust. Volgens de eerste wet van Newton is de normaalkracht even groot als de zwaartekracht.

$$F_n = F_z$$

$$F_z = m \cdot g = 1,7 \times 9,81 = 16,67 \text{ N}$$

Dus $F_n = 16,67 \text{ N}$ en het gewicht dus ook.

$$F_{\text{gew}} = 16,67 \text{ N}$$

Afgerond: $F_{\text{gew}} = 17 \text{ N}$.

- b – ► De kracht van je hand op de baksteen F_{hand} bereken je met tweede wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

$$F_{\text{res, vert}} = m \cdot a$$

$$m = 1,7 \text{ kg}$$

$$a = 5,0 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{res, vert}} = 1,7 \times 5,0 = 8,5 \text{ N}$$

Op de steen werken de zwaartekracht F_z en de kracht van je hand F_{hand} .

De zwaartekracht F_z is verticaal naar beneden gericht.

De kracht van de hand F_{hand} is verticaal naar boven gericht.

De hand met de baksteen beweegt naar boven, dus neem je de richting naar boven positief.

$$F_{\text{res, vert}} = F_{\text{hand}} - F_z$$

$$F_z = 16,67 \text{ N} \quad (\text{zie vraag a})$$

- Invullen van F_{res} en F_z in de formule $F_{\text{res}} = F_{\text{hand}} - F_z$:

$$8,5 = F_{\text{hand}} - 16,67$$

$$F_{\text{hand}} = 25,17 \text{ N}$$

Afgerond: $F_{\text{hand}} = 25 \text{ N}$.

- ► Het gewicht F_{gew} van de baksteen bereken je met de derde wet van Newton en de normaalkracht F_n .
 $F_{\text{gew}} = F_n$ volgens de derde wet van Newton.
 De normaalkracht is de kracht van je hand: $F_{\text{hand}} = 25 \text{ N}$.
 Dus is $F_{\text{gew}} = 25 \text{ N}$.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- c ► Het gewicht F_{gew} van de baksteen bereken je met de derde wet van Newton en de normaalkracht F_n .
 $F_{\text{gew}} = F_n$ volgens de derde wet van Newton.

Tijdens de beweging omhoog en omlaag is er geen ondergrond meer, dus er werkt dan geen normaalkracht meer op de baksteen. Het gewicht is dus 0 N.

Het gewicht van de baksteen verandert dus niet tijdens de beweging omhoog en omlaag.

- d ► Of de kracht die de grond uitoefent op de baksteen groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de zwaartekracht op de baksteen, bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

$$F_{\text{res,vert}} = m \cdot a$$

De baksteen beweegt omlaag en remt af tijdens de landing. Dus de resulterende kracht $F_{\text{res,vert}}$ die op de baksteen werkt is omhoog gericht.

Tijdens het contact met de grond werken op de baksteen de zwaartekracht en de normaalkracht. De normaalkracht is de kracht die de grond uitoefent op de baksteen en is omhoog gericht.

De richting van de zwaartekracht is verticaal naar beneden en dus tegengesteld aan die van de normaalkracht.

$$F_{\text{res,vert}} = F_n - F_z$$

$F_{\text{res,vert}}$ die op de baksteen werkt is omhoog gericht.

Dat betekent dat F_n en dus de kracht die de grond uitoefent op de baksteen groter is dan de zwaartekracht op de baksteen.

Opgave 20

- a ► De normaalkracht op Jurgen construeer je met de grootte van de normaalkracht en de krachtschaal.

De krachtschaal is $1,0 \text{ cm} \triangleq 200 \text{ N}$.

- De normaalkracht $F_{n,\text{Jurgen}}$ bereken je met de eerste wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

$F_{\text{res,vert}} = 0 \text{ N}$, want de auto staat stil.

Op Jurgen werken in de verticale richting de zwaartekracht en de normaalkracht. Als $F_{\text{res,vert}} = 0 \text{ N}$, is de normaalkracht dus gelijk aan de zwaartekracht, maar tegengesteld gericht.

Dus $F_{n,\text{Jurgen}} = F_{z,\text{Jurgen}}$.

$$F_{z,\text{Jurgen}} = m \cdot g = 90 \times 9,81 = 8,83 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$F_{n,\text{Jurgen}} \triangleq 8,83 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$1,0 \text{ cm} \triangleq 200 \text{ N}$$

Dus $8,83 \cdot 10^2 \text{ N}$ komt overeen met $\frac{8,83 \cdot 10^2}{200} = 4,415 \text{ cm}$.

Dus teken je de pijl van $F_{n,\text{Jurgen}}$ met een lengte van 4,4 cm.

Zie de uitwerking in figuur 4.7.



Figuur 4.7

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- b ► De horizontale kracht F_{leuning} van de stoelleuning op Jurgen bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten in de horizontale richting.

$$F_{\text{res,hor}} = m \cdot a$$

In de horizontale richting werkt alleen de kracht van de stoelleuning op Jurgen.

$$F_{\text{res,hor}} = F_{\text{leuning}}$$

$$\text{Dus } F_{\text{leuning}} = m \cdot a.$$

$$m = 90 \text{ kg}$$

- De versnelling bereken je met de formule voor de (gemiddelde) versnelling.

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

$$\Delta v = 100 - 0 = 100 \text{ km h}^{-1} = \frac{100}{3,6} = 27,78 \text{ m s}^{-1}$$

$$\Delta t = 6,6 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } a = \frac{27,78}{6,6} = 4,21 \text{ m s}^{-1}$$

- Invullen van m en a in de formule $F_{\text{leuning}} = m \cdot a$:

$$F_{\text{leuning}} = 90 \times 4,21 = 3,789 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{leuning}} = 3,8 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

- c ► De totale kracht die de stoel op Jurgen uitoefent bereken je met de stelling van Pythagoras. Zie de schets in figuur 4.8.



Figuur 4.8

De kracht $F_{n,\text{Jurgen}}$ die de zitting uitoefent op Jurgen en de kracht F_{leuning} die de stoelleuning uitoefent op Jurgen staan loodrecht op elkaar.

$$F_{\text{stoel}}^2 = F_{n,\text{Jurgen}}^2 + F_{\text{leuning}}^2$$

$$F_{\text{stoel}}^2 = (8,83 \cdot 10^2)^2 + (3,8 \cdot 10^2)^2 = 9,24 \cdot 10^5$$

$$F_{\text{stoel}} = \sqrt{9,24 \cdot 10^5} = 9,612 \cdot 10^2$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{stoel}} = 9,6 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- d ► Dat de schuifwrijvingskracht van de banden op de weg zorgt voor de voorwaartse kracht bereneer je met de derde wet van Newton.

Doordat de motor de wielen laat draaien, oefenen de wielen een kracht uit op het wegdek die naar links is gericht. Volgens de derde wet van Newton oefent het wegdek dan een even grote maar tegengestelde kracht uit op de wielen van de auto. Dit is de kracht die het wegdek uitoefent op de auto en dus gelijk aan de schuifwrijvingskracht $F_{w,s}$. Dus $F_{\text{voorwaarts}} = F_{w,s}$.

- e ► Dat de rolweerstandskracht en de luchtweerstandskracht samen gelijk zijn aan de schuifwrijvingskracht van de banden op de weg, beredeneer je met de eerste wet van Newton en de krachten op de auto in de horizontale richting.

$F_{\text{res,hor}} = 0 \text{ N}$, want Jurgen rijdt met constante snelheid. Dus de krachten in de horizontale richting heffen elkaar op.

In de tekening van figuur 30 is de richting van de luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ en de rolweerstandskracht $F_{w,rol}$ naar links. Dus de motor van de auto zorgt voor een voorwaartse kracht $F_{\text{voorwaarts}}$ die naar rechts is gericht.

$$F_{w,rol} + F_{w,l} = F_{\text{voorwaarts}}$$

$$F_{\text{voorwaarts}} = F_{w,s} \quad (\text{zie vraag d})$$

Dus de rolweerstandskracht en de luchtweerstandskracht zijn samen gelijk aan de schuifwrijvingskracht van de banden op de weg.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

4.4 Momenten

Opgave 21

- a ► Het moment M bereken je met de formule voor het moment.

$$M = F \cdot r$$

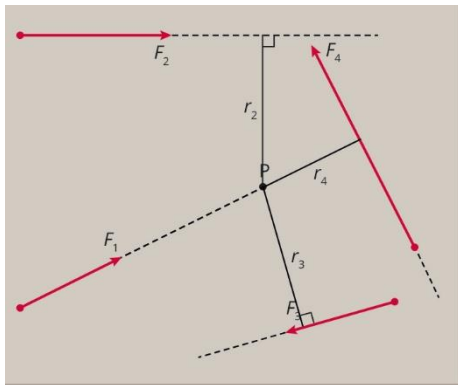
- De kracht F bepaal je met de lengte van de pijl en de krachteschaal.

De krachteschaal is $1,0 \text{ cm} \triangleq 10 \text{ N}$.

De lengte van de pijl meet je in de tekening van figuur 41.

- De arm r bepaal je met de kortste afstand van het draaipunt tot de werklijn van de kracht en de lengteschaal.

Zie de uitwerking in figuur 4.9.



Figuur 4.9

De lengteschaal is $1,0 \text{ cm} \triangleq 1,0 \text{ m}$.

De lengte van de arm r bepaal je in je tekening in figuur 41 of 4.9.

De lengte van $F_1 = 1,5 \text{ cm}$.

$$F_1 = 1,5 \times 10 = 15 \text{ N}$$

De lengte van $r_1 = 0 \text{ cm}$.

$$r_1 = 0 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } M_1 = 15 \times 0 = 0 \text{ N m}$$

De lengte van $F_2 = 2,0 \text{ cm}$.

$$F_2 = 2,0 \times 10 = 20 \text{ N}$$

De lengte van $r_2 = 2,0 \text{ cm}$.

$$r_2 = 2,0 \times 1,0 = 2,0 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } M_2 = 20 \times 2,0 = 40 \text{ N m}$$

De lengte van $F_3 = 1,5 \text{ cm}$.

$$F_3 = 1,5 \times 10 = 15 \text{ N}$$

De lengte van $r_3 = 1,0 \text{ cm}$.

$$r_3 = 1,0 \times 1,0 = 1,0 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } M_3 = 15 \times 1,0 = 15 \text{ N m}$$

De lengte van $F_4 = 3,0 \text{ cm}$.

$$F_4 = 3,0 \times 10 = 30 \text{ N}$$

De lengte van $r_4 = 1,5 \text{ cm}$.

$$r_4 = 1,5 \times 1,0 = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } M_4 = 30 \times 1,5 = 45 \text{ N m}$$

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- b M_1 : er is geen moment, geen draaiing
 M_2 : draairichting rechtsom
 M_3 : draairichting linksom
 M_4 : draairichting linksom

Opgave 22

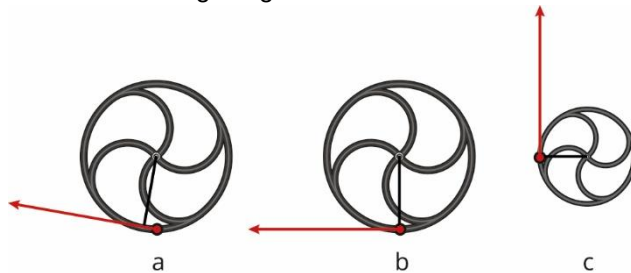
- Het moment M bepaal je met de formule voor het moment.

$$M = F \cdot r$$

De kracht F is bij alle draaiwielen even groot.

De arm r bepaal je met de kortste afstand van het draaipunt tot de werklijn van de kracht.

Zie de uitwerking in figuur 4.10.



Figuur 4.10

In figuur 4.10 meet je/zie je dat wiel b de grootste arm heeft en wiel c de kleinste arm. De volgorde van toenemend moment is c, a, b.

Opgave 23

- Het moment M bereken je met de formule voor het moment.

$$M = F \cdot r$$

$$F = 0,35 \text{ N}$$

- De arm r bepaal je met de kortste afstand van het draaipunt tot de werklijn van de zwaartekracht F_z van het roodborstje.

De werklijn van F_z is de lijn loodrecht naar beneden door het puntje van de wijzer.

- a Voor het tijdstip 9.00 uur geldt: $r = 60 \text{ cm} = 0,60 \text{ m}$.

- Invullen van F en r in de formule $M = F \cdot r$:

$$M = 0,35 \times 0,60 = 0,2100 \text{ N m}$$

$$\text{Afgerond: } M = 0,21 \text{ N m.}$$

De draairichting is linksom.

- b I Voor het tijdstip 12.00 uur geldt: $r = 0 \text{ cm} = 0 \text{ m}$

- Invullen van F en r in de formule $M = F \cdot r$:

$$M = 0,35 \times 0 = 0 \text{ N m}$$

Er is geen moment. Dan is er ook geen draairichting aan te geven.

- II Voor het tijdstip 3.00 uur geldt: $r = 60 \text{ cm} = 0,60 \text{ m}$

- Invullen van F en r in de formule $M = F \cdot r$:

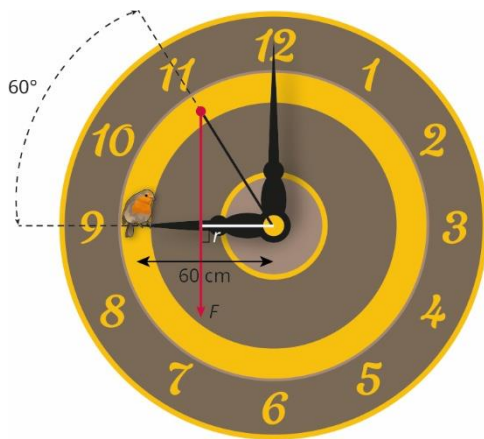
$$M = 0,35 \times 0,60 = 0,2100 \text{ N m}$$

$$\text{Afgerond: } M = 0,21 \text{ N m.}$$

De draairichting is rechtsom.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- III ► Voor het tijdstip 11.00 uur bereken je de arm r met een goniometrische verhouding.
Zie de uitwerking in figuur 4.11



Figuur 4.11

De wijzer maakt een hoek van 60° met de horizontaal. Zie figuur 4.11.

$$\cos(60^\circ) = \frac{r}{0,60}$$

$$r = 0,60 \times \cos(60^\circ) = 0,30 \text{ m}$$

► Invullen van F en r in de formule $M = F \cdot r$:

$$M = 0,35 \times 0,30 = 0,1050 \text{ N m}$$

Afgerond: $M = 0,11 \text{ N m}$.

De draairichting is linksom.

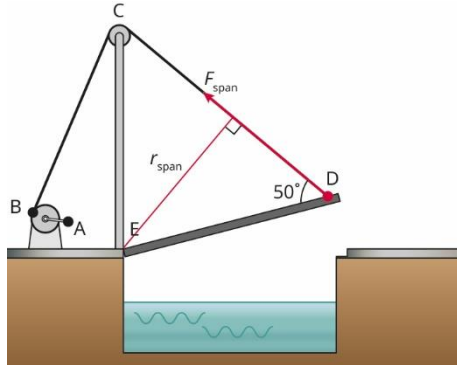
Opgave 24

- a – spierkracht in punt A: in de as van de trommel
spankracht in punt B: in de as van de trommel
spankracht in punt D: in het scharnierpunt van het brugdek (punt E)
– spierkracht in punt A: linksom
spankracht in punt B: rechtsom
spankracht in punt D: linksom
- b ► Welke kracht het kleinst is, bereken je met de formule voor het moment.
 $M = F \cdot r$
Het moment M_A is gelijk aan het moment M_B .
De arm r_A is groter dan de arm r_B .
Invullen van de verschillen levert: (M_A gelijk aan M_B) = $F \cdot (r_A \text{ is groter dan } r_B)$
Kracht F_A is dus kleiner dan kracht F_B .
Dus de spierkracht die je bij A op de trommel uitoefent is kleiner dan de spankracht die de kabel bij B uitoefent op de trommel.
- c ► Welk moment het grootst is, bereken je met de formule voor het moment.
 $M = F \cdot r$
 F_B is gelijk aan F_D .
De arm r_D is groter dan de arm r_B .
Invullen van de verschillen levert: $M = (F \text{ is gelijk}) \cdot (r_D \text{ is groter dan } r_B)$
Het moment M_D in D is dus groter dan het moment M_B in B.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 25

- a – ► De arm r bepaal je met de kortste afstand van het draaipunt tot aan de werklijn van de kracht. De werklijn van de spankracht valt samen met kabel DC. In de uitwerking in figuur 4.12 is vanuit draaipunt E de loodlijn getekend op de werklijn van de spankracht.

**Figuur 4.12**

- ► De arm r_{span} van de spankracht bereken je met een goniometrische verhouding.

$$\sin(\alpha) = \frac{r_{\text{span}}}{\ell_{\text{brugdek}}}$$

$$\alpha = 50^\circ$$

$$\ell_{\text{brugdek}} = 2,8 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } \sin(50^\circ) = \frac{r_{\text{span}}}{2,8}$$

$$r_{\text{span}} = 2,8 \times \sin(50^\circ) = 2,1 \text{ m}$$

- b – ► Het moment M_{span} van de spankracht bereken je met de formule voor het moment.

$$M_{\text{span}} = F_{\text{span}} \cdot r_{\text{span}}$$

$$F_{\text{span}} = 2,2 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$r_{\text{span}} = 2,1 \text{ m} \quad (\text{zie vraag a})$$

$$\text{Invullen levert: } M_{\text{span}} = 2,2 \cdot 10^3 \times 2,1 = 4,620 \cdot 10^3 \text{ N m}$$

$$\text{Afgerond: } M_{\text{span}} = 4,6 \cdot 10^3 \text{ N m.}$$

- c – ► Dat het moment M_z van de zwaartekracht kleiner wordt, beredeneer je met de formule voor het moment.

$$M_z = F_z \cdot r_z$$

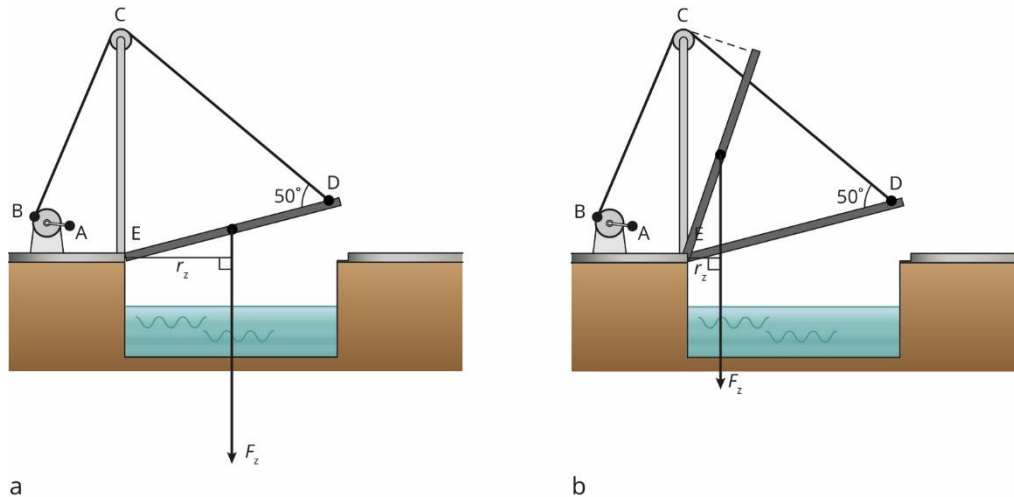
F_z verandert niet tijdens het ophalen, want de massa blijft gelijk.

r_z wordt kleiner als het brugdek schuiner komt te staan. Zie de uitwerking in figuur 4.13.

Invullen van de veranderingen levert: $M_z = (F_z \text{ blijft gelijk}) \cdot (r_z \text{ wordt kleiner})$

Het moment M_z van de zwaartekracht wordt dus kleiner tijdens het ophalen.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

**Figuur 4.13**

- d – ► Of de arm r_{span} groter of kleiner wordt, bereken je met een goniometrische verhouding.

$$\sin(\alpha) = \frac{r_{\text{span}}}{\ell_{\text{brugdek}}}$$

ℓ_{brugdek} blijft gelijk.

Hoek α tussen de kabel en het brugdek wordt groter, want tijdens het ophalen komt de kabel steeds meer horizontaal. Zie figuur 4.13b.

Dus $\sin(\alpha)$ wordt groter.

Invullen van de veranderingen levert: ($\sin(\alpha)$ wordt groter) = $\frac{r_{\text{span}}}{(\ell_{\text{brugdek}} \text{ blijft gelijk})}$

De arm r_{span} wordt dus groter.

- ► Of de spankracht F_{span} groter of kleiner wordt, bereken je met de formule voor het moment van de spankracht.

$$M_{\text{span}} = F_{\text{span}} \cdot r_{\text{span}}$$

M_{span} wordt kleiner tijdens het ophalen.

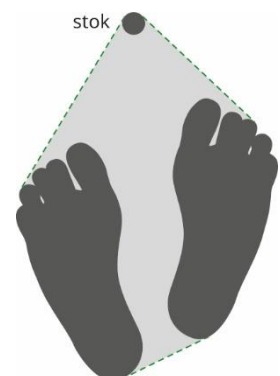
r_{span} wordt groter als het brugdek schuiner komt te staan.

Invullen van de veranderingen levert: (M_{span} wordt kleiner) = $F_{\text{span}} \cdot (r \text{ wordt groter})$

De spankracht F_{span} wordt dus kleiner tijdens het ophalen.

Opgave 26

- Zie de uitwerking in figuur 4.14
- Door het gebruik van de stok wordt het steunvlak groter. Daardoor is de kans kleiner dat het zwaartepunt van opa Jan door te wiebelen buiten het steunvlak komt. Daardoor valt hij minder snel om en staat hij dus stabiel.

**Figuur 4.14**

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 27

- Dat de vrouw overeind zal komen en de man niet, beredeneer je met de draairichting van het moment van de zwaartekracht.

De punten van de schoenen bepalen het draaipunt van het moment van de zwaartekracht.

Bij de man bevindt het zwaartepunt Z zich rechts van de punten van de schoenen. Zijn zwaartepunt valt dan buiten het steunvlak, waardoor het moment van de zwaartekracht rechtsom is. Hij 'valt' daardoor steeds voorover en kan dan niet overeind komen.

Het zwaartepunt Z van de vrouw bevindt zich boven het steunvlak van de schoenen. Daardoor heeft de zwaartekracht een moment linksom ten opzichte van de punten van de schoenen. Zij kan dus wel overeind komen.

Opgave 28

- a Voorbeelden van een goed antwoord:

- De werklijn van de duwkracht gaat loodrecht naar beneden en gaat daardoor niet door het draaipunt D. Er ontstaat een (netto)moment linksom en Amy draait om punt D.
- Door de extra kracht lijkt het alsof de arm zwaarder is. Daardoor verschuift het zwaartepunt van Amy en valt het zwaartepunt buiten het steunvlak.

- b ► Waarom de verkoper aan de kant van het ingetrokken been duwt, beredeneer je met de formule voor het moment.

$$M_{\text{duw}} = F_{\text{duw}} \cdot r_{\text{duw}}$$

F_{duw} blijft gelijk als de verkoper even hard duwt.

r_{duw} van de duwkracht is groter aan de kant van het ingetrokken been.

Invullen van de veranderingen levert: $M_{\text{duw}} = (F_{\text{duw}} \text{ is gelijk}) \cdot (r_{\text{duw}} \text{ is groter})$

Dus is het moment van de duwkracht groter.

Daardoor valt Amy gemakkelijker als aan de kant van het ingetrokken been wordt geduwd.

- c – Een werklijn van de duwkracht teken je vanuit punt A door het steunvlak van de voet van Amy. Zie de uitwerking van de twee uiterste lijnen in figuur 4.15.
- De werklijn van de duwkracht gaat door het steunvlak. Amy staat dan stabiel en valt dus niet om.



Figuur 4.15

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

4.5 De hefboomwet

Opgave 29

- a – Moment van de spankracht: draairichting linksom.
Moment van de zwaartekracht: draairichting rechtsom.
- $M_z = M_{\text{span}}$, want het brugdek wordt op zijn plaats gehouden en is dus in rust.
- ► Of de zwaartekracht groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de spankracht beredeneer je met de formule van de hefboomwet.

$$F_z \cdot r_z = F_{\text{span}} \cdot r_{\text{span}}$$

- De arm r van een kracht bepaal je met de kortste afstand van het draaipunt tot aan de werklijn van de kracht.

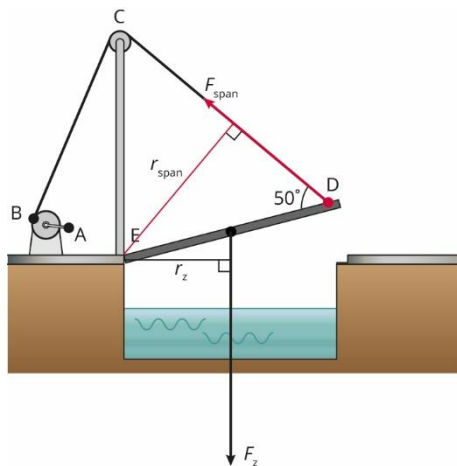
De zwaartekracht F_z grijpt aan in het midden van het brugdek en de werklijn is verticaal.

De spankracht F_{span} grijpt aan in het uiteinde van het brugdek en de werklijn valt samen met het touw.

In de uitwerking in figuur 4.16 is vanuit draaipunt E de loodlijn getekend op de werklijn van de zwaartekracht en op de werklijn van de spankracht.

De arm van de spankracht r_{span} is groter dan de arm van de zwaartekracht r_z .

Als r_{span} groter is dan r_z en $F_z \cdot r_z = F_{\text{span}} \cdot r_{\text{span}}$, dan moet de zwaartekracht F_z groter zijn dan de spankracht F_{span} .



Figuur 4.16

- b – Het brugdek is in rust, dus de resulterende kracht moet 0 N zijn.
- In het draaipunt van het brugdek. (Dit is de normaalkracht.)
- De kracht grijpt aan in het draaipunt. De arm is dan 0 m en dus is het moment 0 N m.

Opgave 30

- a ► De kracht F_{til} die minstens nodig is om het blok op te tillen bepaal je met de eerste wet van Newton en de krachten in de verticale richting op het blok.

Als je het blok met constante snelheid omhoog tilt, dan is de resulterende kracht op het blok volgens de eerste wet van Newton gelijk aan 0 N.

Op het blok werken in de verticale richting de zwaartekracht F_z en de tilkracht F_{til} .

$$F_{\text{til}} = F_z$$

$$F_z = m \cdot g = 50 \times 9,81 = 491 \text{ N}$$

$$F_{\text{til}} = 491 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{til}} = 4,9 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

- b ► De verticale trekkracht F_{trek} bereken je met de formule van de hefboomwet.

$$M_{\text{trek,vert}} = M_z$$

$$F_{\text{trek,vert}} \cdot r_{\text{trek,vert}} = F_z \cdot r_z$$

De arm van de verticale trekkracht $r_{\text{trek,vert}}$ (de rode lijn ten opzichte van het draaipunt D) is twee keer zo groot als de arm van de zwaartekracht r_z (de zwarte lijn ten opzichte van het draaipunt D).

Zie de uitwerking in figuur 4.17.

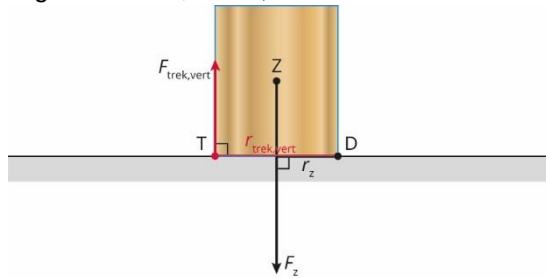
$F_{\text{trek,vert}}$ is dus de helft van F_z .

Bij vraag a is de tilkracht gelijk aan de zwaartekracht.

Dus de verticale trekkracht is de helft van de tilkracht bij vraag a.

$$F_{\text{trek,vert}} = \frac{4,9 \cdot 10^2}{2} = 2,450 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{trek,vert}} = 2,5 \cdot 10^2 \text{ N.}$$



Figuur 4.17

- c Tijdens optillen werkt er een schuifwrijvingskracht bij punt D om het blok op dezelfde plaats te houden. Volgens de eerste wet van Newton moet je dan een horizontale trekkracht op het blok uitoefenen die gelijk is aan de schuifwrijvingskracht. De totale trekkracht is de resulterende trekkracht van de horizontale en de verticale trekkracht en dus groter dan de verticale trekkracht.

Opgave 31

- a ► De grootte van de verticale kracht F_{spier} die Carola in punt A op de bank uitoefent, bepaal je met de formule van de hefboomwet.

$$M_z = M_{\text{spier}}, \text{ want de bank is in rust.}$$

$$F_z \cdot r_z = F_{\text{spier}} \cdot r_{\text{spier}}$$

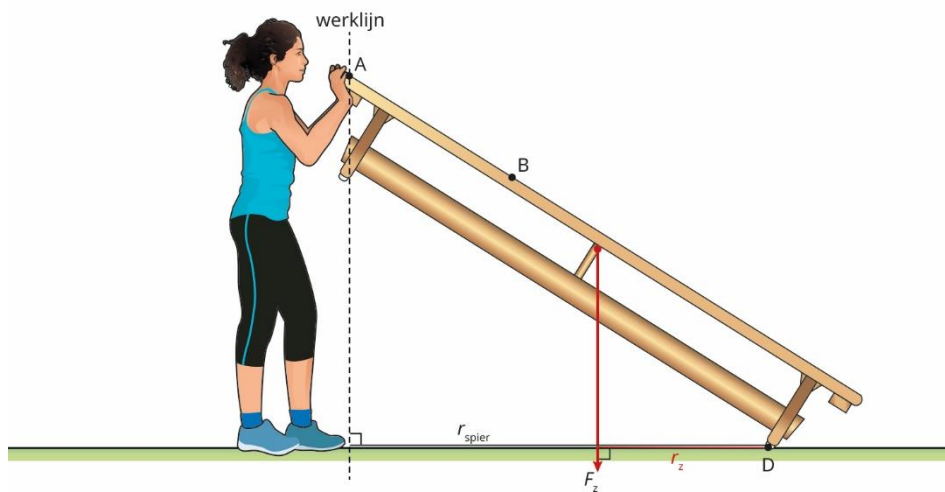
In de tekening van figuur 54 of 4.18 meet je dat de lengte ℓ_z van de pijl van F_z gelijk is aan 3,0 cm.

- De arm r van een kracht bepaal je met de kortste afstand van het draaipunt tot aan de werklijn van de kracht.

Het draaipunt is het contactpunt D van de bank met de grond.

Zie de uitwerking in figuur 4.18.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

**Figuur 4.18**

$r_z = 2,3$ cm (opmeten in figuur 54 of 4.18)

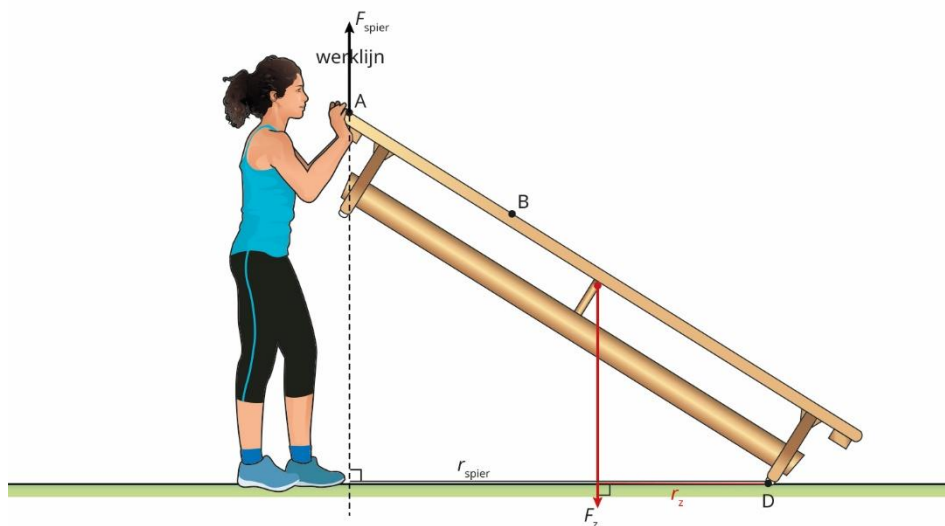
$r_{spier} = 5,6$ cm (opmeten in figuur 54 of 4.18)

► Invullen van ℓ_z , r_z en r_{spier} in de formule $F_z \cdot r_z = F_{spier} \cdot r_{spier}$:

$$3,0 \times 2,3 = \ell_{spier} \cdot 5,6$$

$$\ell_{spier} = \frac{3,0 \times 2,3}{5,6} = 1,232 \text{ cm}$$

De pijl van de spierkracht moet dus met een lengte van 1,2 cm worden getekend. Zie de uitwerking in figuur 4.19.

**Figuur 4.19**

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- b ► Of de verticale kracht in B groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de kracht in A, leg je uit met de formule van de hefboomwet.

$$F_z \cdot r_z = F_{\text{spier},B} \cdot r_{\text{spier},B}$$

F_z blijft gelijk.

r_z blijft gelijk.

$r_{\text{spier},B}$ wordt kleiner, want de werklijn in B blijft verticaal en verschuift richting punt D.

- Invullen van de veranderingen levert: $(F_z \text{ blijft gelijk}) \cdot (r_z \text{ blijft gelijk}) = F_{\text{spier},B} \cdot (r_{\text{spier},B} \text{ wordt kleiner})$
Dus de verticale spierkracht $F_{\text{spier},B}$ in B is groter dan $F_{\text{spier},A}$ in A.

- c ► Of de kracht van Carola groter of kleiner is dan bij vraag a, leg je uit met de formule van de hefboomwet.

$$F_z \cdot r_z = F_{\text{spier},\text{loodrecht}} \cdot r_{\text{spier},C}$$

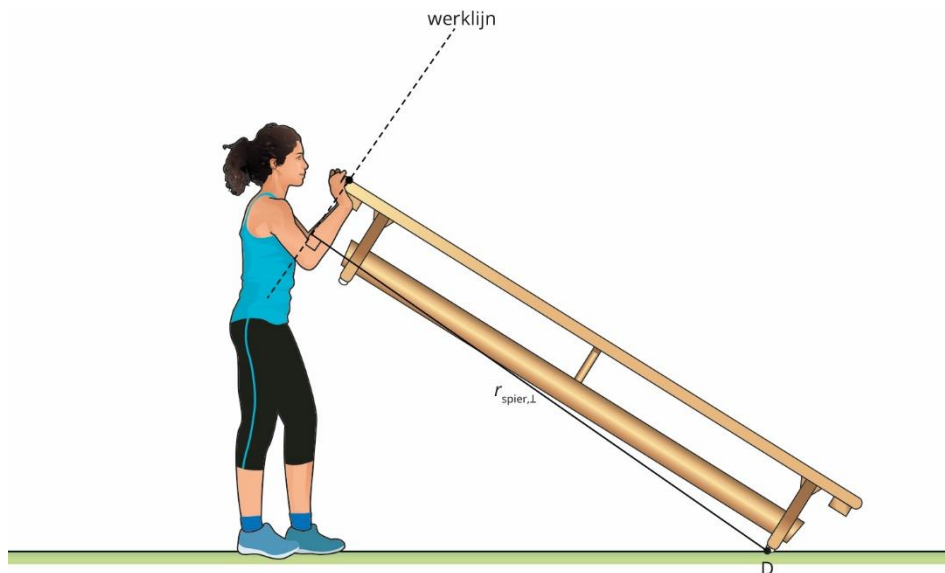
F_z blijft gelijk.

r_z blijft gelijk.

$r_{\text{spier},\perp}$ is groter dan $r_{\text{spier},A}$. Zie de uitwerking in figuur 4.20.

Invullen van de veranderingen levert: $(F_z \text{ blijft gelijk}) \cdot (r_z \text{ blijft gelijk}) = F_{\text{spier},\perp} \cdot (r_{\text{spier},\perp} \text{ wordt groter})$

Dus de spierkracht $F_{\text{spier},\perp}$ is kleiner dan $F_{\text{spier},A}$ in situatie van vraag a.



Figuur 4.20

Opgave 32

- a ► De spierkracht F_{spier} van de man toon je aan met de formule van de hefboomwet.

$$F_{\text{spier}} \cdot r_{\text{spier}} = F_z \cdot r_z$$

$$F_z = m \cdot g = 23 \times 9,81 = 226 \text{ N}$$

- De arm r bepaal je met de kortste afstand van het draaipunt tot de werklijn van de kracht.
Het draaipunt D is het midden van het wiel.
Zie de uitwerking in figuur 4.21.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

**Figuur 4.21**

$r_{\text{spier}} = 3,6 \text{ cm}$ (opmeten in figuur 56 of 4.21)

$r_z = 1,0 \text{ cm}$ (opmeten in figuur 56 of 4.21)

► Invullen van F_z , r_{spier} en r_z in de formule $F_{\text{spier}} \cdot r_{\text{spier}} = F_z \cdot r_z$:

$$F_{\text{spier}} \times 3,6 = 226 \times 1,0$$

$$F_{\text{spier}} = \frac{226 \times 1,0}{3,6} = 62,77 \text{ N}$$

Afgerond: $F_{\text{spier}} = 63 \text{ N}$.

- b ► De normaalkracht F_n bereken je met de eerste wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

$F_{\text{res,vert}} = 0 \text{ N}$, want er is geen beweging in de verticale richting.

De spierkracht F_{spier} en de normaalkracht F_n zijn omhoog gericht en de zwaartekracht F_z is omlaag gericht.

$$F_n + F_{\text{spier}} = F_z$$

$$F_z = 226 \text{ N} \quad (\text{zie vraag a})$$

$$F_{\text{spier}} = 63 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } F_n + 63 = 226$$

$$F_n = 163 \text{ N}$$

Afgerond: $F_n = 163 \text{ N}$.

- c ► De plaats van de lading beredeneer je met de arm van de zwaartekracht r_z .
Hoe groter r_z , hoe verder de lading van de as van het wiel afligt.

► De arm r_z beredeneer je met de formule van de hefboomwet.

$$M_z = M_{\text{spier}}$$

$$F_z \cdot r_z = F_{\text{spier}} \cdot r_{\text{spier}}$$

F_z blijft gelijk.

F_{spier} wordt kleiner.

r_{spier} blijft gelijk.

Invullen van de veranderingen levert:

$$(F_z \text{ blijft gelijk}) \cdot r_z = (F_{\text{spier}} \text{ wordt kleiner}) \cdot (r_{\text{spier}} \text{ blijft gelijk})$$

Dus de arm van de zwaartekracht r_z is kleiner.

Dus de man moet de lading dichterbij het wiel plaatsen.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 33

- De grootte van de spankracht bepaal je met de formule van de hefboomwet.

$$F_{\text{span}} \cdot r_{\text{span}} = F_z \cdot r_z$$

Vergelijken van de situatie in figuur 57a met die in figuur 57b.

$F_{z,b}$ is groter dan $F_{z,a}$, want de massa m is in figuur b groter dan in figuur a.

$r_{z,a}$ is gelijk aan $r_{z,b}$.

r_{span} is bij figuur a en b gelijk, want de stand van het brugdek is hetzelfde.

Invullen van de veranderingen van r_{span} , F_z , en r_z in de formule $F_{\text{span}} \cdot r_{\text{span}} = F_z \cdot r_z$:

$F_{\text{span}} \cdot (r_{\text{span},b} \text{ is gelijk aan } r_{\text{span},a}) = (F_{z,b} \text{ is groter dan } F_{z,a}) \cdot (r_{z,b} \text{ is gelijk aan } r_{z,a})$

Dus spankracht $F_{\text{span},b}$ is groter dan $F_{\text{span},a}$.

Vergelijken van de situatie in figuur 57a met die in figuur 57c.

$F_{z,c}$ is even groot als $F_{z,a}$, want de massa m is in figuur a en c gelijk.

$r_{z,c}$ is kleiner dan $r_{z,a}$. Zie de uitwerking in figuur 4.22.

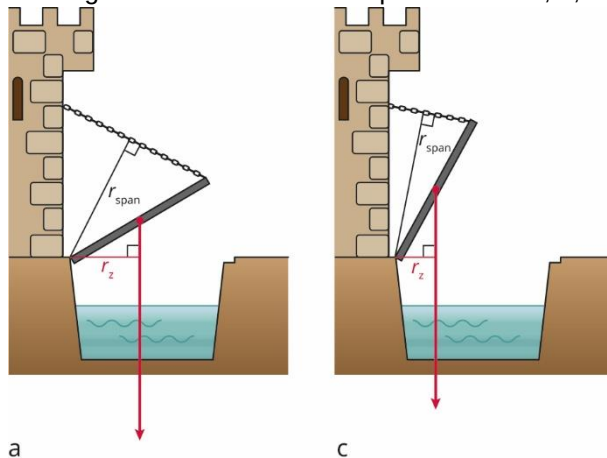
$r_{\text{span},c}$ is groter dan $r_{\text{span},a}$.

Invullen van de veranderingen van r_{span} , F_z , en r_z in de formule $F_{\text{span}} \cdot r_{\text{span}} = F_z \cdot r_z$:

$F_{\text{span}} \cdot (r_{\text{span},c} \text{ is groter dan } r_{\text{span},a}) = (F_{z,c} \text{ is gelijk aan } F_{z,a}) \cdot (r_{z,c} \text{ is kleiner dan } r_{z,a})$

Dus de spankracht $F_{\text{span},c}$ is kleiner dan $F_{\text{span},a}$.

De volgorde van toenemende spankracht is c, a, b.



Figuur 4.22

Opgave 34

- a ► Dat de takelwagen omvalt, toon je aan door het moment $M_{z,\text{container}}$ van de zwaartekracht van de container te vergelijken met het moment $M_{z,\text{takel}}$ van de zwaartekracht van de takelwagen.

De takelwagen valt om als $M_{z,\text{container}}$ groter is dan $M_{z,\text{takel}}$.

- Een moment bepaal je met de formule voor het moment.

$$M_{z,\text{container}} = F_{z,\text{container}} \cdot r_{z,\text{container}} \text{ en } M_{z,\text{takel}} = F_{z,\text{takel}} \cdot r_{z,\text{takel}}$$

$$F_{z,\text{container}} = m \cdot g = 2,0 \cdot 10^3 \times 9,81 = 1,96 \cdot 10^4 \text{ N}$$

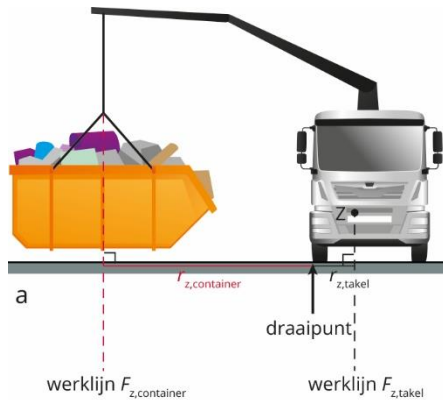
$$F_{z,\text{takel}} = m \cdot g = 7,9 \cdot 10^3 \times 9,81 = 7,75 \cdot 10^4 \text{ N}$$

- De arm r bepaal je met de kortste afstand van het draaipunt tot de werklijn van de kracht.

Zie de uitwerking in figuur 4.23.

In figuur 58 of 4.23 meet je $r_{z,\text{container}} = 2,7 \text{ cm}$ en $r_{z,\text{takel}} = 0,6 \text{ cm}$.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen



Figuur 4.23

► Invullen van F_z en r_z in de formules $M_{z,container} = F_{z,container} \cdot r_{z,container}$ en $M_{z,takel} = F_{z,takel} \cdot r_{z,takel}$:

$$M_{z,container} = 1,96 \cdot 10^4 \times 2,7 = 5,29 \cdot 10^4 \text{ N cm en } M_{z,takel} = 7,74 \cdot 10^4 \times 0,6 = 4,64 \cdot 10^4 \text{ N cm}$$

Dus $M_{z,container}$ is groter dan $M_{z,takel}$.

De takelwagen valt dus om.

- b ► Dat de takelwagen dan de container kan tillen zonder om te vallen, leg je uit met de formule van de hefboomwet.

$$M_{z,container} = M_{z,takel}$$

$$F_{z,container} \cdot r_{z,container} = F_{z,takel} \cdot r_{z,takel}$$

$F_{z,container}$ blijft gelijk.

$F_{z,takel}$ blijft gelijk.

► De arm r bepaal je met de kortste afstand van het draaipunt tot de werklijn van de kracht.

Als er stempels worden gebruikt, verschuift het draaipunt richting de container. Zie de uitwerking in figuur 4.24.

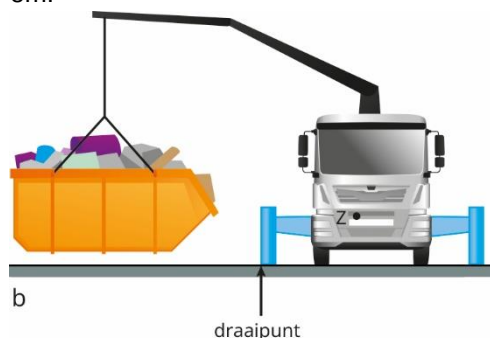
$r_{z,container}$ wordt dus kleiner.

$r_{z,takel}$ wordt dus groter.

Invullen van de veranderingen van $F_{z,container}$, $r_{z,container}$, $F_{z,takel}$ en $r_{z,takel}$ in de formule van de hefboomwet:

$$(F_{z,container} \text{ blijft gelijk}) \cdot (r_{z,container} \text{ wordt kleiner}) \Leftrightarrow (F_{z,takel} \text{ blijft gelijk}) \cdot (r_{z,takel} \text{ wordt groter})$$

Zijn de stempels ver genoeg uitgeschoven, dan is $M_{z,container} < M_{z,takel}$ en valt de takelwagen niet meer om.



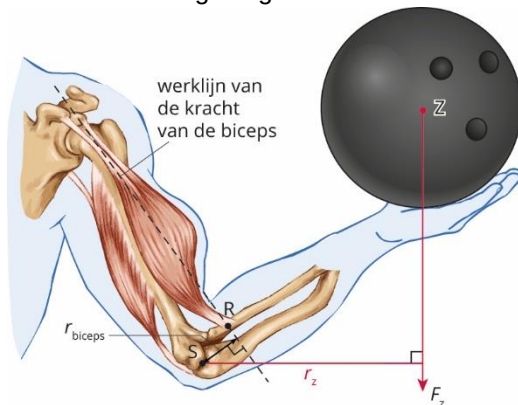
Figuur 4.24

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 35

- De arm van de kracht van de biceps bepaal je met de met de kortste afstand van het draaipunt S tot de werklijn van de kracht van de biceps.

Zie de uitwerking in figuur 4.25.

**Figuur 4.25**

- De grootte van de kracht F_{biceps} bepaal je met de formule van de hefboomwet.

$$F_{\text{biceps}} \cdot r_{\text{biceps}} = F_z \cdot r_z$$

$$r_{\text{biceps}} = 0,6 \text{ cm (opmeten in figuur 59 of 4.25)}$$

$$F_z = m \cdot g = 8,0 \times 9,81 = 78,5 \text{ N}$$

- De arm r_z van de zwaartekracht bepaal je met de met de kortste afstand van het draaipunt S tot de werklijn van de zwaartekracht.

$$r_z = 2,9 \text{ cm (opmeten in figuur 59 of 4.25)}$$

- Invullen van F_z , r_z en r_{biceps} in de formule $F_{\text{biceps}} \cdot r_{\text{biceps}} = F_{\text{bal}} \cdot r_{\text{bal}}$:

$$F_{\text{biceps}} \times 0,6 = 78,5 \times 2,9$$

$$F_{\text{biceps}} = \frac{78,5 \times 2,9}{0,6} = 379,4 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{biceps}} = 4 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

4.6 Afsluiting

Opgave 36

- a ► Welk punt het zwaartepunt is, bepaal je met het steunvlak en de mogelijke werklijnen van de zwaartekracht.

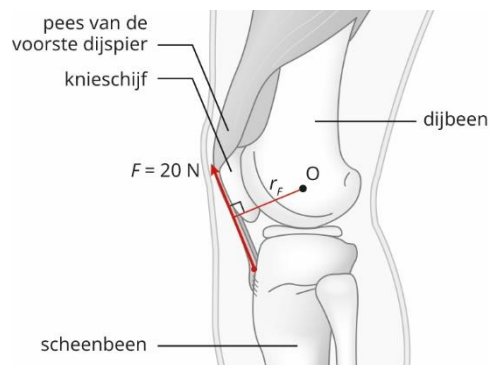
Het meisje staat stil. Het zwaartepunt bevindt zich dus boven het steunvlak, de tenen.

De werklijn van de zwaartekracht is verticaal naar beneden en moet dan door het steunvlak gaan.

Dat is voor punt A het geval. Punt A is dus het zwaartepunt.

- b ► De arm van de kracht F teken je met de met de kortste afstand van het draaipunt O tot de werklijn van kracht F .

Zie de uitwerking in figuur 4.26.



Figuur 4.26

- Het moment M van de kracht F bepaal je met de formule voor het moment.

$$M = F \cdot r$$

$$F = 20 \text{ N}$$

- De arm r bepaal je met de lengte van r_F en de schaal.

In figuur 61 of 4.26 meet je dat r_F gelijk is aan 1,0 cm.

1,0 cm in de figuur $\triangleq$ 2,0 cm in werkelijkheid

Dus in werkelijkheid is r_F gelijk aan 2,0 cm = 0,020 m.

- Invullen van F en r in de formule $M = F \cdot r$:

$$M = 20 \times 0,020 = 0,4000 \text{ N m}$$

Afgerond: $M = 0,40 \text{ N m}$.

- c ► De kracht van de achillespees op de voet bepaal je met de formule van de hefboomwet.

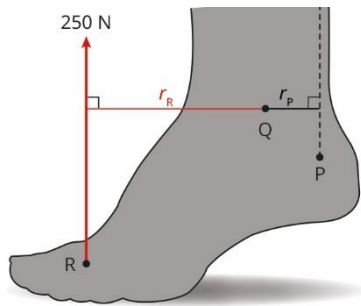
$$F_P \cdot r_P = F_R \cdot r_R$$

$$F_R = 250 \text{ N}$$

- De arm van een kracht teken je met de kortste afstand van het draaipunt Q tot de werklijn van de kracht.

Zie de uitwerking in figuur 4.27.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

**Figuur 4.27**

$r_R = 2,4 \text{ cm}$ (opmeten in figuur 62b of 4.27)

$r_P = 0,7 \text{ cm}$ (opmeten in figuur 62b of 4.27)

► Invullen van r_R , F_R en r_P in de formule $F_P \cdot r_P = F_R \cdot r_R$:

$$F_P \times 0,7 = 250 \times 2,4$$

$$F_P = \frac{250 \times 2,4}{0,7} = 857 \text{ N}$$

Afgerond: $F_P = 9 \cdot 10^2 \text{ N}$.

- d ► Welke mogelijkheid de juiste is, beredeneer je met de eerste wet van Newton en de krachten in de verticale richting, op het meisje als geheel en op de voet alleen.

De krachten op het meisje als geheel

$F_{\text{res,vert}} = 0 \text{ N}$, want het meisje staat stil.

Op het meisje als geheel werken:

- in punt A de zwaartekracht F_z naar beneden,
- in punt R de normaalkracht F_n naar boven.

De kracht F_n in R is dus even groot als de zwaartekracht F_z .

De krachten op de voet

$F_{\text{res,vert}} = 0 \text{ N}$, want de voet is in rust.

- In punt R werkt de normaalkracht F_n omhoog.
- In punt P werkt de kracht F_P omhoog.

In punt Q werkt dus een kracht omlaag die even groot is als de krachten in R en P samen:

$$F_Q = F_n + F_P$$

Combineren met $F_n = F_z$ levert: $F_Q = F_z + F_P$

F_Q is dus groter dan F_z .

De juiste mogelijkheid is mogelijkheid 3.

4 havo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 37

- a ► De resulterende kracht op de achterste auto bereken je met de tweede wet van Newton.

$$F_{\text{res,achter}} = m \cdot a$$

$$m = 980 \text{ kg}$$

$$a = 1,30 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{res,achter}} = 980 \times 1,30 = 1274,0 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{res,achter}} = 1,27 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

- De spankracht F_{span} in de sleepkabel bereken je met de krachten op de achterste auto in de bewegingsrichting.

De spankracht werkt in de bewegingsrichting en de wrijvingskracht werkt tegengesteld aan de bewegingsrichting.

$$F_{\text{res,achter}} = F_{\text{span,achter}} - F_{\text{w,achter}}$$

$$F_{\text{res,achter}} = 1,27 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{\text{w,achter}} = 78 \text{ N} = 0,078 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } 1,27 \cdot 10^3 = F_{\text{span,achter}} - 0,078 \cdot 10^3$$

$$F_{\text{span,achter}} = 1,27 \cdot 10^3 + 0,078 \cdot 10^3 = 1,3480 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{span,achter}} = 1,35 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

- b ► De voorwaartse kracht $F_{\text{voorwaarts}}$ op de voorste auto bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten op de voorste auto in de bewegingsrichting.

$$F_{\text{res,voor}} = m \cdot a$$

$$m = 1210 \text{ kg}$$

$$a = 1,30 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{res,voor}} = 1210 \times 1,30 = 1,573 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Op de voorste auto werkt in de bewegingsrichting de voorwaartse kracht die de motor levert. Tegen de bewegingsrichting in werken de spankracht en de wrijvingskracht.

$$F_{\text{res,voor}} = F_{\text{voorwaarts}} - F_{\text{span,voor}} - F_{\text{w,voor}}$$

$$F_{\text{w,voor}} = 96 \text{ N} = 0,096 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- De spankracht $F_{\text{span,voor}}$ op de voorste auto volgt uit de derde wet van Newton.

De spankracht op de achterste auto ontstaat doordat de voorste auto aan het touw trekt. Volgens de derde wet van Newton trekt de kabel met dezelfde kracht aan de voorste auto. De spankracht $F_{\text{span,voor}}$ is dus ook $1,35 \cdot 10^3 \text{ N}$.

- Invullen van $F_{\text{res,voor}}$, $F_{\text{span,voor}}$ en $F_{\text{w,voor}}$ in de formule $F_{\text{res,voor}} = F_{\text{voorwaarts}} - F_{\text{span,voor}} - F_{\text{w,voor}}$:

$$1,573 \cdot 10^3 = F_{\text{voorwaarts}} - 1,35 \cdot 10^3 - 0,096 \cdot 10^3$$

$$F_{\text{voorwaarts}} = 1,573 \cdot 10^3 + 1,35 \cdot 10^3 + 0,096 \cdot 10^3$$

$$F_{\text{voorwaarts}} = 1,573 \cdot 10^3 + 1,35 \cdot 10^3 + 0,096 \cdot 10^3 = 3,0190 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{voorwaarts}} = 3,02 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

- c Als de achterste auto over een verkeersdrempel rijdt, oefent de verkeersdrempel een tegenwerkende kracht uit op de achterste auto. De kabel wordt daardoor uitgerekt en de spankracht in de kabel wordt dan groter. Is de spankracht te groot, dan breekt de kabel.