

**TECHNISCHE
NATUURKUNDE:
DYNAMICA, FLUÏDA
EN WARMTELEER**

TECHNISCHE NATUURKUNDE: DYNAMICA, FLUÏDA EN WARMTELEER

Inhoud

Technische natuurkunde	13
Hoe te studeren?	15
Grootheden en eenheden	15
Significante cijfers	17
1. Dynamica	19
1.1. Krachten	21
1.1.1. De oorzaak van beweging	21
1.1.2. De bron van verandering	21
1.1.3. Krachtendiagram	23
1.2. Krachten – De wetten van Newton	27
1.2.1. De eerste wet van Newton	27
1.2.2. De tweede wet van Newton	30
1.2.3. De derde wet van Newton	33
1.3. Uitdieping specifieke krachten	37
1.3.1. Zwaartekracht	37
1.3.2. Veerkracht	39
1.3.3. Normaalkracht	42
1.3.4. Wrijvingskracht	44
1.3.5. Centripetale kracht	47
1.4. Arbeid, Energie en Vermogen	51
1.4.1. Arbeid	51
1.4.2. Energie	55
1.4.3. Vermogen	59
1.5. Oefeningen	61

2. Trillingen en golven	65
2.1. De harmonische beweging	67
2.1.1. Inleiding	67
2.1.2. De uitwijking	68
2.1.3. De snelheid	72
2.1.4. De versnelling en de kracht	73
2.1.5. Kinetische en potentiële energie	74
2.2. Trilling bij een veer in detail	77
2.2.1. Snelheid, versnelling en de kracht	77
2.2.2. De periode	79
2.2.3. De gedempte trilling	81
2.2.4. De gedwongen trilling	83
2.3. Oefeningen	86
2.4. Golven	90
2.4.1. De golfbeweging	90
2.4.2. De golfvergelijking	93
2.4.3. Energie bij een golf	98
2.4.4. Het superpositiebeginsel en interferentie	103
2.4.5. Staande golf	106
2.4.6. Huygens, reflectie en breking	110
2.5. Geluid	116
2.5.1. Eigenschappen van geluid	116
2.5.2. Geluidssterkte	117
2.5.3. Het Dopplereffect	122
2.6. Elektromagnetische golven	126
2.6.1. Inleiding	126
2.6.2. Het elektromagnetisch spectrum	128
2.6.3. Buiging en interferentie	129
2.7. Oefeningen	139

3. Fluïda	143
3.1. Inleiding	145
3.1.1. Massadichtheid	145
3.1.2. Druk	147
3.2. Hydrostatica	149
3.2.1. Druk op een vloeistof	149
3.2.2. Druk in een fluïdum	154
3.3. Luchtdruk	162
3.3.1. Druk in een gas	162
3.3.2. Atmosfeerdruk	163
3.3.3. Overdruk, onderdruk en vacuüm	165
3.3.4. De kracht van de atmosfeerdruk	167
3.3.5. Meten van druk	171
3.4. Wet van Archimedes	177
3.4.1. Opwaartse kracht	177
3.4.2. Zinken, zweven en drijven	180
3.5. Oefeningen	183
3.6. Hydrodynamica	186
3.6.1. Laminaire en turbulente stroming	186
3.6.2. De continuïteitsvergelijking	187
3.6.3. De wet van Bernoulli	190
3.6.4. De venturibuis	197
3.6.5. De wet van Torricelli	198
3.6.6. Viscositeit	201
3.6.7. De vergelijking van Poiseuille	203
3.6.8. Drukval	207
3.7. Oefeningen	208

4. Thermodynamica	213
4.1. Temperatuur	215
4.1.1. Thermische agitatie	215
4.1.2. Temperatuur	216
4.1.3. Vloeistofthermometer	216
4.1.4. Bimetaalthermometer	217
4.1.5. Weerstandsthermometer	220
4.1.6. Andere thermometers	221
4.1.7. Temperatuurschalen	222
4.1.8. Thermische expansie	224
4.2. Warmte en materie	229
4.2.1. Warmte	229
4.2.2. Warmtecapaciteit	231
4.2.3. Calorimetrie	232
4.2.4. Aggregatietoestanden en latente warmte	234
4.2.5. Verdampen en condenseren	240
4.2.6. Relatieve vochtigheid	244
4.2.7. Het verschijnsel koken	246
4.2.8. Fasediagram van een zuivere stof	249
4.2.9. Warmtetransfer	252
4.2.10. Convectie	259
4.2.11. Straling	260
4.3. Oefeningen	265

4.4. Gaswetten	267
4.4.1. De eerste hoofdwet van de thermodynamica	268
4.4.2. Isochore toestandsverandering	271
4.4.3. Isobare toestandsverandering	272
4.4.4. Isotherme toestandsverandering	274
4.4.5. De ideale gaswet	276
4.4.6. De adiabatische toestandsverandering	277
4.4.7. Warmtecapaciteit van een ideaal gas	280
4.4.8. Berekening van de arbeid	283
4.5. Oefeningen	290

Tabellen	295
----------	-----

Inleiding

Technische natuurkunde

Dit handboek is geschreven voor studenten aan technische bacheloropleidingen. Het geeft je een stevige basis in de fundamentele natuurkundige concepten die je nodig hebt in het hoger onderwijs. Tijdens de studie kom je regelmatig complexe probleemsituaties tegen waarbij je een grondige kennis van de natuurwetten nodig hebt om tot een werkbare oplossing te komen. De onderwerpen in dit boek zijn daarom zorgvuldig gekozen, zodat andere vakken binnen de opleiding hierop kunnen voortbouwen.

De focus ligt niet op het uit het hoofd leren van formules, maar op het begrijpen en gericht toepassen van de leerstof. Op de veelgestelde vraag of je de theorie moet kennen, is het antwoord dat je de theorie vooral moet begrijpen. Pas dan kun je de noodzakelijke verbanden leggen die nodig zijn om redeneervragen en rekenvragen op te lossen. Om de abstracte theorie zo inzichtelijk mogelijk te maken, verwijzen de uitleg, voorbeelden en vraagstellingen vaak naar herkenbare situaties uit het dagelijks leven en de industriële praktijk.

In de oefeningen maken we situaties soms eenvoudiger, zodat de kern van het probleem duidelijker wordt. Afhankelijk van je afstudeerrichting ga je later dieper in op deze concepten en werk je ze verder uit.

Ieder hoofdstuk begint bij het begin, zodat je het kunt lezen zonder specifieke natuurkundige voorkennis. Een stevige basiskennis van wiskunde is wel aangeraden, maar we hebben de gebruikte wiskunde zo eenvoudig mogelijk gehouden. We geven alleen bewijzen van formules als dit een directe meerwaarde biedt voor het begrip van de formule zelf. Hoewel het gebruik van afgeleiden en integralen onvermijdelijk is in de technische natuurkunde, wordt ook hier enkel de basiskennis verondersteld.

Het handboek is gestructureerd in vier grote domeinen:

1. **Dynamica:** de studie van krachten die beweging veroorzaken;
2. **Trillingen en golven:** de analyse van periodieke bewegingen en energieoverdracht;
3. **Fluïda:** de mechanica van vloeistoffen en gassen in rust en in beweging;
4. **Thermodynamica:** de leer van warmte, arbeid, gaswetten en energieomzettingen.

Elk hoofdonderdeel is onderverdeeld in kleinere, behapbare hoofdstukken. Die starten telkens met de theoretische uiteenzetting, gevolgd door een conceptueel voorbeeld, en eindigen meestal met een volledig uitgewerkt rekenvoorbeeld. Elk blok dat een samenhangend geheel vormt sluit af met een tiental oefeningen. Deze oefeningen bevatten geen tussenstappen, maar wel het eindresultaat, zodat je zelfstandig kunt controleren of je de leerstof beheerst en correct kunt toepassen.

Hoe te studeren?

Natuurkunde studeren in een technische bachelor vraagt om een actieve aanpak waarbij inzicht belangrijker is dan vanbuiten leren. Lees daarom vóór het hoorcollege het hoofdstuk al eens door. Zo krijg je zicht op de moeilijkheidsgraad en de belangrijkste concepten. Markeer meteen wat nieuw of nog onduidelijk is. Tijdens het college aanwezig zijn is belangrijk. Richt je notities vooral op wat in het boek minder duidelijk naar voren komt en schrijf extra uitleg op bij de punten die je vooraf nog niet goed begreep. Let ook op de tips van de docent en op de verbanden tussen de verschillende thema's.

Na het college neem je de leerstof kritisch door. Het is van belang dat je de theoretische kaders en de afgeleide formules volledig doorgrondt voordat je aan de oefeningen begint. Zorg dat je elke formule kunt reproduceren, inclusief de betekenis van elke grootte en de bijbehorende SI-eenheid.

Zodra de basis stevig zit, start je met de oefeningen. Gebruik schetsen en diagrammen om complexe vraagstukken visueel in kaart te brengen. Herhaal de meest uitdagende opdrachten tot je de achterliggende methode helemaal beheerst.

Grootheden en eenheden

In de natuurkunde gebruikt men grootheden om meetbare eigenschappen van verschijnselen of voorwerpen te beschrijven, zoals lengte, massa of tijd. Om deze grootheden objectief te kunnen vergelijken en kwantificeren, worden ze gemeten aan de hand van een vaste standaard: de eenheid. De eenheid van de grootte lengte is bijvoorbeeld de meter. Binnen het internationale stelsel onderscheidt men zeven basisgrootheden met elk hun eigen basiseenheid. Wanneer deze basisgrootheden volgens natuurkundige wetmatigheden met elkaar worden gecombineerd, ontstaat een afgeleide grootte. Een voorbeeld hiervan is snelheid, wat gedefinieerd wordt als de verhouding tussen afstand

en tijd. De eenheid van zo'n afgeleide grootte volgt rechtstreeks uit de toegepaste formule. Om specifiek naar de eenheid van een grootte te verwijzen zonder een getalwaarde te noemen, plaatst men het symbool van die grootte tussen vierkante haakjes.

Bijvoorbeeld:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$
$$[v] = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$$

In veel gevallen wordt een afgeleide eenheid niet enkel uitgedrukt als een combinatie van basiseenheden, maar krijgt deze een specifieke eigen benaming. Zo wordt de grootte druk weergegeven in de SI-eenheid pascal (Pa), hoewel in specifieke contexten ook bar of atmosfeer (atm) wordt gebruikt.

In de praktijk krijg je vaak te maken met extreem grote of net zeer kleine waarden. Zo meet men de weerstand bij industriële motoren vaak in kilo-ohm ($k\Omega$) en de dikte van koperdraad in millimeter (mm). Ook binnen vloeistofsystemen in de machinebouw worden volumes regelmatig uitgedrukt in kubieke meter (m^3) of milliliter (ml). Het metrieke stelsel hanteert voor al deze eenheden vaste veelvouden van tien, waardoor je eenvoudig kan schakelen tussen verschillende schaalgrootten zonder ingewikkelde omrekenfactoren. Deze SI-prefixen zijn van toepassing op vrijwel elke eenheid. Een kilogram (kg) staat altijd gelijk aan exact 1.000 gram (g) en een millimeter (mm) is stevast een duizendste van een meter. Een overzicht van deze voorvoegsels is terug te vinden in Tabel 2.

Zoals in het voorbeeld van de weerstand wordt er vaak gebruikgemaakt van Griekse letters bij de grootheden of de eenheden. Een overzicht van deze letters met bijhorende naam vind je in Tabel 1.

Significante cijfers

In het bedrijfsleven werkt men vaak met meetgegevens van sensoren waarbij elk instrument een beperkte precisie heeft. Het gebruik van significante cijfers is hierbij essentieel om de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van berekeningen te waarborgen. Toch leggen we daar in de context van deze cursus geen nadruk op. De einduitkomst van de oefeningen wordt in de meeste gevallen genoteerd met vier beduidende cijfers. Het is belangrijk om tussenuitkomsten niet af te ronden. Zo voorkom je dat kleine afrondingsfouten zich opstapelen en het eindresultaat beïnvloeden.

1. Dynamica

1.1. Krachten

1.1.1. De oorzaak van beweging

In de kinematica worden de wiskundige hulpmiddelen ontwikkeld waarmee je de beweging van een voorwerp kunt beschrijven. Voor verschillende soorten bewegingen kun je zo de positie, snelheid en versnelling berekenen. De vraag waarom een voorwerp kan bewegen of waarom het versnelt in een bepaalde richting wordt beantwoord met behulp van de dynamica.

Dynamica is de tak van de mechanica die zich bezighoudt met de relatie tussen de krachten en de beweging die ze veroorzaken. De wiskundige formules en wetmatigheden die daaruit volgen, zijn nodig om de prestaties, efficiëntie en veiligheid van industriële systemen te bepalen. Begrip van dynamica is essentieel in diverse sectoren: van de machinebouw tot de procesindustrie en de chemie. Het is belangrijk voor taken zoals:

- het bepalen van het benodigde koppel van een motor;
- het berekenen van het nettovermogen van een pomp om een vloeistof te verplaatsen;
- het analyseren van de krachten in mengprocessen;
- het berekenen van de trillingen in centrifuges of compressoren.

1.1.2. De bron van verandering

Het centrale concept in de dynamica is de Kracht. In het Engels spreekt men van *Force*, vandaar dat we ‘F’ als afkorting gebruiken. Een kracht is de externe factor die nodig is om elke verandering in de bewegingstoestand van een lichaam te veroorzaken. Zo moet je een kracht uitoefenen op een kar als je die wilt voortduwen; zonder deze interactie zal de kar niet in beweging komen.

Voor dit specifieke voorbeeld is er contact nodig tussen de persoon die de kracht uitoefent en het voorwerp dat verplaatst moet worden. Een kracht waarbij er contact nodig is, wordt een **contactkracht** genoemd.

Een ander voorbeeld is een transportband die een pakket voortstuwt, een zuiger die druk uitoefent op een vloeistof in een cilinder, of de tanden van twee tandwielen die in elkaar grijpen om een koppel over te dragen. In al deze gevallen is fysiek contact noodzakelijk om een kracht te kunnen uitoefenen.

Als een voorwerp naar de aarde valt, zal dit voorwerp naar de grond toe versnellen. Hierbij is er duidelijk geen kracht die contact maakt met het voorwerp. De oorzaak van het versnellen is de zwaartekracht van de aarde. Zo'n kracht wordt een **veldkracht** genoemd. Een ander voorbeeld van een veldkracht is de magnetische kracht. De interactie tussen de stator en de rotor in een elektromotor gebeurt zonder dat ze contact met elkaar maken.

Hoewel we in de techniek spreken over vele soorten krachten (wrijving, veerkracht, luchtweerstand), kunnen al deze krachten in de natuurkunde uiteindelijk worden teruggebracht tot vier fundamentele interacties.

1. **Gravitatiekracht:** deze kracht, beter bekend als de zwaartekracht, is opmerkelijk genoeg de zwakste van de vier fundamentele natuurkrachten. Omdat deze zwaartekracht meestal het gevolg is van een planeet met een enorme massa is deze toch sterk aanwezig. Zo is de zwaartekracht verantwoordelijk voor onder andere het gewicht van voorwerpen, de noodzaak van stevige constructies in de bouwkunde of de beweging van de planeten.
2. **Elektromagnetische kracht:** dit is de kracht tussen geladen deeltjes. De werking van een elektromotor is een direct en herkenbaar voorbeeld van deze kracht. Vrijwel alle krachten die we in het dagelijks leven als 'contact' ervaren, zijn in wezen elektromagnetisch van aard. Wanneer een hamer op een nagel slaat, zijn het de elektronenwolken van de atomen in de hamer en de nagel die elkaar op microscopische afstand krachtig afstoten. In de chemie vormt deze kracht de basis voor alle atoombindingen en intermoleculaire interacties.

3. **Sterke kernkracht:** deze kracht bindt protonen en neutronen samen in de atoomkern. Een sterke kernkracht heeft een zeer kort bereik en is verantwoordelijk voor de enorme energie die vrijkomt bij nucleaire reacties.
4. **Zwakke kernkracht:** deze kracht is verantwoordelijk voor bepaalde vormen van radioactief verval. Net als de sterke kernkracht speelt deze kracht zich af op subatomair niveau.

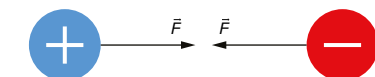
In dit handboek behandelen we vooral de elektromagnetische krachten en de gravitatiekracht waarbij we de krachten benoemen zoals we die ervaren. Bijvoorbeeld: zwaartekracht, veerkracht, duwkracht, wrijving, enzovoort.

1.1.3. Krachtendiagram

Een contactkracht, zoals bij het duwen van een winkelkar of de veldkracht bij geladen deeltjes, kan voorgesteld worden door een vector. Een kracht heeft dus een grootte, richting en zin.



Figuur 1: Duwen van een winkelkar



Figuur 2: Aantrekkingskracht tussen twee geladen deeltjes

In de praktijk zal er zelden slechts één kracht inwerken op een voorwerp. Bij het fietsen bijvoorbeeld oefen je zelf een kracht uit om vooruit te komen. Tegelijk ondervind je de kracht van de wrijving, de zwaartekracht en ook de weg veroorzaakt een kracht. Om dit overzichtelijk te houden en om te berekenen hoe een voorwerp beweegt, maken we gebruik van een Krachtendiagram (KD). Hierbij stellen we het voorwerp voor als een puntmassa waarbij alle krachten inwerken op dit punt.

Omdat een kracht een vectoriële grootheid is, stellen we elke kracht voor als een vector. Door het maken van een krachtdiagram kunnen we complexe situaties vereenvoudigen om uiteindelijk de nettokracht op het voorwerp te bepalen.

Als uitbreiding wordt het begrip 'systeem' geïntroduceerd. Neem een vrachtwagen met een aanhangwagen. Om het effect van de nettokracht te kennen, moeten beide voorwerpen gebruikt worden voor het krachtdiagram. Hierbij is het systeem de combinatie van de vrachtwagen met de aanhangwagen. De puntmassa is dan ook de voorstelling van dit systeem.



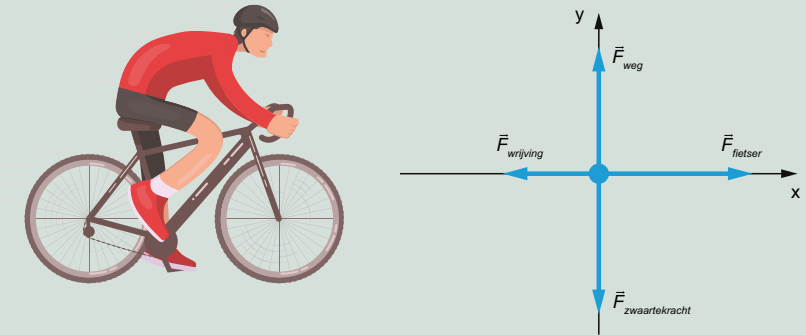
OPGAVE

Een fietser versnelt op een horizontale weg. Teken het krachtdiagram waarbij de fietser en de fiets samen het systeem vormen.

STRATEGIE

1. Teken het x-y-assenstelsel waarbij de x-as gelijk ligt met de weg waar de fietser over rijdt. In dit geval is dat een horizontale as. De zin van de x-as is gelijk aan de richting van de fietser.
2. Teken de y-as loodrecht op de x-as.
3. Teken het punt van de puntmassa op het snijpunt van beide assen. Elke vector heeft dit punt als beginpunt.
4. Teken de kracht van de fietser $\vec{F}_{\text{fietser}}$. Deze heeft dezelfde richting en zin als de x-as.
5. Teken de kracht van de wrijving $\vec{F}_{\text{wrijving}}$. Omdat de wrijving de beweging van de fietser tegenwerkt, is de zin tegengesteld aan die van de fietser. De richting is evenwijdig met de weg. In de opgave wordt vermeld dat de fietser versnelt. Hierdoor weten we dat de kracht van de fietser groter moet zijn dan de wrijvingskracht. Deze vector moet dus kleiner zijn dan de vector die de kracht van de fietser voorstelt.
6. Teken de zwaartekracht $\vec{F}_{\text{zwaartekracht}}$ evenwijdig aan de y-as, maar naar beneden gericht.
7. Teken de kracht van de weg $\vec{F}_{\text{weg}}$. We weten dat de fietser niet in de grond zakt omdat de weg de fietser tegenhoudt. Deze kracht wordt later besproken. Momenteel is het voldoende om te weten dat deze tegengesteld is aan en even groot is als de zwaartekracht.

OPLOSSING



Figuur 3: Fietser op horizontale weg



OPGAVE

Een fietser rijdt een helling omhoog. Teken het krachtdiagram waarbij de fietser en de fiets samen het systeem vormen.

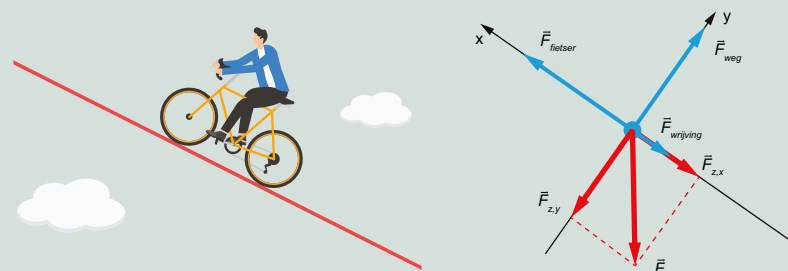
STRATEGIE

1. Teken het x-y-assenstelsel waarbij de x-as gelijk ligt met de weg waar de fietser over rijdt. In dit geval is dat een schuine rechte. De zin van de x-as is ook gelijk aan de richting van de fietser.
2. Teken de y-as loodrecht op de x-as.
3. Teken het punt van de puntmassa op het snijpunt van beide assen. Elke vector heeft dit punt als beginpunt.
4. Teken de kracht van de fietser $\vec{F}_{\text{fietser}}$. Deze ligt schuin met dezelfde richting en zin als de x-as.
5. Teken de kracht van de wrijving $\vec{F}_{\text{wrijving}}$. Deze ligt ook schuin, maar in tegengestelde zin van de x-as. De lengte van deze vector is in dit geval minder belangrijk.
6. Teken de zwaartekracht $\vec{F}_z$ verticaal naar beneden gericht.

7. Deze zwaartekracht ligt niet evenwijdig met het assenstelsel. Deze vector moet je dan ook ontbinden in de x- en y-component. Dit doe je door vanuit het eindpunt van de vector een evenwijdige stippellijn te tekenen met de x-as en een evenwijdige stippellijn met de y-as. Het snijpunt van iedere stippellijn met de as geeft de lengte weer van de vector. Dit resulteert dus in respectievelijk $\vec{F}_{z,x}$, de x-component van de zwaartekracht en $\vec{F}_{z,y}$, de y-component van de zwaartekracht.
8. Teken de kracht van de weg $\vec{F}_{weg}$ die de fietser niet door de grond laat zakken. Deze vector staat loodrecht op de weg en is even groot als $\vec{F}_{z,y}$.

Als je naar de vectoren op de x-as kijkt, zie je dat zowel de wrijving als de x-component van de zwaartekracht de kracht van de fietser tegenwerken. Deze component van de zwaartekracht komt er dus bij als je een helling omhoogrijdt.

OPLOSSING



Figuur 4: Fietser op een helling

1.2. Krachten – De wetten van Newton

1.2.1. De eerste wet van Newton

 **Alseropeen voorwerpgeennettokrachtinwerkt, behoudthetzijn bewegingstoestand:**

- Als het voorwerp in rust is, dan blijft het in rust;
- Als het voorwerp beweegt, dan blijft het bewegen in rechte lijn aan een constante snelheid.

Deze eerste wet van Newton wordt ook wel de wet van de traagheid of inertie genoemd. Een voorwerp dat stilligt, zal zonder uitwendige kracht niet plots beginnen bewegen. Een voorwerp dat aan het bewegen is, zal niet plots tot stilstand komen of gaan vertragen.

Enkele voorbeelden

- Een voorwerp ligt op het dak van een rijdende auto. Als deze auto hard remt zal het voorwerp naar voor blijven bewegen (zie Figuur 5).
- Een vrachtwagen die aan een te hoge snelheid een scherpe bocht neemt kan zijn lading verliezen.
- Als je frontaal met je wagen botst, wordt je lichaam tegengehouden door de gordel, maar je armen, benen en hoofd bewegen naar voren. De airbag moet je hoofd hierbij beschermen.
- Bij het mengen van een vloeistof in een ketel zal de vloeistof nog even ronddraaien, ook al is de mengarm stopgezet.



Figuur 5: Voorbeeld van de eerste wet van Newton

Het is bijna onmogelijk om een voorwerp te vinden waar absoluut geen kracht op inwerkt. Daarom focust de eerste wet van Newton zich op de nettokracht: de som van alle krachten samen. Wanneer een voorwerp in rust is, betekent dit niet dat er geen krachten zijn, maar dat de aanwezige krachten elkaar precies opheffen.

Neem een boek dat op tafel ligt. Er werken twee belangrijke krachten op dit voorwerp: de zwaartekracht, die het boek naar beneden trekt, en de normaalkracht van de tafel, die het boek omhoogduwt. Omdat deze twee krachten even groot zijn, maar in tegengestelde richting werken, is de totale nettokracht nul en blijft het boek onbeweeglijk liggen.

Een vliegtuig dat aan een constante snelheid vliegt, ervaart vier krachten. Verticaal bekeken is dat opnieuw de zwaartekracht die het vliegtuig naar beneden trekt. Door de liftkracht van de vleugels ervaart het vliegtuig een kracht naar boven. In de afbeelding (Figuur 6) zijn beide verticale krachten even groot, waardoor het vliegtuig op dezelfde hoogte blijft vliegen. Omdat de zwaartekracht constant blijft, moet de piloot de lift van het vliegtuig aanpassen om te kunnen zakken of verder te stijgen.

Dit doet de piloot door het aanpassen van de vleugels of door de snelheid aan te passen. Als de liftkracht groter wordt, zal het vliegtuig verder stijgen. Als deze kracht kleiner wordt, zal het vliegtuig dalen. De horizontale krachten zijn onder andere de stuwkracht en de luchtweerstand. De straalmotoren van het vliegtuig zorgen voor de stuwkracht. De luchtweerstand bemoeilijkt de beweging van het vliegtuig.

Zolang deze twee horizontale krachten tegengesteld en gelijk zijn aan elkaar, zal het vliegtuig verder vliegen aan een constante snelheid. Zodra de stuwkracht groter is, zal het vliegtuig gaan versnellen en dus sneller gaan vliegen. En omgekeerd, als de stuwkracht kleiner wordt dan de wrijvingskracht, zal het vliegtuig vertragen.



Figuur 6: Krachten die inwerken op een vliegtuig

1.2.2. De tweede wet van Newton



$$\vec{F}_{\text{netto}} = m \cdot \vec{a}$$

Om een voorwerp met massa m een versnelling $\vec{a}$ te geven, is een nettokracht $\vec{F}$ nodig.

De versnelling is een vectoriële grootte; de massa is een scalaire grootte. Vermenigvuldig je deze twee met elkaar, dan krijg je een kracht die opnieuw een vectoriële grootte is. Een kracht heeft dus een grootte, richting en zin waarbij de richting en zin gelijk zijn aan de richting van de versnelling.

Uit deze tweede wet van Newton volgt: hoe groter de massa van een object, hoe meer kracht er nodig is om het sneller te laten gaan of om af te remmen. Een lichte bal is met een klein duwtje makkelijk in beweging te krijgen, terwijl een zware kast een enorme kracht vereist voor diezelfde versnelling.



Bepaling van de eenheid van kracht:

$$[\vec{F}] = [m] \cdot [\vec{a}] = 1 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N (Newton)}$$



OPGAVE

Bereken de eindsnelheid in kilometer per uur van een voorwerp met een massa van 1,0 kg dat vanuit rust gedurende exact 1,0 seconde wordt voortgeduwd door een constante kracht van 1,0 N.

GEGEVENS

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

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

$$F = 1,0 \text{ N}$$

GEVRAAGD

Snelheid v

OPLOSSING

Volgens de tweede wet van Newton: $a = \frac{F}{m} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg}} = 1 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} \text{Uit de vergelijking van de snelheid: } v &= a \cdot t = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ s} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ &= 3,6 \text{ km/u (?)} \end{aligned}$$

Een eindsnelheid van 3,6 km/u is geen grote snelheid voor een voorwerp van 1 kg. Een kracht van 1 N is dan ook geen grote kracht.



OPGAVE

Een automatische transportwagen met een totale massa van 250 kg rijdt met een constante snelheid door een magazijn. Een persoon komt in de veiligheidsperimeter van de wagen waardoor deze wagen plotseling tot stilstand komt met een constante vertraging van 12 m/s^2 . Welke horizontale remkracht moet het remsysteem op de wagen uitoefenen om deze vertraging te realiseren?

GEGEVENS

$$m = 250 \text{ kg}$$

$$a = -12 \text{ m/s}^2$$

GEVRAAGD

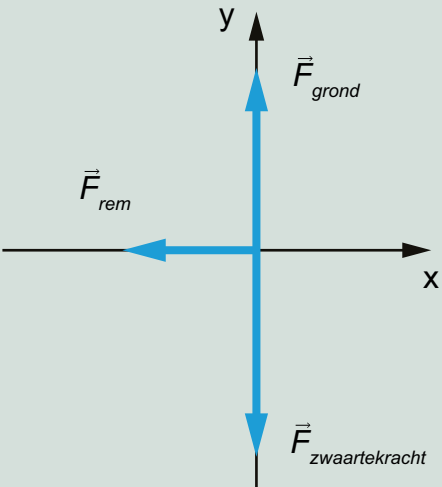
Kracht van de rem

STRATEGIE

1. Bepaal het systeem
2. Teken het Krachtendiagram
3. Stel de tweede wet van Newton op voor de x-as en y-as. Los de vergelijkingen op

OPLOSSING

- 1. Systeem = automatische transportwagen
- 2. Het krachtdiagramm

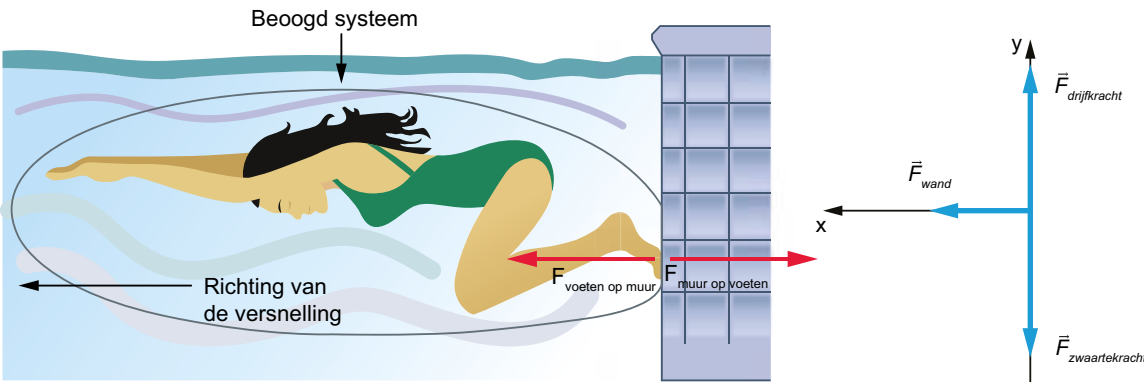


Figuur 7: Krachtdiagramm remmende transportwagen

<u>x-as</u>	<u>y-as</u>
$\vec{F}_{rem} = m \cdot \vec{a}$	$\vec{F}_{grond} + \vec{F}_{zwaartekracht} = m \cdot \vec{a}$
$-F_{rem} = m \cdot a_x$	$F_{grond} - F_{zwaartekracht} = m \cdot a_y$
$-F_{rem} = 250 \text{ kg} \cdot \left(-12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$	Verticaal is er geen versnelling.
$F_{rem} = 3,0 \text{ kN}$	$F_{grond} - F_{zwaartekracht} = 0$

1.2.3. De derde wet van Newton

In Figuur 8 duwt een zwemster met haar voeten tegen de wand van het zwembad. Hierbij oefent zij een kracht uit tegen deze wand. Deze wand zal natuurlijk niet gaan bewegen en zal een tegengestelde, even grote kracht uitoefenen op de voeten van de zwemster. Hierdoor ervaart de zwemster een kracht waardoor zij, volgens de tweede wet van Newton, een versnelling krijgt in de richting van deze laatste kracht.



Figuur 8: Derde wet van Newton: zwemster duwt zich af tegen de kant

Figuur 9: Krachtdiagramm van de zwemster

De zwemster maakt, onbewust waarschijnlijk, gebruik van de derde wet van Newton.



$$\vec{F}_{1-2} = \vec{F}_{2-1}$$

In woorden: als systeem 1 een kracht uitoefent op systeem 2, dan zal systeem 2 een kracht uitoefenen op systeem 1 die even groot is, maar tegengesteld van richting.

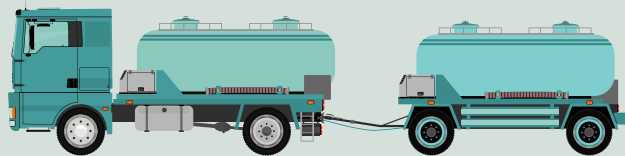
Noot: in het Krachtendiagram staat als horizontale kracht de kracht van de wand. Het is inderdaad zo dat de wand van het zwembad de kracht levert op de zwemster zodat zij vooruit versnelt. Deze kracht komt er natuurlijk doordat de zwemster zichzelf afduwt tegen de zwembadwand. In de volgende oefeningen zal de kracht dan ook genoemd worden naar het systeem dat de kracht veroorzaakt.



OPDRACHT

Een tankwagen met een massa van 25,0 ton trekt een aanhangwagen van 5,0 ton voort op een horizontale weg. De tankwagen oefent via de wielen een voorwaartse kracht van 60 kN uit.

- Bereken de versnelling van de tankwagen met de aanhangwagen.
- Bereken de spankracht in de trekhaak die de tankwagen op de aanhangwagen uitoefent.



Figuur 10: Tankwagen met aanhangwagen

GEGEVENS

$$m_{\text{tankwagen}} = 25,0 \text{ ton} = 25,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$m_{\text{aanhangwagen}} = 5,0 \text{ ton} = 5,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$F = 60 \text{ kN}$$

GEVRAAGD

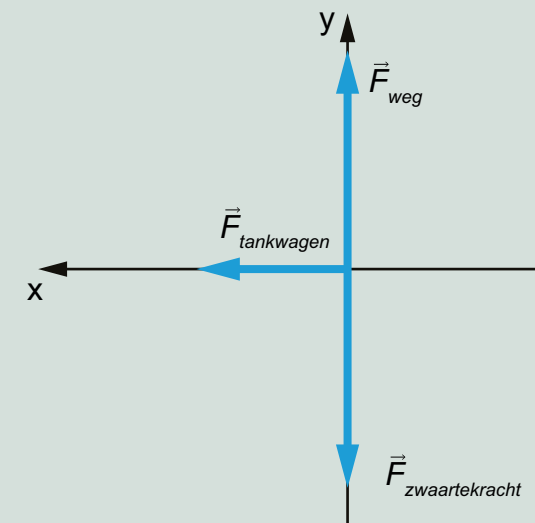
- Versnelling van de tankwagen met de aanhangwagen.
- Spankracht in de trekhaak die de tankwagen op de aanhangwagen uitoefent.

STRATEGIE

- Bepaal het systeem
- Teken het Krachtendiagram
- Stel de tweede wet van Newton op voor de x-as en de y-as. Los de vergelijkingen op

OPLOSSING deel a

- Systeem = tankwagen en aanhangwagen
-



Figuur 11: Krachtendiagram van versnellende tankwagen

- De versnelling is volgens de x-as. Hierdoor lossen we enkel deze vergelijking op en niet ook de y-as.

x-as

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

$$a = \frac{F_{\text{tankwagen}}}{m}$$

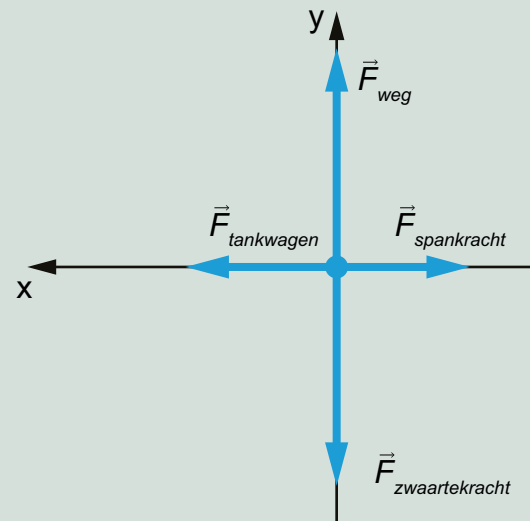
$$a = \frac{60 \cdot 10^3 \text{ N}}{30,0 \cdot 10^3 \text{ kg}}$$

De massa is die van het systeem: tankwagen en aanhangwagen.

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

OPLOSSING deel b

1. Systeem = tankwagen
- 2.



Figuur 12: Krachtendiagram van de tankwagen

- 3.

$$\begin{aligned} \text{x-as} \\ F_{\text{tankwagen}} - F_{\text{spankracht}} &= m \cdot a \\ F_{\text{spankracht}} &= F_{\text{tankwagen}} - m \cdot a \\ F_{\text{spankracht}} &= 60 \cdot 10^3 \text{ N} - 25,0 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ F_{\text{spankracht}} &= 10 \cdot 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

1.3. Uitdieping specifieke krachten

1.3.1. Zwaartekracht



De zwaartekracht is de aantrekkingskracht die de aarde uitoefent op een massa en wordt berekend door $\vec{F}_z = m \cdot \vec{g}$, waarbij we voor de valversnelling de standaardwaarde van $9,81 \text{ m/s}^2$ hanteren. De zwaartekracht wijst steeds naar het middelpunt van de aarde, wat in gewone situaties verticaal naar beneden is.

De zwaartekracht is dus de kracht waarmee de aarde aan een voorwerp trekt. De grootte van deze kracht hangt direct samen met de massa van het systeem en de valversnelling. Hoewel de waarde van de valversnelling in werkelijkheid licht varieert afhankelijk van de locatie op aarde, hanteren we voor deze cursus de standaardwaarde van $9,81 \text{ m/s}^2$. Deze formule is eigenlijk een vereenvoudiging van de universele gravitatiewet van Newton. Volgens die wet trekken alle massa's in het heelal elkaar aan, maar omdat de aarde zo enorm groot is, merken we in het dagelijks leven vooral de aantrekking door de aarde.

Om duidelijk te maken dat de zwaartekracht op een voorwerp of systeem niet verandert, bekijken we een vallende steen die op een vloer terechtkomt.



OPDRACHT

Situatie 1: de vrije val met luchtweerstand. Een steen met een massa van 2 kilogram valt verticaal en ondervindt tijdens de val een constante luchtweerstand van 5,0 N. Bereken de versnelling waarmee de steen valt.

Situatie 2: de impact op de grond. Op het moment dat de steen de vloer raakt, wordt deze op heel korte tijd vertraagd. De kracht die hiervoor nodig is, wordt door de grond geleverd. Bereken de grootte van deze kracht als de steen een vertraging ondervindt van 90 m/s^2 .