NOVA

NATUURKUNDE VOOR DE BOVENBOUW



MAX

NATUURKUNDE 4

VWO / GYMNASIUM

NAAM EN KLAS

MALMBERG



NATUURKUNDE
4 VWO | GYMNASIUM

AUTEURS

Hans van Bemmel
Lodewijk Koopman
Eva Struick

EINDREDACTIE

Claud Biemans

MAX Release 3.0

Malmberg 's-Hertogenbosch

www.nova-malmberg.nl

AAN DE SLAG MET NOVA

P Praktijk

Herhaling

Uitdaging

Online

JOUW PERSOONLIJKE LEERROUTE

De opdrachten in de paragraaf zijn verdeeld in **basis** en **eindniveau**. Zorg dat je eerst de basis op orde hebt voordat je de opdrachten op eindniveau maakt. Hoe je dat doet, kies je zelf. Beheers jij de basis al? Dan kun je sneller aan de opdrachten op eindniveau beginnen.

BASIS

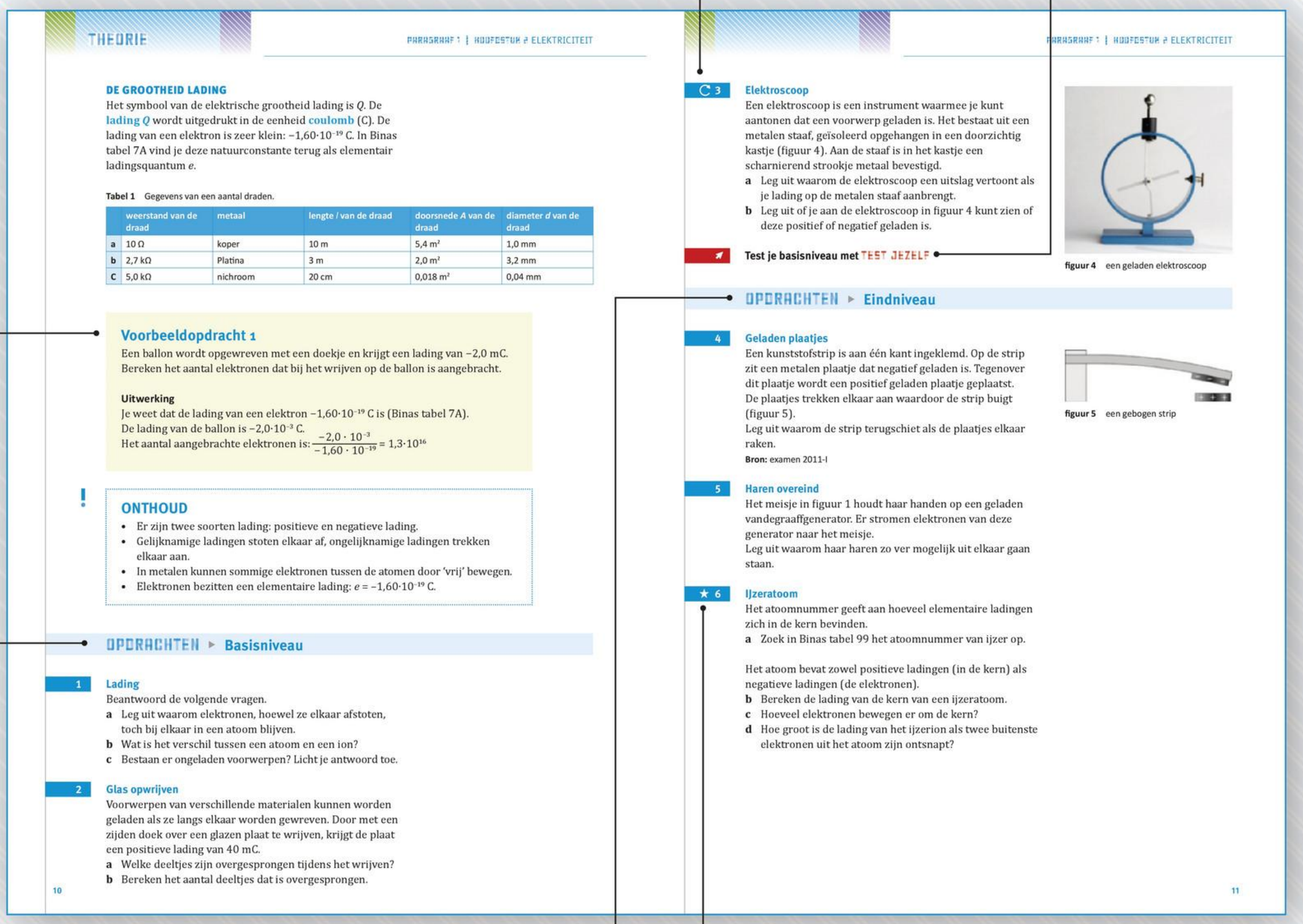
Dit moet je kennen en kunnen om de opdrachten op eindniveau te kunnen maken.

HERHALING

Als je extra wilt oefenen, maak je de herhalingsopdrachten.

TEST JEZELF

Test of je de basis kent. Je krijgt direct feedback en je ziet welke leerdoelen je wel en welke je nog niet beheerst.



THEORIE

PARAGRAAF 1 | HOOFDSTUK 2 ELEKTRICITEIT

DE GROOTHEID LADING

Het symbool van de elektrische grootheid lading is *Q*. De **lading *Q*** wordt uitgedrukt in de eenheid **coulomb** (C). De lading van een elektron is zeer klein: $-1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C. In Binas tabel 7A vind je deze natuurconstante terug als elementair ladingsquantum *e*.

Tabel 1 Gegevens van een aantal draden.

	weerstand van de draad	metaal	lengte *l* van de draad	doorsnede *A* van de draad	diameter *d* van de draad
a	10 Ω	koper	10 m	5,4 m²	1,0 mm
b	2,7 kΩ	Platina	3 m	2,0 m²	3,2 mm
c	5,0 kΩ	nichroom	20 cm	0,018 m²	0,04 mm

Voorbeeldopdracht 1

Een ballon wordt opgewreven met een doekje en krijgt een lading van −2,0 mC. Bereken het aantal elektronen dat bij het wrijven op de ballon is aangebracht.

Uitwerking

Je weet dat de lading van een elektron $-1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C is (Binas tabel 7A).
De lading van de ballon is $-2{,}0 \cdot 10^{-3}$ C.
Het aantal aangebrachte elektronen is: $\frac{-2{,}0 \cdot 10^{-3}}{-1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 1{,}3 \cdot 10^{16}$

ONTHOUD

- Er zijn twee soorten lading: positieve en negatieve lading.
- Gelijknamige ladingen stoten elkaar af, ongelijknamige ladingen trekken elkaar aan.
- In metalen kunnen sommige elektronen tussen de atomen door 'vrij' bewegen.
- Elektronen bezitten een elementaire lading: $e = -1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C.

OPDRACHTEN ▸ Basisniveau

1 Lading

Beantwoord de volgende vragen.

a Leg uit waarom elektronen, hoewel ze elkaar afstoten, toch bij elkaar in een atoom blijven.
b Wat is het verschil tussen een atoom en een ion?
c Bestaan er ongeladen voorwerpen? Licht je antwoord toe.

2 Glas opwrijven

Voorwerpen van verschillende materialen kunnen worden geladen als ze langs elkaar worden gewreven. Door met een zijden doek over een glazen plaat te wrijven, krijgt de plaat een positieve lading van 40 mC.

a Welke deeltjes zijn overgesprongen tijdens het wrijven?
b Bereken het aantal deeltjes dat is overgesprongen.

10

PARAGRAAF 1 | HOOFDSTUK 2 ELEKTRICITEIT

3 Elektroscoop

Een elektroscoop is een instrument waarmee je kunt aantonen dat een voorwerp geladen is. Het bestaat uit een metalen staaf, geïsoleerd opgehangen in een doorzichtig kastje (figuur 4). Aan de staaf is in het kastje een scharnierend strookje metaal bevestigd.

a Leg uit waarom de elektroscoop een uitslag vertoont als je lading op de metalen staaf aanbrengt.
b Leg uit of je aan de elektroscoop in figuur 4 kunt zien of deze positief of negatief geladen is.

Test je basisniveau met TEST JEZELF

figuur 4 een geladen elektroscoop

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

4 Geladen plaatjes

Een kunststofstrip is aan één kant ingeklemd. Op de strip zit een metalen plaatje dat negatief geladen is. Tegenover dit plaatje wordt een positief geladen plaatje geplaatst. De plaatjes trekken elkaar aan waardoor de strip buigt (figuur 5).
Leg uit waarom de strip terugschiet als de plaatjes elkaar raken.

Bron: examen 2011-I

figuur 5 een gebogen strip

5 Haren overeind

Het meisje in figuur 1 houdt haar handen op een geladen vandegraaffgenerator. Er stromen elektronen van deze generator naar het meisje.
Leg uit waarom haar haren zo ver mogelijk uit elkaar gaan staan.

★ 6 IJzeratoom

Het atoomnummer geeft aan hoeveel elementaire ladingen zich in de kern bevinden.

a Zoek in Binas tabel 99 het atoomnummer van ijzer op.

Het atoom bevat zowel positieve ladingen (in de kern) als negatieve ladingen (de elektronen).

b Bereken de lading van de kern van een ijzeratoom.
c Hoeveel elektronen bewegen er om de kern?
d Hoe groot is de lading van het ijzerion als twee buitenste elektronen uit het atoom zijn ontsnapt?

11

VOORBEELDOPDRACHT

Hier kun je zien hoe je gestructureerd een opdracht uitwerkt.

EINDNIVEAU

Als je deze opdrachten kunt maken, beheers je de stof van deze paragraaf.

EXTRA UITDAGING

★ De steropdrachten aan het eind van de paragraaf zijn extra uitdagend. Durf jij het aan?


PRAKTIJK

HOOFDSTUK 2 KRACHT EN BEWEGING

DE MAGIE VAN VERVOER OP WIND

Het is een mooi gezicht als je het ziet gebeuren en een spectaculair gevoel als je het zelf meemaakt: een heteluchtballon die vertrekt. De lucht wordt verhit en vult de ballon. Er wordt ballast afgeworpen en daar gaat hij. Gestaag stijgend en al snel meevarend met de wind begint hij zijn reis. Heteluchtballonnen zijn niet geschikt als snel vervoersmiddel, een ballonvaart doe je als vermaak. Natuurkundige principes voegen daar een extra laag van fascinatie aan toe.

DE ROL VAN DICHTHEID

De oorzaak van het opstijgen van een heteluchtballon hoor je vaak in verbasterde, niet volledig correcte vorm: "Warme lucht stijgt op." Een gasbrander verwarmt inderdaad de lucht in de ballon via een gat aan de onderkant (figuur 1), maar de warme lucht kan niet opstijgen door het doek van de ballon.
Door de hogere temperatuur neemt wel de dichtheid van de lucht af. Koude lucht rondom de ballon heeft een hogere dichtheid, waardoor de atmosfeer een kracht naar boven op de luchtballon uitoefent, de opwaartse kracht. Dat is vergelijkbaar met een bal die je onder water duwt: deze komt weer boven doordat de bal een lagere dichtheid heeft dan water.

In verticale richting ontstaat zo een krachtenspel tussen de zwaartekracht en de opwaartse kracht. Een luchtballon moet daarom groot genoeg zijn om het gewicht van de passagiers en het materiaal te compenseren.

Last van hoogtevrees? Eindeloos stijgen doet een luchtballon niet. De dichtheid van de atmosfeer neemt af met de hoogte. Op een bepaalde hoogte zijn de dichtheid van de atmosfeer en van de lucht in de ballon gelijk. De ballon zal dan

figuur 1 De lucht in de luchtballon wordt verwarmd met een gasbrander.

74


MAATSCHAPPIJ

HOOFDSTUK 1 BEWEGINGEN BESCHRIJVEN

WERKEN

TIJDMETING IN DE SPORT

Twee groepjes jonge mensen stonden aan de basis van wat nu een groot bedrijf is, dat wereldwijd opereert en waar meer dan honderd mensen een interessante baan hebben: MyLaps.

Het ene groepje was in Haarlem bezig met races met radiografisch bestuurbare autootjes, een technische hobby. Zij wilden de tijdsregistratie automatiseren. In plaats van mensen met stopwatches langs de baan kwamen er transponders in de wagentjes. Het passeren van begin- en eindpunt gaf een elektrisch signaal dat werd geregistreerd.

Het andere groepje dat aan de basis stond van MyLaps kwam uit Nijmegen. Daar wilden studenten de grote hardloopwedstrijd 'Zevenheuvelenloop' zoepeler laten verlopen. Niet meer in lange rijen wachten voor de registratie, maar met een chipje onder je startnummer meteen op weg. Ook hier vervingen elektrische signalen bij start en finish de menselijke waarneming. De woordspeling ChampionChip was de toepasselijke naam van dit bedrijf.

Het Haarlemse en het Nijmeegse bedrijf fuseerden tot MyLaps. Nu verzorgt dit bedrijf de professionele tijdregistratie voor heel veel amateursportevenementen en topsporttoernooien, van zwemwedstrijd tot motorcross, van langlauftocht tot Olympische Spelen.

70

PRAKTIJK

In het Praktijkartikel lees je waar je het onderwerp van het hoofdstuk in de praktijk tegenkomt. De groene P-opdrachten **P** gaan ook over deze toepassingen.

MAATSCHAPPIJ

Welke studie of welk beroep sluit goed aan op het onderwerp van het hoofdstuk? Dat lees je in Maatschappij.


THEORIE

AFSLUITING | HOOFDSTUK 4 ELEKTRISCHE SYSTEMEN

A AFSLUITING

In dit hoofdstuk heb je geleerd hoe elektrische stroom en spanning zich in schakelingen gedragen en hoe je daarmee schakelingen kunt maken met een bepaald doel. Maak de eindopdrachten en bereid je voor op de toets.

Eindopdrachten

62 **Weerstanden in waterkoker**
Een waterkoker kun je zien als drie in serie geschakelde weerstanden: een nichromen verwarmingselement dat met twee koperen stroomdraden op het stopcontact is aangesloten. De totale weerstand van de waterkoker is gelijk aan 23 Ω.
a Teken schematisch de drie weerstanden van de waterkoker.
b Beredeneer welke van de drie weerstanden de grootste weerstand heeft.
c Bereken de weerstand van de twee stroomdraden. Schat daartoe eerst de diameter en de lengte van de stroomdraden.
d Controleer met behulp van je antwoord op opdracht c dat het vermogen van de stroomdraden veel kleiner is dan van het verwarmingselement.

P 63 **Data binnenhalen**

GEREED JE VOOR OP DE TOETS — BOEK

- ☐ Neem 'Onthoud' door
- ☐ Maak de afsluitende opdrachten
- ☐ Maak de opdrachten die je lastig vond nog een keer
- ☐ Bestudeer de voorbeeldopgaven

GEREED JE ONLINE VOOR OP DE TOETS — ONLINE

- ☐ Test je begrip met Test Jezelf'
- ☐ Oefen de begrippen met flitskaarten
- ☐ Oefen met Vaardigheidstrainers

figuur 49 Enorme koelinstallaties zijn nodig om datacenters op normale temperatuur te houden.

240


EXAMEN-TRAINING

Aan het einde van dit schooljaar doe je centraal examen. Je laat dan zien dat je de stof die je op het havo hebt geleerd, voldoende beheerst om je diploma te behalen. Om goed voorbereid het examen in te gaan, is het van belang dat je beschikt over de juiste kennis en vaardigheden.

Je hebt het merendeel van de examenstof inmiddels gehad. Het lastige van een examen is vaak dat theorie uit alle hoofdstukken wordt gecombineerd, zodat je zelf moet nagaan over welke stof een vraag gaat.

Tijd om te starten met examentraining!

Inhoud

1 Hoe pak je een examen aan? oo
2 Basisvaardigheden oo
3 BiNaS gebruiken oo
4 Leren voor het centraal examen oo

38

VOORBEREIDEN OP DE TOETS

In de **Afsluiting** staan eindopdrachten waarin de belangrijkste leerdoelen uit het hoofdstuk in samenhang terugkomen op eindniveau. Ook is er een handige checklist. Zo kun je je optimaal voorbereiden op de toets.

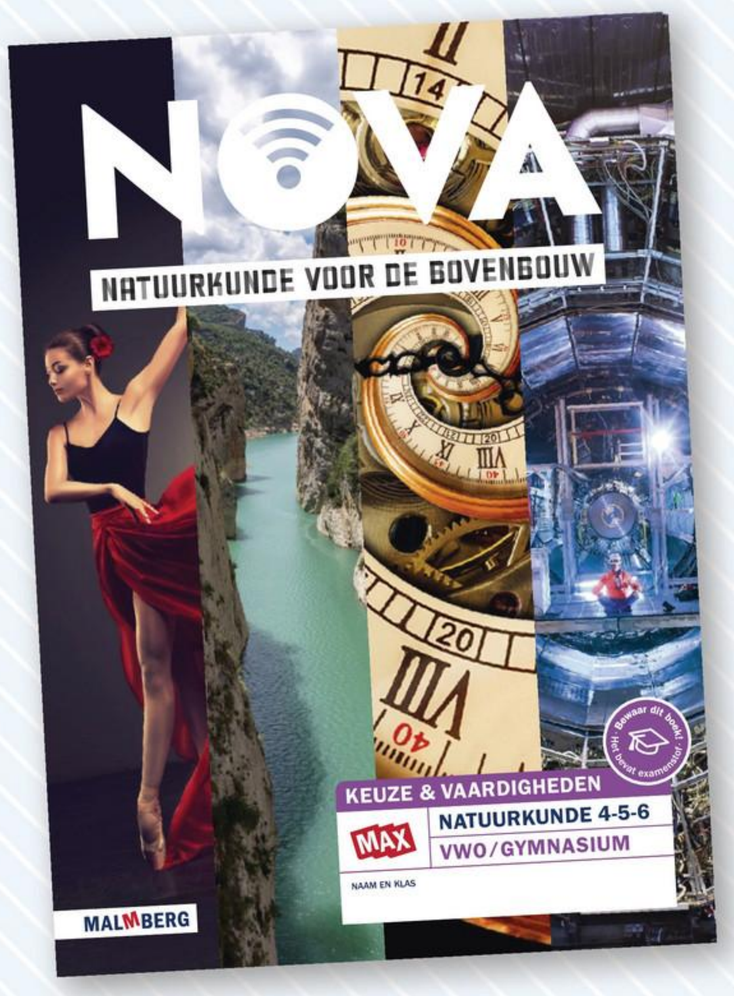
UITGEBREIDE EXAMENTRAINING

In leerjaar 5 vind je een **extra hoofdstuk** met uitgebreide **examentraining**: examenvaardigheden en examenopgaven. Hiermee bereid je je goed voor op het eindexamen.

AAN DE SLAG MET NOVA

KEUZE & VAARDIGHEDEN

Bij natuurkunde kies je twee keuzeonderwerpen uit vier mogelijkheden. Deze vind je in het aparte boek Keuze & Vaardigheden. In dit boek staan ook de voor natuurkunde belangrijkste vaardigheden beschreven. Handig als naslagwerk. Je krijgt dit boek in leerjaar 4 maar je hebt het ook in leerjaar 5 en 6 nodig. Bewaar dit boek dus goed.



KEUZEONDERWERPEN

- Biofysica
- Geofysica
- Relativiteit
- Kern- en deeltjesprocessen

VAARDIGHEDEN

- Onderzoeken, ontwerpen en modelleren
- Natuurkundige vaardigheden
- Reken- en formulevaardigheden

WAT VIND JE ONLINE?

Alle teksten, voorbeelden en opdrachten staan ook in de online leeromgeving van MAX. Aanvullend vind je handige tools en werkbladen.

ONLINE

- **TEST JEZELF** bij elke paragraaf
- **PRACTICA**, **ONDERZOEKEN** en **ONTWERPEN**
- **FLITSKAARTEN**
- **OEFENTOETS**

INHOUD

1 BEWEGINGEN BESCHRIJVEN

PRAKTIJK Snelheid en explosiviteit 8

THEORIE

Voorkennis 10
1 Plaats en verplaatsing bepalen 12
2 Snelheid 20
3 Eenheden en significante cijfers 30
4 Verandering van snelheid 40
5 Versnelling, snelheid en verplaatsing 48
6 Modelleren 56
Afsluiting 65

MAATSCHAPPIJ werken 70

2 KRACHT EN BEWEGING

PRAKTIJK De magie van vervoer op wind 74

THEORIE

Voorkennis 76
1 Versnelling en kracht 78
2 Krachten samenstellen 84
3 Krachten ontbinden 92
4 Krachten in evenwicht 99
5 Dynamische modellen 109
Afsluiting 120

MAATSCHAPPIJ studeren 124

3 ENERGIEOMZETTINGEN

PRAKTIJK Energie-efficiënt reizen 128

THEORIE

Voorkennis 130
1 Arbeid en verplaatsing 132
2 Arbeid en snelheid 139
3 Arbeid en veerkracht 145
4 Behoud van energie 153
5 Energie om arbeid te verrichten 161
6 Warmte en rendement 167
7 Vermogen 174
Afsluiting 182

MAATSCHAPPIJ studeren 186

4 ELEKTRISCHE SYSTEMEN

PRAKTIJK De weg van de minste weerstand 190

THEORIE

Voorkennis 192
1 Elektrisch vermogen 194
2 Weerstand 202
3 Weerstand van een draad 209
4 Stroom en spanning verdelen 215
5 Totale weerstand 224
6 Speciale componenten 232
Afsluiting 240

MAATSCHAPPIJ werken 244

ANTWOORDEN 246

REGISTER 249



BEWEGINGEN BESCHRIJVEN

DOMEIN: C Beweging en wisselwerking ▶ **SUBDOMEIN:** C1 Kracht en beweging

Sport, verkeer, een veer en een appel die vallen: in dit hoofdstuk kijk je naar hoe dingen bewegen. Soms is de snelheid van een voorwerp constant, soms komt het op gang of remt het af. Hoe kun je die bewegingen zo nauwkeurig mogelijk meten en met formules of in grafieken beschrijven? Daarbij is het belangrijk dat je bij een meting aangeeft welke eenheid je gebruikt en hoe nauwkeurig je meetgegevens zijn.

Met kennis van plaats, snelheid en versnelling kun je bijvoorbeeld voorspellen waar een voorwerp zich na een bepaalde tijd bevindt. Dat kan van belang zijn als je bijvoorbeeld wilt inschatten of een verkeerssituatie veilig is, of welke sporter de meeste kans heeft om een wedstrijd te winnen.

Ten slotte leer je hoe je een model bouwt voor het bestuderen van ingewikkelde situaties. Daarmee kun je problemen oplossen door verantwoorde vereenvoudigingen te maken.



PRAKTIJK

Snelheid en explosiviteit | 8

THEORIE

Voorkennis | 10

1 Plaats en verplaatsing bepalen | 12

2 Snelheid | 20

3 Eenheden en significante cijfers | 30

4 Verandering van snelheid | 40

5 Versnelling, snelheid en verplaatsing | 48

6 Modelleren | 56

Afsluiting | 65

MAATSCHAPPIJ

Werken: Tijdmeting in de sport | 70

BOEK

LESSTOF

Alle teksten, voorbeelden en opdrachten staan ook online in MAX.

OEFENEN

- Test jezelf bij elke paragraaf
- Flitskaarten
- Oefentoets

AANVULLEND

- Practica, onderzoeken en ontwerpen

ONLINE



SNELHEID EN EXPLOSIVITEIT

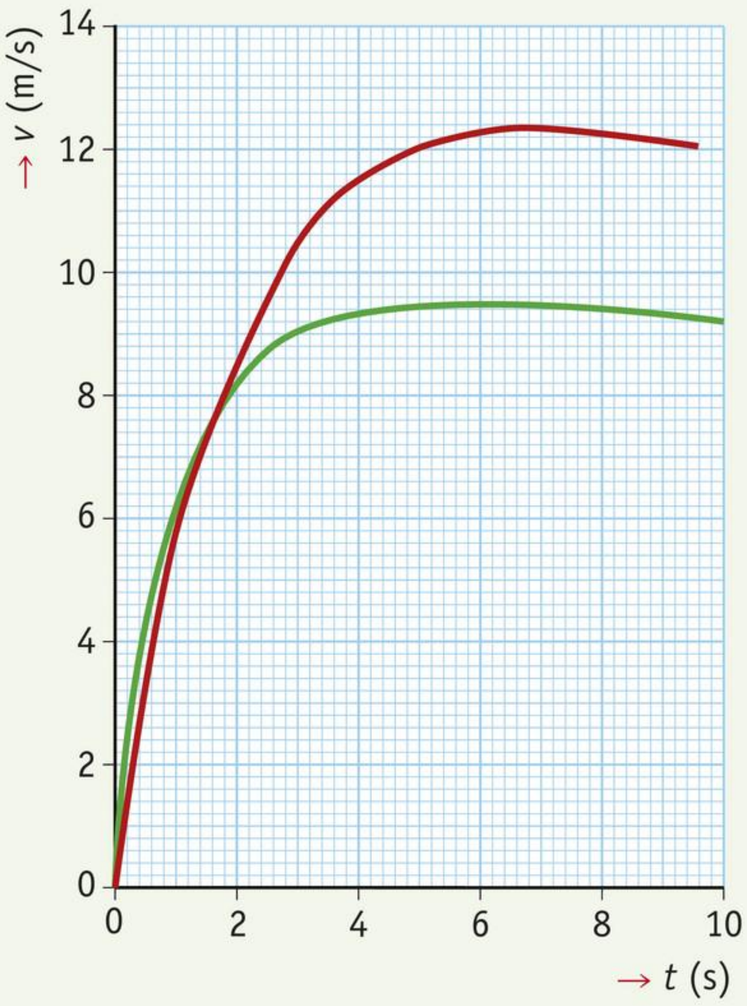
Word jij een topper? Een topvoetballer, olympisch hockeyer of atleet? Je kunt het niet met zekerheid voorspellen, maar je kunt wel kijken waar je talent ligt. En je kunt trainen. Maar welke training is geschikt voor wat jij wilt bereiken?

RONALDO OF MESSI?

Jarenlang domineerden Ronaldo en Messi de voetbalwereld en zelfs op oudere leeftijd leveren beide spelers nog topprestaties en komen fans van ver om hen te zien spelen. Wat maakt hen zo goed? Een topvoetballer heeft spelinzicht, balgevoel, traptechniek, behendigheid en snelheid. Je hebt andere kwaliteiten nodig om na een passeerbeweging snel een tegenstander voorbij te komen dan om een sprint van 50 meter te trekken. Wie is er dan beter? Met een lengteverschil van 17 cm (1,87 m versus 1,70 m) zal Messi het in een kopduel niet snel winnen van Ronaldo, maar Messi heeft juist door zijn kleine lengte snelle, flitsende acties. Het is de vraag waar je de nadruk op legt.

EEN STRIJD OP DE 100 METER

Hoe zou een voetballer als Messi het op de 100 meter afleggen tegen de snelste man ter wereld? Wereldrecordhouder Usain Bolt kwam in 2009 met slechts 41 stappen in 9,58 s over de finish! Dat is een gemiddelde snelheid van 37,6 km/u. De grafiek in figuur 1 geeft de snelheid op elk moment van deze race over 100 meter van Usain Bolt. Na het startschot heeft hij een reactietijd van 0,16 s. De eerste 4 s is hij vervolgens bezig met op gang komen. Pas na zo'n 50 meter rent Bolt bijna op zijn topsnelheid (44,7 km/u) en slaat hij een gat tussen hem en de rest van het veld. Bij voetbal is de snelle aanvallende actie rond het strafschopgebied van Messi dan allang voorbij. Voor Messi is dus niet de topsnelheid van het grootste belang, maar hoe snel hij op gang komt.
Natuurlijk had wereldrecordhouder Bolt met zijn 1,95 m lengte de beste papieren voor deze race. Maar wie goed naar de start van de wereldrecordrace kijkt, ziet dat de kleinere atleten een grotere versnelling hebben dan Bolt.
Daar zou dus ook de kleine Messi



figuur 1 Snelheid als functie van de tijd bij de 100 meterrace van Usain Bolt in Berlijn in 2009 en een hypothetische race van Messi.



figuur 2 Shanice van de Sanden en Lineth Beerensteyn.

in het voordeel kunnen zijn. In figuur 1 is ook een hypothetisch verloop van een 100 meterrace van Messi getekend. In het begin is hij waarschijnlijk sneller, maar uiteindelijk zal hij nooit winnen van Bolt.

TRAIN JE EIGEN SUCCES

Ook bij de vrouwen zie je dat langeafstandlopers veelal langer en smaller zijn gebouwd dan sprinters. Het is geen toeval dat bij de Oranjeleeuwinnen Shanice van de Sanden en Lineth Beerensteyn, de twee aanvalsters met een grote versnelling, respectievelijk 168 en 161 cm lang zijn (figuur 2). Terwijl Femke Bol, hardloopster en recordbreker op de 400 meter, met haar 184 cm daar bovenuit torent.

Er bestaat geen universele wet voor lichaamsbouw die bepaalt of jij je sportambities waar kunt maken. Dus, waar ga jij op trainen? De coopertest van 12 minuten waarbij je een lange afstand aflegt, of de piepjestest waarmee je een korte sprint oefent? Kies je weg naar succes! Bouw voort op je natuurlijke aanleg. Of word jij die uitzondering, de kleine persoon die dóór blijft versnellen, of die lange sporter die explosief start?

▶ **Aansluitende opdrachten bij SNELHEID EN EXPLOSIVITEIT: 3, 4, 11, 31, 48, 63 en 66.**

VOORKENNIS

In de vorige leerjaren heb je al een aantal dingen over beweging geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

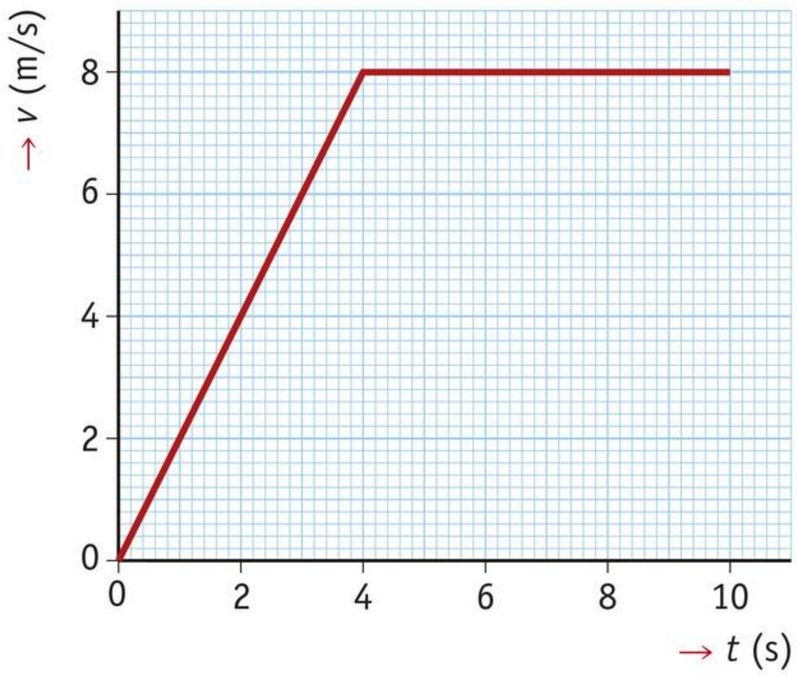
Leerdoelen

1 Je kunt de afgelegde afstand bepalen met het (v,t)-diagram van een beweging.
2 Je kunt een beweging aflezen in een (v,t)-diagram.
3 Je kunt berekeningen maken aan eenparige bewegingen.
4 Je kunt berekeningen maken aan eenparig versnelde bewegingen.
5 Je kunt berekeningen maken aan eenparig vertraagde bewegingen.

1 **Leerdoel 1**

Je ziet in figuur 1 het (v,t)-diagram van een fietser. Bepaal de afstand die de fietser in de getoonde tien seconden aflegt.

De fietser legt ..... m af.



figuur 1 Het (v,t)-diagram van een fietser.

2 **Leerdoel 2**

Je ziet in figuur 1 het (v,t)-diagram van een fietser. Vul in de tabel de ontbrekende waarden in die bij het diagram horen.

tijd (s)	snelheid (m/s)
0	0
1	
2	
3	
4	
5	8
6	
7	8
8	8
9	
10	

3 **Leerdoel 3**

Kylian neemt een strafschop. De bal verlaat zijn schoen richting de rechterhoek van het doel met een snelheid van 90 km/h en blijft met die snelheid bewegen. De bal zal de doellijn passeren op 11,5 m van de penaltystip als de keeper niet reageert.
Bereken hoeveel tijd de keeper heeft om de bal tegen te houden.

De keeper heeft ..... s om de bal tegen te houden.

4 **Leerdoel 4**

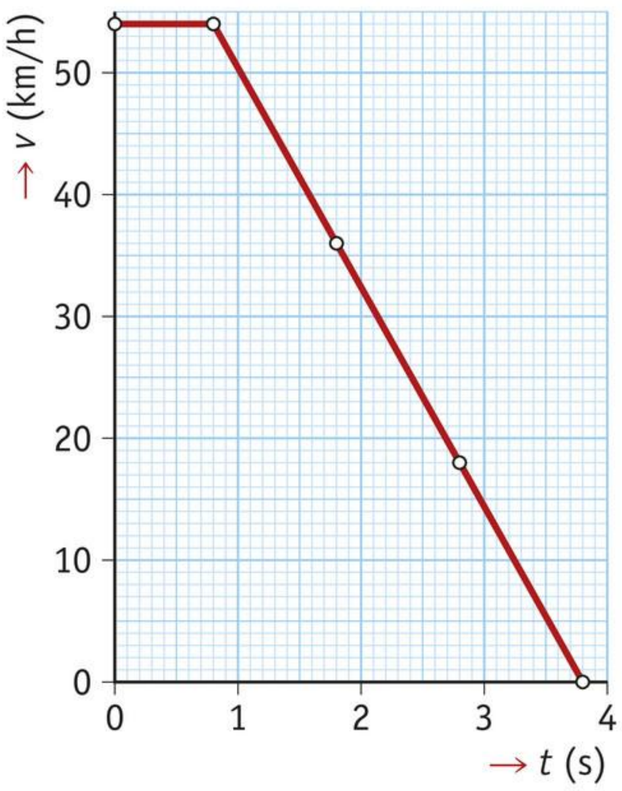
Een trein versnelt in 5,8 s van 72 km/h naar 99 km/h.
Bereken de versnelling.

De versnelling van de trein is ..... m/s^2.

5 **Leerdoel 5**

In figuur 2 zie je het (v,t)-diagram van een auto die krachtig remt.
Bepaal de vertraging van de auto.

a = ... m/s^2



figuur 2 Het (v,t)-diagram van een remmende auto.

6 **Leerdoel 5**

Een auto staat 2,0 s stil met draaiende motor. Daarna trekt de auto in 6,0 s eenparig versneld op tot een snelheid van 72 km/h. Met deze snelheid blijft hij gedurende 10,0 s rijden. Daarna remt de bestuurder (een eenparige vertraging) en staat de auto binnen 4,0 s stil.
Bereken de afstand die de auto heeft afgelegd.

De auto heeft een afstand afgelegd van ..... m.

1

PLAATS EN VERPLAATSING BEPALEN

Leerdoelen

1.1.1 Je kunt uitleggen wat het verschil is tussen plaats, verplaatsing en afgelegde weg.

1.1.2 Je kunt op verschillende manieren de verplaatsing van een voorwerp bepalen.

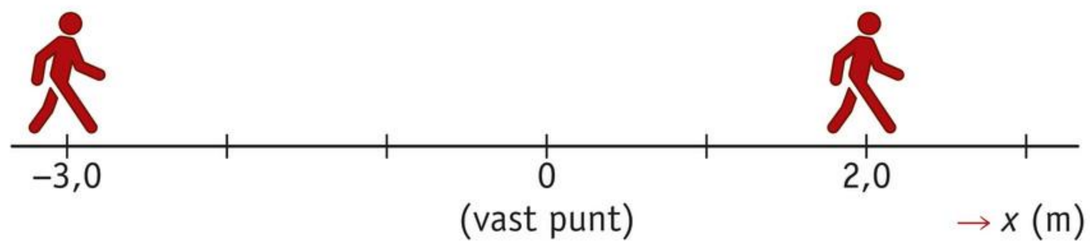
1.1.3 Je kunt de verplaatsing van een voorwerp weergeven in een (x,t)-diagram.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	1.1.1	1.1.2	1.1.3
Onthouden	1		
Begrijpen		3	
Toepassen	2, 5, 7	6a, 8, 9	4, 6bc
Analyseren			10

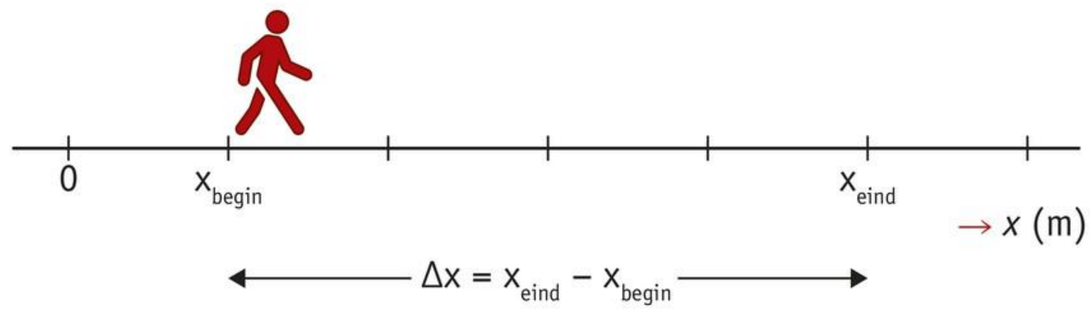
Dit hoofdstuk behandelt bewegingen langs een rechte lijn. Als je op verschillende tijdstippen de plaats van een voorwerp meet, kun je de verplaatsing bepalen. Deze paragraaf gaat over manieren om de plaats vast te leggen.

PLAATS, VERPLAATSING EN AFGELEGDE WEG

De **plaats x** van een voorwerp is de afstand die het voorwerp heeft ten opzichte van een vast punt. In figuren van bewegingen langs een rechte lijn is de plaats rechts van het vaste punt positief en links ervan negatief (figuur 1). Een **verplaatsing Δx** is een verandering in plaats (figuur 2).



figuur 1 De plaats is de afstand ten opzichte van een gekozen vast punt.



figuur 2 De verplaatsing is gelijk aan het verschil in plaats.

Formule

De formule van de verplaatsing Δx is:

$$\Delta x = x_{eind} - x_{begin}$$

Hierin is:
- Δx de verplaatsing in meter (m);
- x_{eind} de eindplaats in meter (m);
- x_{begin} de beginplaats in meter (m).

De Griekse hoofdletter Δ (spreek uit: delta) betekent hier 'verandering van'. Dus Δx betekent 'verandering van plaats'.

Plaats en verplaatsing zijn soms gelijk. Stel dat een voorwerp zich verplaatst vanaf een vast punt x_0 = 0 m. Het beweegt 4,0 m in de positieve x-richting. Dan is de plaats van het voorwerp 4,0 m en de verplaatsing ook. Daarom wordt voor het beginpunt van een beweging, zoals de start van een sprinter, meestal x_0 = 0 m gekozen. Algemeen: de verplaatsing Δx van een voorwerp ten opzichte van het beginpunt x_0 = 0 m is gelijk aan de plaats x.
Het is mogelijk dat je een wandeling maakt, maar dat je verplaatsing toch nul is. Als je bijvoorbeeld op een perron 15 m heen- en 15 m terugloopt, dan ben je weer terug op het punt waar je begon. Je verplaatsing is dan nul, maar je hebt wel heen en weer gelopen. De **afgelegde weg *s*** is de afstand die je in totaal hebt afgelegd. De afgelegde weg is in dit voorbeeld dus niet nul, maar: s = 15 + 15 = 30 m

PLAATS METEN EN VERPLAATSING BEPALEN

Er zijn verschillende methoden om de plaats van bewegende voorwerpen te meten. Welke methode het handigst is, hangt van de situatie af.

- *Tijdtikker*. Aan een bewegend voorwerp bevestig je een lang, papieren strookje dat door een tikker wordt geleid (figuur 3). De tikker zet elke seconde vijftig stippen op het strookje. Als het strookje zich door de tikker verplaatst, komen de punten steeds een stukje uit elkaar te liggen (figuur 4). De afstand tussen de stippen kun je meten en de tijd tussen elke twee stippen is bekend. Zo kun je op veel tijdstippen de verplaatsing van je voorwerp bepalen.

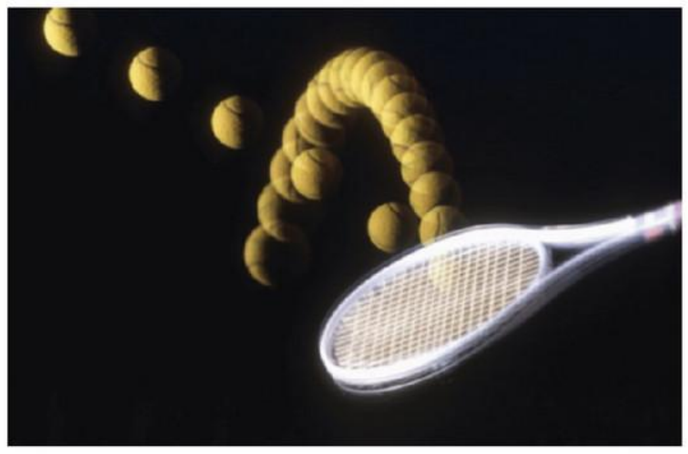


figuur 3 Een tikkerband wordt door een tikker geleid die elke seconde vijftig stippen zet.

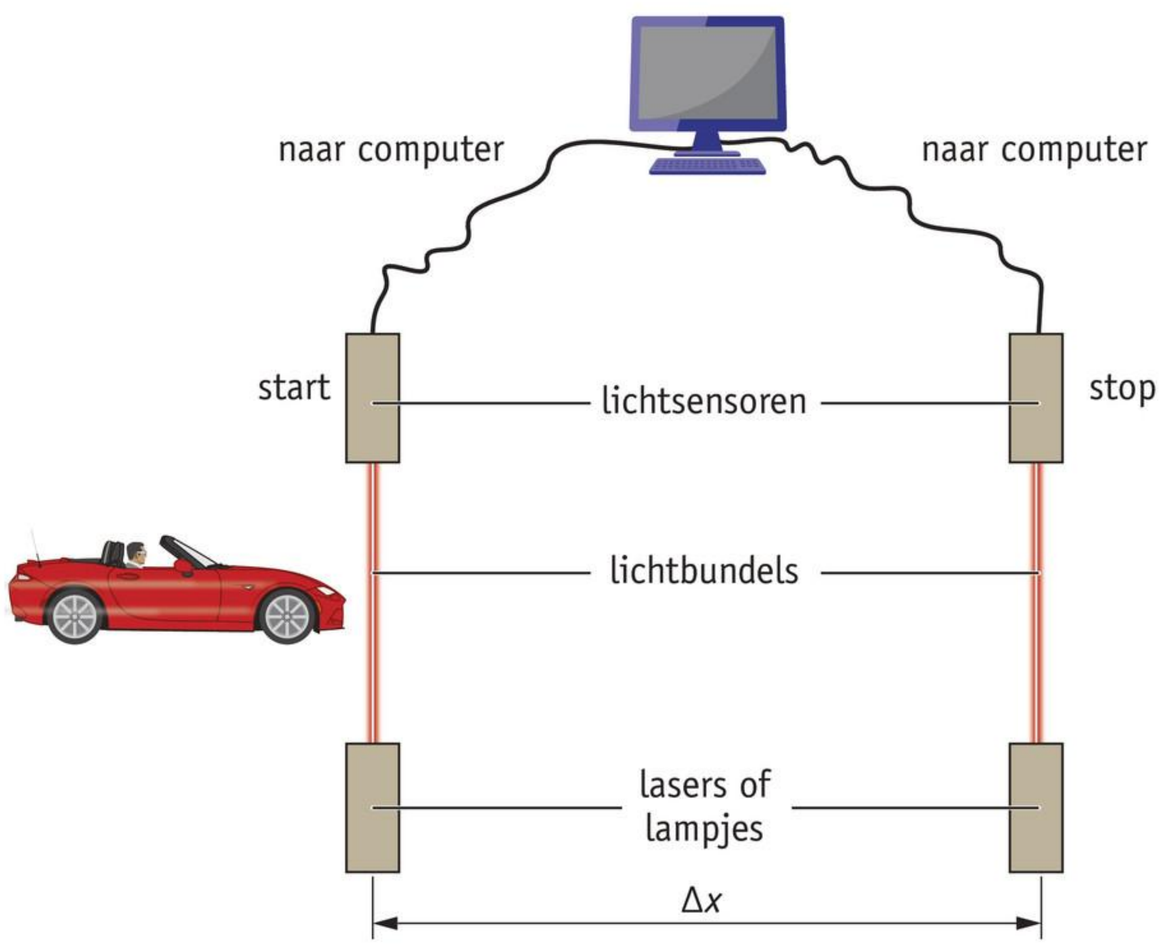


figuur 4 Deel van een tikkerband.

- *Ultrasone afstandsmeter*. Een ultrasone afstandsmeter werkt met echolocatie, de manier waarop vleermuizen hun prooi waarnemen. De afstandsmeter zendt met regelmaat onhoorbare (ultrasone) klikjes uit. Deze worden door een voorwerp weerkaatst. Uit het tijdverschil tussen uitzenden en opvangen van het klikje kan het apparaat de afstand tot het voorwerp berekenen. Doordat een afstandsmeter per seconde heel veel klikjes uitzendt, is op heel veel tijdstippen de afstand bekend.
- *Videometen*. Bij videometen maak je een filmopname van een bewegend voorwerp. Het filmpje heeft bijvoorbeeld 25 beeldjes per seconde (25 Hz). Zo leg je de positie van het voorwerp elke 0,040 s vast. Als je de schaal van de filmbeelden kent, bijvoorbeeld door een meetlat mee te filmen, kun je met de computer vastleggen wat de plaats van het voorwerp was op verschillende tijdstippen.
- *Stroboscopische foto*. Een stroboscoop is een lamp die met regelmatige tussenpozen flitsen geeft. Het aantal flitsen per seconde druk je uit in Hz = 1/s. Elke flits duurt zeer kort vergeleken met de tijd tussen de flitsen. Door een bewegend voorwerp met een stroboscoop te belichten, zie je het voorwerp steeds op een andere plaats. Deze beweging kun je vastleggen met een fototoestel met een lange belichtingstijd (figuur 5). Op elk beeldje worden zo de plaats van het voorwerp en de bijbehorende tijd vastgelegd.
- *Lichtpoortje*. Met twee lichtpoortjes die op een bepaalde afstand Δx van elkaar staan meet je de tijd waarin een voorwerp die afstand aflegt. Een lichtpoortje heeft een lichtsensor en is aangesloten op een computer (figuur 6). De lichtsensor wordt beschenen door een lichtstraal. Als het bewegende voorwerp, bijvoorbeeld een auto, de eerste lichtstraal onderbreekt, start de computer een teller die stopt als de auto de tweede lichtstraal onderbreekt.



figuur 5 Stroboscopische foto (frequentie = 37 Hz) van een tennisbal en racket.



figuur 6 Opstelling met twee lichtpoortjes.

Met de verkregen meetgegevens kun je een tabel maken met de plaats x van het voorwerp op tijd t. Met behulp van de tabel kun je een (x,t)-diagram maken dat de beweging van het voorwerp weergeeft. In een (x,t)-diagram staat horizontaal de tijd en verticaal de plaats.
In de volgende paragrafen leer je hoe je met behulp van zo'n tabel en diagram de snelheid en versnelling kunt bepalen.

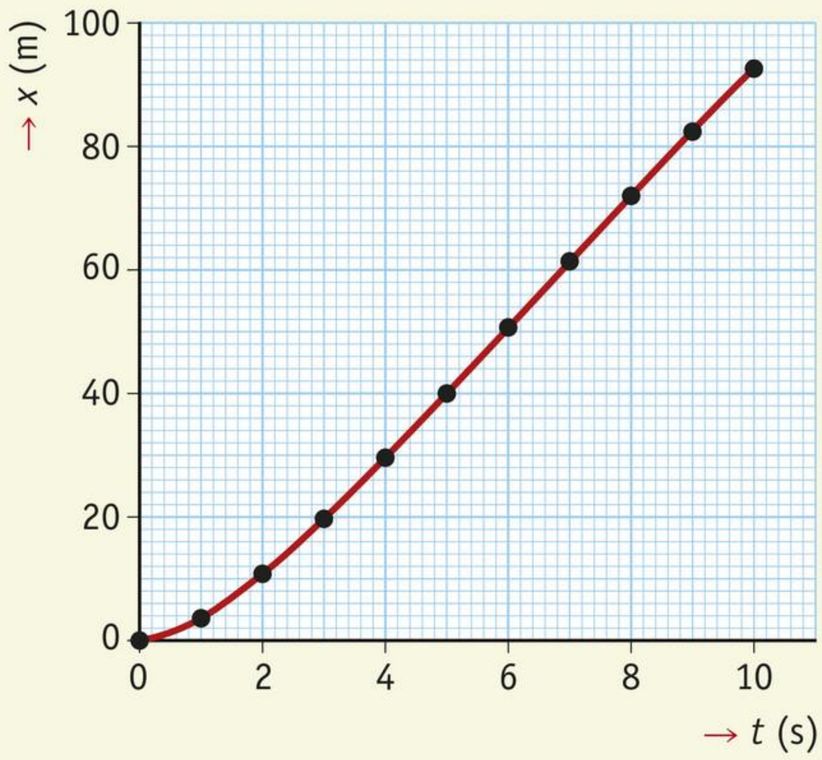
Voorbeeldopdracht 1

De atleet Dafne Schippers was een wereldtopper op de sprint. Tijdens een wedstrijd over 100 m is met behulp van videometen elke seconde vastgelegd hoe ver zij was (tabel 1).
Zet deze gegevens in een (x,t)-diagram.

tabel 1

t (s)	x (m)
0,0	0,0
1,0	3,6
2,0	10,8
3,0	19,7
4,0	29,6
5,0	40,0
6,0	50,7
7,0	61,4
8,0	72,0
9,0	82,4
10,0	92,6

Uitwerking



figuur 7 Het (x,t)-diagram van de gegevens uit tabel 1.

PRACTICUM 1 Verplaatsing meten

Onthoud

- De plaats x van een voorwerp is de afstand die het voorwerp heeft ten opzichte van een vast punt.
- De verplaatsing Δx van een voorwerp is het verschil in plaats: $\Delta x = x_{\text{eind}} - x_{\text{begin}}$
  Verplaatsing kan zowel positief als negatief zijn.
- De afgelegde weg s van een voorwerp is de totale afstand die het voorwerp heeft afgelegd tussen twee tijdstippen.
- Er zijn verschillende manieren om de verplaatsing van een voorwerp te bepalen: tijdtikker, ultrasone afstandsmeter, videometen, stroboscopische foto, lichtpoortje.
- In een (x,t)-diagram staat horizontaal de tijd en verticaal de plaats.

OPDRACHTEN ▸ Basis

1 Plaats, verplaatsing en afgelegde weg

De begrippen ‘plaats’, ‘verplaatsing’ en ‘afgelegde weg’ lijken op elkaar.

a Beschrijf deze begrippen in je eigen woorden.

b In welke situatie is de plaats van een voorwerp gelijk aan de verplaatsing van het voorwerp?

2 Verplaatsing

Bekijk figuur 1.

a Lees de plaats af van de twee mannetjes.

Het linkermannetje loopt naar het rechtermannetje.

b Hoe groot is de verplaatsing van het linkermannetje?

Het rechtermannetje loopt naar de oude positie van het linkermannetje.

c Hoe groot is de verplaatsing van het rechtermannetje?

d Hoe groot is de afgelegde weg van deze twee mannetjes?

P 3 Race

Bij baanwielrennen is er een onderdeel ‘tijdrijden’. De afstand is 1 kilometer. Van elke deelnemer wordt de tijd vastgelegd die hij over die afstand doet.

a Leg uit welke methode geschikt is om vast te leggen op welk moment een wielrenner de finish bereikt. Kies uit: *lichtpoortje – stroboscopische opname – tijdtikker – ultrasone afstandsmeter – videometen*.

b Leg uit dat een coach die de race wil analyseren het best gebruik kan maken van videometen.

P 4

Schaatser

De schaatser Ireen Wüst was een wereldtopper. Met behulp van videometen is elke seconde vastgelegd hoe ver zij was bij een start van een race over 500 m. Zie tabel 2.
Zet deze gegevens uit in een (x,t)-diagram.

tabel 2

t (s)	x (m)
0,0	0,0
1,0	2,7
2,0	8,3
3,0	16,0
4,0	25,0
5,0	34,8
6,0	45,2
7,0	56,1
8,0	67,3
9,0	78,8
10,0	89,4

C 5

Hectometerpaaltjes

Langs de snelweg staan om de honderd meter kleine bordjes waarop staat op welke positie je bent. Een auto komt de snelweg op bij paaltje 40,7 en gaat er vanaf bij paaltje 51,1. Bereken de verplaatsing.

C 6

Tikkerband

In figuur 4 zie je een deel van een tikkerband op ware grootte. Aan deze band hing een vallend gewichtje waarvan de verplaatsing werd gemeten. De tikker had een frequentie van 50 Hz: elke seconde zijn er vijftig stippen gezet.

a Bereken de tijd tussen twee tikken.

b Maak een tabel zoals hier weergegeven. Noem het punt links in figuur 4 t = 0 s, met x = 0 m. Vul de tabel in.

t (ms)	x (mm)	Δx (mm)

c Gebruik je tabel om een (x,t)-diagram te tekenen.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

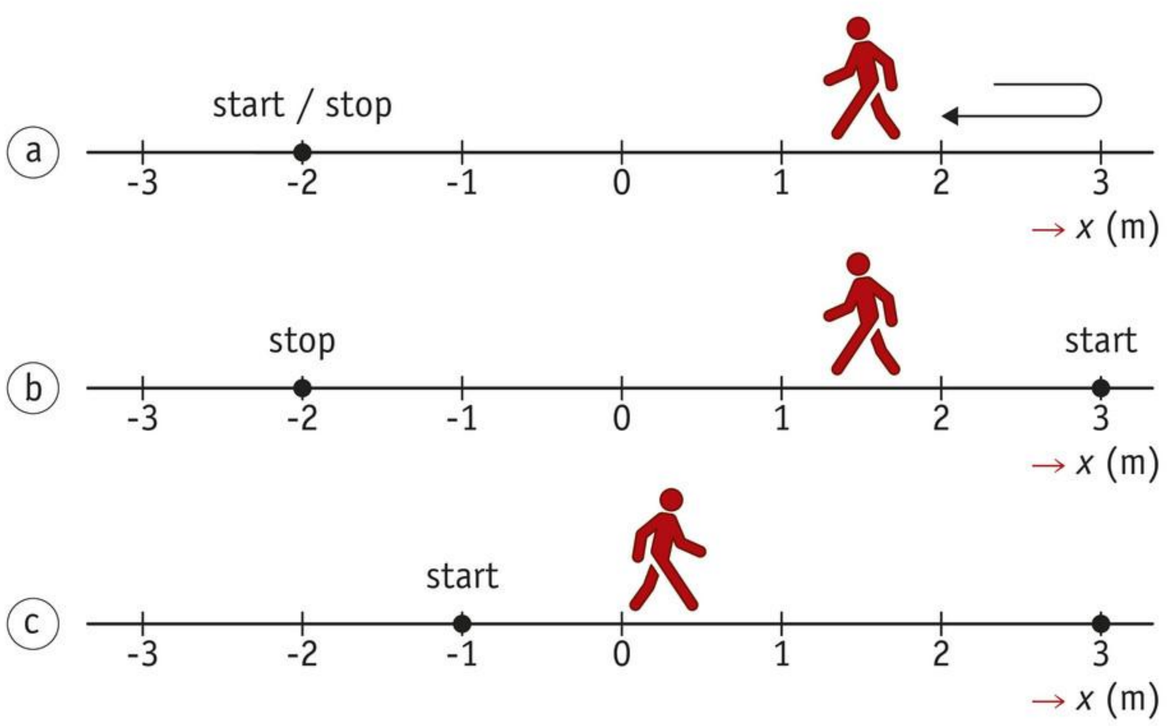
7 Verplaatsing en afgelegde weg

Het lijkt alsof verplaatsing en afgelegde weg hetzelfde betekenen, maar het zijn verschillende begrippen.

a Leg uit in welke situatie de afgelegde weg van een voorwerp gelijk is aan de verplaatsing.

b Orden de drie situaties in figuur 8 van kleinste naar grootste verplaatsing.

c Orden de situaties in figuur 8 van kleinste naar grootste afgelegde weg.



figuur 8 Verschil tussen verplaatsing en afgelegde weg.

8 Verplaatsing meten

In de volgende drie situaties is het nodig de verplaatsing in een bepaalde tijd te bepalen:

I een sprinkhaan die opspringt

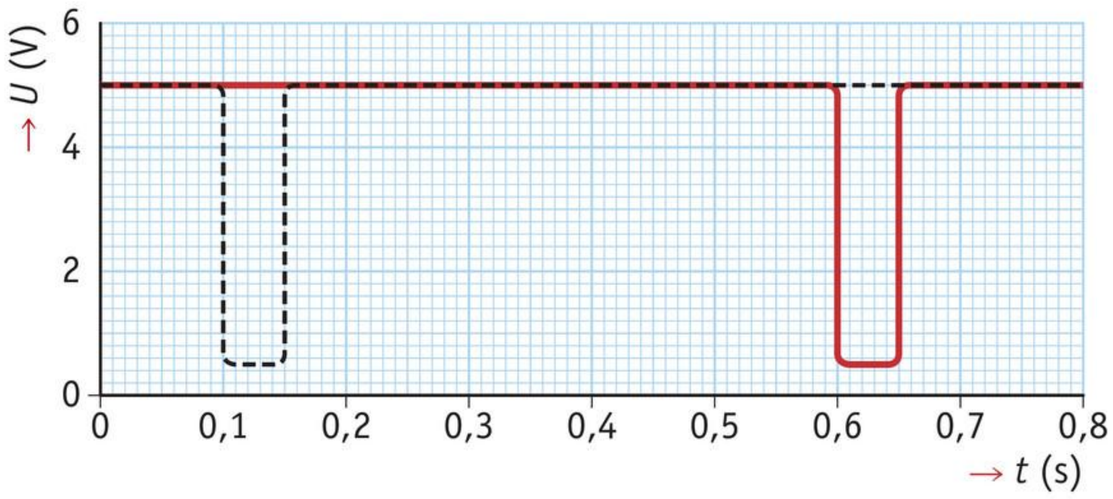
II een hardloper op de 100 m

III een auto op de snelweg

In de theorie zijn de volgende methoden genoemd om de verplaatsing te bepalen: tijdtikker, ultrasone afstandsmeter, videometen, stroboscopische opname, lichtpoortje.
Geef voor elk van de drie situaties aan welke van deze methoden geschikt zijn om de verplaatsing te bepalen.
Beargumenteer je keuze.

9 Lichtpoortjes

Een speelgoedautootje rijdt met constante snelheid door twee lichtpoortjes. De twee lichtsensoren geven een hoge spanning (5 V) als er licht op valt en een lage spanning als er geen of weinig licht op valt. In figuur 9 zie je de spanning van de lichtsensoren als functie van de tijd.



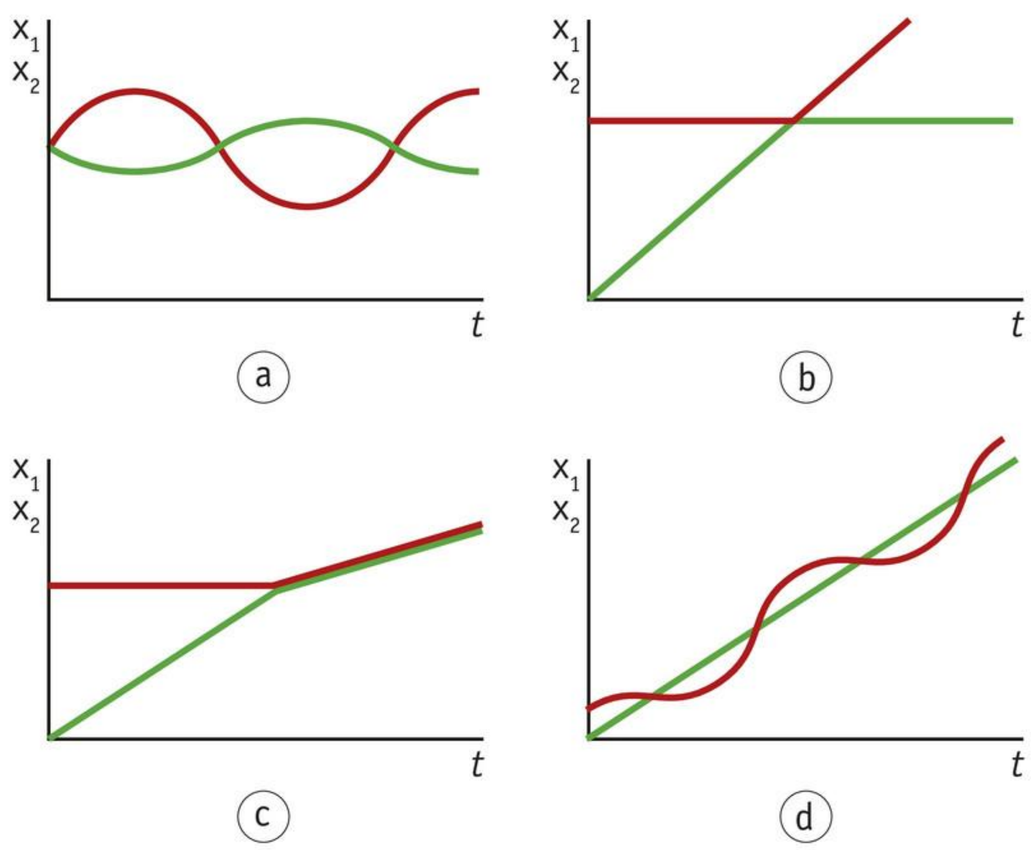
figuur 9 Diagram van de lichtsensoren.

a Bepaal hoelang het autootje doet over het passeren van de eerste lichtsensor.
b Bepaal hoelang het autootje doet over het passeren van de afstand tussen de twee lichtpoortjes.
c Hoe kun je aan figuur 9 zien dat het autootje met constante snelheid heeft gereden?
d Schets het (U,t)-diagram van de lichtsensoren wanneer het autootje twee keer zo snel rijdt.

★ 10 Dubbele diagrammen

In figuur 10a tot en met 10d zie je steeds de plaats van twéé voorwerpen als functie van de tijd. Hierbij is voor beide alleen de positie in de x-richting weergegeven.
Leg uit welk diagram hoort bij elk van de volgende situaties:

I Je volgt de positie van twee punten van een fiets: het stuur en het ventiel van het voorwiel.
II Je legt de positie vast van twee sterren die om elkaar heen draaien.
III Je volgt twee biljartballen. De ene ligt aanvankelijk stil, de andere botst er recht tegenaan.
IV Je volgt twee biljartballen. De ene ligt aanvankelijk stil, de andere botst er links van het midden tegenaan.



figuur 10 Vier diagrammen met steeds van twee voorwerpen de (x,t)-grafiek.

2 SNELHEID

Leerdoelen

1.2.1 Je kunt uit een (x,t)-diagram de gemiddelde snelheid bepalen.
1.2.2 Je kunt een eenparige rechtlijnige beweging herkennen.
1.2.3 Je kunt berekeningen maken met eenparige rechtlijnige bewegingen.
1.2.4 Je kunt een raaklijn tekenen aan een grafiek en daarmee de snelheid op een bepaald moment bepalen.
1.2.5 Je kunt een trendlijn tekenen en deze gebruiken voor interpolatie en extrapolatie.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.2.4	1.2.5	V2.1*
Onthouden					19d	
Begrijpen		12	16			
Toepassen	11a, 13b, 15a	11b, 15c, 16b, 18f	11d, 18acg, 19a, 20ad	13ac, 15b, 17abcd, 18f	11c, 14, 16a, 19c	18b
Analyseren			18eh, 20bc, 21		17e, 19b	

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

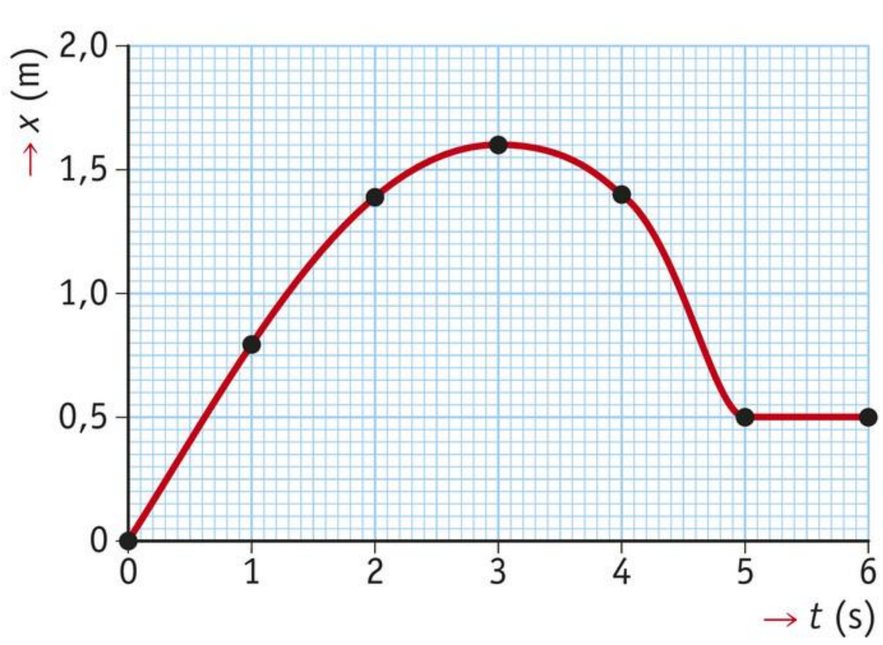
Als je sneller gaat, leg je meer afstand af in een bepaalde tijd. In de vorige paragraaf heb je kunnen lezen hoe je plaats en verplaatsing kunt meten als functie van de tijd. In deze paragraaf leer je hoe je met die gegevens de snelheid bepaalt.

GEMIDDELDE SNELHEID

Snelheid is de hoeveelheid verplaatsing per tijdseenheid.
Om de snelheid te bepalen, meet je daarom op verschillende tijdstippen de plaats van een voorwerp. Tijdens het meten zet je de meetgegevens in een tabel. Vervolgens maak je met behulp van de tabel een (x,t)-diagram. In tabel 3 en figuur 11 zie je hiervan een voorbeeld.

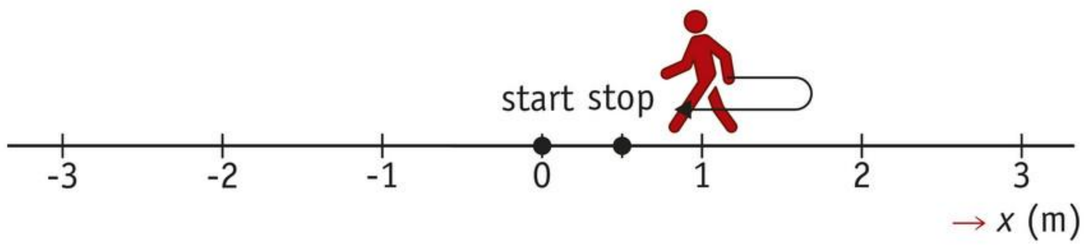
tabel 3 Meetgegevens voor de plaats van een persoon op verschillende tijdstippen.

t (s)	x (m)
0,0	0,0
1,0	0,8
2,0	1,4
3,0	1,6
4,0	1,4
5,0	0,5
6,0	0,5



figuur 11 (x,t)-diagram.

Figuur 12 laat de bijbehorende beweging zien: een persoon startte bij $x = 0$ m, liep toen naar $x = 1{,}6$ m, keerde om en stopte uiteindelijk bij $x = 0{,}5$ m. Een seconde later, op $t = 6{,}0$ s, stopte de meting.



figuur 12 De wandeling die hoort bij tabel 3 en figuur 11.

Je ziet aan het diagram in figuur 11 dat de snelheid van de persoon niet constant was. Het is dus lastig te zeggen wat dé snelheid was. Je kunt wel de **gemiddelde snelheid v_{gem}** tussen twee tijdstippen berekenen.

Formule

De formule voor de gemiddelde snelheid v_{gem} is:

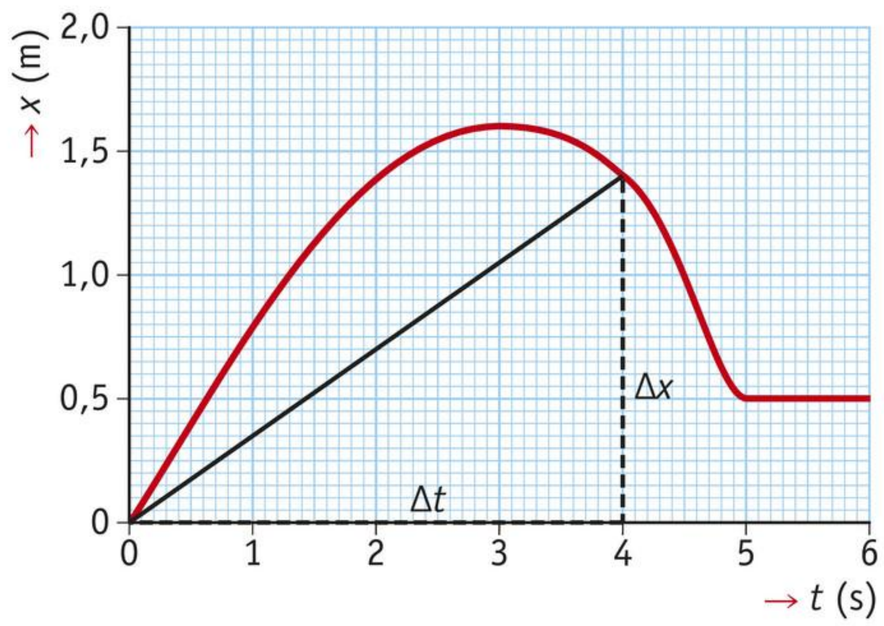
$$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Hierin is:
- v_{gem} de gemiddelde snelheid in meter per seconde (m/s);
- Δx de verplaatsing in meter (m);
- Δt de tijdsduur in seconde (s).

De gemiddelde snelheid tussen $t = 0{,}0$ s en $t = 4{,}0$ s kun je dan als volgt uitrekenen:

$$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{14 - 0{,}0}{4{,}0 - 0{,}0} = \frac{1{,}4}{4{,}0} = 0{,}35 \text{ m/s}$$

Je hebt hier eigenlijk de steilheid (richtingscoëfficiënt) bepaald van de rechte lijn in figuur 13. Je ziet dat de grafiek soms steiler is dan deze rechte lijn, en soms vlakker. Dat betekent dat de snelheid soms hoger en soms lager was dan de gemiddelde snelheid.



figuur 13 Bepalen van de gemiddelde snelheid tussen 0,0 en 4,0 s.

EENPARIGE BEWEGING

Een beweging langs een rechte lijn waarbij de snelheid constant is, noem je een **eenparige rechtlijnige beweging**. De grafiek in het (x,t)-diagram is dan een rechte lijn met een constante steilheid. De snelheid verandert dus niet. Er geldt dan: $v = v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

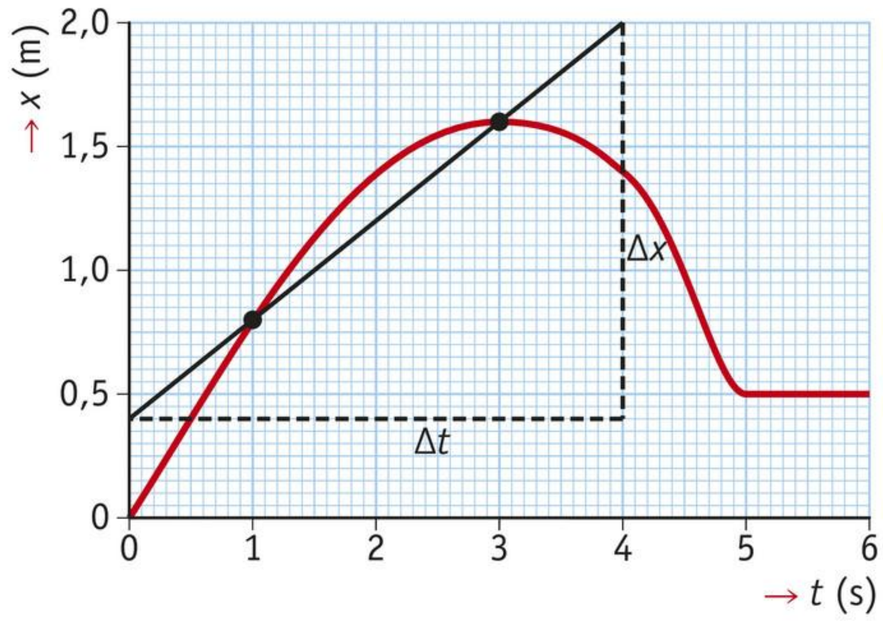
Bij een eenparige beweging geldt het verband: $\Delta x = v \cdot t$
Dit is een recht evenredig verband: als je twee keer zo snel gaat, kom je in dezelfde tijd twee keer zo ver. Ook geldt: bij dezelfde snelheid kom je in twee keer zoveel tijd twee keer zo ver. Als de snelheid niet constant is, kun je deze formule niet zomaar gebruiken, maar ze is wel altijd geldig met de gemiddelde snelheid: $\Delta x = v_{gem} \cdot t$

SNELHEID OP EEN MOMENT

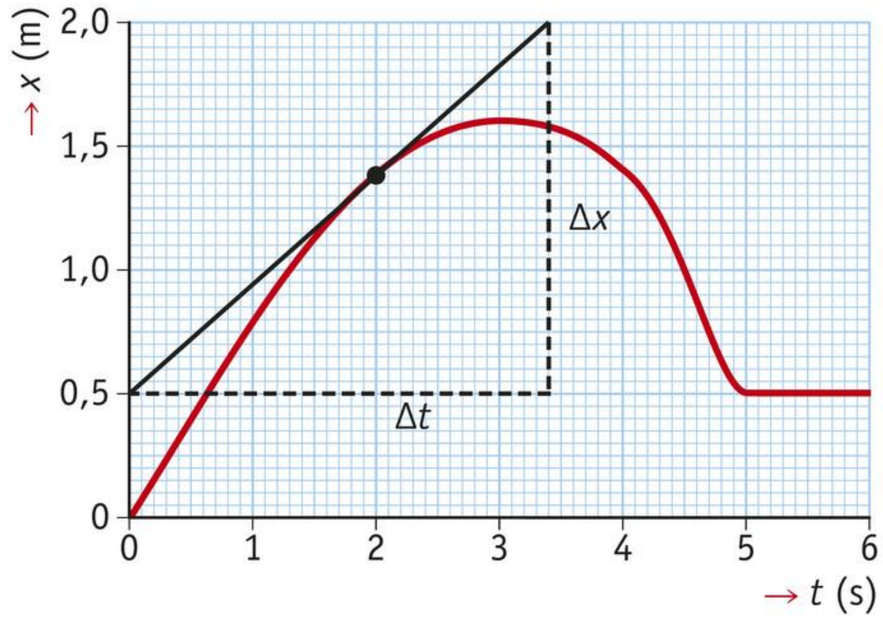
Je kunt uit een (x,t)-diagram ook de **snelheid op een bepaald moment $v(t)$** bepalen. Dit noem je ook wel de momentane snelheid. Die is gelijk aan de steilheid van de grafiek in het (x,t)-diagram op een bepaald tijdstip. Kijk naar figuur 14. Stel, je wilt de snelheid weten op $t = 2{,}0$ s. Als benadering kun je dan de gemiddelde snelheid rond dat punt bepalen, bijvoorbeeld tussen $t = 1{,}0$ s en $t = 3{,}0$ s. Daarvoor bepaal je de steilheid van de rechte lijn. Die is extra lang getekend, zodat de relatieve afleesfout kleiner is: een millimeter verkeerd aflezen op 4 cm is minder erg dan een millimeter verkeerd zitten op 2 cm. Je vindt dan:

$$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1{,}6 - 0{,}8}{3{,}0 - 1{,}0} = \frac{0{,}8}{2{,}0} = 0{,}40 \text{ m/s}$$

Als je het tijdsinterval kleiner en kleiner maakt, krijg je een steeds nauwkeuriger waarde voor de snelheid op $t = 2{,}0$ s. De lijn die je uiteindelijk krijgt heet de **raaklijn** aan de grafiek. De steilheid van die raaklijn is gelijk aan de snelheid op dat moment (figuur 15).



figuur 14 Bepalen van de gemiddelde snelheid tussen 1,0 en 3,0 s.



figuur 15 Bepalen van de snelheid op $t = 2{,}0$ s.

VAARDIGHEDEN

V2.7 Een raaklijn tekenen en de steilheid bepalen

Formule

De formule voor de snelheid op een bepaald moment $v(t)$ is:

$v(t) = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ = de steilheid van de raaklijn in het punt (t,x)

Dus de snelheid op $t = 2{,}0$ s is: $v(2{,}0 \text{ s}) = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2{,}0 - 0{,}5}{3{,}4 - 0{,}0} = \frac{1{,}5}{3{,}4} = 0{,}44$ m/s

Voorbeeldopdracht 2

In figuur 7 in de vorige paragraaf staat het (x,t)-diagram van een race van sprinter Dafne Schippers. In figuur 16 zie je het diagram nog eens, met een raaklijn bij t = 1,0 s.
Bepaal de snelheid op t = 1,0 s.



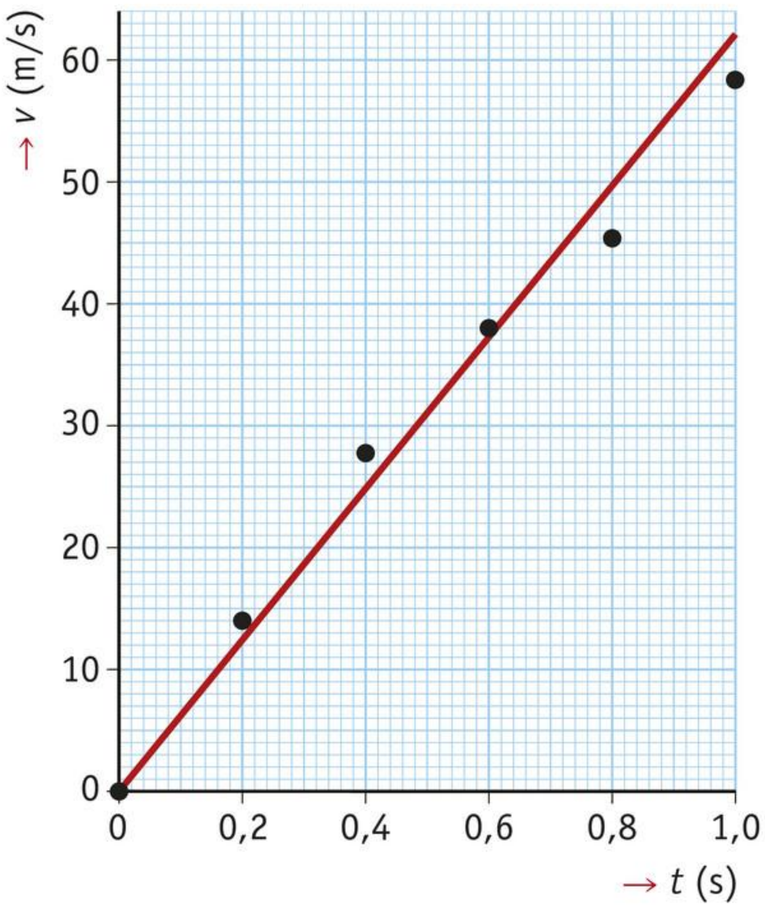
figuur 16 (x,t)-diagram van een sprinter met raaklijn.

Uitwerking

Lees af dat voor de raaklijn op t = 1,0 s geldt:
$\Delta x = 40 - -2 = 42{,}0$ m en $\Delta t = 7{,}0 - 0{,}0 = 7{,}0$ s
$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{42{,}0}{7{,}0} = 6{,}0$ m/s

TRENDLIJN

Als je de snelheid v op meerdere tijdstippen t met behulp van een raaklijn bepaalt, kun je een (v,t)-diagram tekenen. In figuur 17 zie je het resultaat voor de eerste paar seconden van de race van een atleet. De grafieklijn geeft weer hoe de snelheid verloopt als functie van de tijd. In het (v,t)-diagram staat horizontaal de tijd en verticaal de snelheid.
De grafieklijn loopt altijd vloeiend, nooit schokkerig. Een grafieklijn die je op deze manier tekent heet een **trendlijn**. Hiermee middel je meetonnauwkeurigheden uit. Kies de trendlijn die het best bij de punten past. Als je bijvoorbeeld verwacht dat de snelheid elke seconde met dezelfde waarde toeneemt, dan teken je een rechte trendlijn: lineair. Zo kun je zien hoe goed je metingen overeenkomen met je verwachtingen. Teken dus in ieder geval nooit zomaar een grafieklijn van punt naar punt.



figuur 17 Trendlijn tussen punten door.

VAARDIGHEDEN

V2.6 Een trendlijn tekenen

Ook is het niet goed als je een lijn van het beginpunt naar het laatste punt tekent. Dan heb je niets aan de andere punten. Correct is een lijn waar net zoveel punten erboven liggen als eronder.
Als je de trendlijn hebt getekend, dan kun je daarna ook waarden aflezen *tussen* de meetpunten. Dat heet **interpoleren**. Als je de lijn verder doortrekt voorbij het laatste meetpunt, dan noem je dat **extrapoleren**.

Onthoud

- De gemiddelde snelheid bereken je met: $v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
- De gemiddelde snelheid tussen twee punten A en B is gelijk aan de steilheid van de lijn die de punten A en B in de grafiek van het (x,t)-diagram met elkaar verbindt.
- Bij een eenparige rechtlijnige beweging is de snelheid constant: $v = v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
- De snelheid op een bepaald moment is gelijk aan de steilheid van de raaklijn aan de grafiek op dat tijdstip in het (x,t)-diagram.
- In een (v,t)-diagram staat horizontaal de tijd en verticaal de snelheid.
- Een trendlijn is een vloeiende lijn die weergeeft hoe een grootheid verandert.

OPDRACHTEN ▸ Basis

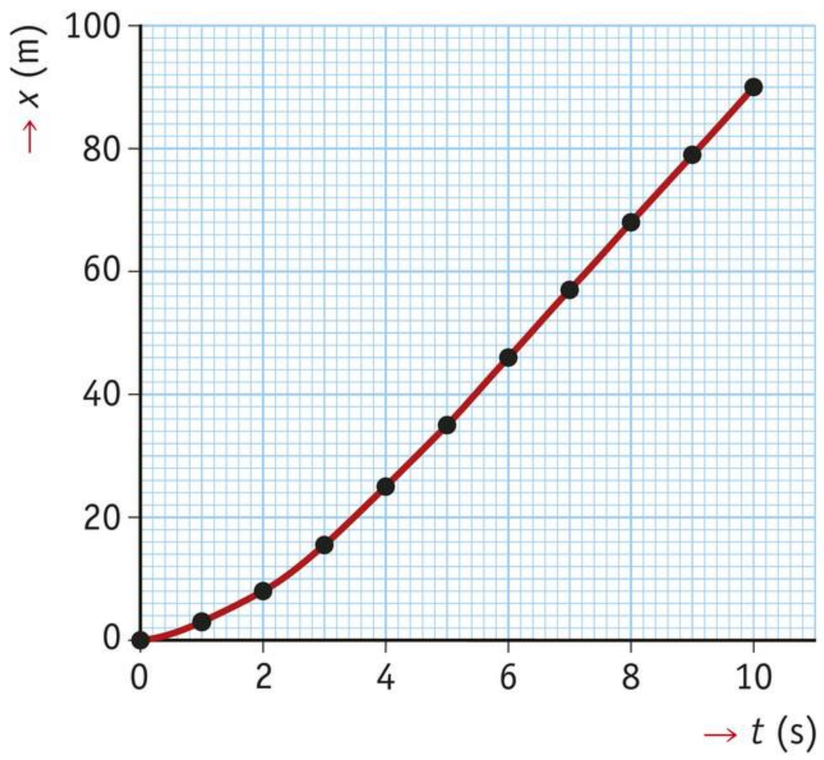
P 11 **Wüst**

In figuur 18 zie je het (x,t)-diagram van de start van een race van schaatser Ireen Wüst.

a Bepaal de gemiddelde snelheid van Ireen Wüst tijdens de eerste 10 seconden van de race.
b Bepaal haar snelheid op $t = 1{,}0$ s.
c Bepaal de tijd na 100 m door middel van extrapolatie.

Het persoonlijk record van Ireen Wüst op de 500 m is 39,04 s.

d Bereken de gemiddelde snelheid over de hele race.



figuur 18 (x,t)-diagram van de start van Wüst.

12 Grafieken herkennen

In figuur 19 zijn drie grafieken voor verschillende bewegingen getekend.
Geef voor elke grafiek aan of het om een eenparige beweging gaat.

13 Snelheid bepalen

Bekijk figuur 11 op bladzijde 20.

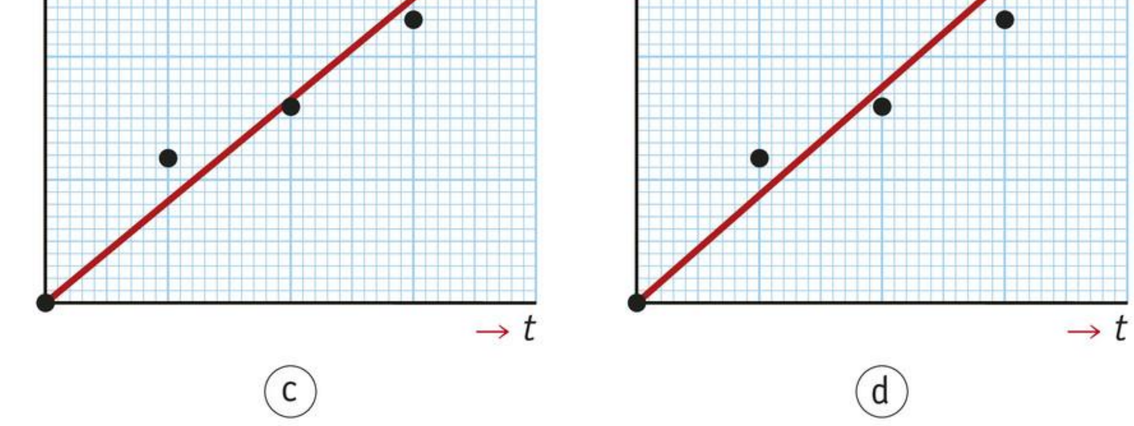
a Zonder een berekening te doen: leg uit hoe groot de snelheid is op $t = 3{,}0$ s.

b Bepaal de gemiddelde snelheid voor de hele beweging, tussen $t = 0{,}0$ s en $t = 6{,}0$ s.

c Bepaal de snelheid op $t = 0{,}0$ s.

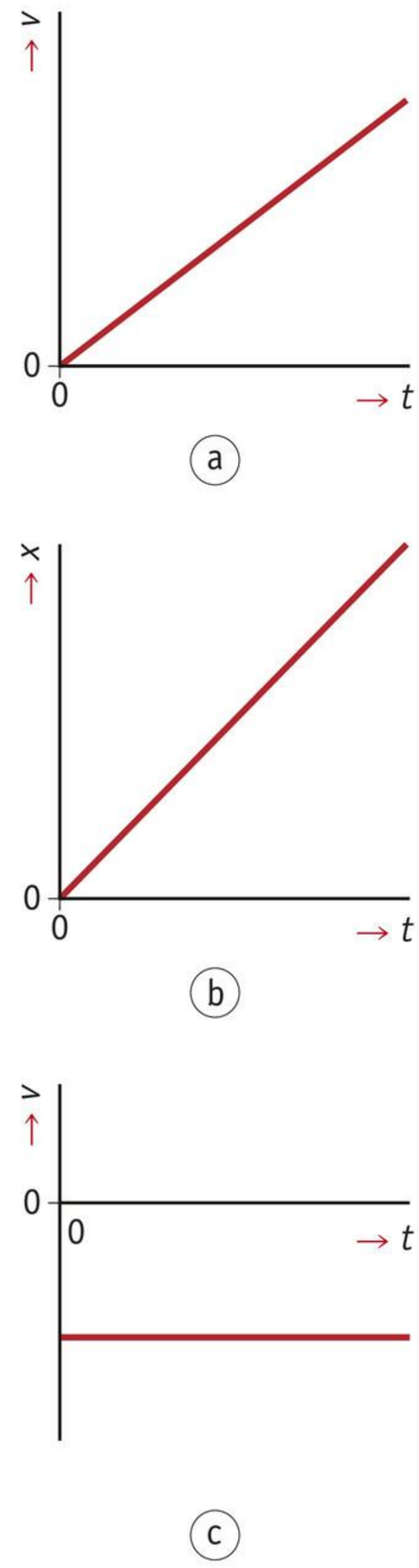
14 Juiste trendlijn

Vier onderbouwleerlingen hebben op een nogal onnauwkeurige manier gemeten hoe snel een trein die optrekt beweegt. Ze hebben per 10 m de tijd gemeten en zo steeds de gemiddelde snelheid over dat stukje gemeten. Bijvoorbeeld: over de eerste 10 m deed de trein 8 seconden, dus de gemiddelde snelheid is 1,25 m/s.
Alle vier hebben ze een (v,t)-diagram gemaakt (figuur 20).
Leg uit wie dat het best heeft gedaan. Geef ook aan wat er bij de andere pogingen verkeerd is.



figuur 20 Vier pogingen om een trendlijn te tekenen.

figuur 19 Drie grafieken van bewegingen.

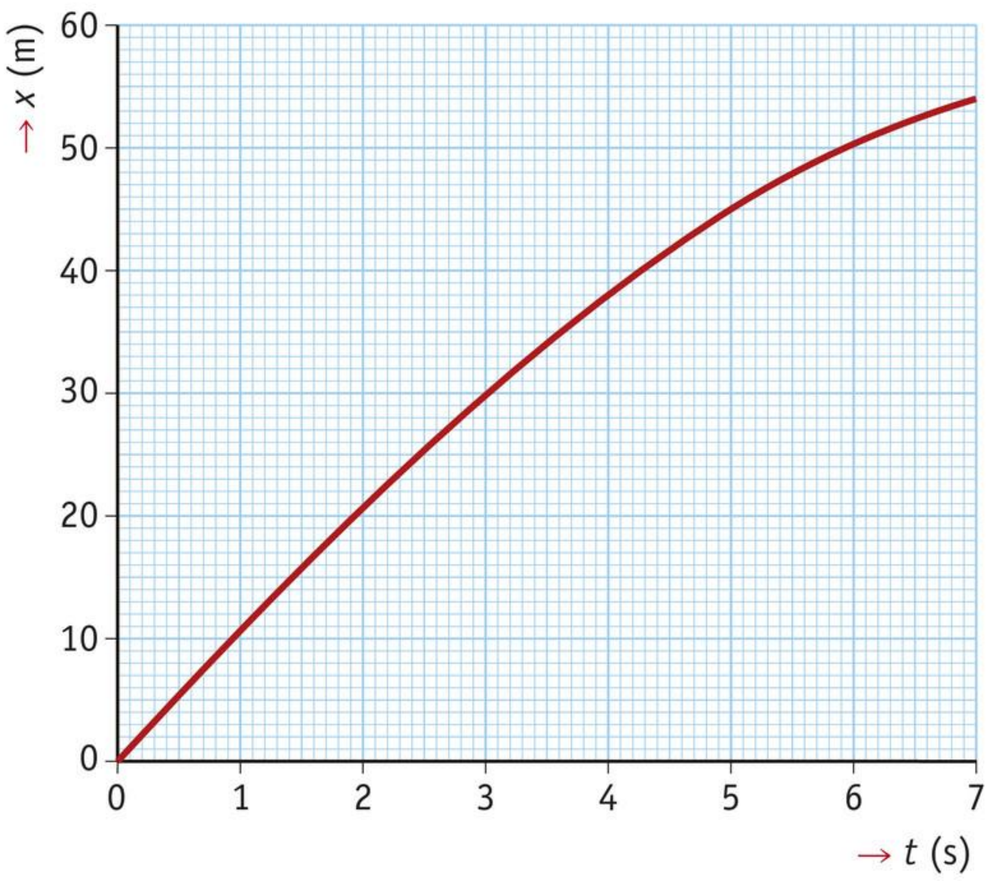


15 Optrekken

a Bepaal in figuur 21 de gemiddelde snelheid over de eerste 5,0 seconden.

b Bepaal in figuur 21 de snelheid op $t = 4{,}0$ s.

c Leg uit of dit een eenparige beweging is.



figuur 21 (x,t)-diagram van een optrekkende auto.

16 Videometing op de maan

Uit een videometing aan een filmpje van een voorwerp dat valt op de maan, volgen de gegevens in tabel 4.

tabel 4

t (s)	v (m/s)
0,0	0,0
0,2	0,32
0,4	0,62
0,6	0,99
0,8	1,31

a Zet de waarden uit in een (v,t)-diagram en teken de trendlijn.

b Leg uit of de beweging eenparig is.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

17 Gewichtje aan een veer

Een gewichtje hangt aan een veer, wordt naar beneden getrokken en op $t = 0$ s losgelaten. Het trilt vervolgens op en neer en komt langzaam tot stilstand. De hoogte van het gewichtje als functie van de tijd is gegeven in figuur 22. Hierbij komt $x = 0$ overeen met de ruststand.

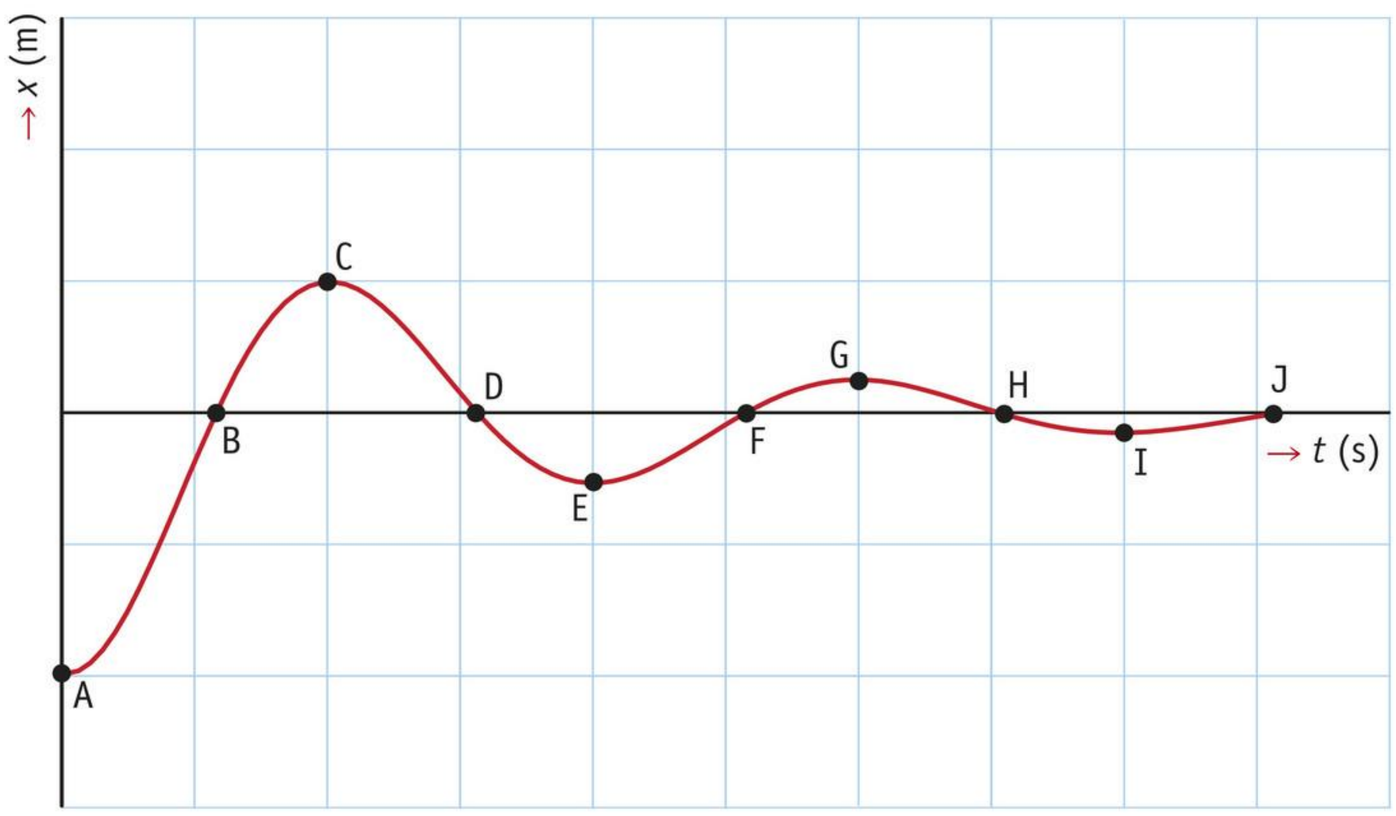
a In welk(e) punt(en) is de snelheid van het gewichtje nul?

b In welk(e) punt(en) verandert het gewichtje van richting?

c Op welk(e) interval(len) heeft het gewichtje een negatieve snelheid? Een interval is bijvoorbeeld [A,B].

d In welk punt is de snelheid van het gewichtje het grootst?

e Gebruik je antwoorden op opdrachten a tot en met d om een schets te maken van het (v,t)-diagram van het gewichtje. Zet de punten A tot en met J in dit diagram op de juiste plek.



figuur 22 Het (x,t)-diagram van een gewichtje aan een veer.

18 Snelheidscontrole

Met een lasergun kan de politie de snelheid van auto's bepalen. De werking van een lasergun is gelijk aan die van een ultrasone afstandsmeter, maar in plaats van geluid gebruikt een lasergun lichtpulsen die de snelheid van het licht hebben: $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s
De afstand tussen de lasergun en een auto is 350 m.

a Bereken hoelang een puls erover doet om van de lasergun naar de auto en terug naar de lasergun te gaan.

Een lasergun meet tijdverschillen in de orde van micro-seconden tussen uitzenden en ontvangen van de lichtpulsen. Microseconden kort je af met µs.

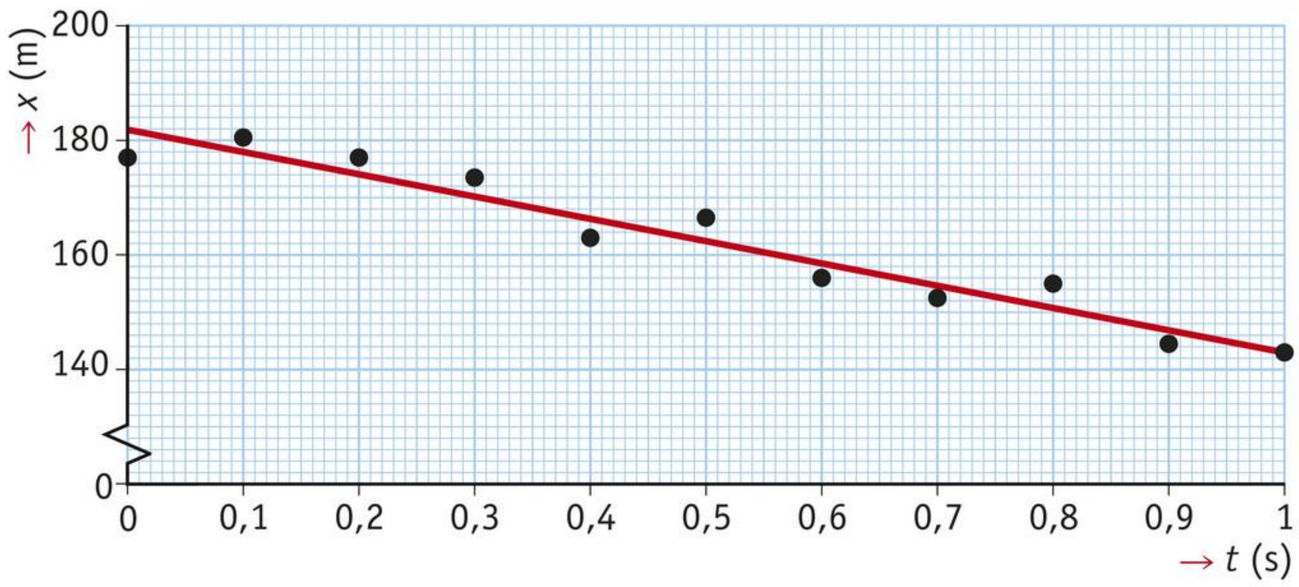
b Zoek in *BiNaS* op hoeveel seconden een microseconde is.

Een lasergun meet een tijdverschil van $\Delta t = 0{,}83$ µs.

c Bereken de afstand tot de auto.

Het (x,t)-diagram in figuur 23 geeft meetwaarden van een lasergun weer. De x-waarden zijn door de lasergun bepaald uit de gemeten tijdverschillen.

d Hoe noem je een dergelijke grafieklijn door de meetpunten?



figuur 23 (x,t)-diagram van meetwaarden van een lasergun.

e Bedenk een mogelijke reden waarom de meetpunten niet op een rechte lijn liggen.

f Noem het soort beweging dat de auto hier uitvoert.

g Leg uit hoe je uit het diagram kunt aflezen dat de auto naar de lasergun toe beweegt en niet ervan af.

Op de weg waar de auto rijdt, mag 100 km/h worden gereden.

h Bepaal met behulp van figuur 23 of de automobilist zich aan de maximumsnelheid houdt.

19 Valbeweging

In tabel 5 staat de plaats van een vallend gewichtje voor verschillende tijden. In de derde kolom staat de verplaatsing per interval van 20 ms.

a Bereken voor elk interval de gemiddelde snelheid (in m/s). Zet je antwoorden in een tabel.

b Leg uit bij welke tijdstippen je deze gemiddelde snelheden het best kunt weergeven in een (v,t)-diagram: het begin, midden of eind van een interval?

c Zet de snelheden uit de tabel die je gemaakt hebt bij opdracht a in een (v,t)-diagram.

tabel 5 Plaats en verplaatsing voor een vallend gewichtje.

t (ms)	x (mm)	Δx (mm)
0	0	0
20	2	2
40	8	6
60	18	10
80	32	14
100	50	18
120	72	22
140	88	26

20 Trajectcontrole

Op veel snelwegen wordt gebruikgemaakt van traject-controle. Een auto moet dan gemiddeld op het traject onder de gestelde snelheidslimiet blijven om geen bekeuring te krijgen.
Een auto op een snelweg met trajectcontrole rijdt harder dan de toegestane snelheid, maar krijgt geen bekeuring.

a Leg uit hoe dat mogelijk is.

Op een stuk snelweg van 25 km vindt trajectcontrole plaats. De maximumsnelheid is er 100 km/h.
Een automobilist rijdt op dit traject 10 km met een snelheid van 140 km/h en 15 km met een snelheid van 80 km/h.

b Bereken of deze automobilist een bekeuring zou moeten krijgen.

Een andere automobilist rijdt op hetzelfde traject 6 min met een snelheid van 120 km/h.

c Bereken met welke maximale snelheid deze automobilist het resterende deel van het traject kan afleggen zonder een boete te krijgen.

d Leg uit waarom het niet mogelijk is om het stuk snelweg in minder dan 15 min af te leggen zonder een bekeuring te krijgen.

★ 21 Rivier

Er is een rivier met een brug erover. Het water in de rivier stroomt met constante snelheid. Een zwemmer springt van de brug af en zwemt één kilometer stroomopwaarts. Na die eerste kilometer komt hij een kurk tegen die op het water drijft. Vervolgens zwemt hij nog een half uur verder en draait zich dan om en zwemt terug. De zwemmer en de kurk komen tegelijk bij de brug aan. De zwemmer heeft met een constante snelheid ten opzichte van het water gezwommen. Bereken de stroomsnelheid van het water in de rivier.

bron: Nationale Natuurkunde Olympiade, eerste ronde 2003

3

EENHEDEN EN SIGNIFICANTE CIJFERS

Leerdoelen

1.3.1 Je kunt een antwoord uitdrukken in de juiste SI-(grond)eenheden.
1.3.2 Je kunt met behulp van een formule de SI-(grond)eenheid van een grootheid afleiden.
1.3.3 Je kunt het aantal significante cijfers van een meetwaarde bepalen.
1.3.4 Je kunt je antwoord geven in de wetenschappelijke notatie met het juiste aantal significante cijfers.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	1.3.1	1.3.2	1.3.3	1.3.4
Onthouden	22a			25
Begrijpen	30		26abcdefh	
Toepassen	22b, 35cf	23, 29, 33	24ab, 26g, 31c	24c, 27, 28, 31ab, 32
Analyseren	34, 35abde			

Bij het noteren van meetgegevens is het belangrijk duidelijk te maken welke eenheid je gebruikt en hoe nauwkeurig je meetgegevens zijn. In deze paragraaf worden de afspraken over eenheden en nauwkeurigheid uitgelegd.

GROOTHEDEN EN EENHEDEN

Een automobilist die in Nederland op de snelweg rijdt waar een snelheidslimiet geldt van 100 km/h, moet opletten dat de snelheidsmeter niet meer dan 100 aanwijst. In de Verenigde Staten zou op een snelweg met eenzelfde snelheidslimiet de wijzer niet boven de 63 uit mogen komen. Dat komt doordat beide landen verschillende eenheden gebruiken voor snelheid. In Nederland is het kilometer per uur, in de VS mijl per uur. Eén mijl is gelijk aan 1,609 km. Om snelheden te vergelijken moet je dezelfde eenheid gebruiken.
Een **grootheid** is een eigenschap die je door een meting kunt uitdrukken in een getal. De automobilist kan de waarde van de grootheid snelheid aflezen op de snelheidsmeter.
Een **eenheid** is de gekozen maat om een grootheid in uit te drukken. De snelheidsmeter geeft de snelheid aan in de eenheid km/h.
Een meetuitkomst noteer je als volgt:

grootheid = getal · eenheid

Om eenheden en grootheden uit elkaar te houden, schrijf je grootheden *cursief* (schuin) en eenheden niet-cursief.

SI-GRONDEENHEDEN

Afspraken over eenheden en grootheden worden bijgehouden door het Bureau International des Poids et Mesures en vastgelegd in het Système International d'unités, ofwel het internationaal systeem van eenheden, afgekort als SI. Er zijn zeven **basisgrootheden** met bijbehorende **grondeenheden** (tabel 6). Je vindt deze gegevens ook in *BiNaS* tabel 3.

tabel 6 De zeven basisgrootheden en bijbehorende grondeenheden van het SI.

basisgrootheid		grondeenheid	
naam	**symbool**	**naam**	**symbool**
lengte	x	meter	m
massa	m	kilogram	kg
tijd	t	seconde	s
(elektrische) stroomsterkte	I	ampère	A
temperatuur	T	kelvin	K
lichtsterkte	I	candela	cd
hoeveelheid stof	n	mol	mol

AFGELEIDE EENHEDEN

Het is niet nodig voor elke grootheid een nieuwe eenheid af te spreken. Bijvoorbeeld de grootheid snelheid is gelijk aan een verplaatsing gedeeld door een tijd. Omdat de eenheid van verplaatsing de meter is en de eenheid van tijd de seconde, is de eenheid van snelheid gelijk aan meter per seconde. In een formule:

$$[\mathrm{v}] = \left[\frac{\Delta \mathrm{x}}{\Delta \mathrm{t}}\right] = \frac{[\Delta \mathrm{x}]}{[\Delta \mathrm{t}]} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Die rechte haken kun je lezen als 'eenheid van', dus $[v]$ betekent 'eenheid van snelheid'. Als je voor de snelheid een bekende formule invult, $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ in dit geval, dan kun je zo afleiden wat de eenheid is van snelheid. Eenheden die uit te drukken zijn in een of meer grondeenheden noem je afgeleide eenheden.

VAARDIGHEDEN

V2.5 Werken met grootheden en eenheden

Voorbeeldopdracht 3

Leid af wat de afgeleide SI-eenheid is van druk.

Uitwerking

Zoek in *BiNaS* tabel 35 de formule die de grootheid druk definieert:

$p = \frac{F}{A}$

Hierin is F de kracht in newton en A de oppervlakte in vierkante meter.

Om de eenheid van p af te leiden, zet je links en rechts rechte haken om de grootheden:

$[p] = \frac{[F]}{[A]}$

Vervolgens vul je de SI-eenheden rechts in:

$[p] = \mathrm{N/m^2}$

Dus de afgeleide eenheid voor druk is N/m^2. Dit spreek je uit als 'newton per vierkante meter'. Omdat druk veel wordt gebruikt, krijgt N/m^2 een aparte naam: pascal (Pa). Zo zijn er verschillende afgeleide SI-eenheden die een speciale naam hebben gekregen (zie *BiNaS* tabel 4). Een belangrijk voorbeeld is de eenheid voor kracht, de newton. Ook dat is een afgeleide SI-eenheid met een eigen naam. In SI-grondeenheden is de eenheid voor kracht: $N = kg\ m/s^2$

SIGNIFICANTE CIJFERS

Het getal waarmee je een meetwaarde aangeeft, geeft ook aan hoe *precies* je uitkomst is. Stel bijvoorbeeld dat je wilt meten hoe snel iemand loopt. Daarvoor markeer je een begin- en eindpunt en meet je de afstand ertussen door het nemen van stappen. Je gaat ervan uit dat de lengte van elke stap 1 m is. Zo vind je 9 m. Met een stopwatch meet je dat de persoon over die afstand 13,12 s doet. Je voert de waarden in je rekenmachine in en schrijft het tussenantwoord zo op:
$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{9}{13{,}12} = 0{,}685\ 975\ 609\ 8$ m/s

Hoe moet je dit afronden? Bedenk dat 9 m een *meetwaarde* is die de *echte waarde* moet benaderen. Als je de afstand met stappen hebt gemeten, dan is de waarde 9 m niet heel precies. Het is wel zeker dat de echte afstand niet 12 m is of 6 m, maar het zou best 8 m kunnen zijn, of 10 m. De waarde 9 zegt dus wel iets, maar het zou niet verantwoord zijn als je zou schrijven 9,0 m, want dan zou je net doen alsof je ook iets weet over de decimeters, en die weet je echt niet. Bij een meting met een meetlint weet je wel het aantal centimeters en dan zou het verantwoord zijn te noteren 8,73 m of 9,12 m. Maar bij meten met grote stappen moet je opschrijven 9 m.
Je schrijft dus alleen meer cijfers achter de komma als je die getallen ook echt weet. Je zegt: 9 m is een meetwaarde in één **significant cijfer**. 'Significant' betekent 'betekenisvol'.
Nullen aan de voorkant van een getal tellen niet mee bij het bepalen van het aantal significante cijfers. Zowel 0,0020 m als 2,0 mm als $2{,}0 \cdot 10^{-3}$ m als $2{,}0 \cdot 10^{3}$ µm drukt dezelfde waarde uit, in hetzelfde aantal significante cijfers.
Je weet de tijd die de persoon doet over het stukje lopen wel precies: 13,12 s is een meetwaarde in vier significante cijfers. Maar de onnauwkeurigheid van de afstandsmeting zorgt ervoor dat de uitkomst van $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ niet erg precies is. De waarde 0,685 975 609 8 m/s die de rekenmachine geeft, in tien cijfers achter de komma, is dus onzinnig. Je kunt alleen zeker zijn van het eerste cijfer achter de komma: dat is waarschijnlijk een 7. Daarom is het uiteindelijke antwoord: $v = 0{,}7$ m/s. Het antwoord heeft dus één significant cijfer.

VAARDIGHEDEN

V2.3 Meetnauwkeurigheid en significantie

Er geldt de volgende vuistregel:
Bij een deling of een vermenigvuldiging is het aantal significante cijfers van het antwoord gelijk aan het kleinste aantal significante cijfers van de getallen in de berekening.

Voor optellen en aftrekken gelden andere regels. Stel je schat vanuit de verte de hoogte van een gebouw op 16 m. Op het gebouw wil je een vlaggenmast plaatsen van 3,40 m. Je rekenmachine zegt dan dat de totale hoogte is:
16 m + 3,40 m = 19,40 m
Maar eigenlijk weet je het aantal centimeters en zelfs het aantal decimeters niet, want die weet je niet bij de eerste meetwaarde. Het heeft dus geen zin de uitkomst in centimeters nauwkeurig te schrijven. Daarom rond je het eindantwoord af als: 19 m

Hieruit volgt de volgende vuistregel:
Bij optellen of aftrekken schrijf je eerst alle getallen in dezelfde eenheid. Vervolgens rond je het antwoord af op het minste aantal cijfers achter de komma.

Let op: het aantal cijfers bij optellen en aftrekken kan afnemen of toenemen. Bijvoorbeeld: 9 m + 5 m = 14 m. Je begint met getallen in één significant cijfer en eindigt met een getal in twee cijfers. Of omgekeerd: 125 m − 120 m = 5 m. Je begint met drie cijfers en eindigt met slechts één.
De vuistregels voor significantie gelden niet voor telbare zaken, zoals het aantal knikkers in een pot. Als je bijvoorbeeld zes knikkers hebt van elk 9,0 g, dan bereken je de totale massa van die knikkers als volgt: $m = 6 \times 9{,}0 = 54$ g. De uitkomst mag twee significante cijfers bevatten, want 9,0 g bestaat uit twee significante cijfers. De telwaarde 6 is 100% nauwkeurig bekend en je kunt deze waarde dus zien als een getal met een oneindig aantal significante cijfers. Ook geldbedragen en wiskundige constanten, zoals π, vallen niet onder de regels van significantie. Je mag er bij berekeningen van uitgaan dat dit getallen zijn met exacte precisie.

AFLEZEN SCHAALVERDELING OF DIAGRAM

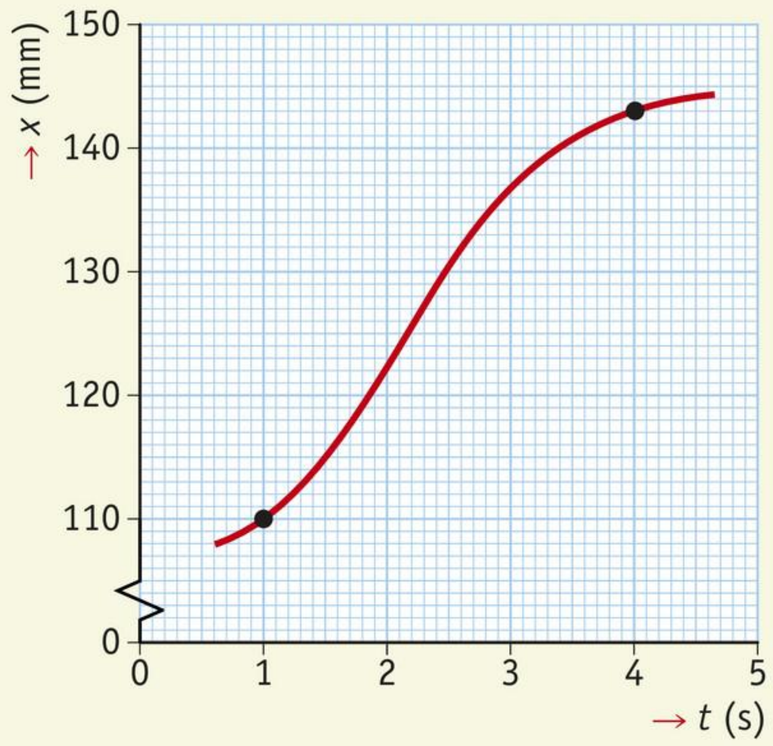
Bij het aflezen van de schaalverdeling van een meetinstrument kun je een schatting maken tussen de kleinste schaaldelen. Bijvoorbeeld bij het meten van een lengte met een geodriehoek, waar een verdeling in millimeters op staat. Als je dan ziet dat de lengte van een lijnstuk iets meer is dan 2,7 cm, dan kun je noteren L = 2,72 cm. Dit zijn drie significante cijfers, waarbij de onzekerheid in het laatste cijfer zit. Bij het aflezen van een diagram hangt het van de schaalverdeling van de assen af hoe precies je de waarde kunt bepalen. De schaaldelen kun je zeker aflezen, soms lukt het ook daartussen.

VAARDIGHEDEN

V2.2 Meetwaarden aflezen

Voorbeeldopdracht 4

In figuur 24 staat het (x,t)-diagram van de verplaatsing van een insect.
Bepaal de gemiddelde snelheid in m/s van het insect tussen t = 1,0 en t = 4,0 s.
Rond je antwoord af op het juiste aantal significante cijfers.



figuur 24 (x,t)-diagram van een insect.

Uitwerking

Gebruik $v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$. Op t = 1,0 s is de plaats 110 mm, op t = 4,0 s is de plaats 143 mm. Vanwege de dikte van de lijn en de punten lukt het niet nauwkeuriger af te lezen. Je ziet dat je de tijd in twee en de plaats in drie significante cijfers af kunt lezen. De gemiddelde snelheid is:

$$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{143 - 110}{4{,}0 - 1{,}0} = \frac{33}{3{,}0} = 11 \text{ mm/s} = 11 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Doordat je een verschil berekent in plaats x, houd je voor de verplaatsing twee significante cijfers over. In de deling hebben de beide getallen twee significante cijfers, dus rond je je antwoord af op twee significante cijfers.

WETENSCHAPPELIJKE NOTATIE EN VOORVOEGSELS

Een afstand druk je uit in meter. Maar als je de dikte van een haar in meter opschrijft, of de afstand van de aarde naar de zon, krijg je getallen met heel veel nullen.
Bijvoorbeeld de afstand tussen de aarde en de zon is: $1{,}496 \cdot 10^{11}$ m. Zonder wetenschappelijke notatie zou dit zijn: 149 600 000 000 m. Er zijn drie problemen: het leest niet prettig, het is veel schrijfwerk, en de meetwaarde heeft nu ineens twaalf significante cijfers in plaats van vier.
Om dit probleem op te lossen, zijn er twee mogelijkheden.

- Je kunt de afstand opschrijven met een vermenigvuldigingsfactor, ook wel voorvoegsel genoemd. Bijvoorbeeld: een haar is één millimeter dik. Het voorvoegsel 'milli' betekent 'een duizendste'.
- Bij het vak natuurkunde noteer je vaak de afstand in de **wetenschappelijke notatie**. Een onderdeel daarvan is het werken met machten van 10. Dit betekent dat je voorvoegsels zoals centi, milli en kilo vervangt door een macht van 10 en de juiste SI-eenheid: $\pm\ a \cdot 10^b$ eenheid. Hierbij is a een getal tussen 1 en 10 en b een positief of negatief geheel getal.

Een aantal veelgebruikte machten van 10 staat in tabel 7. Een uitgebreidere lijst vind je in *BiNaS* tabel 2.

VAARDIGHEDEN

V3.3 Regels voor werken met exponenten

tabel 7 Enkele veelgebruikte machten van tien.

factor	voorvoegsel	symbool
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deca	da
$10^0 = 1$	–	–
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m

EXPONENTEN

De eenheid van snelheid is m/s. Het is handiger deze eenheid te schrijven als: $\mathrm{m\ s^{-1}}$. De negatieve exponent betekent 'delen door', dus $\mathrm{s^{-1}} = \frac{1}{\mathrm{s}}$. Een voorbeeld met getallen: $10^{-3} = \frac{1}{10^3}$. Zo kun je de eenheid voor druk schrijven als $\mathrm{N/m^2 = N\ m^{-2}}$. Als je hierin de newton in grondeenheden uitdrukt, $\mathrm{N = kg\ m\ s^{-2}}$, zie je waarom deze notatie handig is: $\mathrm{N\ m^{-2} = kg\ m\ s^{-2}\ m^{-2} = kg\ m^{-1}\ s^{-2}}$
De rekenregel die je hierbij gebruikt is: $x^a \cdot x^b = x^{a+b}$. Een voorbeeld met getallen: $10^2 \times 10^3 = 10^5$. Dezelfde rekenregel gebruik je in de wetenschappelijke notatie.

Onthoud

- Het SI definieert zeven basisgrootheden met bijbehorende grondeenheden.
- Iedere grootheid kun je uitdrukken in SI-grondeenheden. Een eenheid die is samengesteld uit meer dan één grondeenheid is een afgeleide SI-eenheid.
- Bij een deling of een vermenigvuldiging is het aantal significante cijfers van het antwoord gelijk aan het kleinste aantal significante cijfers van de factoren.
- Bij optellen of aftrekken van meetwaarden kijk je naar het kleinste aantal getallen achter de komma.
- Je kunt een getal in de wetenschappelijke notatie noteren of met behulp van een voorvoegsel.

OPDRACHTEN ▸ Basis

22 SI-eenheden

Niet alle eenheden zijn SI-eenheden en niet alle SI-eenheden zijn grondeenheden.

a Noem de zeven basisgrootheden van het SI en geef voor elk de bijbehorende eenheid.

b Geef voor de volgende eenheden aan of het gaat om een afgeleide SI-eenheid, een grondeenheid in het SI of geen SI-eenheid: newton, inch, m^2, coulomb, joule, km, pond.

23 Eenheden afleiden [1]

Druk de eenheid van de grootheid links van het isgelijkteken uit in SI-eenheden. Controleer je antwoord met behulp van *BiNaS* tabel 4.

a $p = m \cdot v$ (impuls = massa × snelheid)

b $p = \frac{F}{A}$ (druk = kracht / oppervlakte)

c $\lambda = v \cdot T$ (golflengte = golfsnelheid × trillingstijd)

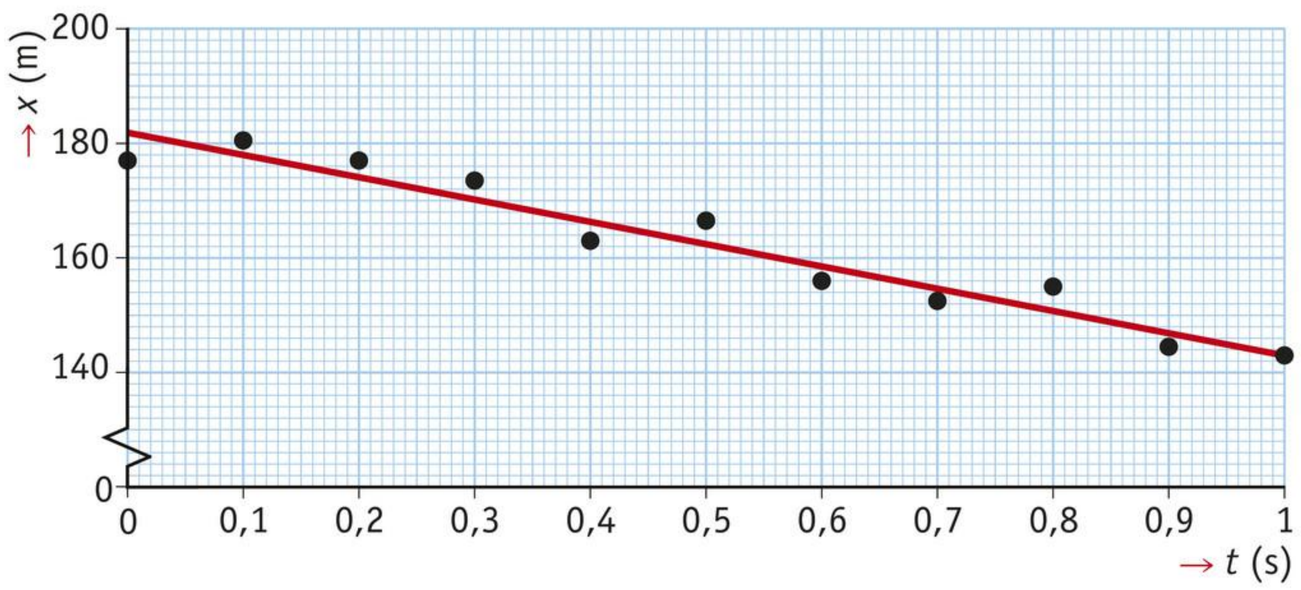
24 Aflezen

Bekijk figuur 25.

a Leg uit dat het aantal significante cijfers bij afgelezen waarden van de tijd gelijk is aan 2.

b Lees in figuur 25 de plaats af na 0,50 s en geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

c Bepaal in figuur 25 de gemiddelde snelheid over de hele periode.



figuur 25 (*x*,*t*)-diagram van meetwaarden van een lasergun.

25 Afronden

Noem de twee vuistregels voor het afronden van meetuitkomsten.

26 Significante cijfers

Geef voor elk van de volgende getallen het aantal significante cijfers.

a 1,2
b 2,0
c 0,0023
d π
e 5,0000
f $5{,}0 \cdot 10^3$
g de '½' in de formule $E_k = ½ \cdot m \cdot v^2$

Soms wordt gesproken van een bepaald aantal, zoals: 'negen pakken melk'.

h Leg uit dat de '9' hier oneindig veel significante cijfers heeft.

27 Oppervlakte grasveld

Roos wil graszoden kopen om een grasveld aan te leggen. Ze wil weten hoe groot de oppervlakte van de tuin is. Het gaat in deze opdracht om het juiste aantal significante cijfers dat past bij de manier van meten.
Roos meet lengte en breedte met grote stappen en komt uit op 8 m bij 6 m.

a Hoe groot is de oppervlakte?

Het grasveld is iets minder breed dan de tuin, omdat er een tegelpaadje van 30 cm breed doorheen loopt. Van de waarde 6 m moet je dus 0,30 m afhalen.

b Geef de nieuwe breedte van het grasveld in het juiste aantal cijfers.

Roos meet de breedte preciezer met een rolmaat. Die breedte is 5,78 m. Voor de lengte is er nog geen nieuwe meting.

c Hoe noteer je het antwoord voor de oppervlakte?

Ze meet de lengte nu ook preciezer met een rolmaat. Die lengte is 7,61 m.

d Hoe noteer je nu het antwoord voor de oppervlakte?

28 Wetenschappelijke notatie

Schrijf de volgende getallen in de wetenschappelijke notatie waarbij je het aantal significante cijfers gelijk houdt.

a 0,045 m
b 20 µg
c 120 kJ
d $1200 \cdot 10^4$ W

29 Eenheden afleiden [2]

Druk de eenheid van de grootheid links van het isgelijkteken uit in SI-eenheden. Controleer je antwoord met behulp van *BiNaS* tabel 4.

a $\rho = \frac{m}{V}$ (dichtheid = massa / volume)

b $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

30 Omrekenen

Een volwassen jachtluipaard weegt 70 kg.

a Reken deze waarde om in gram en schrijf het antwoord in de wetenschappelijke notatie.

De knoop is een eenheid van snelheid. Snelheid kun je ook uitdrukken in m s^{-1}. In *BiNaS* tabel 5 vind je dat een knoop 0,514 44 m/s ofwel 0,514 44 m s^{-1} is.
Een schip vaart met een snelheid van 3,5 knopen.

b Reken deze snelheid om naar m s^{-1}.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

P 31 Precisie snelheid

Bij een officiële 100 m sprint ligt de afstand tot op de millimeter vast.

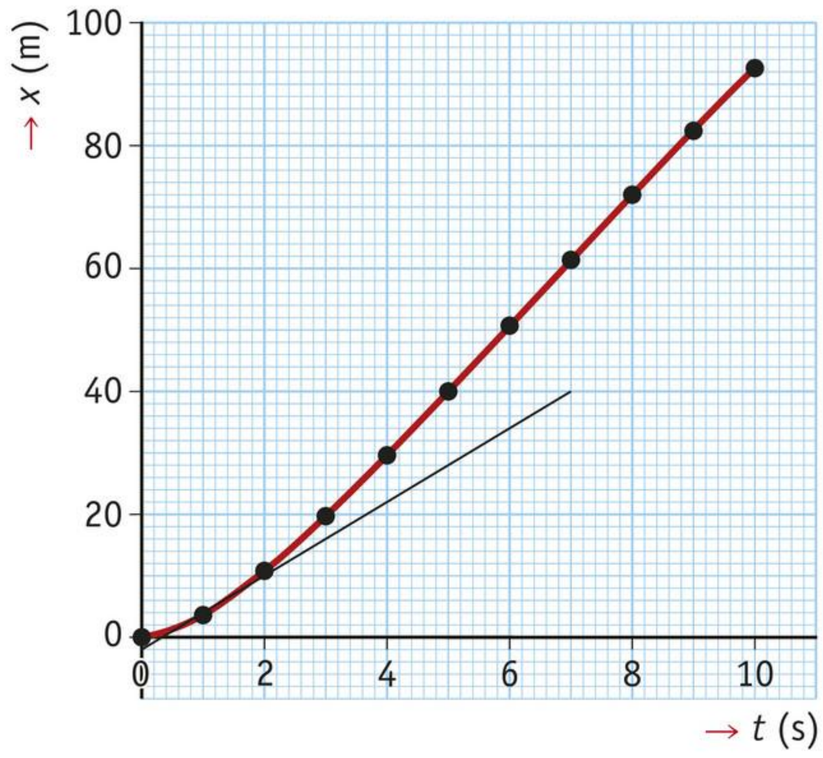
a Noteer de afstand in het juiste aantal significante cijfers.

Vanaf de tribune telt een toeschouwer hardop.
Zij komt tot een tijd van 12 seconden.

b Bereken de gemiddelde snelheid van de atleet over deze race van 100 m. Geef het antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

In voorbeeldopdracht 2 is een snelheid bepaald door een raaklijn te tekenen en de steilheid van die raaklijn te berekenen (figuur 26). Het antwoord werd in twee significante cijfers gegeven.

c Leg uit of dat juist was.



figuur 26 (*x*,*t*)-diagram van een sprinter.

32 Kleiner grasveld

Ties heeft een tuin waarvan hij de afmetingen schat op 6 m bij 8 m. Zowel aan de lange kant als aan de korte kant van de tuin is er aan de zijkant een strook van 110 cm breed die is begroeid met planten. De rest van de tuin is bedekt met gras.

a Geef de afmetingen van het grasveld in het juiste aantal significante cijfers.

b Bereken de oppervlakte van het grasveld in het juiste aantal significante cijfers.

33 Eenheden afleiden [3]

Druk de eenheid van de grootheid links van het isgelijkteken uit in SI-eenheden. Controleer je antwoord met behulp van *BiNaS* tabel 4.

a $\rho = \frac{R \cdot A}{l}$
(soortelijke weerstand = weerstand × oppervlakte / lengte)

b $E_k = ½ \cdot m \cdot v^2$
(kinetische energie = ½ × massa × snelheid^2)

34 SI-grondeenheden

De volgende grootheden in *BiNaS* tabel 4 hebben een afgeleide SI-eenheid die wordt afgekort en niet in grondeenheden wordt geschreven.
Zoek steeds de eenheid op en leid af wat de eenheid is in SI-grondeenheden.

a activiteit A
b energie E
c bronspanning V
d capaciteit C

★ 35 Oude en vreemde eenheden

Op een oud verkeersbord stond als maximale snelheid voor een trein op een bepaald traject aangegeven: '1500 midm'.

a Leg uit dat dit voor een natuurwetenschapper te veel significante cijfers zijn.

Tegenwoordig zouden we deze snelheid aanduiden als '90'.

b Beredeneer wat de afkorting midm betekent.

Op het stadhuis van Leiden is een stang aangebracht met de lengte van een Rijnlandse voet. Dit is een replica van de lengtemaat die vroeger op de markt werd gebruikt om bijvoorbeeld de lengte van een stuk stof af te meten.

c Zoek de waarde van een Rijnlandse voet op, uitgedrukt in de SI-eenheid van lengte.

d Leg uit wat het nadeel was van de manier waarop men vroeger rekende in 'voeten'.

De Romeinen gebruikten als afstandsmaat de Romeinse mijl, ongeveer 1478 meter. De Latijnse term was *milia passuum*. Milia is een getal dat je nog terugziet in woorden als millennium en het Franse woord mille, dat in Nederland ook wel voor grote geldbedragen wordt gebruikt.

e Welk getal is dat?

f Als een Romeinse mijl zoveel passuum is, wat is dan de oorsprong van de lengtemaat passus? Is dat een enkele stap of is een pas gedefinieerd als twee stappen, elk been één keer vooruit zetten?

4 VERANDERING VAN SNELHEID

Leerdoelen

1.4.1 Je kunt berekeningen maken aan en redeneren met eenparig versnelde bewegingen.

1.4.2 Je kunt uit een (*v*,*t*)-diagram de gemiddelde versnelling en de versnelling op een bepaald moment bepalen.

1.4.3 Je kunt in een diagram de volgende bewegingen herkennen: eenparig versnelde / vertraagde beweging, vrije val en valbeweging met wrijving.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	1.4.1	1.4.2	1.4.3
Onthouden			
Begrijpen		38a	40
Toepassen	36, 39, 41, 43	37b, 38bc, 42b	37a, 42ac, 44a
Analyseren	45, 46	44b	44c

Als je van plaats verandert, heb je een snelheid. Als je van snelheid verandert, heb je een versnelling.

VERSNELLING EN SNELHEIDSVERANDERING

De grootheid **versnelling *a*** geeft aan hoe de snelheid van een voorwerp in een bepaalde tijd verandert. De letter *a* komt van het Engelse *acceleration*, dat versnelling betekent. De snelheid *v* kan regelmatig of onregelmatig veranderen. Als de snelheid elke seconde evenveel verandert, spreek je van een **eenparig versnelde of vertraagde beweging**. Bij een eenparig versnelde of vertraagde beweging is de versnelling constant en gelijk aan de gemiddelde versnelling: $a = a_{gem}$. Ook geldt in dit speciale geval van de eenparig versnelde of vertraagde beweging dat de gemiddelde snelheid gelijk is aan het gemiddelde van de beginsnelheid en de eindsnelheid:

$$v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2}$$

Een snelheidsverandering Δv bereken je door de beginsnelheid af te trekken van de eindsnelheid:
$\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$
Als een bus en een sportauto beide vanuit stilstand optrekken en uiteindelijk ieder 50 km h^{-1} rijden, dan is de snelheidsverandering voor beide voertuigen: Δv = 50 km h^{-1}. De bus zal er wel langer over doen om die eindsnelheid te bereiken. De bus heeft dan een kleinere **gemiddelde versnelling a_{gem}** dan de auto.

Formule

De formule voor de gemiddelde versnelling a_{gem} is:

$$a_{gem} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Hierin is:
- a_{gem} de gemiddelde versnelling in meter per seconde kwadraat ($m\,s^{-2}$);
- Δv de snelheidsverandering in meter per seconde ($m\,s^{-1}$);
- Δt de tijdsduur in seconde (s).

De eenheid van versnelling kun je als volgt afleiden:
$[a_{gem}] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{m\,s^{-1}}{s} = m\,s^{-1} \cdot s^{-1} = m\,s^{-2}$

Voorbeeldopdracht 5

Een bus trekt op van 0 tot 50,0 $km\,h^{-1}$ in 12,0 s. Een sportauto doet dat in 3,0 s. Bereken van beide voertuigen de gemiddelde versnelling.

Gegevens
$t = 12{,}0$ s (bus)
$t = 3{,}0$ s (sportauto)
$v = 50{,}0\ km\,h^{-1} = \frac{50}{3{,}6} = 13{,}89\ m\,s^{-1}$

Formules
$\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$

$a_{gem} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Uitwerking
Voor de bus geldt: $a_{gem} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{13{,}89}{12{,}0} = 1{,}16\ m\,s^{-2}$

Voor de sportwagen geldt: $a_{gem} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{13{,}89}{3{,}0} = 4{,}6\ m\,s^{-2}$

Dezelfde snelheidsverandering Δv wordt bij de sportauto bereikt in een tijd Δt die vier keer zo kort is. De gemiddelde versnelling a_{gem} is dus vier keer zo groot.

AFREMMEN

Als een voorwerp vertraagt, is de eindsnelheid lager dan de beginsnelheid. $\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$ heeft dan een negatieve uitkomst, en $a_{gem} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ook.

Voorbeeldopdracht 6

De minimale wettelijke remvertraging voor een scooter is 4,0 m s^{-2}. Peter rijdt 40 km h^{-1} op een scooter die net aan deze wettelijke remvertraging voldoet. Bereken hoelang Peter erover doet om tot stilstand te komen. Ga uit van een constante vertraging.

Gegevens

$v = 40 \text{ km h}^{-1} = \frac{40}{3,6} \text{ m s}^{-1} = 11,1 \text{ m s}^{-1}$

$a = -4,0 \text{ m s}^{-2}$

Formules

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

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

Uitwerking

Peter remt af tot stilstand, dus is de snelheidsverandering:

$\Delta v = 0 - 11,1 = -11,1 \text{ m s}^{-1}$

$\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{-11,1}{-4,0} = 2,8 \text{ s}$

BEPALEN VAN DE VERSNELLING

In paragraaf 2 heb je manieren geleerd om de gemiddelde snelheid en de snelheid op een bepaald moment te bepalen. Voor het bepalen van de versnelling kun je, analoog, dezelfde manieren gebruiken. In figuur 27 zie je het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp. De gemiddelde versnelling tussen $t = 0$ s en $t = 5$ s is gelijk aan de steilheid van de getekende rechte lijn:

$a_{\text{gem}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 0,8}{5,0 - 0,0} = \frac{-0,8}{5,0} = -0,16 \text{ m s}^{-2}$

Je kunt in het diagram van figuur 27 ook kijken naar de versnelling op een bepaald moment, $a(t)$. Die is gelijk aan de steilheid van de raaklijn aan de grafiek in het (v,t)-diagram.

Formule

De formule voor de versnelling op een bepaald moment $a(t)$ is:

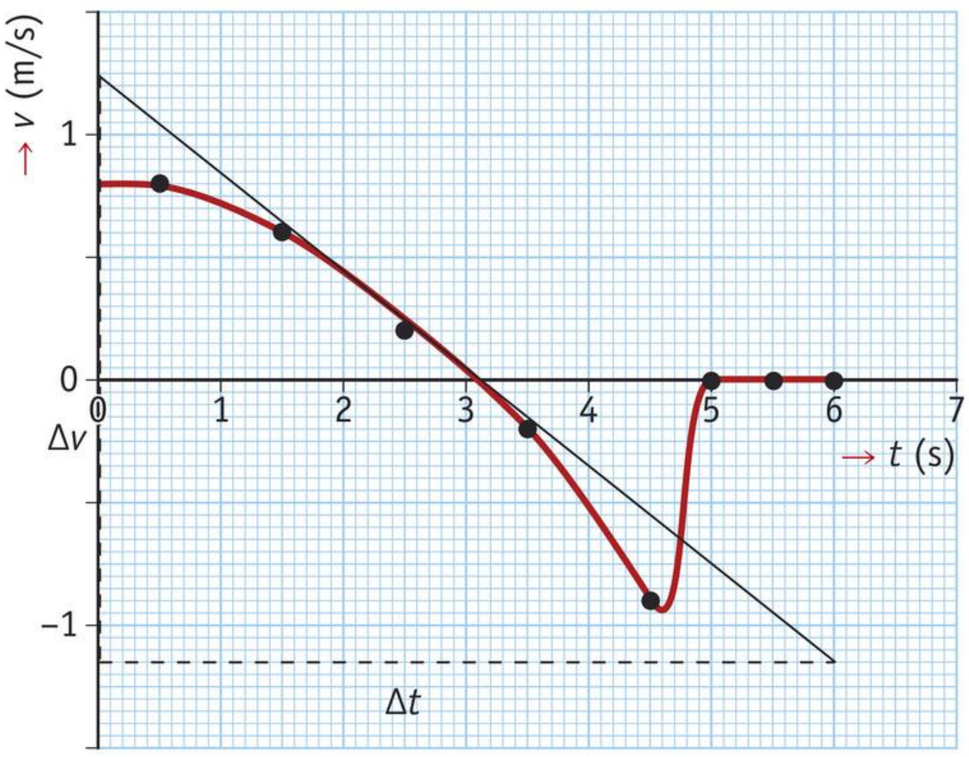
$a(t) = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ = de steilheid van de raaklijn in het punt (t,v)

Dus de versnelling op $t = 3{,}0$ s is gelijk aan de steilheid van de raaklijn in figuur 28:

$$a(3{,}0\text{ s}) = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-1{,}15 - 1{,}25}{6{,}0 - 0{,}0} = \frac{-2{,}4}{6{,}0} = -0{,}40\text{ m s}^{-2}$$



figuur 27 Het (v,t)-diagram van een bewegend voorwerp.



figuur 28 Bepalen van de versnelling op $t = 3$ s.

Zo kun je in het (v,t)-diagram op verschillende tijdstippen een raaklijn tekenen en de steilheid bepalen. Met deze gegevens kun je een (a,t)-diagram tekenen. Dat is best veel werk. Gelukkig kan de computer het werk automatiseren, zoals gebruikelijk is bij videometen.

PRACTICUM 2 Valbeweging

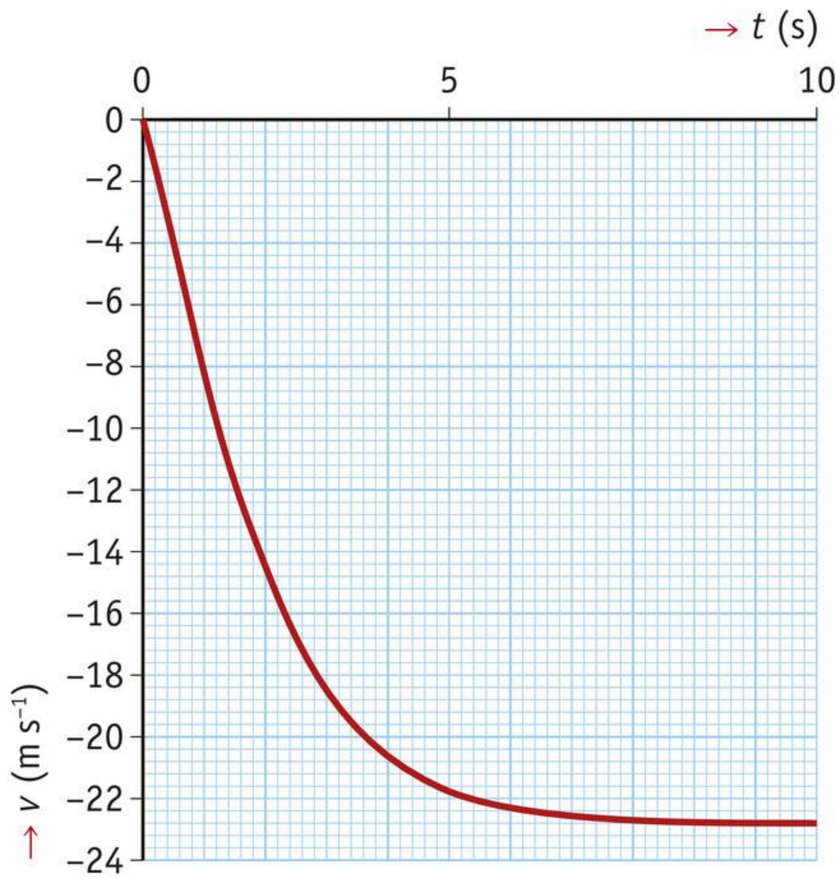
VALLEN

Als een voorwerp in Nederland recht naar beneden valt onder invloed van alleen de zwaartekracht, dan versnelt het met een constante versnelling van 9,81 m s^{-2}. In werkelijkheid speelt ook een andere kracht een rol: de luchtweerstandskracht. Door voorwerpen in een vacuüm te laten vallen, kun je ervoor zorgen dat alleen de zwaartekracht een rol speelt (figuur 29).
Een valbeweging waarin luchtweerstand geen rol speelt, noem je een **vrije val**. De versnelling is dan constant en de valbeweging is dan eenparig versneld. De versnelling van een vrije val noem je de **valversnelling g**. Op de maan is een valbeweging *altijd* een versnelde beweging met een constante versnelling, omdat er geen atmosfeer is. De valversnelling op de maan is kleiner dan op aarde: 1,62 m s^{-2}. In *BiNaS* tabel 31 vind je voor verschillende hemellichamen in ons zonnestelsel de valversnelling (gravitatieversnelling).



figuur 29 Een veer en een appel vallen in vacuüm met dezelfde eenparige versnelling.

Als de luchtweerstand wel een rol speelt, zorgt deze tegenwerkende kracht ervoor dat de versnelling steeds kleiner wordt. Als de val lang genoeg duurt, bereikt het vallende voorwerp een constante eindsnelheid. In figuur 30 zie je het verloop van de snelheid als functie van de tijd bij een val van grote hoogte. Bij lage snelheid, dus in het begin, speelt de luchtweerstand nog geen rol en is de versnelling gelijk aan de valversnelling. Daarna werkt de luchtweerstand tegen en versnelt het voorwerp steeds minder.



figuur 30 Val met luchtweerstand.

PRACTICUM 3 Versnelde beweging

Onthoud

- De gemiddelde versnelling bereken je met: $a_{gem} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
  Bij een eenparig versnelde beweging is de versnelling constant en geldt:
  $a = a_{gem}$
- Als een voorwerp vertraagt, heeft de (gemiddelde) versnelling een negatieve waarde.
- De gemiddelde versnelling tussen twee punten A en B is gelijk aan de steilheid van de rechte lijn die de punten A en B in de grafiek van het (v,t)-diagram met elkaar verbindt.
- De versnelling op tijdstip t is gelijk aan de steilheid van de raaklijn aan de grafiek bij t in het (v,t)-diagram.
- Bij een vrije val, waarbij alleen de zwaartekracht een rol speelt, is de versnelling naar beneden gericht. In Nederland is de valversnelling $g = 9{,}81\ \text{m s}^{-2}$.

OPDRACHTEN ▸ Basis

36 **Uitrijden of remmen**

Je fietst op een horizontale weg met een snelheid van $18\ \text{km h}^{-1}$. Je stopt met trappen. Na 20 s sta je stil.

a Bereken de gemiddelde versnelling tijdens het uitrijden.

Naast je fietst een vriendin die haar rem gebruikt. Haar beginsnelheid is even groot als die van jou. Haar versnelling is $-2{,}0\ \text{m s}^{-2}$.

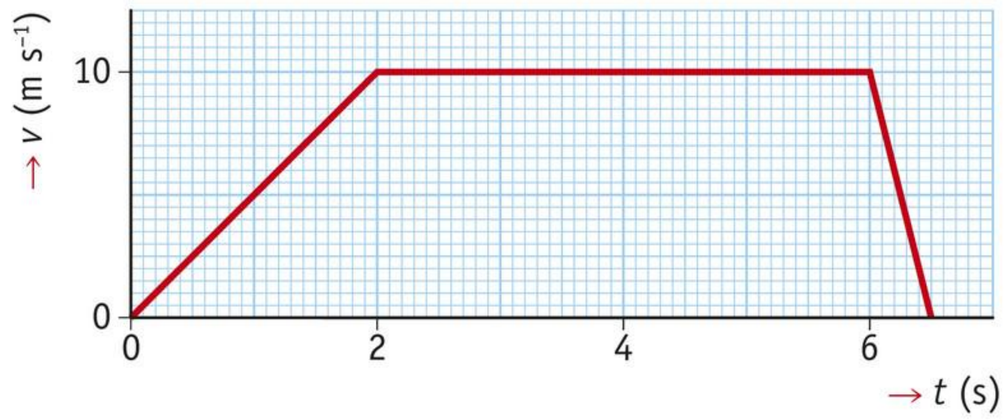
b Bereken hoelang het duurt voordat zij stilstaat.

37 Beweging van een auto

Je ziet in figuur 31 het (v,t)-diagram van een auto.

a Beschrijf de beweging die de auto uitvoert.

b Bepaal de versnelling in elk deel van de beweging.



figuur 31 (v,t)-diagram van een auto.

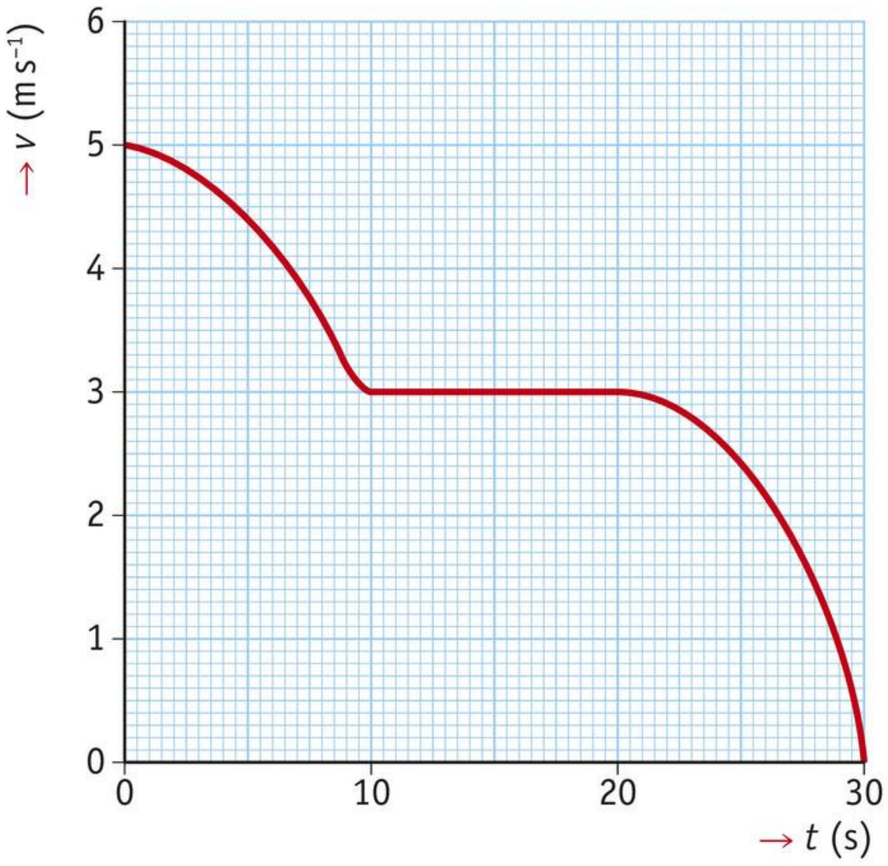
38 Beweging van een fietser

Je ziet in figuur 32 het (v,t)-diagram van een fietser.

a Leg uit hoe groot de versnelling van de fietser is op t = 15 s. Doe dit zonder een berekening uit te voeren.

b Bepaal de versnelling op tijdstip t = 4,0 s.

c Op welk tijdstip is de vertraging maximaal? Leg uit hoe je aan je antwoord komt.



figuur 32 (v,t)-diagram van een fietser.

39 Valbeweging

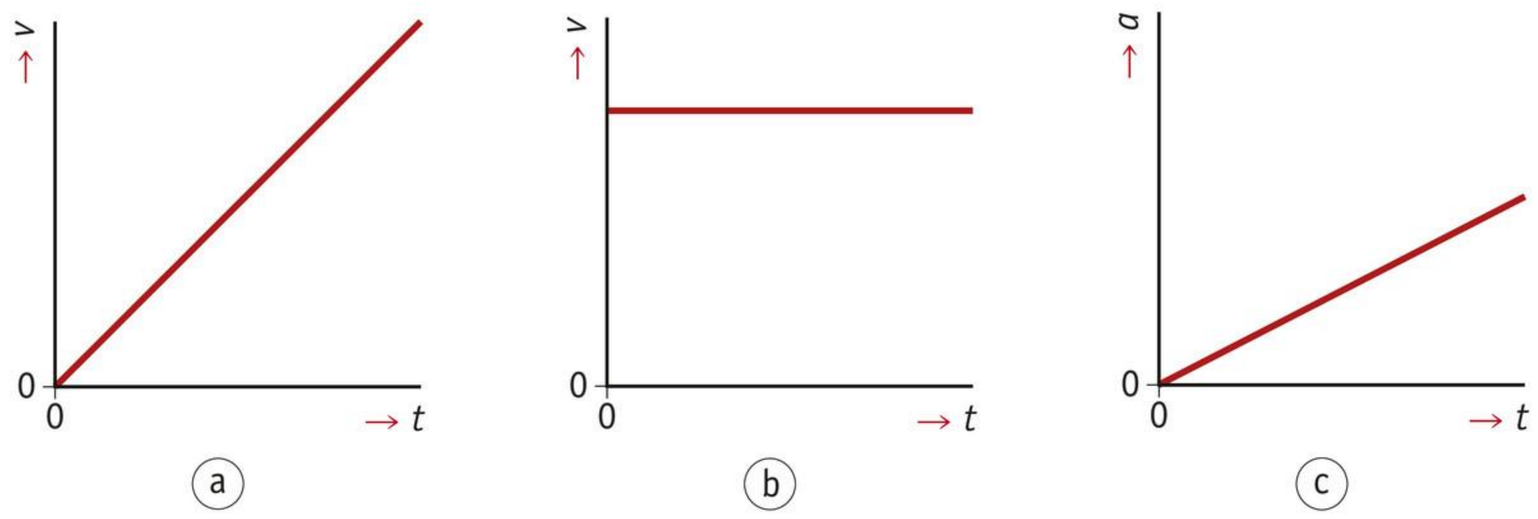
Een steentje valt vanuit stilstand in een ravijn. Ga ervan uit dat de luchtweerstand verwaarloosbaar is tijdens de eerste seconden van de val.

a Bereken welke snelheid het steentje heeft na 0,50 s.

b Bereken de *gemiddelde* snelheid tijdens de eerste 0,50 s.

40 Grafieken herkennen

In figuur 33 zijn grafieken voor verschillende bewegingen getekend. Geef voor elke grafiek aan of het om een eenparige of een eenparig versnelde beweging gaat, of geen van beide.



figuur 33 Grafieken voor verschillende bewegingen.

C 41 Demarrage

Een wielrenner rijdt in het peloton met een snelheid van 36 km h^{-1}. Zij demarreert, dat wil zeggen dat ze probeert zó hard te versnellen dat de anderen haar niet kunnen volgen. Haar versnelling is daarbij 1,0 m s^{-2}. Dit houdt zij 4,0 s vol, dan blijft zij enige tijd rijden met de behaalde snelheid.

a Bereken welke snelheid zij heeft na 4,0 s.

Op een ander stuk van het parcours moet de wielrenner remmen voor een bocht. Zij remt af van 36 km h^{-1} tot 24 km h^{-1}. Dat afremmen duurt 5,0 s.

b Bereken de versnelling tijdens het remmen.

42 Val met parachute

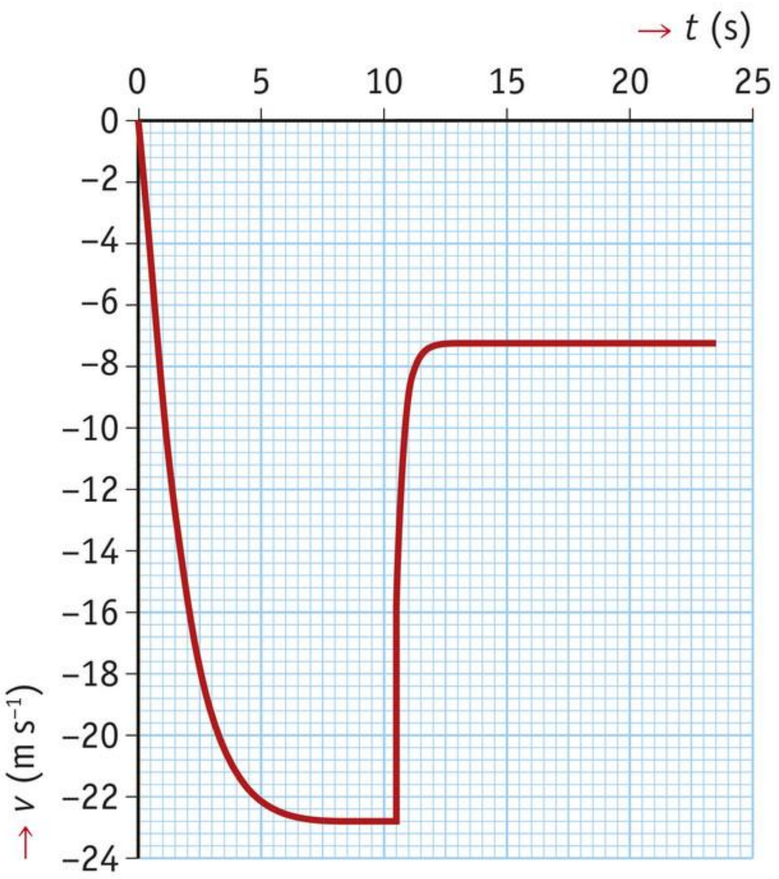
In figuur 34 zie je een meting van de verticale snelheid van een parachutist. Op tijdstip $t = 0$ laat hij zich uit het vliegtuig vallen.

a Leg uit welke waarde je verwacht voor de steilheid van de grafiek aan het begin van de beweging.

b Bepaal de steilheid van de grafiek aan het begin van de beweging en controleer of die klopt met je antwoord bij opdracht a.

Na het openen van de parachute wordt de snelheid constant.

c Hoe groot is dan de versnelling?



figuur 34 (v,t)-diagram van een parachutist.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

43 Versnellingen ordenen

Zet onderstaande situaties A, B en C op volgorde van kleinste naar grootste versnelling. Bereken niet steeds de versnelling, maar gebruik verhoudingen.

A van 0 m s^{-1} tot 30 m s^{-1} in 8 s

B van 0 m s^{-1} tot 20 m s^{-1} in 4 s

C van 5 m s^{-1} tot 30 m s^{-1} in 8 s

44 Omhooggooien

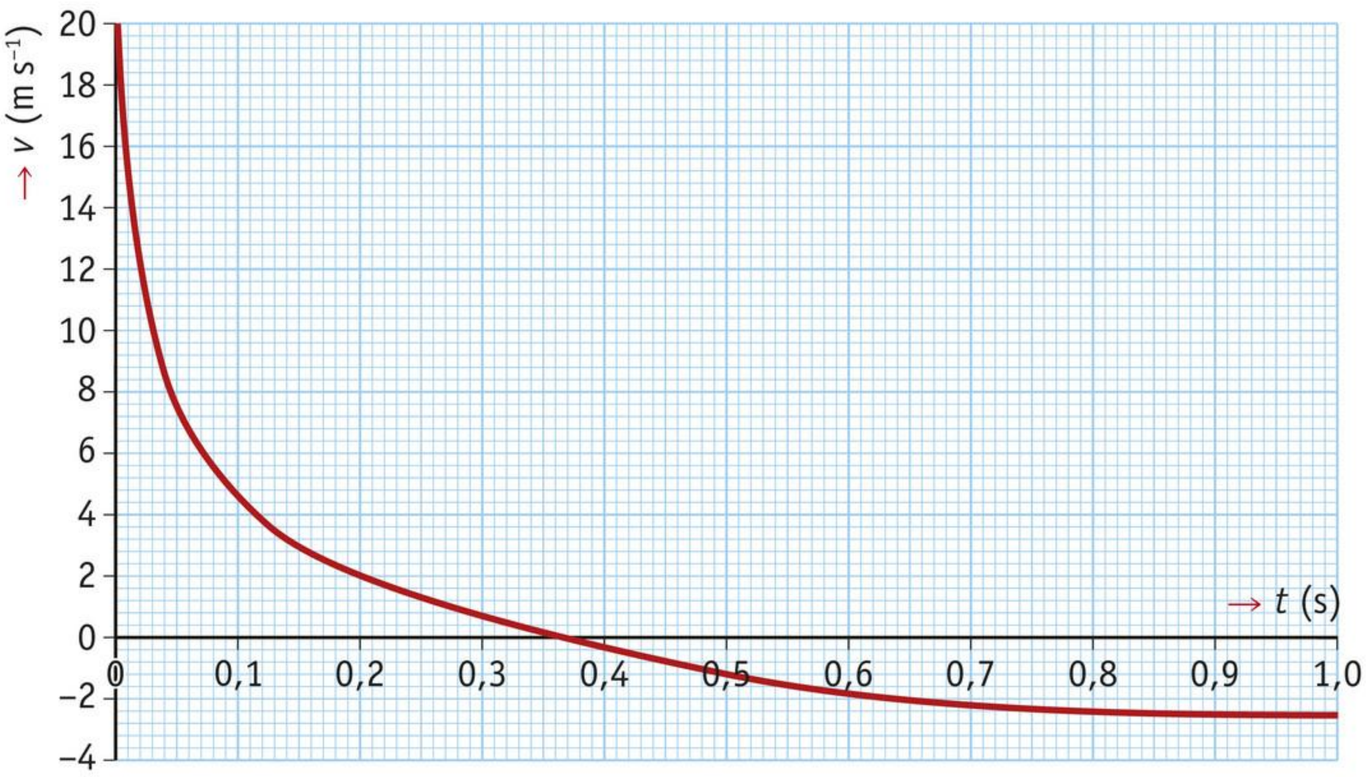
Je gooit een voorwerp omhoog met beginsnelheid 20 m s^{-1}. De beweging van het voorwerp duurt in totaal 4 s.

a Teken naast elkaar het (a,t)- en het (v,t)-diagram. Ga ervan uit dat er geen luchtweerstand is.

In werkelijkheid is er wel luchtweerstand. Het echte (v,t)-diagram staat in figuur 35.

b Bepaal de maximale vertraging.

c Op welk punt is de versnelling gelijk aan $-9{,}81\ \text{m s}^{-2}$? Leg je antwoord uit.



figuur 35 (v,t)-diagram van een omhooggegooid voorwerp.

45 Lang of kort versnellen

Een raket heeft geen grote versnelling tijdens het opstijgen.

a Leg uit waardoor de eindsnelheid toch heel groot kan worden. Doe dit aan de hand van de formule voor gemiddelde versnelling.

Je laat een bal op de grond vallen. Daarna laat je een andere bal van twee keer zo hoog vallen.

b Beredeneer of de tweede bal met een twee keer zo grote snelheid neerkomt, met een minder dan twee keer zo grote snelheid, of met een meer dan twee keer zo grote snelheid.

★ 46 Inhaalmanoeuvre

Een automobilist rijdt achter een busje dat hij wil inhalen. Daarvoor moet de automobilist naar de linkerrijbaan, waarop in de verte een tegenligger aankomt. De afstand tussen de auto en de tegenligger is 0,7 km op het moment dat de automobilist wil beginnen met inhalen.
De auto en het busje rijden beide $60\ \text{km h}^{-1}$ op het moment van inhalen. De tegenligger rijdt $80\ \text{km h}^{-1}$. Tijdens het inhalen trekt de auto op tot een snelheid van $85\ \text{km h}^{-1}$ met een versnelling van $0{,}75\ \text{m s}^{-2}$. De afstand tussen de auto en het busje is bij het beginnen met inhalen en bij teruggaan naar de rechterrijbaan 25 m.
Laat door middel van een berekening zien of de automobilist veilig kan inhalen. Maak zelf een schatting voor de lengte van de auto en het busje.

5 VERSNELLING, SNELHEID EN VERPLAATSING

Leerdoelen

1.5.1 Je kunt uit een (v,t)-diagram de verplaatsing en de gemiddelde snelheid bepalen.

1.5.2 Je kunt de oppervlakte onder een grafiek bepalen door deze handig in stukken op te delen.

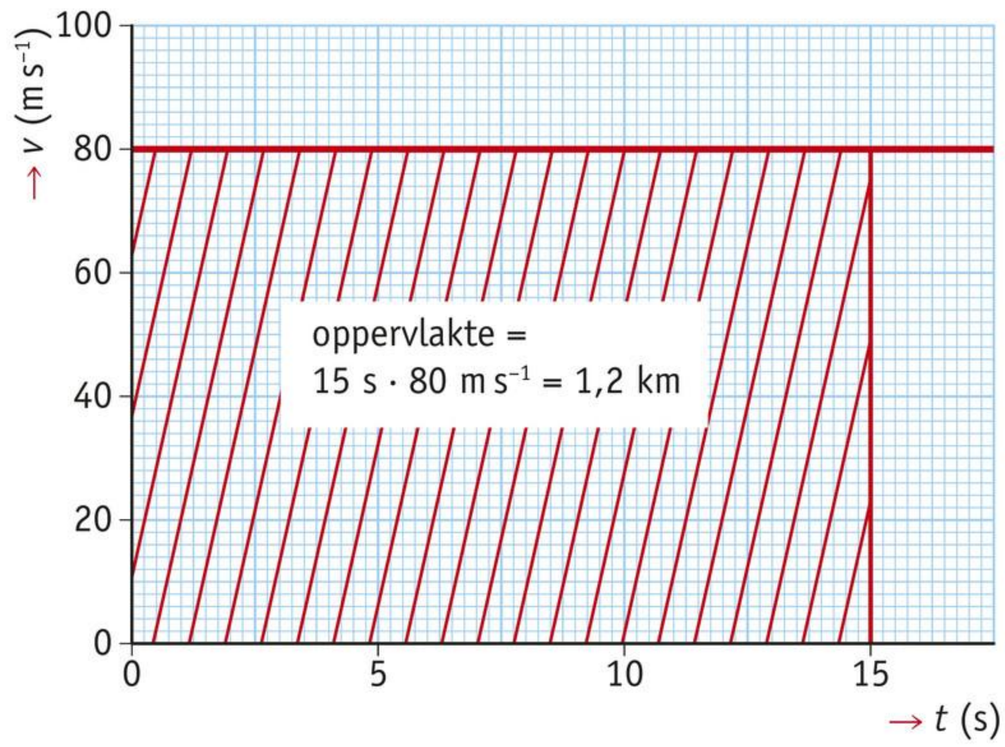
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	1.5.1	1.5.2	1.1.3*	1.2.1*
Onthouden	47			
Begrijpen				
Toepassen	48a, 49ac, 50, 51b, 52abc, 55b	48bc, 49b, 51a	52d	52e
Analyseren	53b, 54, 55ac	53a		

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

In de vorige paragrafen heb je kunnen lezen hoe je uit een (x,t)-diagram de snelheid en uit een (v,t)-diagram de versnelling van een voorwerp kunt bepalen. Omgekeerd is het mogelijk om uit een (v,t)-diagram de verplaatsing en de gemiddelde snelheid te bepalen.

VERPLAATSING BIJ CONSTANTE SNELHEID

Je kunt de verplaatsing van een voorwerp met een constante snelheid bepalen uit een (v,t)-diagram. Stel dat een vliegtuig met een constante snelheid van 80 m s^{-1} vliegt. De snelheid '80 m s^{-1}' betekent letterlijk dat het vliegtuig elke seconde 80 m aflegt. Dus in 15 s verplaatst het vliegtuig zich $15 \times 80 = 1200$ m = 1,2 km. In een formule: $\Delta x = s = v_{gem} \cdot \Delta t = v \cdot t$ (v constant, begin bij $t = 0$ s)
In figuur 36 zie je dat de uitkomst van deze berekening gelijk is aan de oppervlakte onder het (v,t)-diagram. De gearceerde oppervlakte is namelijk een rechthoek met lengte v en breedte Δt, en de oppervlakte van een rechthoek is gelijk aan lengte maal breedte.



figuur 36 De verplaatsing van $t = 0$ s tot $t = 15$ s is gelijk aan de gearceerde oppervlakte onder de grafiek in het (v,t)-diagram.

VERPLAATSING ALS DE SNELHEID VERANDERT

VAARDIGHEDEN

V2.8 De oppervlakte onder een grafiek bepalen

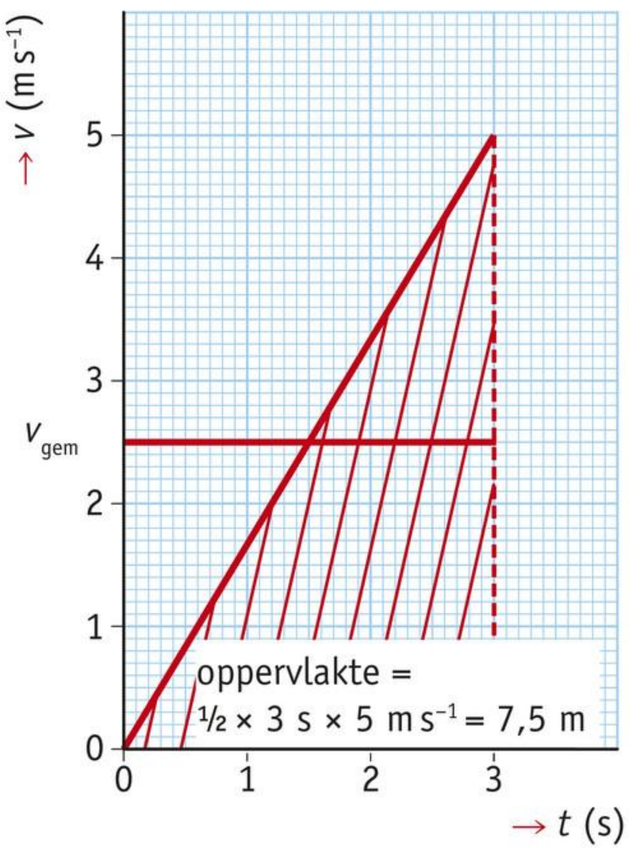
Ook als de snelheid verandert, geldt dat de oppervlakte onder de grafiek in een (v,t)-diagram gelijk is aan de verplaatsing. Het is dan handig om eerst in het diagram de gemiddelde snelheid van het voorwerp te bepalen. Want de verplaatsing in dezelfde tijd van het voorwerp met de gemiddelde snelheid is gelijk aan de verplaatsing van het voorwerp dat versnelt.

De oppervlakte onder de grafiek in een (v,t)-diagram van een beweging waarbij de snelheid verandert is gelijk aan de oppervlakte onder de horizontale lijn die de gemiddelde snelheid van het voorwerp aangeeft.

Het (v,t)-diagram van figuur 37 toont een eenparig versnelde beweging: de versnelling is constant, de snelheid neemt elke seconde met eenzelfde hoeveelheid toe. Je ziet dat de oppervlakte onder de horizontale lijn waarbij v_{gem} staat inderdaad gelijk is aan de oppervlakte onder de schuine lijn van de grafiek: aan de linkerkant tel je onder de horizontale lijn te veel oppervlakte mee (een driehoek) en aan de rechterkant te weinig (een even grote driehoek). De twee driehoeken vallen tegen elkaar weg. Je kunt dus de gemiddelde snelheid bepalen door de horizontale lijn van v_{gem} te tekenen op de juiste hoogte. Dat is de hoogte waarbij de oppervlakte onder die horizontale lijn gelijk is aan de oppervlakte onder de schuine lijn van de grafiek.

Als je de verplaatsing hebt bepaald met behulp van een (v,t)-diagram, kun je de gemiddelde snelheid ook berekenen.

De formule daarvan is: $v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$



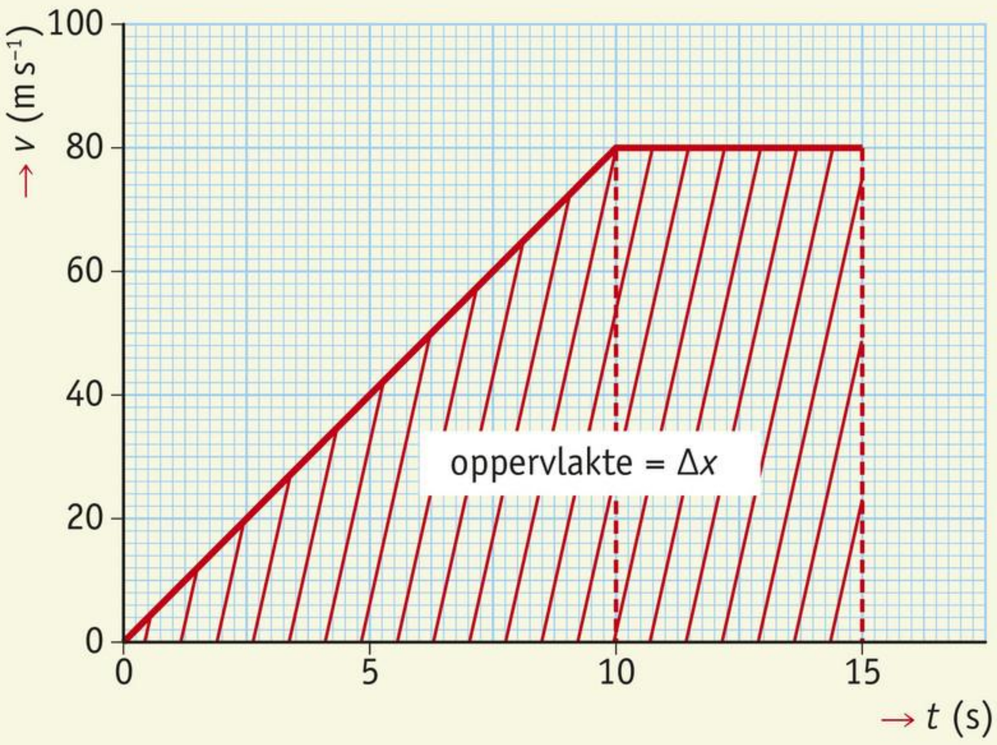
figuur 37 Het (v,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging vanuit stilstand.

Voorbeeldopdracht 7

Figuur 38 toont het (v,t)-diagram van een vliegtuig dat opstijgt.

a Bepaal met behulp van het (v,t)-diagram de verplaatsing van het vliegtuig in de eerste 15 s.

b Bereken met deze gegevens de gemiddelde snelheid van het vliegtuig in deze 15 s.



figuur 38 (v,t)-diagram van een opstijgend vliegtuig.

Uitwerking

a De verplaatsing is gelijk aan de oppervlakte onder het (v,t)-diagram:

- tussen t = 0 s en t = 10 s vormt de oppervlakte een driehoek en is de verplaatsing:
  ½ · basis · hoogte = ½ × 10 × 80 = $4{,}0 \cdot 10^2$ m
- tussen t = 10 s en t = 15 s vormt de oppervlakte een rechthoek en is de verplaatsing:
  $5{,}0 \times 80 = 4{,}0 \cdot 10^2$ m
- de totale verplaatsing is dus:
  $4{,}0 \cdot 10^2 + 4{,}0 \cdot 10^2 = 8{,}0 \cdot 10^2$ m

b De gemiddelde snelheid is: $v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{8{,}0 \cdot 10^2}{15} = 53 \text{ m s}^{-1}$

Als de grafiek in het (v,t)-diagram niet uit eenvoudige rechte stukken bestaat, kun je de oppervlakte eronder bepalen door de volgende stappen te volgen:

Stap 1: Verdeel het gebied onder de grafiek in een aantal rechthoeken en driehoeken. Dat doe je schattend, zodat je de oppervlakte die je ergens te kort hebt, compenseert door ergens anders te veel te kiezen. Op het oog kun je zo snel een redelijk nauwkeurig resultaat krijgen.

Stap 2: Bepaal voor elk van de gebiedjes uit stap 1 de oppervlakte. Let daarbij op de eenheden langs de assen. Reken deze indien nodig om naar SI-eenheden.

Stap 3: Bepaal de totale oppervlakte, door de oppervlakten uit stap 2 op te tellen.

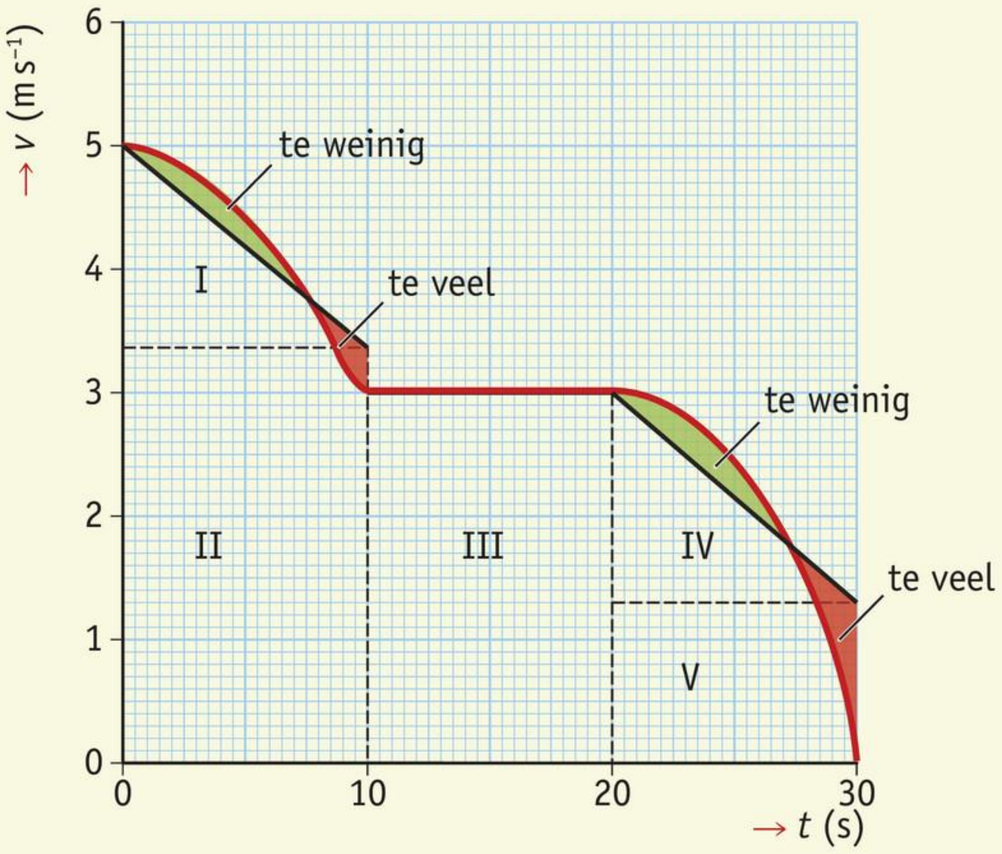
Voorbeeldopdracht 8

Beantwoord de volgende vragen met behulp van het (*v*,*t*)-diagram in figuur 39.

a Bepaal de verplaatsing tussen 0 en 30 s.

b Bereken hiermee de gemiddelde snelheid tussen 0 en 30 s.

Uitwerking



figuur 39 Een ingewikkelder (*v*,*t*)-diagram.

a De verplaatsing is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek. Volg het stappenplan:

Stap 1: Je ziet dat het gebied onder de grafiek in figuur 39 in vijf gebiedjes (rechthoeken en driehoeken) is onderverdeeld. De groene gebiedjes (te kort) worden gecompenseerd door de rode gebiedjes (te veel).

Stap 2: De eenheden zijn al SI-eenheden. De oppervlakten zijn:

I: ½ × 10 × 1,6 = 8,0 m

II: 10 × 3,4 = 34 m

III: 10 × 3,0 = 30 m

IV: ½ × 10 × 1,7 = 8,5 m

V: 10 × 1,3 = 13 m

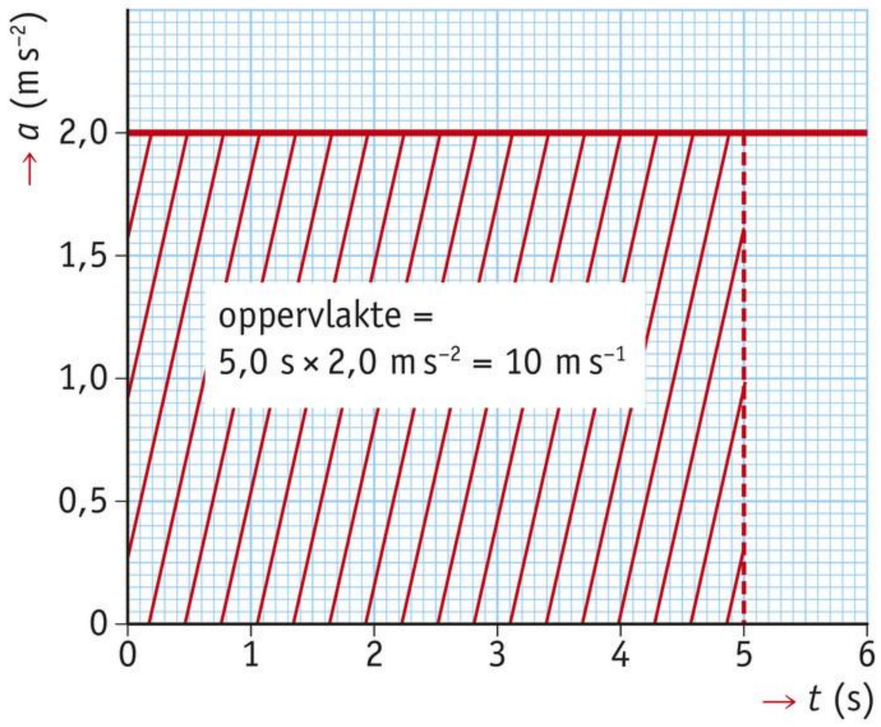
Stap 3: De totale oppervlakte is: 8,0 + 34 + 30 + 8,5 + 13 = 94 m

b De gemiddelde snelheid is: $v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{94 \text{ m}}{30 \text{ s}} = 3{,}1 \text{ m s}^{-1}$

De methode van voorbeeldopdrachten 7 en 8 kun je gebruiken om een gemiddelde waarde te vinden van een grootheid in elk soort grafiek: je bepaalt de oppervlakte onder de grafiek en deelt die door de ‘breedte’ van het oppervlak.

SNELHEIDSVERANDERING BEPALEN

Er zijn situaties waarin je alleen de versnelling weet en niet de snelheid en de verplaatsing. Zo hebben veel smartphones een ingebouwde versnellingsmeter, ook wel accelerometer genoemd. Die meet, als functie van de tijd, de versnelling in een bepaalde richting. Met die versnelling kun je de verandering van de snelheid bepalen en daarmee weer de verplaatsing.
Stel dat een scooter vanuit stilstand optrekt met een constante versnelling van $a = 2{,}0\ \text{m s}^{-2}$ (figuur 40). Elke seconde neemt de snelheid dus toe met $2{,}0\ \text{m s}^{-1}$. Dat betekent dat de scooter na 5,0 s een snelheid heeft van: $5{,}0 \times 2{,}0 = 10\ \text{m s}^{-1}$, of $36\ \text{km h}^{-1}$. Als je naar het (a,t)-diagram kijkt, zie je dat dit gelijk is aan de oppervlakte onder de grafiek. Dit geldt algemeen: de snelheidsverandering is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek in een (a,t)-diagram, ook als de grafiek niet constant is.
Als je de beginsnelheid weet, kun je uit het (a,t)-diagram het (v,t)-diagram bepalen. Daarmee kun je weer de afgelegde weg bepalen, door ook daaronder de oppervlakte te bepalen.



figuur 40 (a,t)-diagram van een versnellende scooter.

Onthoud

- De oppervlakte onder een (v,t)-diagram is gelijk aan de verplaatsing.
- De oppervlakte van een ingewikkelde figuur bepaal je door eerst de figuur te verdelen in eenvoudige stukjes: rechthoeken en driehoeken.
- Als je de verplaatsing hebt bepaald, kun je de gemiddelde snelheid berekenen met: $v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
- Op dezelfde manier kun je met behulp van de oppervlakte onder elk soort grafiek de gemiddelde waarde van een grootheid bepalen.

OPDRACHTEN ▸ Basis

47 **Verplaatsing en gemiddelde snelheid**

Uit een (v,t)-diagram kun je de verplaatsing en de gemiddelde snelheid bepalen.

a Leg uit hoe je uit een (v,t)-diagram de verplaatsing bepaalt.

b Leg uit hoe je uit een (v,t)-diagram de gemiddelde snelheid bepaalt.

P 48

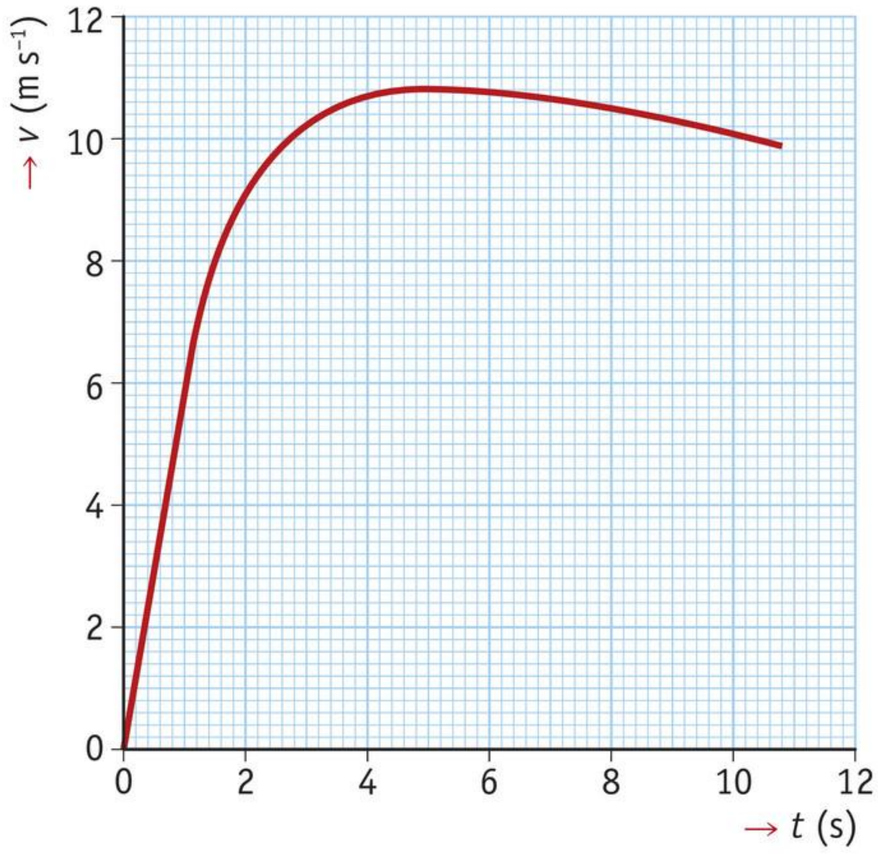
Eerste en laatste meters

In figuur 41 zie je het (v,t)-diagram van een race van atleet Dafne Schippers.

a Bepaal de afstand die ze aflegt in de eerste seconde.

b Bepaal de afstand die ze aflegt in de laatste 2,0 s.

c Bepaal de afstand die ze aflegt over de hele race.



figuur 41 Sprint.

49

Afstand bij vallen

In figuur 42 zie je de snelheid van een vallend voorwerp. Op het voorwerp werkt de luchtweerstandskracht, die groter wordt als de snelheid groter is. De waarden zijn negatief, omdat de richting van het vallen naar beneden is.

a Bepaal de afstand die het voorwerp valt tussen t = 2,00 s en t = 2,50 s.

b Bepaal de afstand die het voorwerp valt in de eerste 0,50 s.

c Bereken de gemiddelde snelheid over de eerste 0,50 s.

50

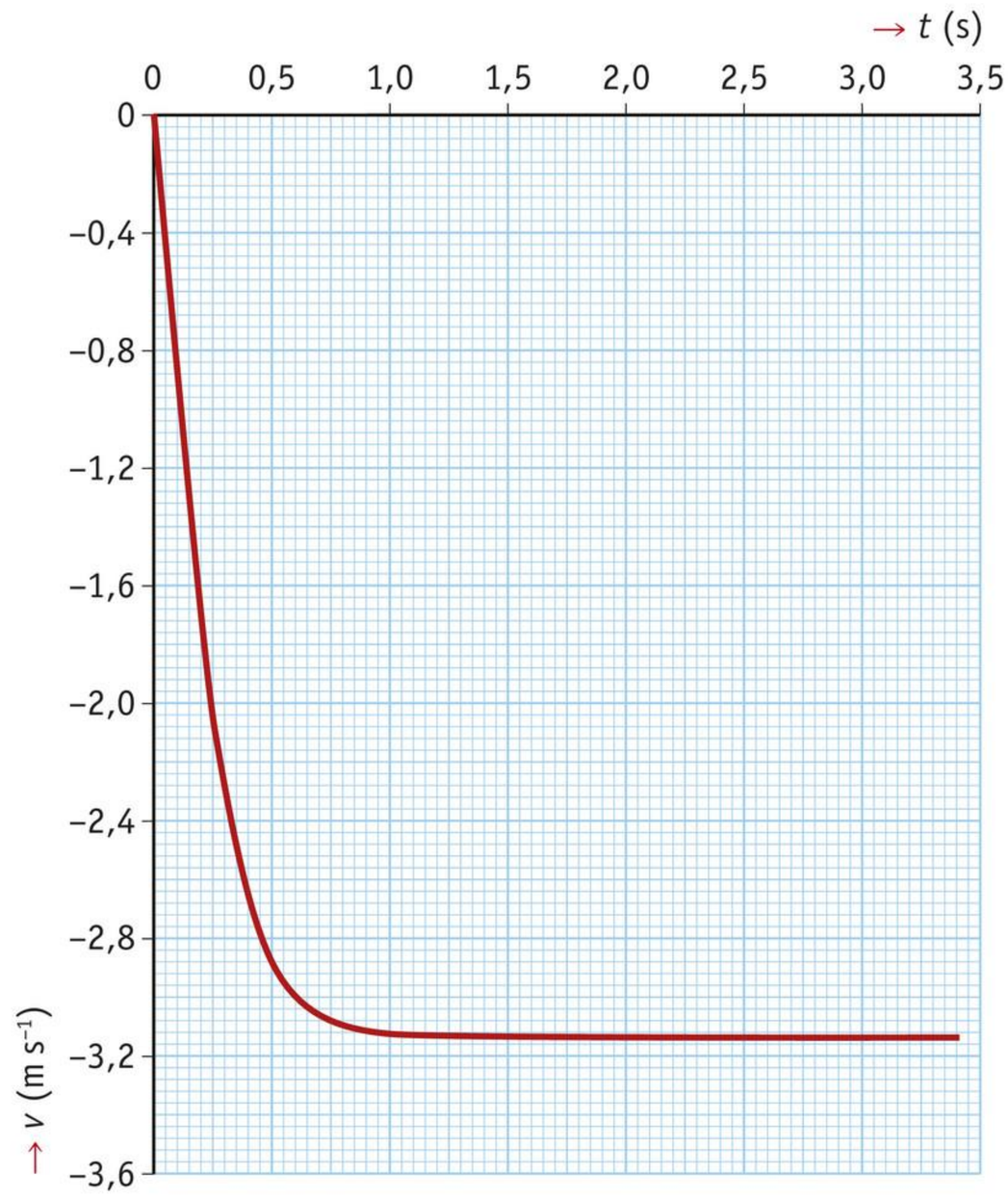
Foute en correcte afstand

Een voorwerp versnelt vanuit stilstand tot een snelheid van 10 m s^{-1}. Dat duurt 4,0 s. Shani zegt: "De afstand is gelijk aan de snelheid maal de tijd, dat is 10 maal 4,0, dus 40 meter."

a Leg uit wat Shani fout doet.

b Teken het (v,t)-diagram.

c Bepaal met het (v,t)-diagram de correcte waarde van de afgelegde afstand.



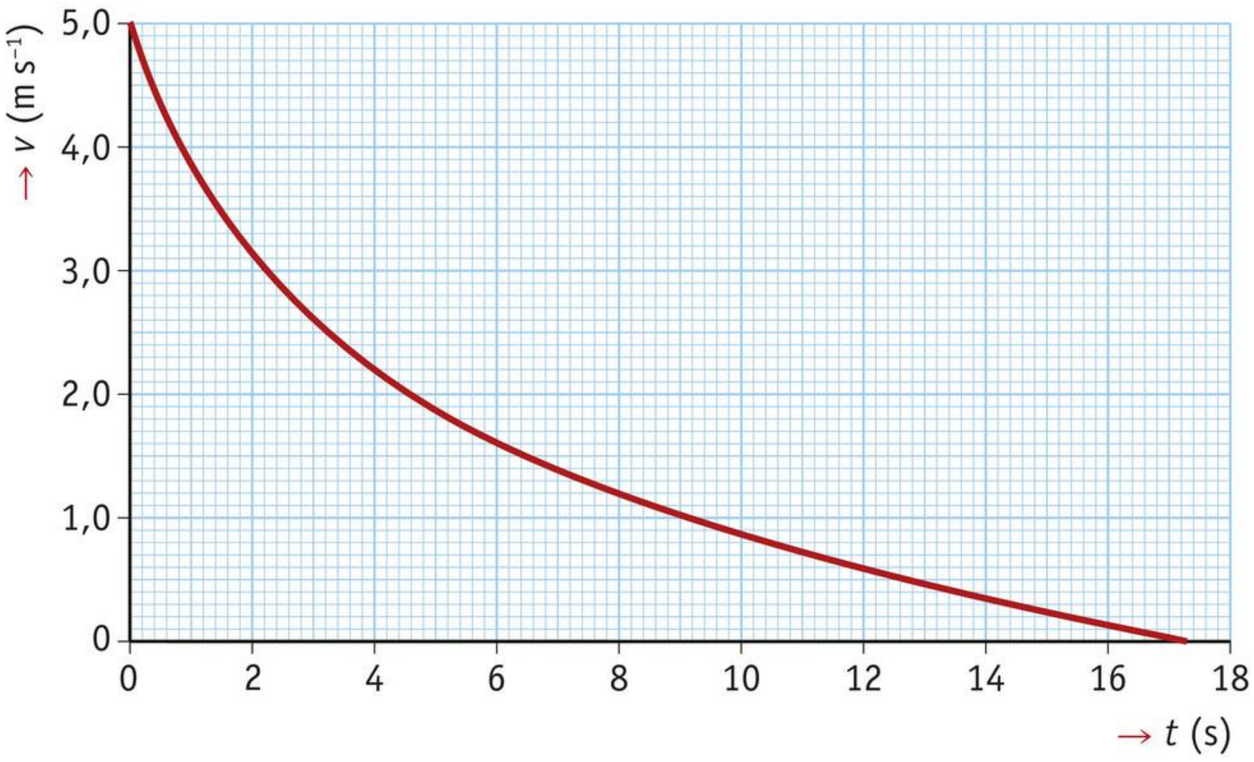
figuur 42 Snelheid als functie van de tijd bij een valbeweging.

51 Afstand bij uitrijden

Janine fietst met een snelheid van 5,0 m s^{-1} en stopt ineens met trappen. De luchtweerstandskracht en rolweerstand zorgen ervoor dat ze afremt.

a Bepaal met behulp van figuur 43 hoe ver ze nog doorrijdt.

b Bepaal de gemiddelde snelheid tijdens het uitrijden.



figuur 43 Snelheid neemt af bij uitrijden.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

52 Skater

Figuur 44 geeft het (v,t)-diagram van een skater in een halfpipe.

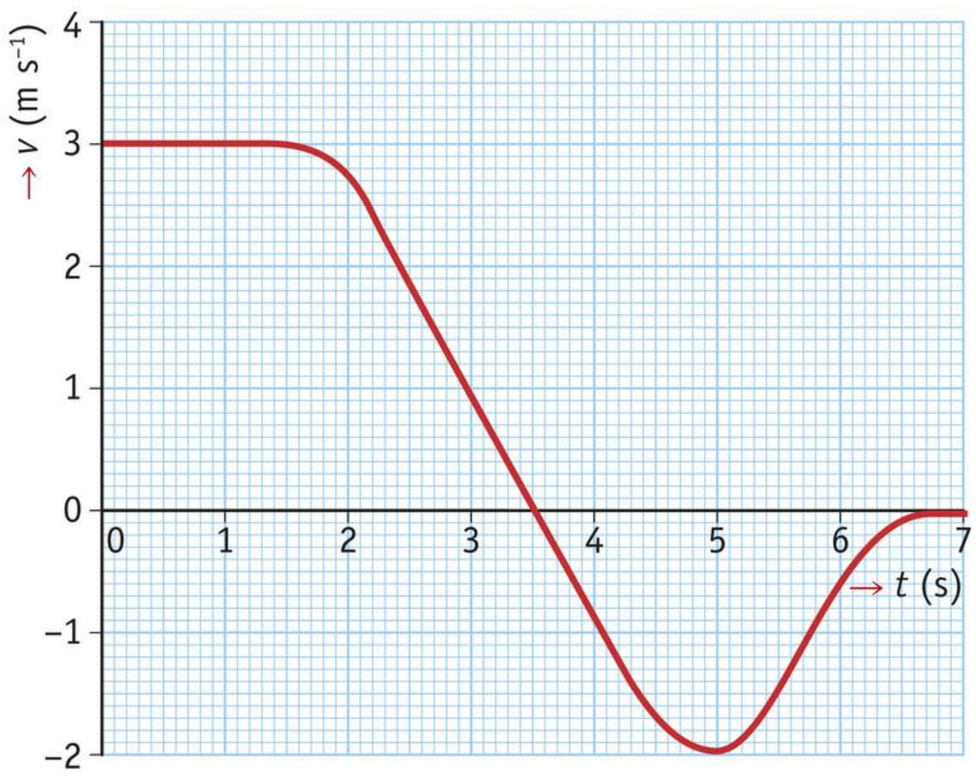
a Leg uit op welk tijdstip de skater omhoog begint te rollen.

b Leg uit op welk tijdstip de skater weer naar beneden begint te bewegen.

c Bepaal de verplaatsing van de skater na: 0, 1, ..., 7 s. Zet je gegevens in een tabel. Bepaal voor elke opeenvolgende seconde de oppervlakte onder de grafiek in het (v,t)-diagram en noteer dit ook in de tabel.

d Zet de waarden uit opdracht c uit in een (x,t)-diagram.

e Bereken de gemiddelde snelheid van de skater gedurende de verplaatsing in de halfpipe.



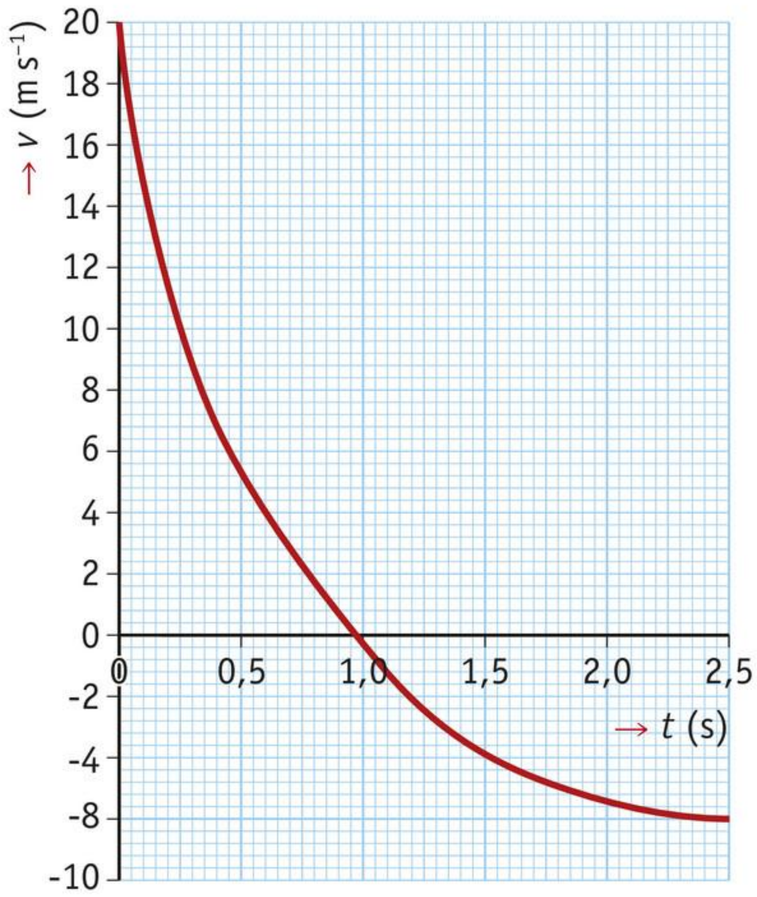
figuur 44 (v,t)-diagram van een skater.

53 Hoe hoog gooien?

In figuur 45 zie je het (v,t)-diagram van een omhooggegooid voorwerp, waarop ook de luchtweerstandskracht werkt.

a Bepaal hoe hoog het voorwerp komt.

b Leg uit welke twee oppervlakten aan elkaar gelijk zijn en waarom dat zo is.



figuur 45 Snelheid van een licht voorwerp dat omhoog wordt gegooid.

54 Twee auto's

In het (v,t)-diagram van figuur 46 staat de beweging van twee auto's P en Q weergegeven. De auto's starten vanaf dezelfde positie in dezelfde richting. Over dit diagram worden vier beweringen gedaan:

I De auto's hebben dezelfde snelheid op $t = 4$ s en $t = 8$ s.

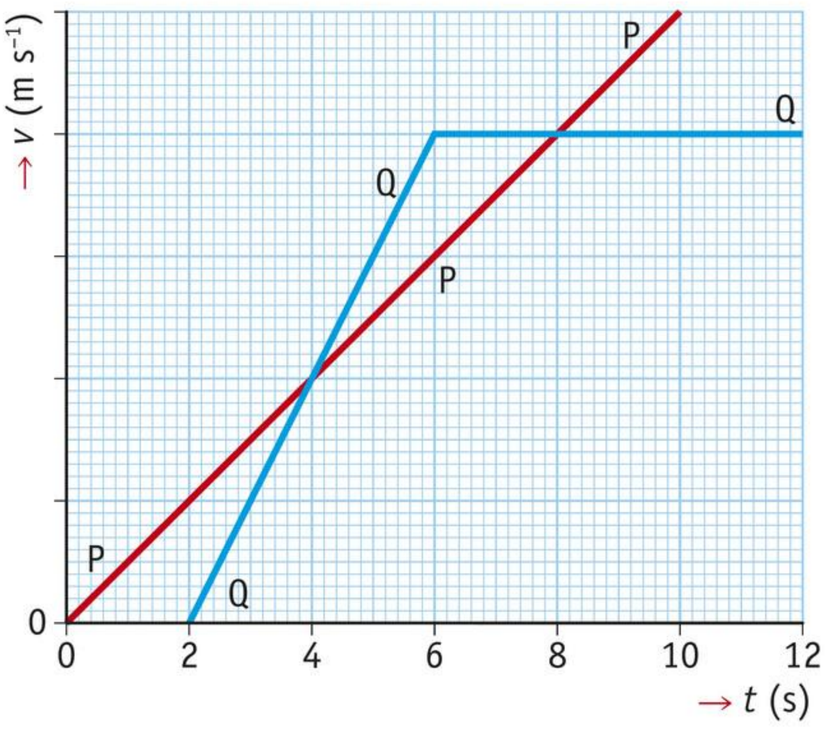
II Auto Q ligt nooit voor op auto P.

III De auto's rijden naast elkaar op $t = 8$ s.

IV De auto's rijden naast elkaar op $t = 4$ s.

Leg uit welk(e) van deze beweringen waar is/zijn.

bron: Nationale Natuurkunde Olympiade, eerste ronde 2014



figuur 46 (v,t)-diagram van auto's P en Q.

★ 55 Gps

Een auto met gps rijdt met een snelheid van 100 km h^{-1} een tunnel in. Het gps werkt niet meer in de tunnel. Figuur 47 toont het (a,t)-diagram van de auto wanneer deze zich in de tunnel bevindt.

a Bepaal met behulp van het (a,t)-diagram het (v,t)-diagram van de auto gedurende de rit in de tunnel.

b Bepaal vervolgens met behulp van het (v,t)-diagram de lengte van de tunnel.

c Waarom kun je opdracht a en b niet beantwoorden zonder dat de beginsnelheid is gegeven?



figuur 47 (a,t)-diagram van een auto die in een tunnel rijdt.

6 MODELLEREN

Leerdoelen

1.6.1 Je kunt de modelleercyclus toepassen om een complex probleem terug te brengen tot een probleem dat je op kunt lossen.

1.6.2 Je kunt verschillende soorten modellen onderscheiden.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	1.6.1	1.6.2
Onthouden		
Begrijpen		56
Toepassen	57, 58, 59, 60	
Analyseren	61, 62	

Sommige vraagstukken kun je niet eenvoudig oplossen. Het is dan handig een vaste methode te gebruiken om toch een oplossing te vinden. Dat is ook vaak de werkwijze van wetenschappers.

PROBLEMEN OPLOSSEN

Bij veel van de opdrachten in dit hoofdstuk heb je, als het goed is, direct een idee hoe je het probleem moet aanpakken. Bijvoorbeeld omdat de opdracht lijkt op een voorbeeldopdracht in de tekst. Sommige opdrachten zijn moeilijker, omdat de situatie juist *niet* lijkt op iets wat je eerder hebt gezien. Zodra je de situatie van het probleem herkent, wordt het vinden van de oplossing makkelijker. Je kunt dan gebruikmaken van een **analogie**, zoals in voorbeeldopdracht 9.

Voorbeeldopdracht 9

Formule 1-raceauto A heeft een krachtige motor en accelereert snel. Auto B komt iets langzamer op gang, maar heeft door een betere stroomlijn een hogere topsnelheid.
Leg uit welke raceauto in het voordeel is op een bochtig circuit en welke op een circuit met weinig bochten en lange rechte einden.

Uitwerking

De auto's verschillen in twee opzichten: de ene heeft een hoge versnelling, de andere juist een hoge topsnelheid. Dat is precies de situatie van twee verschillende typen hardlopers X en Y. Hardloper X heeft een lagere topsnelheid en een hogere versnelling. Dat is een voordeel op korte afstanden. Hardloper Y heeft een hogere topsnelheid en een lagere versnelling. Dat is een voordeel op een langere afstand. Dit voorbeeld herken je misschien van je eigen sport of uit het praktijkartikel. Het probleem van de raceauto's is analoog aan dat van de hardlopers.

De raceauto met de hoge versnelling, maar lage topsnelheid (raceauto A) heeft analoog aan hardloper A vooral voordeel op het bochtige circuit dat uit kortere rechte stukken bestaat. Raceauto B heeft voordeel op het circuit met lange rechte einden.

Er zijn ook problemen die minder eenvoudig zijn. Toch kun je dan met wat je hebt geleerd tot een oplossing komen, door gebruik te maken van een vaste aanpak: de modelleercyclus.

MODELLEERCYCLUS

De **modelleercyclus** bestaat uit de volgende zeven stappen (figuur 48):

1 Onderzoeksvraag: Dit is het probleem dat je wilt oplossen. Soms bedenk je zelf een onderzoeksvraag, soms is die in een opdracht gegeven.
2 Oriëntatie: Probeer te begrijpen wat het probleem is en wat er wordt gevraagd. Het helpt als je een schets van de situatie maakt met de gegevens uit de opdracht.
3 Probleem vereenvoudigen: In deze stap is het belangrijk zo eenvoudig mogelijk te beginnen, zodat je snel een eerste poging kunt doen om antwoord te geven op de vraag. Kijk of je hier een aanname kunt doen over de situatie waardoor het probleem lijkt op eerdere vraagstukken. Geef je aannamen duidelijk aan.
4 Vergelijkingen opstellen: Schrijf de vergelijkingen op die van toepassing zijn op het vereenvoudigde probleem. Zoek deze vergelijkingen eventueel op in *BiNaS*.
5 Vergelijkingen oplossen: Combineer de vergelijkingen om zo uitdrukkingen te krijgen voor de grootheden die je wilt berekenen. Vul de gegevens in en los de vergelijkingen op.
6 Evaluatie: Kijk of je antwoord zinnig is.
7 Reflectie: Ga na wat de beperkingen zijn van je model en of de aannamen wel redelijk zijn. Je kunt het model realistischer maken door weer bij stap 1 te beginnen en te kijken waar je het probleem té veel hebt vereenvoudigd.



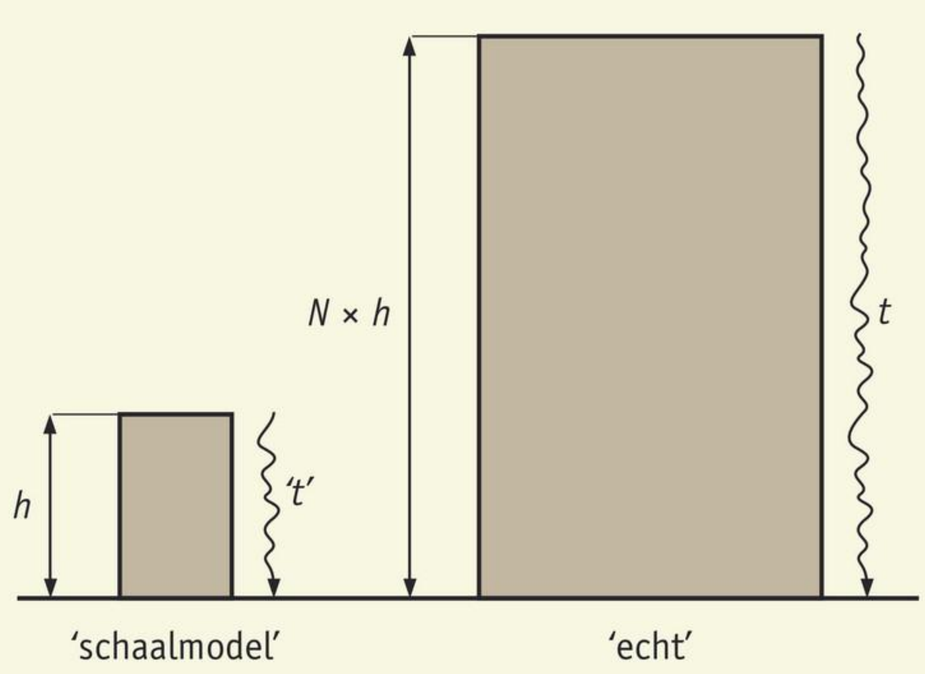
figuur 48 Modelleercyclus.

Voorbeeldopdracht 10

In de filmindustrie wordt gebruikgemaakt van schaalmodellen van bijvoorbeeld gebouwen voor special effects. Zo'n schaalmodel dat instort moet eruitzien alsof het echt is. Het probleem is dat je direct ziet dat het om een schaalmodel gaat, want het gebouw stort sneller in dan een echt gebouw. De oplossing is de film langzamer af te spelen.
Onderzoek hoeveel langzamer de film moet worden afgespeeld voor een schaalmodel dat N keer zo klein is als een levensgroot model, zodat de film geloofwaardig is.

Uitwerking

1 Onderzoeksvraag – De onderzoeksvraag is nu gegeven: een concreet probleem uit de filmindustrie.
2 Oriëntatie – Waarom zie je dat een schaalmodel dat instort 'nep' is? De opdracht geeft een hint: het stort sneller in dan een echt gebouw. Het verschil moet zitten in de afmeting. Dus een klein gebouw stort sneller in dan een groot gebouw. Als je de film langzamer afspeelt, dan *lijkt* het instorten langer te duren. De vraag is: hoeveel langzamer?
Geef het probleem schematisch weer (figuur 49). Hierin is de schaal weergegeven en dat (het lijkt of) beide gebouwen even snel instorten: in tijd t. Door de tekening zie je dat het probleem te maken heeft met vallen.



figuur 49 Schets van de situatie.

3 Probleem vereenvoudigen – Beide gebouwen storten in en 'vallen' daardoor naar beneden. In het echt is dat heel ingewikkeld: het gebouw breekt op verschillende plaatsen, stort misschien scheef in, enzovoort. Ga eerst uit van een vrije val vanuit stilstand en bekijk alleen het dak. Dus: de daken van beide gebouwen voeren een vrije val uit met valversnelling: $g = 9{,}81\ \text{m s}^{-2}$
4 Vergelijkingen opstellen – Voor een vrije val vanuit stilstand geldt: $v = g \cdot t$, $v_{gem} = \frac{1}{2}\, g \cdot t$ en $s = v_{gem} \cdot t = \frac{1}{2}\, g \cdot t^2$. Voor het echte gebouw geldt: $s = N \cdot h$ en dus $N \cdot h = \frac{1}{2}\, g \cdot t^2$. Voor het schaalmodel geldt: $h = \frac{1}{2}\, g \cdot t_{schaal}{}^2$. De film van het schaalmodel moet je zo langzaam (met *vertragingsfactor*) afdraaien dat $t = t_{schaal} \cdot \textit{vertragingsfactor}$.

5 Vergelijkingen oplossen – Beide vergelijkingen kun je oplossen naar de tijd:

$N \cdot h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$

$2N \cdot h = g \cdot t^2$ (vermenigvuldig met 2)

$\frac{2N \cdot h}{g} = t^2$ (deel door g)

$t = \sqrt{\frac{2N \cdot h}{g}}$ (wortel trekken)

En op dezelfde manier:

$t_{\text{schaal}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

Conclusie: het schaalmodel stort $\sqrt{N}$ keer zo snel in, dus moet de film $\sqrt{N}$ keer zo langzaam worden afgespeeld, zodat de instorttijd gelijk wordt.

6 Evaluatie – Je antwoord komt overeen met wat in de opdracht staat: de film moet langzamer worden afgespeeld.

7 Reflectie – Je hebt de luchtweerstand verwaarloosd. Als de schaalfactor (N) niet te groot is, dan zal dat weinig effect hebben. Maar als het schaalmodel erg klein wordt, dan zul je wel iets merken van de luchtweerstand.

De cyclus in figuur 48 wordt de modelleercyclus genoemd, omdat:

- de oplossing een benadering is voor de werkelijkheid en de oplosmethode gebruikmaakt van een *model* voor de werkelijkheid;
- de oplossing nooit in één keer goed is. Je volgt de stappen losjes in de gegeven volgorde: soms doe je een stapje terug. Eenmaal aan het eind komen er vaak nieuwe vragen boven die je beantwoordt door de stappen nogmaals te doorlopen. Vandaar modelleer*cyclus*.

Het resultaat van een modelleercyclus is een model dat een stukje van de werkelijkheid beschrijft. Een model kun je vergelijken met de bouwtekening van een huis. Veel details zijn weggelaten, maar alle zaken die nodig zijn om het huis te bouwen staan erop.

SOORTEN MODELLEN

In de natuurwetenschappen zijn er drie verschillende soorten modellen, elk met een ander doel:

- om een praktijkprobleem op te lossen, zie voorbeeldopdracht 11;
- om te voorspellen hoe een bepaald systeem zich in de toekomst gaat gedragen. Het klimaatmodel of het model van het weer zijn hier voorbeelden van. Dit noem je dynamische modellen;
- om te begrijpen hoe de natuur in elkaar zit. Dit noem je vaak theorieën.

VAARDIGHEDEN

V1.4 Modelleren

De vergelijkingen die je bij een dynamisch model opstelt (stap 4 en 5 van de modelleercyclus), zijn vaak niet eenvoudig op te lossen. Daarom maak je gebruik van een computerprogramma. Dat heeft als voordeel dat je het model steeds een beetje kunt aanpassen en doorrekenen om te zien wat het effect is. Dat is bijvoorbeeld handig bij het voorspellen van het weer.
Een theorie is een wetenschappelijke verklaring voor een deel van de werkelijkheid. Natuurwetten, zoals de wetten van Newton, zijn meestal een onderdeel van zo'n theorie. Een theorie is een soort model, omdat die altijd een *benadering* is van de werkelijkheid. Na verloop van tijd worden theorieën bijgesteld, of vervangen door nauwkeuriger theorieën. Zo werd in 1905 de theorie van Newton over kracht en beweging vervangen door de speciale relativiteit van Einstein. In *Nova* leer je verschillende natuurkundige theorieën kennen.

THEORIE, EXPERIMENT EN SCHATTEN

Als je een model opstelt, moet je weten hoe de natuur zich in bepaalde situaties gedraagt. Dan maak je gebruik van bekende theorieën. In voorbeeldopdracht 10 gebruik je bijvoorbeeld de theorie van de vrije val die in dit hoofdstuk aan bod is gekomen. Soms heb je extra informatie nodig. Dat kunnen meetgegevens zijn uit een experiment dat je zelf hebt uitgevoerd, of die je bijvoorbeeld op internet vindt.
Soms kan het nuttig zijn bepaalde grootheden te schatten. Het voordeel: dit scheelt tijd en meestal wordt je model er niet heel anders door. In een volgende ronde kun je je model realistischer maken door alsnog echte meetgegevens te gebruiken.

Voorbeeldopdracht 11

Het Empire State Building in New York was na de bouw in 1931 lange tijd het hoogste gebouw van de stad.
Maak een beredeneerde schatting hoe snel je boven bent in het Empire State Building: (a) met de lift, (b) met de trap.

Uitwerking

1 Onderzoeksvraag – Deze is gegeven.
2 Oriëntatie – Het antwoord hangt af van hoe hoog het gebouw is en de verticale snelheid van beide manieren van naar boven gaan. Je moet een schatting maken van de hoogte van het gebouw en de snelheid van een lift en van een voetganger op de trap.
3 Probleem vereenvoudigen – Neem om te beginnen aan dat de snelheden constant zijn en dat de lift tussendoor niet hoeft te stoppen.
4 Vergelijkingen opstellen – Voor de afgelegde weg geldt: $s = v \cdot t$, dus $t = \frac{s}{v}$

5 Vergelijkingen oplossen – Nu moet je iets inschatten. Om het gemakkelijker te maken, schat je hoeveel verdiepingen het gebouw heeft en hoelang de lift en de voetganger over één verdieping doen.
- Het Empire State Building is een hoog gebouw, maar het is al oud. Ga uit van 100 verdiepingen. Dus s = 100 verdiepingen.
- Als je thuis rustig de trap oploopt naar de eerste verdieping, dan duurt dat ongeveer 5 s. De verdiepingen van het Empire State Building zullen misschien hoger zijn en je wordt moe. Ga uit van 10 s per verdieping. Dus $v_{\text{voetganger}}$ = 0,1 verdieping s^{-1}.
- Bedenk hoelang een jou bekende lift over een verdieping doet. Dat zal ongeveer 2 s zijn. v_{lift} = 0,5 verdieping s^{-1}.

Invullen geeft:
- $t_{\text{lift}} = \frac{100}{0,5}$ = 200 s = 3 min
- $t_{\text{voetganger}} = \frac{100}{0,1}$ = 1000 s = 17 min

6 Evaluatie – De antwoorden klinken niet onredelijk. Met de trap duurt het in ieder geval een stuk langer dan met de lift.

7 Reflectie – Het model kan realistischer worden als je rekening houdt met het vermoeid raken van de voetganger en de details van de liften. In werkelijkheid heeft het Empire State Building 102 verdiepingen en het is niet mogelijk met de lift in één keer de bovenste verdieping te bereiken: je moet overstappen. Op internet is te lezen dat het minder dan een minuut duurt om de 80e verdieping te bereiken. Als je de overstap niet meetelt, duurt het dus ruim een minuut om boven te komen. Er is een hardloopwedstrijd voor het beklimmen van het Empire State Building. Het record voor mannen staat op 9 min en 33 s, voor vrouwen op 11 min en 23 s.

Je ziet dat je in voorbeeldopdracht 11 een best aardig resultaat krijgt op basis van schattingen. De opdracht laat ook zien dat het maken van een **schatting** iets heel anders is dan gokken. Bij schatten baseer je je op ervaringen. Dat kunnen ook meetresultaten zijn.
In de volgende hoofdstukken staan vaker dit soort opdrachten waarbij je een model moet opstellen. Uiteindelijk is het belangrijk dat je zelf herkent welk soort opdrachten je het best op kunt lossen met de modelleercyclus.

Onthoud

- Een analogie bestaat uit twee ogenschijnlijk verschillende situaties die wat structuur betreft toch op elkaar lijken. De oplossing van de ene situatie is dan te gebruiken voor de andere situatie.
- De modelleercyclus bestaat uit verschillende stappen die je helpen om een complex probleem op te lossen. Vaak moet je daarbij vereenvoudigingen maken. Door de cyclus meerdere keren te doorlopen, kun je de oplossing van het probleem verbeteren.
- Er zijn drie belangrijke soorten modellen: vereenvoudigingen om praktische problemen op te lossen, dynamische modellen en (wetenschappelijke) theorieën.

OPDRACHTEN ▸ Basis

56 Model of theorie

De begrippen 'model' en 'theorie' hebben een verschillende betekenis.

a Leg uit of de beschrijving van elektrische processen in termen van stromen, spanningen en weerstanden een model is of een theorie.

b Leg uit of een vereenvoudigde beschrijving van een ophaalbrug waarin je gebruikmaakt van de hefboomwet een model is of een theorie.

c Een computerberekening waarmee je onderzoekt hoe twee sterren bewegen onder invloed van de onderlinge kracht, is een voorbeeld van een bepaald type model. Welk type?

Je kunt sommige eigenschappen van elektrische stroomkringen vergelijken met een waterleiding. Zo is de spanning vergelijkbaar met de waterdruk en de elektrische stroom met water dat stroomt.

d Hoe noem je zo'n type vergelijking?

57 Intercity of lightrail

Intercitytreinen hebben een hoge topsnelheid, maar komen moeilijk op gang. Ook duurt het lang voordat ze stilstaan. Lightrailtreinen hebben juist een lagere topsnelheid, maar komen sneller op gang en staan ook sneller stil.
Onderzoek met behulp van de modelleercyclus vanaf welke afstand tussen twee stations een intercity sneller is dan een lightrailtrein. Ga ervan uit dat beide treinen eenparig versnellen en vertragen, de intercity met een versnelling van $a_{\text{intercity}} = 1{,}2\ \text{m s}^{-2}$ en de lightrail met $a_{\text{lightrail}} = 2{,}4\ \text{m s}^{-2}$. De topsnelheid van de intercity is $130\ \text{km h}^{-1}$ en van de lightrail $80\ \text{km h}^{-1}$.

58 Model waterput

Dover Castle (VK) is gebouwd op een hoge klif, 110 m boven zeeniveau. In het kasteel bevindt zich een diepe waterput: het grondwaterniveau ligt vele meters lager. Een bezoeker laat een muntje in de put vallen en hoort het 9 s later in het water vallen.

a Bereken op basis van deze gegevens de diepte van de put tot het waterpeil. Doorloop hiervoor de eerste vijf stappen van de modelleercyclus. Geef duidelijk de verschillende stappen aan. Begin met een zo eenvoudig mogelijk model, waarvoor een exacte oplossing mogelijk is.

b Evalueer je antwoord van opdracht a: is de uitkomst zinnig?

Het model wordt realistischer door rekening te houden met de luchtweerstand. Het is dan alleen niet meer exact op te lossen.

c Welke vereenvoudiging voor de luchtweerstand zou je kunnen maken in stap 3 van de cyclus, zodat het model nog wel exact is op te lossen?

d Voer de modelleercyclus nogmaals uit, rekening houdend met de vereenvoudiging van opdracht c, en bereken zo nogmaals de diepte van de put. Evalueer je antwoord.

Naast de luchtweerstand kun je ook rekening houden met de geluidssnelheid.

e Beredeneer of de berekende diepte van de put groter of kleiner wordt wanneer je rekening houdt met de geluidssnelheid.

59 Voetballers

Twee voetballers staan tegenover elkaar. De aanvaller heeft de bal, de verdediger probeert die af te pakken. Vanuit stilstand sprint de aanvaller met de bal weg. De verdediger volgt. De aanvaller heeft een topsnelheid van 10,0 m s^{-1} en een versnelling van 5,0 m s^{-2}. De verdediger versnelt 10% langzamer, maar heeft een 10% hogere topsnelheid. Ga in deze opdracht uit van een rechtlijnige beweging.

a Onderzoek op welke afstand de verdediger de aanvaller inhaalt.

b Onderzoek hoe het antwoord op opdracht a verandert wanneer je rekening houdt met de reactietijd van de verdediger. Maak zelf een schatting voor de reactietijd.

c Beredeneer of het voor de aanvaller mogelijk is te ontkomen aan de verdediger.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

60 Vos en haas

Een haas bevindt zich 20 m van een vos. De vos rent met 15 m s^{-1} in de richting van de haas. De haas begint van de vos weg te rennen met een versnelling van 8,0 m s^{-2}. Zijn maximale snelheid is 16 m s^{-1}.

a Onderzoek of de haas ontsnapt.

b Onderzoek wat de minimale afstand vanaf de vos is waarop de haas nog kan ontkomen.

61 Snelste lift

Hitachi heeft, naar eigen zeggen, de snelste lift geïnstalleerd in het Guangzhou CTF Finance Centre. De lift heeft een topsnelheid van 72 km h^{-1} en bereikt in 43 s de 95e verdieping van het gebouw op een hoogte van 440 m. Maak een beredeneerde schatting van de versnelling van de lift. Maak duidelijk welke aannamen je doet.

naar: Nationale Natuurkunde Olympiade, eerste ronde 2015

★ 62 Droog blijven in de regen

Het regent, je hebt geen paraplu en je moet naar huis lopen. Als je in de regen blijft staan, kom je nooit thuis en word je erg nat. Als je heel hard zou rennen, dan kom je snel thuis, maar 'veeg' je als het ware alle regen tegen je aan en word je ook erg nat. De onderzoeksvraag in deze opdracht is: Hoe snel kun je het best lopen in een regenbui zodat je zo min mogelijk nat wordt?

a Stel een zo eenvoudig mogelijk model op voor deze situatie en leg hiermee uit dat bij regen die verticaal valt, een zo hoog mogelijke loopsnelheid optimaal is.

b Gebruik je model om uit te leggen wat er verandert wanneer de regen door de wind schuin van voren en schuin van achteren valt.

c Maak je model realistischer en onderzoek hoe daarmee het antwoord op de onderzoeksvraag verandert.

AFSLUITING

In dit hoofdstuk heb je geleerd hoe je bewegingen kunt meten en beschrijven. Maak de eindopdrachten en bereid je voor op de toets.

Eindopdrachten

P 63

Coopertest en shuttle run

Bij een coopertest ligt de tijdsduur vast: je moet zo ver mogelijk hardlopen in 12 minuten.

a Leg uit dat de juiste notatie 12,00 minuten is, als je bedenkt dat de tijd tot op de seconde nauwkeurig vastligt.

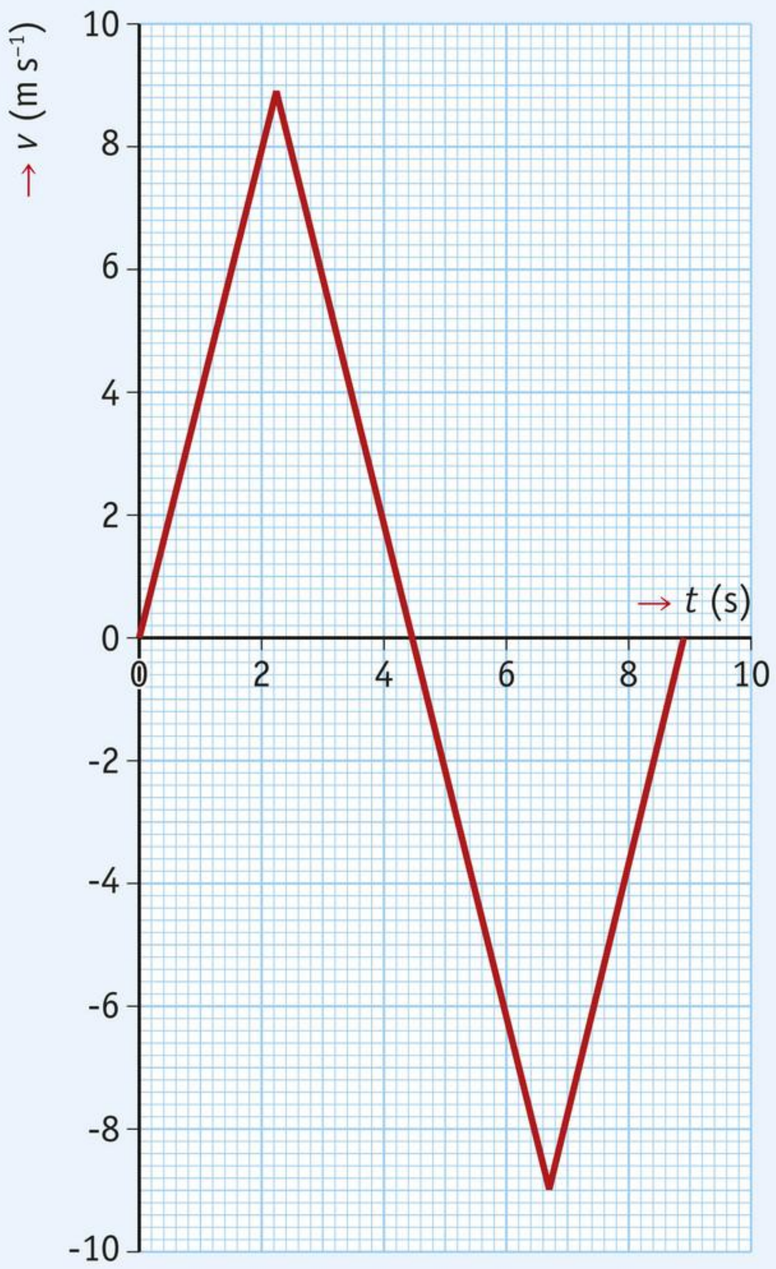
Er zijn normen voor de afstand die een persoon van een bepaalde leeftijd minimaal moet kunnen halen. Een meisje van 15 scoort 'goed' als zij minstens een afstand van 2000 m binnen 12,00 minuten haalt.

b Bereken de bijbehorende snelheid in km h^{-1}. Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

c Teken het (x,t)-diagram van een meisje dat deze prestatie levert. Ga uit van een constante snelheid.

Bij een shuttle run ren je heen en weer tussen twee pylonen die 20 m uit elkaar staan. In figuur 50 zie je het (v,t)-diagram van een lange sporter, met een vrij lage versnelling van 4,0 m s^{-2} en een hoge topsnelheid van 10,0 m s^{-1}. Het afremmen gaat ook met 4,0 m s^{-2}.

d Ga met behulp van figuur 50 na dat hij in de eerste 4,47 s een afstand van 20,0 m aflegt.



figuur 50 Shuttle run.

Een andere, kleinere atleet komt supersnel op gang, maar zijn topsnelheid is lager: zijn versnelling (en de vertraging) is 6,0 m s^{-2} en zijn topsnelheid 9,0 m s^{-1}.

e Ga met een berekening na dat het versnellen (en ook het vertragen) 1,5 s duurt.

f Ga met een berekening na dat op deze manier de atleet 3,72 s doet over 20,0 m.

g Leg uit hoe je aan figuur 50 kunt zien dat je bij een shuttle run terugkeert naar je beginpunt. Gebruik in je antwoord het begrip 'oppervlakte'.

64 Val van recordhoogte

Op 40 km hoogte kan geen vliegtuig vliegen, maar een enorme ballon kan die hoogte wel bereiken. Waaghalzen, Felix Baumgartner is een bekend voorbeeld, springen op die hoogte uit de ballon, gehuld in een soort ruimtepak. Zij maken dan een minutenlange val door. In een eerste model beschouw je dit als een vrije val. Dit is curve 1 in figuur 51.

a Laat met een berekening zien dat een voorwerp dat valt na 90 seconden een snelheid heeft van bijna 900 meter per seconde.

b Bereken hoe ver het voorwerp dan naar beneden is gevallen.

In werkelijkheid duurt zo'n val langer. Barbara verfijnt het model, met als resultaat de onderste curve, nummer 2, in figuur 51. Je ziet dat na de aanvankelijke versnelling er uiteindelijk een constante snelheid wordt bereikt.

c Welke toevoeging zal er aan het model zijn gemaakt?

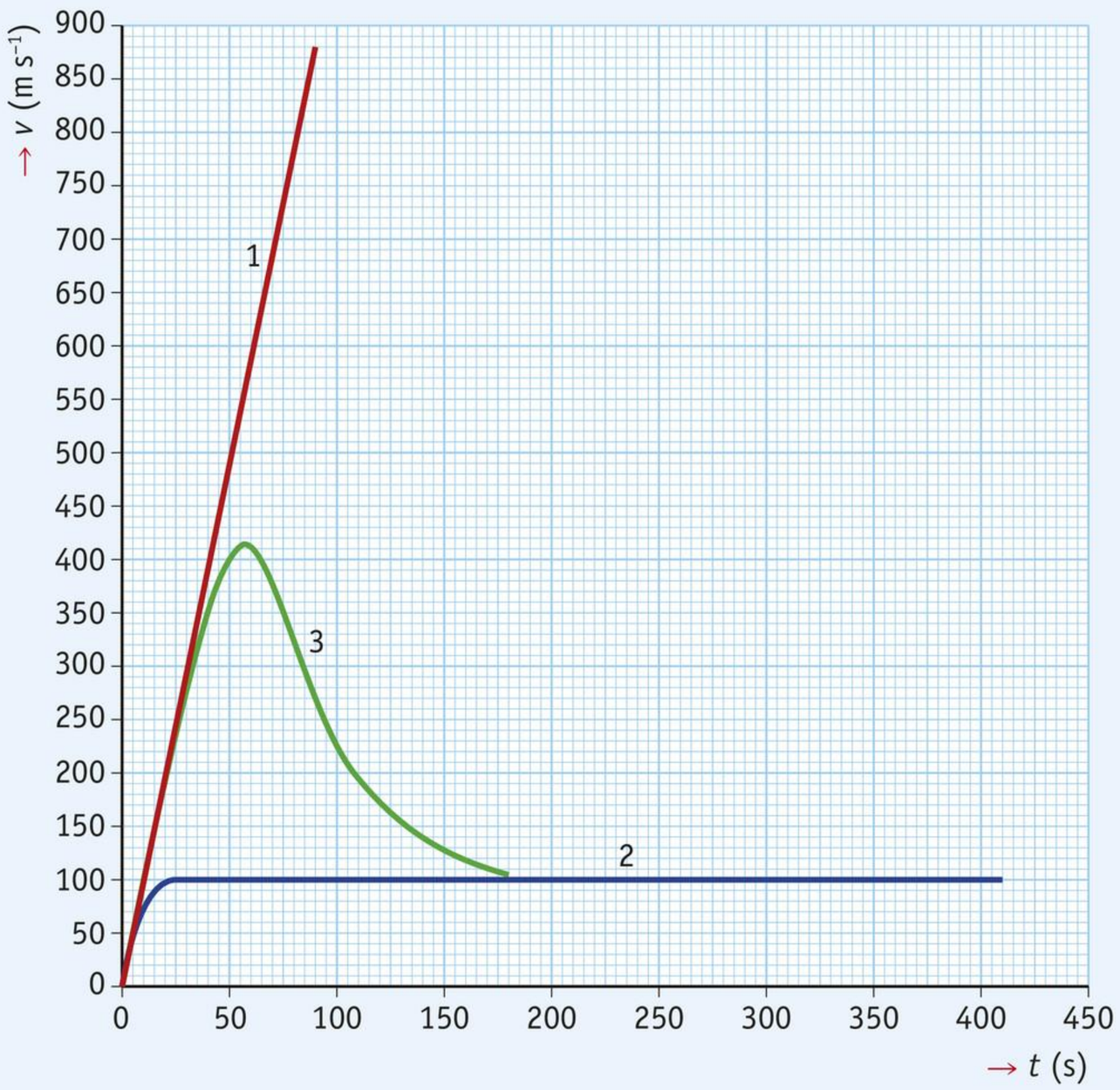
Omdat in het echt blijkt dat bij zo'n val de snelheid eerst toeneemt en na een tijd weer afneemt, heeft Barbara nog een verfijning aangebracht. Dit levert weer een nieuw resultaat op: de middelste curve, nummer 3, in figuur 51.

d Welke verfijning kan Barbara hebben aangebracht?

e Bepaal uit figuur 51 welke afstand nu wordt afgelegd tot aan het eind van de beweging (dat is het moment dat de parachute opengaat).

f Bepaal de maximale vertraging die het vallende voorwerp ondervindt.

g Hoe noem je het proces van steeds betere modellen maken?



figuur 51 Drie modellen voor een val van zeer grote hoogte.

65 Stomme films

Films uit het begin van de twintigste eeuw werden opgenomen met weinig beelden per seconde. Om toch een vloeiend verloop te krijgen, worden ze sneller afgespeeld dan ze waren opgenomen. De tijd tussen de beelden is bij het afspelen korter dan bij het opnemen (bekijk bijvoorbeeld de 'chase scene' uit *Cops* van Buster Keaton, figuur 52).



figuur 52 Still uit de film *Cops*.

Stel dat de film een factor β sneller wordt afgespeeld dan hij is opgenomen. Uiteraard merk je dan niets aan voorwerpen die stilstaan. Maar snelheden en versnellingen veranderen wel.

a Leg met behulp van een formule uit met welke factor de snelheden veranderen.

Je kijkt naar de (v,t)-diagrammen die horen bij de versnelde film en de op het gewone tempo afgespeelde film.

b Leg uit dat je bij het bepalen van de afgelegde afstand in beide (v,t)-diagrammen op dezelfde afstand uitkomt.

c Leg met behulp van formules uit met welke factor versnellingen veranderen als de film een factor β sneller wordt afgespeeld.

Als de versnelling niet constant is, dan voelt dat als 'met horten en stoten' bewegen. In het Nederlands is er geen woord voor de verandering van de versnelling, in het Engels heet die grootheid 'jerk'. De formule is: $J = \frac{\Delta a}{\Delta t}$

d Leid af wat de eenheid is van deze grootheid.

e Leg uit met welke factor de 'jerk' verandert als je een film β keer sneller afspeelt.

f Wat is je conclusie over hoeveel je ervan merkt dat de film versneld wordt afgespeeld?

P 66 **Baanwielrennen**

Lees het artikel in figuur 53.

figuur 53

Individuele achtervolging baanwielrennen

Baanwedstrijden worden gereden op speciale baanfietsen op een ovale piste. Bij de Olympische Spelen is de baan altijd 250 m lang en meestal overdekt. De individuele achtervolging is een onderdeel van het baanwielrennen. Twee renners beginnen vanuit stilstand op tegenoverliggende punten van de baan. Bij de individuele achtervolging moet door mannen 4 kilometer en door vrouwen 3 kilometer worden afgelegd.

naar: nl.wikipedia.org

In het artikel staat een afstand van '3 kilometer'.

a Leg uit dat het aantal significante cijfers meer is dan 1.

b Noem het aantal significante cijfers voor deze afstand, wanneer de lengte van de baan op centimeters nauwkeurig is bepaald.

In figuur 54 staat het (v,t)-diagram van een training voor de 3 km achtervolging voor vrouwen.

c Noem minstens één meetmethode waarmee de grafiek in figuur 54 kan zijn gemaakt.

d Leg uit dat na het afleggen van een hele ronde de verplaatsing gelijk is aan 0, maar de afgelegde weg niet.

e Bepaal met behulp van de grafiek in figuur 54 de maximumsnelheid van de wielrenner. Druk je antwoord uit in m s^{-1}.

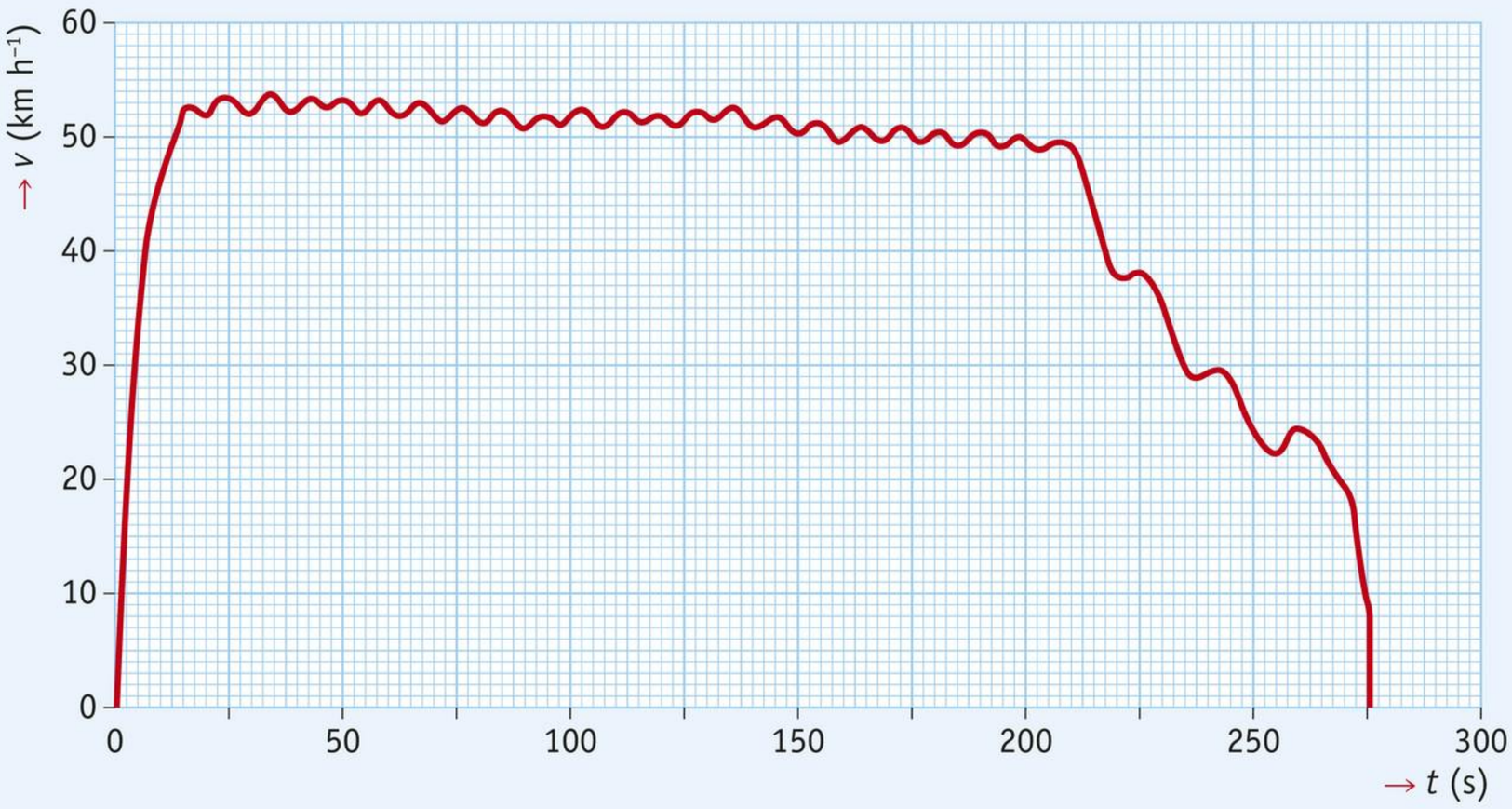
f Bepaal met behulp van de grafiek in figuur 54 de versnelling van de wielrenner bij de start.

g Toon met behulp van de grafiek in figuur 54 aan dat de wielrenner het eerste rondje op het parcours aflegt in een tijd van 22 s.

h Bereken de gemiddelde snelheid van de wielrenner tijdens het eerste rondje.

De beweging van de wielrenner is te benaderen door een eenparig versnelde beweging met $a = 1{,}4\ \text{m s}^{-2}$ gedurende de eerste 10 s en vervolgens een eenparige beweging met $v = 14{,}0\ \text{m s}^{-1}$ tot het eind van de race.

i Ga door middel van een berekening na of een wielrenner met een hogere versnelling ($1{,}7\ \text{m s}^{-2}$), maar een lagere topsnelheid ($13{,}5\ \text{m s}^{-1}$) het zou winnen van de wielrenner uit figuur 54.



figuur 54 (*v*,*t*)-diagram van een training op de 3 km.

BEREID JE VOOR OP DE TOETS

BOEK

- ☐ Neem 'Onthoud' door.
- ☐ Maak de eindopdrachten.
- ☐ Maak de opdrachten die je lastig vond nog een keer.
- ☐ Bestudeer de voorbeeldopdrachten.

BEREID JE ONLINE VOOR OP DE TOETS

ONLINE

- ☐ Test de basis met Test jezelf.
- ☐ Oefen de begrippen met Flitskaarten.
- ☐ Maak de oefentoets.



WERKEN

TIJDMETING IN DE SPORT

Twee groepjes jonge mensen stonden aan de basis van wat nu een groot bedrijf is, dat wereldwijd opereert en waar meer dan honderd mensen een interessante baan hebben: MyLaps.

Het ene groepje was in Haarlem bezig met races met radiografisch bestuurbare autootjes, een technische hobby. Zij wilden de tijdsregistratie automatiseren. In plaats van mensen met stopwatches langs de baan kwamen er transponders in de wagentjes. Het passeren van begin- en eindpunt gaf een elektrisch signaal dat werd geregistreerd.

Het andere groepje dat aan de basis stond van MyLaps kwam uit Nijmegen. Daar wilden studenten de grote hardloopwedstrijd 'Zevenheuvelenloop' soepeler laten verlopen. Niet meer in lange rijen wachten voor de registratie, maar met een chipje onder je startnummer meteen op weg. Ook hier vervingen elektrische signalen bij start en finish de menselijke waarneming. De woordspeling ChampionChip was de toepasselijke naam van dit bedrijf.

Het Haarlemse en het Nijmeegse bedrijf fuseerden tot MyLaps. Nu verzorgt dit bedrijf de professionele tijdregistratie voor heel veel amateursportevenementen en topsporttoernooien, van zwemwedstrijd tot motorcross, van langlauftocht tot Olympische Spelen.

PRACTICA

ONLINE

Bij dit hoofdstuk horen practica, onderzoeken en ontwerpopdrachten. Deze staan online.

PRACTICA

De practica kun je zelfstandig uitvoeren of onder begeleiding van je docent.

PRACTICUM 1 Verplaatsing meten
Hoe kun je met een tijdtikker, met behulp van videometen en met een stroboscopische opname de verplaatsing van een vallend gewichtje bepalen?

PRACTICUM 2 Valbeweging
Valt een voorwerp met een grotere massa sneller dan een voorwerp met een kleinere massa?

PRACTICUM 3 Versnelde beweging
Hoe groot is de maximale versnelling van een versnellend voorwerp?

ONDERZOEKEN, ONTWERPEN EN MODELLEREN

OPEN ONDERZOEK 1 Karretje op hellend vlak
Hangt de versnelling van het karretje af van de massa van dat karretje? Zo ja, hoe?

OPEN ONDERZOEK 2 Accelerometer smartphone
1 Hoe kun je met de accelerometer uit je smartphone verplaatsingen meten?
2 Hoe nauwkeurig is deze methode voor het bepalen van verplaatsingen?

2 KRACHT EN BEWEGING

DOMEIN: C Beweging en wisselwerking ▶ **SUBDOMEIN:** C1 Kracht en beweging

In het eerste hoofdstuk heb je geleerd hoe je de bewegingen van voorwerpen kunt beschrijven en analyseren. In dit hoofdstuk leer je voorspellen hoe voorwerpen zullen bewegen op basis van de krachten die erop werken.

Een heteluchtballon maakt bijvoorbeeld gebruik van het verschil in dichtheid tussen de hete lucht in de ballon en de koude lucht van de omgeving. Hierdoor ontstaat een opwaartse kracht. Als deze groter is dan de zwaartekracht die op de ballon werkt, dan stijgt de ballon op.

Bij het beschrijven van krachten en hoe voorwerpen bewegen gebruik je de wetten die Isaac Newton in de zeventiende eeuw opschreef. Daarom wordt dit deel van de natuurkunde ook wel de ‘klassieke mechanica’ genoemd. Die natuurkunde klopt nog steeds heel goed voor veel alledaagse situaties, zoals bij balsporten en foilen, of rijdende, zwevende of vliegende vervoersmiddelen. Later zul je zien dat de wetten van Newton niet kloppen voor heel kleine systemen en voor voorwerpen met een zeer grote snelheid.



PRAKTIJK

De magie van vervoer op wind | 74

THEORIE

Voorkennis | 76

1 Versnelling en kracht | 78

2 Krachten samenstellen | 84

3 Krachten ontbinden | 92

4 Krachten in evenwicht | 99

5 Dynamische modellen | 109

Afsluiting | 120

MAATSCHAPPIJ

Studeren: Bouwkunde | 124

BOEK

LESSTOF

Alle teksten, voorbeelden en opdrachten staan ook online in MAX.

OEFENEN

- Test jezelf bij elke paragraaf
- Flitskaarten
- Oefentoets

AANVULLEND

- Practica, onderzoeken en ontwerpen

ONLINE



DE MAGIE VAN VERVOER OP WIND

Het is een mooi gezicht als je het ziet gebeuren en een spectaculair gevoel als je het zelf meemaakt: een heteluchtballon die vertrekt. De lucht wordt verhit en vult de ballon. Er wordt ballast afgeworpen en daar gaat hij. Gestaag stijgend en al snel meevarend met de wind begint hij zijn reis. Heteluchtballonnen zijn niet geschikt als snel vervoersmiddel, een ballonvaart doe je als vermaak. Natuurkundige principes voegen daar een extra laag van fascinatie aan toe.

DE ROL VAN DICHTHEID

De oorzaak van het opstijgen van een heteluchtballon hoor je vaak in verbasterde, niet volledig correcte vorm: “Warme lucht stijgt op.” Een gasbrander verwarmt inderdaad de lucht in de ballon via een gat aan de onderkant (figuur 1), maar de warme lucht kan niet opstijgen door het doek van de ballon.
Door de hogere temperatuur neemt wel de dichtheid van de lucht af. Koude lucht rondom de ballon heeft een hogere dichtheid, waardoor de atmosfeer een kracht naar boven op de luchtballon uitoefent, de opwaartse kracht. Dat is vergelijkbaar met een bal die je onder water duwt: deze komt weer boven doordat de bal een lagere dichtheid heeft dan water.

In verticale richting ontstaat zo een krachtenspel tussen de zwaartekracht en de opwaartse kracht. Een luchtballon moet daarom groot genoeg zijn om het gewicht van de passagiers en het materiaal te compenseren.

Last van hoogtevrees? Eindeloos stijgen doet een luchtballon niet. De dichtheid van de atmosfeer neemt af met de hoogte. Op een bepaalde hoogte zijn de dichtheid van de atmosfeer en van de lucht in de ballon gelijk. De ballon zal dan



figuur 1 De lucht in de luchtballon wordt verwarmd met een gasbrander.

stoppen met stijgen en als het ware drijven tussen de hogere dichtheid van lucht onder en de lagere dichtheid lucht boven de ballon.

NAVIGEREN IN LUCHTSTROMEN

De hoogte van de ballon kun je goed regelen door het aan- en uitzetten van de gasbrander, maar het zal altijd een verrassing blijven waar je gaat landen.
Net zoals een bal die met de stroom van een rivier meedrijft, heeft de luchtballon zelf geen invloed op de richting. De kracht van de wind bepaalt samen met de tegengesteld werkende luchtweerstand de horizontale richting. De luchtstroom gaat niet op alle hoogten dezelfde kant op. Een ervaren ballonbestuurder kan daarom soms wel hoger of lager gaan zweven en zo de richting een beetje beïnvloeden.

ZEPPELINS

Economisch gezien is de heteluchtballon met zijn lage snelheid en beperkte bestuurbaarheid geen effectief vervoersmiddel. Zeppelins zweven ook door de lucht, maar zijn wel bestuurbaar. Ooit werden ze 'de koning van de lucht' genoemd en gebruikt voor trans-Atlantische passagiersvluchten (figuur 2), die veel sneller waren dan een bootreis. Deze enorme sigaarvormige ballonnen zweven met behulp van een gas met een lagere dichtheid dan de lucht.
In 1937 kwam er een einde aan zeppelinvluchten toen het waterstofgas in de *Hindenburg* ontbrandde en er veel doden vielen.
Er bestaan nu wel weer bedrijven die zeppelins bouwen, maar die zijn veel kleiner dan de *Hindenburg* en worden vooral gebruikt als attractie (figuur 3).
Voor de veiligheid is waterstofgas vervangen door een ander licht, maar onbrandbaar gas: helium.

TOEKOMST

Moderne zeppelins worden ontworpen met geavanceerde technologieën. Deze luchtschepen kunnen langere perioden in de lucht blijven, grote hoeveelheden vracht vervoeren en zijn veelzijdig inzetbaar, van luxe toeristische vluchten tot humanitaire missies en als milieuvriendelijke transportoplossing. Met verbeterde besturing en aandrijving, en innovatieve ontwerpen bieden ze een duurzame en efficiënte manier om grote ladingen over lange afstanden te verplaatsen.
Zo zorgen de natuurkundige principes toegepast in zeppelins niet alleen voor fascinatie, maar dragen ze tegelijkertijd bij aan de vermindering van de uitstoot in de luchtvaartsector.



figuur 2 Reclameposter voor een reis met de zeppelin *Hindenburg*, 1937.



figuur 3 Een moderne zeppelin, zwevend over de Bodensee in Duitsland.

▶ **Aansluitende opdrachten bij DE MAGIE VAN VERVOER OP WIND: 40, 42, 43, 46 en 56.**

V VOORKENNIS

In de vorige leerjaren en in hoofdstuk 1 heb je al een aantal dingen over kracht en beweging geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

Leerdoelen

1 Je kunt de resultante berekenen als twee of meer krachten langs dezelfde lijn liggen.
2 Je kunt uit een (v,t)-diagram de gemiddelde versnelling en de versnelling op een bepaald moment bepalen.
3 Je kunt de zwaartekracht op een massa berekenen.
4 Je kunt de uitrekking berekenen van een veer waarop een kracht wordt uitgeoefend.

1 **Leerdoel 1**

Anna houdt een ballon gevuld met helium vast aan een touwtje. De ballon hangt stil.
Op de ballon werken een kracht omhoog F_{omhoog}, de zwaartekracht F_z en de trekkracht F_{sp} van het touw.
Welke kracht is het grootst?

○ A F_{omhoog}
○ B F_z
○ C F_{sp}

2 **Leerdoel 1**

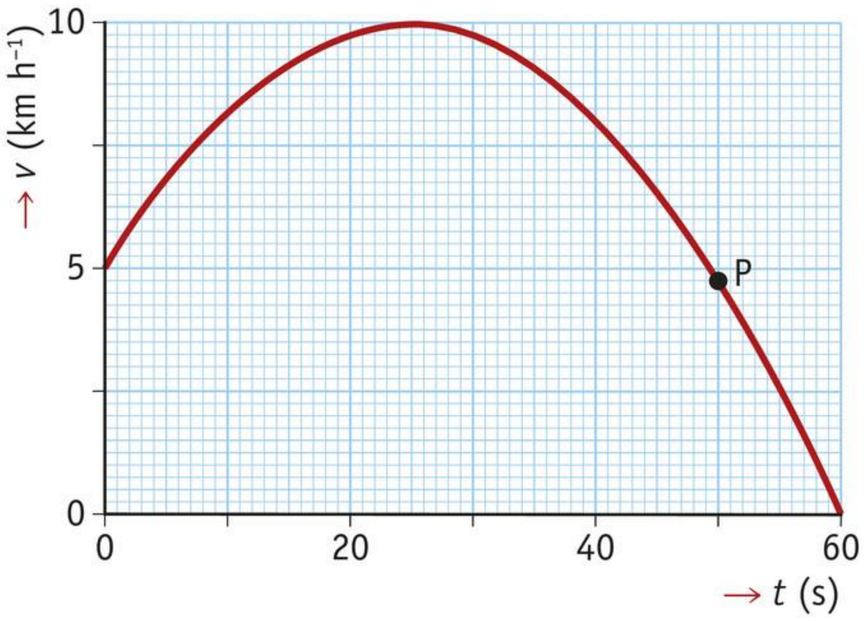
Een gezin is aan het touwtrekken. Vader Paul en dochter Inez nemen het op tegen moeder Martine en zoon Barry.
Paul trekt met een kracht van 620 N, Martine met een kracht van 480 N en Inez met een kracht van 250 N.
Bereken met welke kracht Barry moet trekken om het touw in evenwicht te houden.

Barry moet met een kracht van ..... N trekken.

3 **Leerdoel 2**

In figuur 1 zie je het (v,t)-diagram van een voorwerp.
Bepaal de versnelling van dit voorwerp in punt P.

De versnelling van dit voorwerp in punt P is ..... m s^{-2}.



figuur 1 Het (v,t)-diagram van een voorwerp.

4 **Leerdoel 3**

Een importeur van vorkheftrucks vermeldt op zijn site enkele gegevens over een vorkheftruck:

Hefvermogen:	2500 kg
Eigen gewicht:	4470 kg

Een vorkheftruck is maximaal beladen (figuur 2).
Bereken de grootte van de kracht die de vorkheftruck op de vloer uitoefent.

De kracht die de heftruck op de vloer uitoefent, is ..... kN.



figuur 2 Vorkheftruck.

5 **Leerdoel 4**

De lengte van een onbelaste veer is 10 cm. Als Judith er vier gewichtjes van elk 1,0 N aan hangt, wordt de lengte van de veer 16 cm.
Bereken de lengte van de veer als Judith tien van zulke gewichtjes aan de veer bevestigt.

De lengte van de veer wordt ..... cm.

1

VERSNELLING EN KRACHT

Leerdoelen

2.1.1 Je kunt uitleggen wat het betekent dat voorwerpen traagheid hebben en wat de eerste wet van Newton inhoudt.
2.1.2 Je kunt de tweede wet van Newton toepassen.
2.1.3 Je kunt berekeningen maken met de formule voor zwaartekracht.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	2.1.1	2.1.2	2.1.3	1.4.1*
Onthouden		2ab		
Begrijpen	1			
Toepassen	3c, 4a, 5a	2c, 3a, 4b, 5b, 6, 7a, 8	3b	7bc
Analyseren	10	9		7d

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

Voor het starten van een beweging van een voorwerp is een kracht nodig. Een heteluchtballon begint niet zomaar met opstijgen en hij komt niet zomaar op gang in horizontale richting als er geen kracht op werkt. Ook als je een rolstoel of fiets wilt afremmen, moet je een kracht uitoefenen.

TRAAGHEID: DE EERSTE WET VAN NEWTON

Stel je een lange, zwaar beladen goederentrein voor die met hoge snelheid over een recht, horizontaal traject rijdt. En stel je voor dat de machinist de motor uitzet en niet remt. Dan zou je gedurende langere tijd geen zichtbare verandering in de beweging zien. De trein lijkt dus met constante snelheid door te rijden. Pas na een lange tijd zie je dat de trein een klein beetje vertraagt. Dat komt doordat er de hele tijd een kleine weerstandskracht is, bij de wielen en door wrijving met de lucht. Als die kracht helemaal nul zou zijn, dan zou de trein eeuwig doorrijden.
Aan dat doorrijden met een (bijna) constante snelheid zie je dat de trein **traagheid** heeft. Dit begrip betekent dat een voorwerp zich als het ware verzet tegen een verandering van de grootte of richting van de snelheid. Traagheid betekent dus niet dat een voorwerp een lage snelheid heeft, maar dat er iets voor nodig is om de snelheid te laten veranderen.
Isaac Newton bestudeerde eeuwen geleden de beweging van voorwerpen. De eerste wet die hij formuleerde luidt:

De eerste wet van Newton:
Ieder voorwerp blijft in de toestand van rust of rechtlijnige eenparige beweging, behalve voor zover het door de invloed van krachten wordt gedwongen die toestand te wijzigen.

De **eerste wet van Newton** houdt twee dingen in:

1 Als je een afwijking van de beweging in een rechte lijn met constante snelheid ziet, dan weet je dat er een kracht op het voorwerp werkt. Een belangrijk voorbeeld is een cirkelbeweging, bijvoorbeeld van de maan rond de aarde. Er is een kracht die de maan van richting laat veranderen. De grootte van de snelheid blijft wel gelijk.
2 In het speciale geval dat er geen kracht is, blijft het voorwerp met constante snelheid rechtdoor gaan. Als er twee elkaar tegenwerkende krachten op een voorwerp werken die elkaar precies opheffen, dan telt dat ook als 'geen kracht'. Je zegt dan dat de resulterende kracht 0 N is.
De **resulterende kracht F_{res}** is het effect van twee of meer krachten die tegelijkertijd op het voorwerp werken.

PRACTICUM 1 Blaaswedstrijd

GROOTTE VAN DE KRACHT: DE TWEEDE WET VAN NEWTON

Hoe groter de massa van een voorwerp, hoe meer kracht je nodig hebt om het een bepaalde versnelling te geven. Zo heb je meer spierkracht nodig om een basketbal te versnellen dan een honkbal: hoe groter de massa, hoe meer traagheid.
Op het moment dat een honkballer een bal werpt of een eikel uit een boom valt, gaan de bal en de eikel versneld bewegen. De kracht die nodig is om de versnelling tot stand te brengen is voor de honkballer de spierkracht, voor de eikel de zwaartekracht. Wanneer de honkballer een bal vangt of de eikel de grond raakt, werkt er ook een kracht, maar nu om het voorwerp af te remmen. Bij de honkballer is het de spierkracht die nu voor een negatieve versnelling zorgt. Bij de eikel oefent de grond een kracht uit op de eikel.
Om een voorwerp een grotere versnelling te geven, is ook een grotere kracht nodig. Op een auto die binnen 5 s optrekt van 0 tot 100 km h^{-1} werkt een grotere kracht dan op een even zware auto die daar 12 s voor nodig heeft. Dit geldt ook voor afremmen: er is een grotere kracht nodig om een olietanker af te remmen dan om een rubberbootje tot stilstand te brengen en er is meer remkracht nodig als een trein een noodstop moet maken dan wanneer hij geleidelijk afremt. De **tweede wet van Newton** vat dit samen.

Formule

De formule voor de tweede wet van Newton is:

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

Hierin is:

- F_{res} de resulterende kracht in newton (N);
- m de massa van het voorwerp dat versnelt in kilogram (kg);
- a de versnelling in meter per seconde kwadraat (m s^{-2}).

PRACTICUM 2 Luchtkussenbaan

Voorbeeldopdracht 1

Een intercity met een massa van 192 ton trekt in 1,5 min op van 0 km h^{-1} tot 108 km h^{-1}.
Bereken de gemiddelde kracht die nodig is om de trein te versnellen.

Gegevens

$m = 192 \text{ ton} = 192 \cdot 10^3 \text{ kg}$
$v_{eind} = 108 \text{ km h}^{-1} = 30 \text{ m s}^{-1}$
$v_{begin} = 0 \text{ km h}^{-1} = 0 \text{ m s}^{-1}$
$\Delta t = 1{,}5 \text{ min} = 90 \text{ s}$

Formules

$\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$
$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
$F_{res} = m \cdot a$

Uitwerking

Om de versnelling te berekenen, heb je de snelheidsverandering nodig en de daarvoor gebruikte tijdsduur.
$\Delta v = v_{eind} - v_{begin} = 30 \text{ m s}^{-1} - 0 \text{ m s}^{-1} = 30 \text{ m s}^{-1}$
$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{30}{90} = 0{,}33 \text{ m s}^{-2}$
$F_{res} = m \cdot a = 192 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 0{,}33 \text{ m s}^{-2} = 6{,}4 \cdot 10^4 \text{ N}$

DE ZWAARTEKRACHT

Er zijn twee manieren waarop je te weten kunt komen hoe groot een kracht op een voorwerp is. De eerste manier is die van voorbeeldopdracht 1: als je zowel de massa als de versnelling van een voorwerp weet, dan kun je de kracht uitrekenen met de tweede wet van Newton: $F_{res} = m \cdot a$. De tweede manier is doordat je iets weet over de aard van die kracht, bijvoorbeeld bij de zwaartekracht.
De aarde trekt namelijk aan elke kilogram materie met een kracht van ongeveer 9,8 N. Elders op de wereld is de waarde een klein beetje anders, maar in Nederland is de valversnelling g gemiddeld 9,81 N kg^{-1} (*BiNaS* tabel 7A).

Formule

De formule voor de zwaartekracht F_z is:

$F_z = m \cdot g$

Hierin is:
- m de massa in kilogram (kg);
- g de valversnelling in newton per kilogram (N kg^{-1}).

Als een voorwerp vrij valt, dus wanneer het alleen de invloed van de zwaartekracht ondervindt, dan volgt uit de tweede wet van Newton dat het een versnelling krijgt van:
$a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{F_z}{m} = \frac{m \cdot g}{m} = g$

Conclusie: g is een versnelling. Dit is de reden dat alle voorwerpen even snel vallen wanneer de luchtweerstand te verwaarlozen is. Voor een twee keer zo zwaar voorwerp is twee keer zo veel kracht nodig om het met een bepaalde versnelling in beweging te brengen. Maar als de massa m twee keer zo groot is, is de zwaartekracht F_z op dat voorwerp ook twee keer zo groot.

Onthoud

- De traagheid is het verschijnsel dat een voorwerp zich als het ware verzet tegen een verandering van de grootte of richting van de snelheid.
- Ieder voorwerp blijft in de toestand van rust of rechtlijnige eenparige beweging, behalve voor zover het door de invloed van krachten wordt gedwongen die toestand te wijzigen. Dit heet de eerste wet van Newton.
- De tweede wet van Newton luidt: $F_{res} = m \cdot a$
- De grootte van de zwaartekracht is $F_z = m \cdot g$; in Nederland geldt: $g = 9{,}81\ \text{N kg}^{-1}$

OPDRACHTEN ▸ Basis

1 Eerste wet van Newton

Leg bij elke uitspraak uit of deze juist is.

a Iemand duwt een rolstoel recht vooruit met constante snelheid. De eerste wet van Newton houdt in dat het zeker is dat hierbij de weerstandskrachten samen even groot zijn als de duwkracht.

b Met de eerste wet van Newton kun je berekenen hoeveel kracht nodig is om een voorwerp met massa m een versnelling a te geven.

c Op een satelliet die met constante snelheid rond de aarde cirkelt werkt een kracht.

d Als op een voorwerp ver verwijderd van alle hemellichamen in de ruimte geen enkele kracht werkt, dan remt het nooit af.

2 Tweede wet van Newton

a Geef de formule waarmee je de resulterende kracht uitrekent als de massa en de versnelling bekend zijn.

b Geef de formule waarmee je de versnelling uitrekent als de massa en de resulterende kracht bekend zijn.

c Leid uit de tweede wet van Newton af wat de eenheid van kracht in SI-basiseenheden is.

3 Intercity

Een intercity met een massa van 192 ton remt in 1,5 min af van $120\ \text{km h}^{-1}$ tot $30\ \text{km h}^{-1}$.

a Bereken de gemiddelde remkracht.

b Bereken de zwaartekracht op de intercitytrein.

c Leg uit hoe het komt dat deze zwaartekracht niet leidt tot een versnelde beweging van de trein in verticale richting.

4 Rolstoel duwen

Je duwt een vriend die in een rolstoel zit (figuur 1). De weg is recht en horizontaal en jullie gaan met een constante snelheid van 1,1 m s^{-1}. Jouw duwkracht is 80 N.

a Leg uit van welke kracht je nu ook de grootte weet: de weerstandkracht of de zwaartekracht?

De massa van jouw vriend en de rolstoel samen is 80 kg. Jullie willen wat sneller gaan.

b Bereken hoeveel duwkracht jij moet uitoefenen op de rolstoel om ervoor te zorgen dat jullie binnen 3,0 s een snelheid bereiken van 2,0 m s^{-1}.



figuur 1 Ritje over een rechte horizontale weg.

5 Vallende druppel

Een regendruppel met massa 0,030 g valt met een constante snelheid van 5,0 m s^{-1} recht naar beneden.

a Leg uit hoe groot de luchtweerstand is. Geef zowel de berekening als de denkstappen die nodig zijn om tot je antwoord te komen.

Na enige tijd oefent de wind een horizontale kracht op de druppel uit. Na 1,0 s is de horizontale snelheid 2,0 m s^{-1}.

b Bereken de gemiddelde grootte van de horizontale kracht.

6 Remtijd

Een intercity van 192 ton die rijdt met een snelheid van 90 km h^{-1} begint te remmen. De remkracht is $9{,}6 \cdot 10^4$ N. Bereken hoelang het duurt voor de intercity stilstaat.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

7 Remweg

Een auto met een massa van 900 kg remt op een droge weg binnen 4,0 s af van 72 km h^{-1} tot stilstand.

a Bereken de gemiddelde remkracht die hiervoor nodig is.

b Bereken hoe lang de remweg van deze auto is.

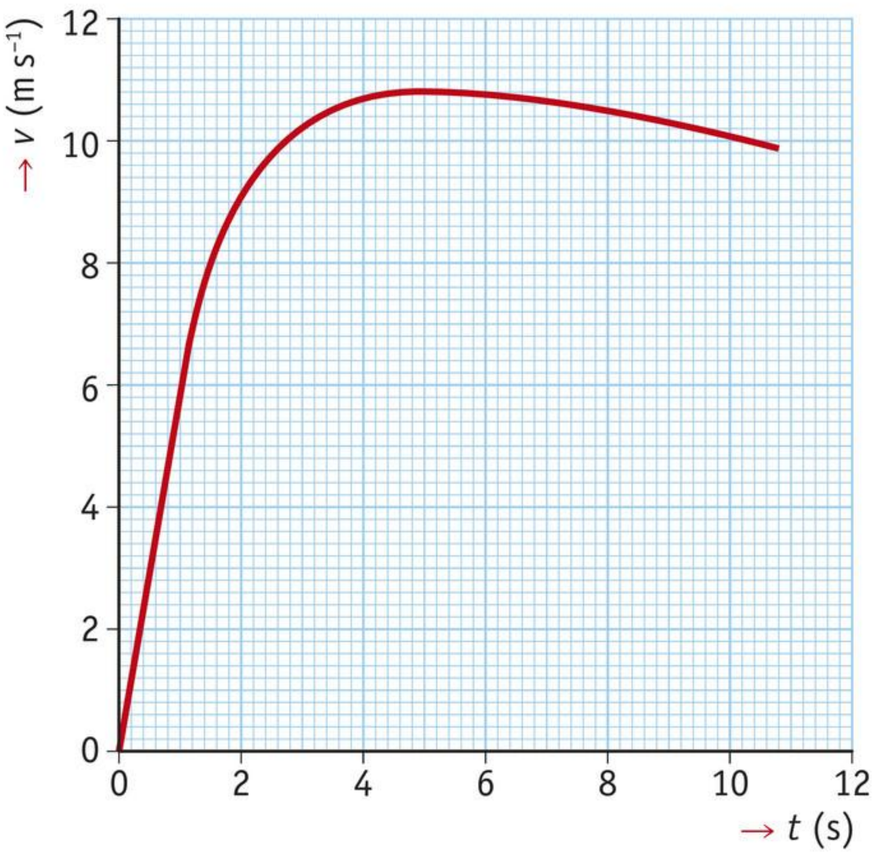
Dezelfde auto remt op een natte gladde weg en slipt. De effectieve remkracht is nog maar 3,0 kN.

c Bereken de remweg van de auto in deze situatie.

d Bereken hoe hard de auto op de natte weg mag rijden om dezelfde remweg te hebben als hij had toen hij 72 km h^{-1} reed op de droge weg (opdracht b).

8 Dafne Schippers

In figuur 2 zie je een (v,t)-diagram van sprinter Dafne Schippers. Haar massa is 65 kg.
Bepaal de maximale voorwaartse kracht die ervoor zorgt dat Dafne Schippers op gang komt.



figuur 2 Het (v,t)-diagram van Dafne Schippers tijdens een 100 m wedstrijd in Peking.

9 Duwwedstrijd

Twee karren staan klaar voor een duwwedstrijd. Kar 2 heeft een twee keer zo grote massa als kar 1. De duwkracht die wordt uitgeoefend op kar 2 is vier keer zo groot als die op kar 1 wordt uitgeoefend. De duwkracht op kar 2 wordt de helft van de tijd uitgeoefend als de duwkracht op kar 1. De karren rollen daarna zonder vaart te minderen door. Beide karren starten tegelijkertijd op dezelfde positie en leggen dezelfde afstand af.
Welke kar zal het eerst de afstand hebben afgelegd?

A kar 1
B kar 2
C Beide karren komen tegelijk aan.
D Er is te weinig informatie om hier iets over te zeggen.

bron: Nationale Natuurkunde Olympiade, eerste ronde 2015

★ 10 Subtiel betere vertaling

De filosoof Daniel Hoek publiceerde in 2023 een artikel waarin hij uitlegt dat de eerste wet van Newton eeuwenlang net een beetje verkeerd in de boeken heeft gestaan. Dat kwam door een fout in de vertaling van Newtons Latijnse tekst naar het Engels, waarop alle latere boeken in vele talen zich baseerden. In het Nederlands was de eerste wet geworden:
Een lichaam waarop geen externe krachten werken blijft stilstaan of beweegt door met constante snelheid in een rechte lijn.
In de loop der eeuwen werd kritiek op Newton uitgeoefend, om drie redenen.
Allereerst werd wel gezegd dat de wet over een situatie gaat die nooit voorkomt.

a Geef de reden waarom dit kon worden beweerd.

Ten tweede zei men: “Eigenlijk is de eerste wet overbodig, want ze volgt uit de tweede wet van Newton. Dat is een vreemde constructie, een eerste wet die volgt uit een tweede wet.”

b Leg uit dat de hierboven schuingedrukte formulering van de eerste wet van Newton inderdaad zou volgen uit de tweede wet van Newton.

Derde punt van kritiek was dat de voorbeelden die Newton meteen na de eerste wet gaf helemaal niet leken te slaan op die eerste wet. Zo heeft hij het over de beweging van planeten rond de zon.

c Leg uit waarom die kritiek juist lijkt, als je de bovenstaande formulering van de eerste wet aanhoudt.

Daniel Hoek betoogt dat de juiste vertaling van Newtons Latijnse tekst is: *Ieder lichaam volhardt in de toestand van rust of rechtlijnige eenparige beweging, behalve voor zover het door de inwerking van krachten wordt gedwongen, die toestand te wijzigen.*

d Leg bij elk van de drie bezwaren die eerder zijn genoemd uit dat de bezwaren niet opgaan voor de betere vertaling.

2 KRACHTEN SAMENSTELLEN

Leerdoelen

2.2.1 Je kunt uitleggen wat scalaire grootheden en vectorgrootheden zijn.
2.2.2 Je kunt de grootte en richting van de resulterende kracht berekenen als de krachten in elkaars verlengde liggen of als ze loodrecht op elkaar staan.
2.2.3 Je kunt de grootte en richting van de resulterende kracht bepalen door het maken van een constructie.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN						
	2.2.1	2.2.2	2.2.3	1.1.2*	2.1.1*	2.1.2*	2.1.3*
Onthouden							
Begrijpen	11						
Toepassen		12a, 13, 16	12bc, 14, 15, 17, 18a, 19a	18c	19b	18b	19c
Analyseren		20					

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

Een appel die van de boom valt, versnelt ten gevolge van de zwaartekracht. Dat is de enige kracht die op de appel werkt, want de luchtweerstand kun je in dit geval verwaarlozen. In de meeste praktijksituaties werken er echter meerdere krachten. Bijvoorbeeld wanneer je vanuit stilstand een helling op fietst: de zwaartekracht en luchtweerstand werken tegen, terwijl je met behulp van je spierkracht vooruitkomt. De versnelling hangt dan af van de resulterende kracht (de nettokracht) die op je werkt.

VECTORGROOTHEDEN

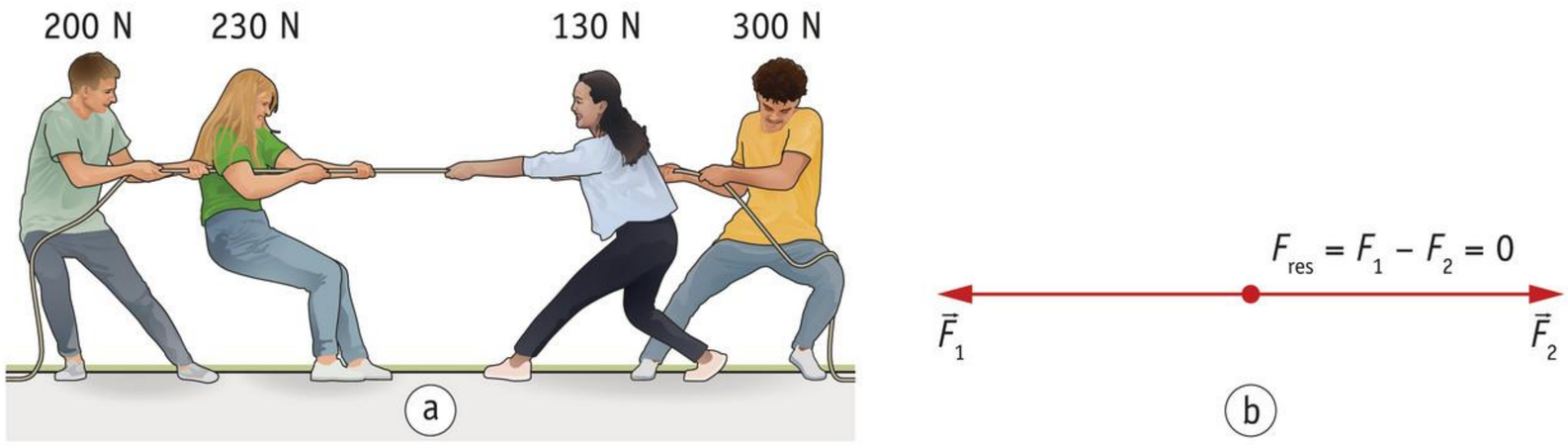
Krachten zijn een bijzonder soort grootheid: ze hebben niet alleen een grootte, maar ook een richting. Zo'n grootheid noem je een **vectorgrootheid**, of soms kortweg vector. Elke vectorgrootheid heeft:

- een grootte (de lengte van de vector)
- een richting

Andere belangrijke voorbeelden van vectorgrootheden zijn de verplaatsing, de snelheid en de versnelling. Grootheden die alleen een grootte hebben en geen richting, noem je **scalaire grootheden**. Voorbeelden van scalaire grootheden zijn: temperatuur, druk en lengte.
Om vectorgrootheden van scalaire grootheden te onderscheiden, noteer je een pijltje boven een vectorgrootheid: $\vec{F}$. Als je alleen de grootte van een vectorgrootheid wilt aangeven, dan laat je het pijltje weg: F

RESULTERENDE KRACHT BEREKENEN

Als op een voorwerp meerdere krachten werken, dan wordt het netto-effect van deze krachten gegeven door de resulterende kracht, ook wel **resultante** genoemd. De resulterende kracht is de optelling van alle krachten op een voorwerp, rekening houdend met de verschillende richtingen van de krachten. Dat de richting van een kracht ertoe doet, wordt duidelijk in de volgende twee situaties. Bij touwtrekken werken de krachten die de teams op het touw uitoefenen elkaar tegen: ze werken in tegenovergestelde richting (figuur 3a). Als het touw min of meer op zijn plek blijft of met constante snelheid beweegt, zijn de krachten even groot (figuur 3b). In situaties waarbij de krachten in tegenovergestelde richtingen werken, is de grootte van de resulterende kracht gelijk aan het *verschil* van de twee afzonderlijke krachten.



figuur 3 De krachten van de teams werken elkaar tegen.

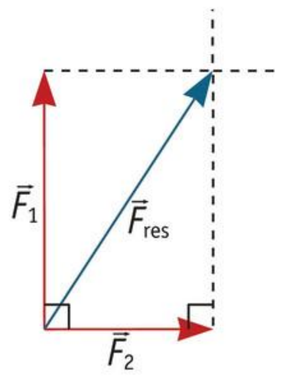
In figuur 4a zie je een voorbeeld waarbij twee krachten juist samenwerken: de sleepboten trekken bijna in dezelfde richting. In situaties waarbij de krachten in dezelfde richting werken, is de resulterende kracht gelijk aan de *som* van de twee afzonderlijke krachten (figuur 4b).



figuur 4 De krachten van de sleepboten op het schip werken samen.

Bij elke hoek tussen de krachten die anders is dan 0° of 180°, is het ingewikkelder om de grootte en de richting van de resulterende kracht te bepalen. Er is één situatie waar de berekening eenvoudig is: als twee krachten F_1 en F_2 loodrecht op elkaar staan, dan vormt de resulterende kracht F_{res} de schuine zijde van een rechthoekige driehoek (figuur 5). De rechte zijden worden gegeven door de twee krachten F_1 en F_2. De schuine zijde is dan de resulterende kracht, waarvan je de lengte berekent met de stelling van Pythagoras:

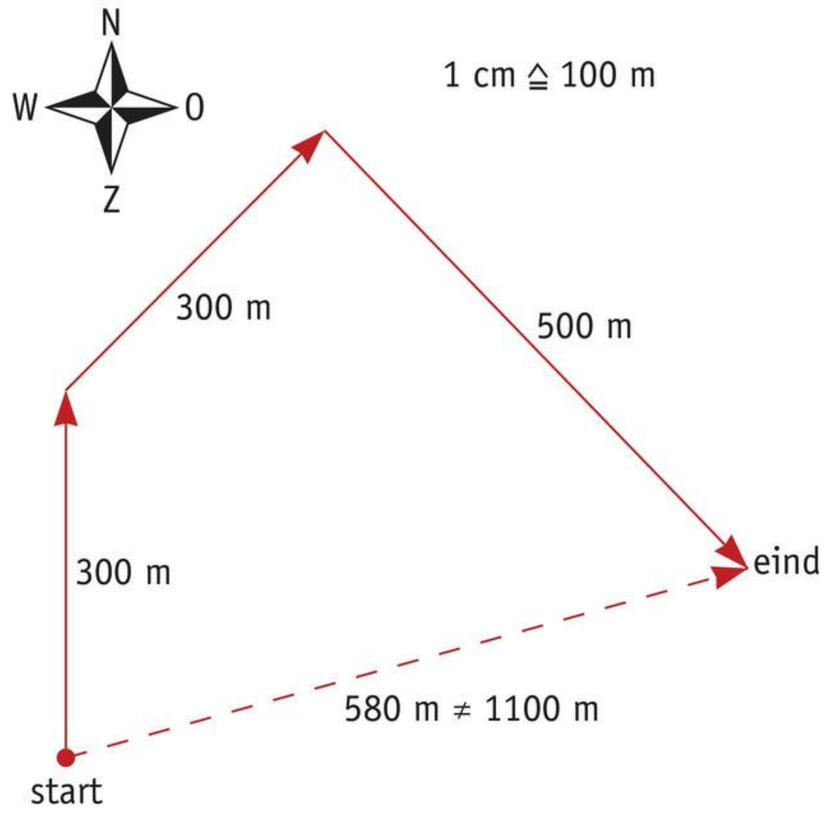
$$F_{res} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$



figuur 5 De lengte van F_{res} bereken je met de stelling van Pythagoras.

VECTOREN SAMENSTELLEN

Vectoren met willekeurige richtingen kun je bij elkaar optellen, maar dat werkt anders dan bij getallen (scalairen). Je moet namelijk ook rekening houden met de richting van de vector. Daarom is het beter te spreken van het samenstellen van vectoren, in plaats van het optellen van vectoren.
Het volgende voorbeeld laat zien hoe dat werkt. Stel dat je 300 m in noordelijke richting loopt, vervolgens 300 m in noordoostelijke en als laatste 500 m in zuidoostelijke richting (figuur 6). De verschillende verplaatsingen worden weergegeven door vectorpijlen. In de figuur is duidelijk dat je nu niet 300 m + 300 m + 500 m = 1100 m van het beginpunt bent, maar veel dichterbij. Dat komt doordat je niet in één richting hebt gelopen. Als je vanaf het beginpunt de gestippelde pijl had gevolgd, dan was je op hetzelfde punt uitgekomen. Die gestippelde pijl is de resulterende verplaatsing van de drie afzonderlijke verplaatsingen.
In figuur 6 zie je hoe je die resulterende verplaatsing kunt vinden: je legt de drie pijlen kop aan staart. Deze methode kun je ook voor andere vectorgrootheden gebruiken, zoals krachten.
Je kunt vectoren altijd samenstellen door middel van een constructie: een tekening op schaal.
Hiervoor gebruik je de **kop-staartmethode** of de **parallellogrammethode**.



figuur 6 De resultante (gestippeld) van drie afzonderlijke verplaatsingen.

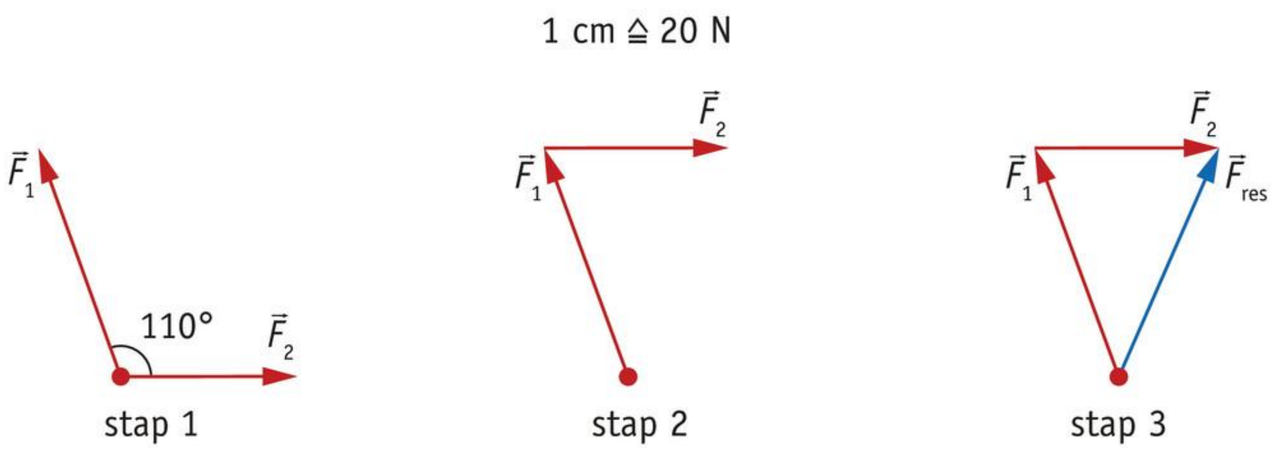
KOP-STAARTMETHODE

Stel dat je twee krachten hebt: $\vec{F}_1$ = 40 N en $\vec{F}_2$ = 28 N, die onderling een hoek maken van 110°. Je vindt de resulterende kracht met de kop-staartmethode (figuur 7).

Stap 1: Teken de krachten op schaal en onder de juiste hoek. De schaal in het voorbeeld is 1 cm ≙ 20 N. Dat betekent: 1 cm in de tekening komt overeen met een kracht van 20 N. In je tekening is de pijl voor $\vec{F}_1$ dan 2 cm lang en die voor $\vec{F}_2$ is 1,4 cm lang.

Stap 2: Leg de staart van een van de krachten ($\vec{F}_2$ in het voorbeeld) tegen de kop van de andere kracht ($\vec{F}_1$ in het voorbeeld). De richting van de krachten verander je niet.

Stap 3: De resulterende kracht is nu gelijk aan de pijl die begint bij de staart van de eerste kracht en eindigt bij de kop van de tweede kracht. Meet hoe lang deze pijl is en gebruik de schaal om de resulterende kracht te berekenen. Conclusie: $\vec{F}_{res}$ = 40 N.



figuur 7 De resulterende kracht bepaal je in deze drie stappen.

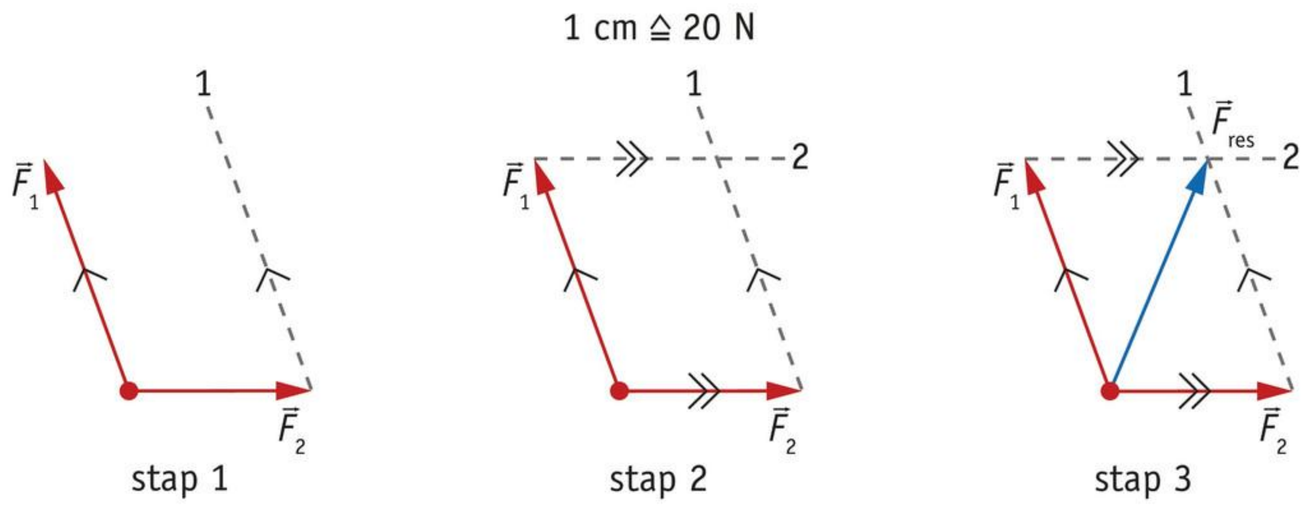
PARALLELLOGRAMMETHODE

In figuur 8 kun je zien dat je dezelfde resulterende kracht vindt wanneer je een parallellogram construeert.

Stap 1: Teken parallel (evenwijdig) aan $\vec{F}_1$ een lijn die begint bij het uiteinde van $\vec{F}_2$.

Stap 2: Teken parallel aan $\vec{F}_2$ een lijn die begint bij het uiteinde van $\vec{F}_1$.

Stap 3: De resulterende kracht is nu gelijk aan de diagonaal van het parallellogram, waarbij de kracht aangrijpt in hetzelfde aangrijpingspunt als de twee afzonderlijke krachten. Het aangrijpingspunt is het beginpunt van de krachtenpijlen. Het is aangegeven met de rode stip.



figuur 8 De parallellogrammethode geeft hetzelfde resultaat als de kop-staartmethode.

Voorbeeldopdracht 2

Sya (m = 25 kg) zit op een schommel. Op het uiterste punt maken de kabels een hoek van 30° met de verticaal. De kabels oefenen dan een kracht op haar uit van 210 N. Bepaal de grootte van de resulterende kracht op Sya in deze situatie.

Gegevens
m = 25 kg
g = 9,81 N kg^{-1}
$\vec{F}_{span}$ = 210 N
hoek = 30°

Formule
$F_z = m \cdot g$

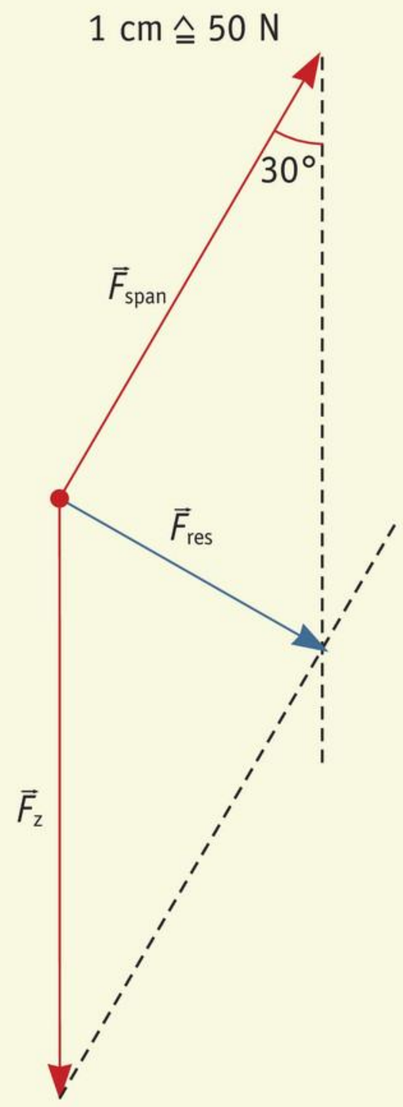
Uitwerking

Er zijn twee krachten: de zwaartekracht op Sya werkt recht naar beneden, de spankracht is gegeven en werkt schuin omhoog in de richting van de kabels. Bereken eerst de zwaartekracht:

$F_z = m \cdot g = 25 \times 9{,}81 = 245$ N

Een makkelijke schaal is 1 cm ≙ 100 N, maar dan wordt de tekening wat klein. Kies daarom 1 cm ≙ 50 N. De pijl voor de zwaartekracht wordt dan 4,9 cm lang, die van de spankracht 4,2 cm.

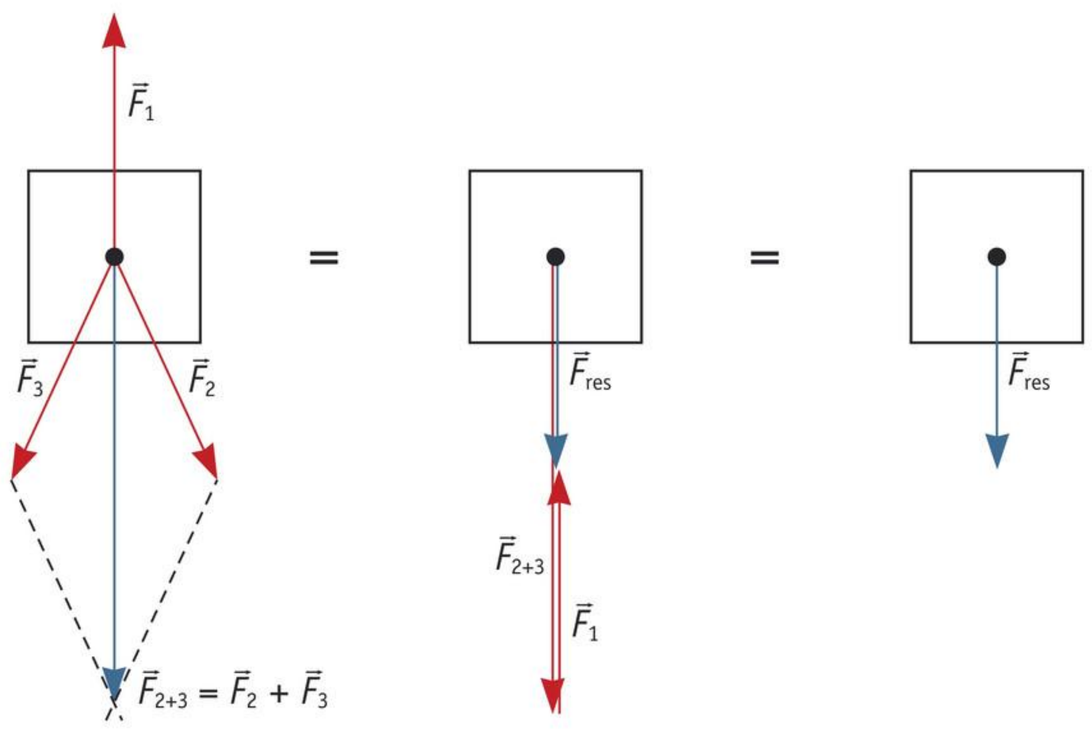
Volg de stappen voor de parallellogrammethode om de resulterende kracht te bepalen (figuur 9). De pijl van de resulterende kracht is 2,5 cm lang, dus de resulterende kracht op Sya is: 2,5 × 50 = 125 N. Afgerond op het juiste aantal significante cijfers is dat $1{,}3 \cdot 10^2$ N.



figuur 9 De resulterende kracht op Sya.

MEERDERE KRACHTEN

Wanneer er meer dan twee krachten werken, kun je nog steeds met de kop-staart- of de parallellogrammethode de resulterende kracht vinden. In figuur 10 zie je een voorbeeld. Je stelt eerst twee van de gegeven krachten samen tot één kracht. Vervolgens stel je deze kracht weer samen met een van de andere krachten. Dit herhaal je tot je alle krachten één keer hebt gehad. De volgorde waarin je dit doet maakt niet uit, maar soms is één bepaalde volgorde handiger dan de andere.



figuur 10 Drie krachten samenstellen.

In het algemeen kun je voor de resulterende kracht schrijven:

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots = \sum_i \vec{F}_i$$

Hierin is Σ de Griekse hoofdletter sigma. Die wordt vaak gebruikt als symbool voor ‘de som van’.

Onthoud

- Een scalaire grootheid heeft alleen een grootte, geen richting. Een voorbeeld van een scalaire grootheid is temperatuur.
- Een vectorgrootheid heeft een grootte en een richting. Kracht is een voorbeeld van een vectorgrootheid.
- De resulterende kracht op een voorwerp is gelijk aan het netto-effect van alle krachten op het voorwerp. Bij het optellen van krachten moet je rekening houden met de richting en de grootte van de krachten.
- Voor krachten die loodrecht op elkaar staan, kun je de resulterende kracht berekenen met de stelling van Pythagoras.
- De resulterende kracht kun je door een constructie bepalen met de parallellogram- of de kop-staartmethode.

OPDRACHTEN ▸ BASIS

11 Vectorgrootheden en scalaire grootheden

Geef aan welke van de volgende grootheden vectorgrootheden zijn.

A verplaatsing
B temperatuur
C kracht
D straal (van een cirkel)
E dichtheid

12 Resulterende kracht bepalen en berekenen

Twee krachten staan loodrecht op elkaar: $\vec{F}_1 = 30$ kN en $\vec{F}_2 = 10$ kN.

a Bereken de grootte van de resulterende kracht.
b Bepaal door constructie de grootte en richting van de resulterende kracht.
c Vergelijk je vorige twee antwoorden. Verklaar een eventuele afwijking.

13 Krachten in verschillende richtingen

Twee krachten zijn gegeven: $\vec{F}_1 = 20$ N en $\vec{F}_2 = 40$ N.
Beredeneer welke hoek de krachten bij benadering maken wanneer de resulterende kracht een grootte heeft van:

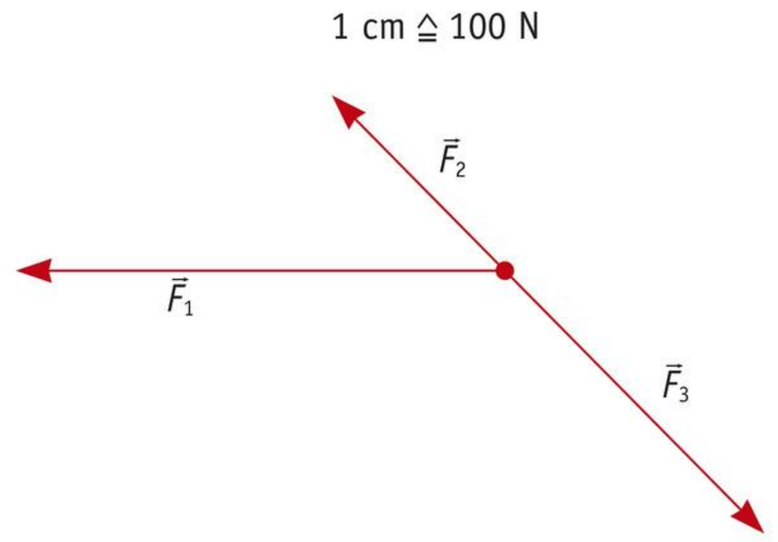
a 60 N
b 20 N
c 45 N

14 Aardbeving en hangbrug

Het wegdek van een hangbrug is opgehangen aan kabels. In de richting dwars op het wegdek lijkt de brug daardoor op een slinger. Tijdens een aardbeving slingert het wegdek een klein beetje opzij, zodat de kabels een hoek van 15,0° met de verticaal maken. Het wegdek heeft een massa van $18{,}0 \cdot 10^3$ kg. De spankracht in de kabels bedraagt samen $17{,}1 \cdot 10^4$ N.
Bepaal door constructie de grootte van de resulterende kracht en de hoek die de resulterende kracht met de kabels maakt.

15 Drie krachten samenstellen

In figuur 11 staan drie krachten op schaal getekend (1 cm ≙ 100 N).
Bepaal door constructie de grootte van de resulterende kracht.



figuur 11 Drie krachten op schaal.

16 Andere kracht berekenen

Twee krachten $\vec{F}_1$ en $\vec{F}_2$ staan loodrecht op elkaar. Kracht $\vec{F}_1$ heeft grootte 120 N. De resulterende kracht heeft grootte 130 N.
Bereken de grootte van $\vec{F}_2$.

17 Hoeken

Twee krachten hebben elk een grootte van 100 N.
Teken de krachten en bepaal door middel van constructie de grootte van de resulterende kracht als de hoek tussen de krachten gelijk is aan:

a 30°
b 60°
c 90°

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

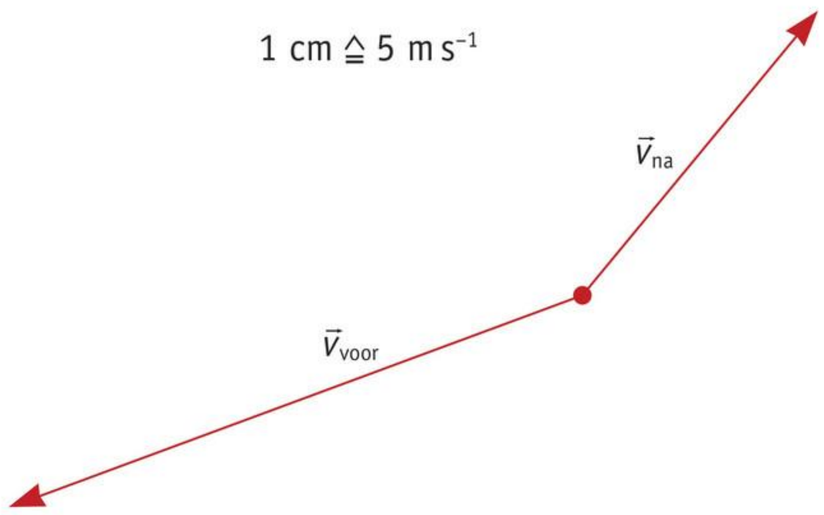
18 Tennisbal

Een tennisser slaat een tennisbal weg. Voor de slag had de tennisbal een snelheid van 25 m s^{-1}, na de slag 15 m s^{-1}. De richting is daarbij ook veranderd (figuur 12).

a Bepaal in figuur 12 de grootte en richting van de snelheidsverandering: de vector $\Delta\vec{v} = \vec{v}_{na} - \vec{v}_{voor}$

Met de grootte van de snelheidsverandering zou je kunnen uitrekenen hoe groot de kracht op de tennisbal is geweest.

b Leg uit welke twee gegevens daarvoor nog ontbreken.
c Noem de meetmethoden om de gegevens bij opdracht b te bepalen.



figuur 12 Een tennisbal verandert van richting.

19 Spin aan een draad

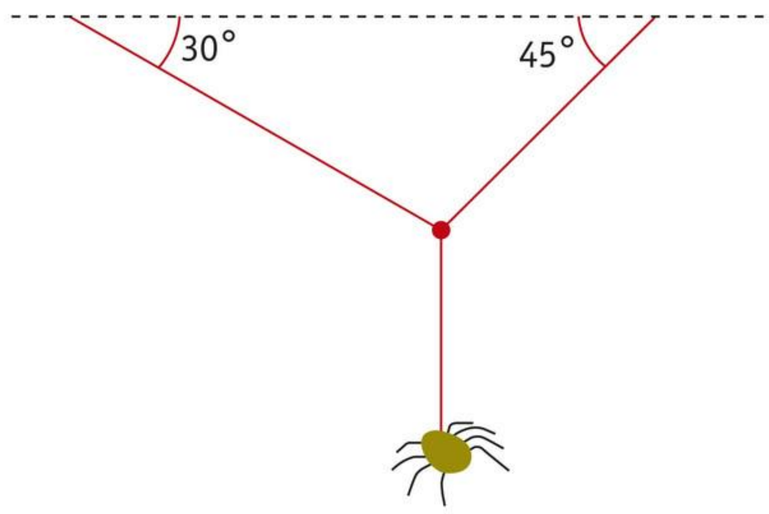
Een spin hangt stil aan een gesponnen draad (figuur 13). De spankracht in de linkerdraad is 2,8 mN en in de rechterdraad 3,4 mN.

a Bepaal met behulp van figuur 13 de resulterende kracht van de twee draden.

b Leg uit dat de zwaartekracht op de spin even groot moet zijn als de resulterende kracht die je bij opdracht a hebt bepaald.

c Bereken met behulp van je antwoord op opdracht a en b de massa van de spin.

d Laat met een berekening zien dat twee krachten van 2,8 mN en 3,4 mN die loodrecht op elkaar staan een grotere resultante kracht opleveren dan wat je met een constructie kreeg in de situatie waarin de hoek gelijk is aan 105°.



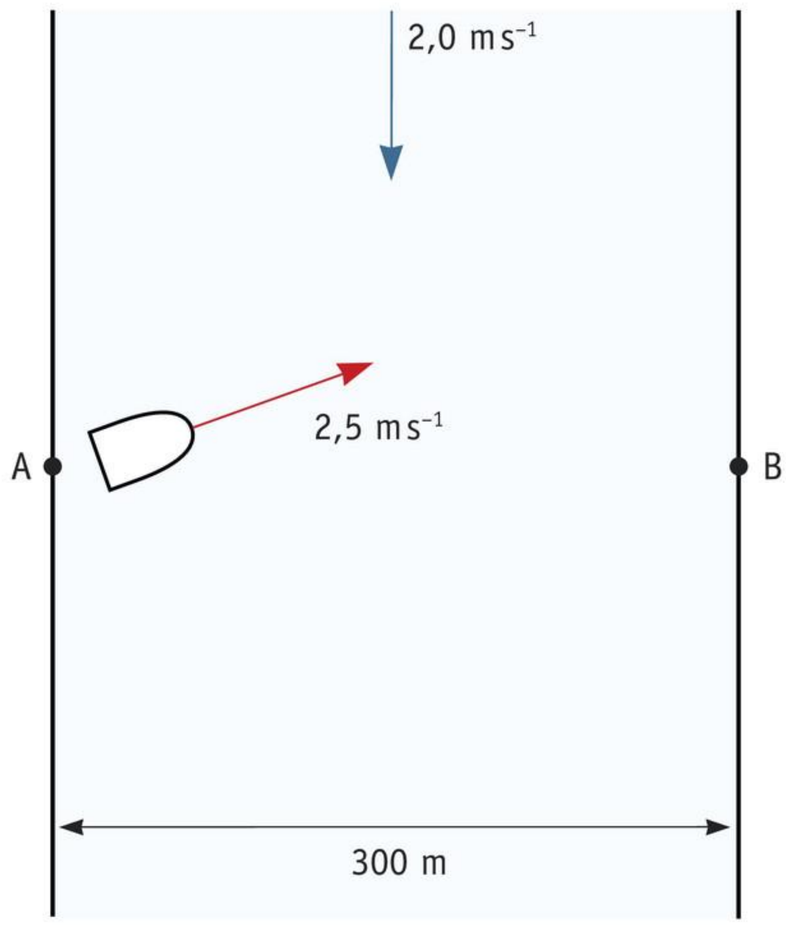
figuur 13 Een spin hangt aan een draad.

★ 20 Overtocht

In figuur 14 is schematisch een rivier met een breedte van 300 m getekend. De rivier stroomt in de aangegeven richting met een snelheid van 2,0 m s^{-1}. Pieter steekt de rivier over met een motorboot die ten opzichte van het water een snelheid van 2,5 m s^{-1} heeft. Pieter stuurt de boot zodanig dat hij in een rechte lijn van A naar B vaart. In hoeveel seconden steekt Pieter de rivier over?

A $1{,}2 \cdot 10^2$ s
B $1{,}5 \cdot 10^2$ s
C $2{,}0 \cdot 10^2$ s
D $6{,}0 \cdot 10^2$ s

bron: Nationale Natuurkunde Olympiade, eerste ronde 2016



figuur 14 De overtocht van Pieter.

3

KRACHTEN ONTBINDEN

Leerdoelen

2.3.1 Je kunt een gegeven kracht ontbinden in componenten door een constructie in een vectortekening.

2.3.2 Je kunt de grootte van de componenten van een gegeven kracht berekenen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	2.3.1	2.3.2
Onthouden		
Begrijpen	21	
Toepassen	22ac, 23, 24, 28a, 29ab	22b, 25, 26, 28b
Analyseren	27	29c, 30

Als je met een heliumballon aan een touwtje buiten in de wind loopt, dan trekt het touwtje de ballon zowel naar beneden als tegen de wind in. In de natuurkunde zeg je dan: de spankracht van het touwtje heeft een verticale component en een horizontale component.

COMPONENTEN VAN EEN KRACHT

De kabel in figuur 15 oefent een kracht uit op de waterskiër. De kabel trekt zowel naar boven als naar voren. De twee componenten van de kracht in de kabel hebben elk een ander effect. De horizontale component zorgt ervoor dat de waterskiër vooruitkomt. De verticale component tilt de waterskiër een beetje op uit het water, zodat hij niet zinkt én minder weerstand van het water ondervindt. Wanneer de kabel recht omhoog trekt, zou de waterskiër niet vooruitkomen, maar meer uit het water worden getild. Wanneer de kabel recht naar voren trekt, dan zakt de waterskiër misschien wel zo ver het water in dat hij niet meer vooruitkomt. De hoek die de kabel maakt met de horizontaal bepaalt hoe groot de twee componenten zijn. Om in dit soort situaties de beweging te voorspellen, is het nuttig de grootte van de afzonderlijke componenten te berekenen of bepalen. Dat doe je door de kracht te 'ontbinden'. Het **ontbinden van een kracht** in componenten is het omgekeerde van het samenstellen van krachten zoals je dat deed in de vorige paragraaf. Bij het ontbinden van een kracht in componenten bepaal je twee krachten die samen dezelfde werking hebben als de oorspronkelijke kracht. Het ontbinden van een kracht kan op twee manieren: door middel van een constructie of met een berekening.



figuur 15 De kracht van de kabel op de waterskiër ligt in het verlengde van de kabel.

PRACTICUM 3 Krachten ontbinden

COMPONENTEN DOOR CONSTRUCTIE BEPALEN

Door een kracht in de juiste richting op schaal te tekenen, kun je door een parallellogramconstructie de componenten bepalen (figuur 16). Dat doe je als volgt:

Stap 1: Teken de kracht op schaal en onder de juiste hoek.

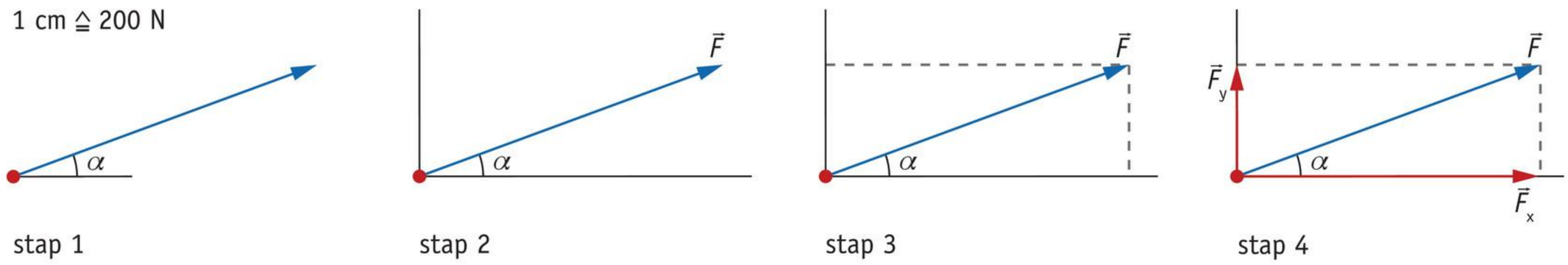
Stap 2: Teken vanuit het begin van de pijl lijnen in de twee richtingen waarin je de componenten wilt bepalen. In dit voorbeeld zijn dat de horizontale en de verticale richting.

Stap 3: Teken vanuit de pijlpunt een stippellijn parallel aan de ene lijn tot aan de andere lijn. Doe dit ook voor de andere richting.

Stap 4: Teken pijlen vanuit het begin van de kracht tot de snijpunten van de stippellijnen met de twee oorspronkelijke lijnen.

Stap 5: De pijlen geven de componenten aan. Met de schaal kun je de lengten omrekenen naar krachtcomponenten.

Merk op dat als je de resulterende kracht van de twee componenten bepaalt, je uiteindelijk dezelfde tekening krijgt. De lijnen en pijlen zou je alleen in omgekeerde volgorde tekenen.



figuur 16 Bepaling van de componenten in horizontale en verticale richting door middel van constructie.

Vaak kies je ervoor de kracht in twee loodrecht op elkaar staande richtingen te ontbinden. Dan zijn de componenten onafhankelijk: een kracht in de ene richting heeft alleen invloed in die richting. Alleen als twee krachten die niet loodrecht op elkaar staan aan een voorwerp trekken, is het nodig de kracht in die twee niet-loodrechte richtingen te ontbinden als je de grootte van elke kracht afzonderlijk wilt weten.

Voorbeeldopdracht 3

Twee sleepboten slepen een boorplatform. De kabel van de ene sleepboot maakt een hoek van −10° met de bewegingsrichting van het platform, die van de andere sleepboot een hoek van 20°. Samen oefenen de sleepboten een kracht uit van 55 kN.
Bepaal door een constructie de kracht van elk van de sleepboten afzonderlijk.

Uitwerking

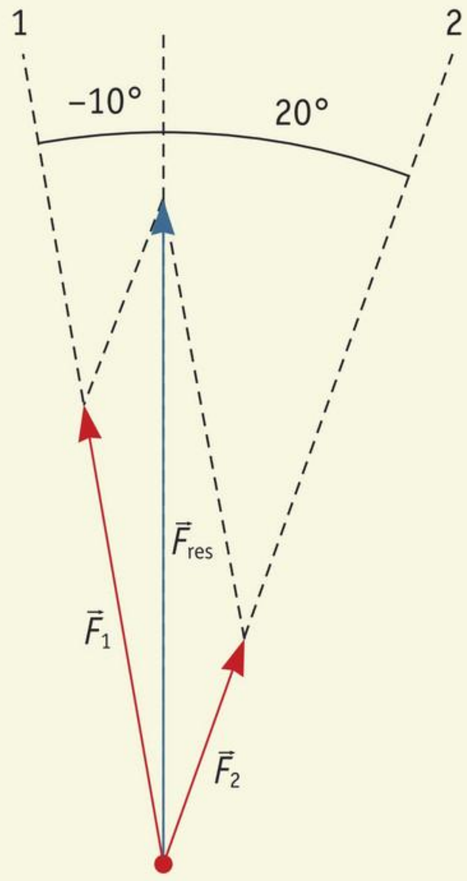
Stap 1: Een geschikte schaal is 1 ≙ 10 kN. De resulterende kracht van 55 kN wordt dan een vector van 5,5 cm lang (figuur 17).

Stap 2: Teken vanuit het begin van de pijl de twee richtingen waarin de sleepboten trekken, −10° en 20°. Merk op dat deze twee richtingen nu niet onderling loodrecht zijn.

Stap 3: Teken vanuit de pijlpunt van de resulterende kracht stippellijnen parallel aan de twee richtingen, 20° en −10°, die je in stap 2 hebt getekend.

Stap 4: Teken de pijlpunten bij de snijpunten tussen de stippellijnen en de twee richtingen.

Stap 5: Meet de twee componenten op en reken dit om naar de gevraagde krachten. De linker vector (−10°) in figuur 17 is 3,8 cm lang, overeenkomend met een kracht van 38 kN. De rechter vector (20°) is 1,9 cm lang, overeenkomend met een kracht van 19 kN.



figuur 17 Resulterende kracht ontbonden.

COMPONENTEN BEREKENEN

Als de twee richtingen waarin je een kracht ontbindt loodrecht op elkaar staan, kun je de componenten ook berekenen.
In figuur 16 zie je bij stap 4 een rechthoekige driehoek. Linksonder is de hoek 20°. Rechtsonder is de rechte hoek. De gegeven kracht F is de schuine zijde. De horizontale component F_x is de aanliggende rechthoekszijde, de verticale component F_y de overstaande rechthoekszijde. Met je wiskundige voorkennis kun je dan berekenen:

$F_x = F \cdot \cos \alpha$

en

$F_y = F \cdot \sin \alpha$

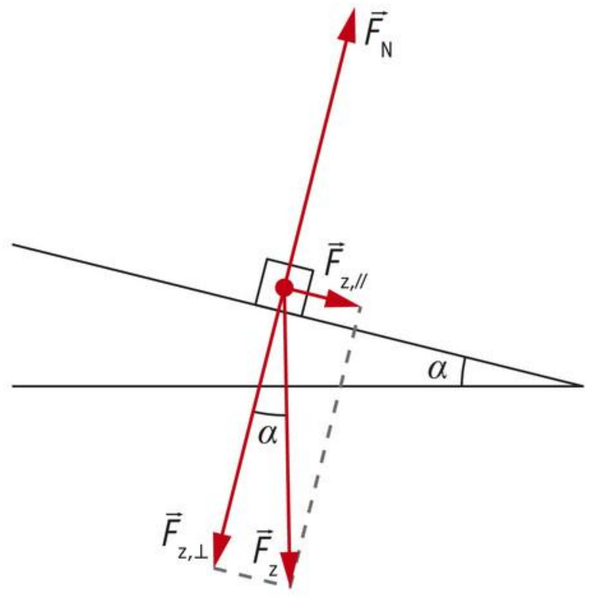
Als je krachtcomponenten op deze manier berekent, is het handig de uitkomst te controleren met een tekening. Zo kun je in figuur 16 zien dat F_y een stuk kleiner moet zijn dan F en F_x iets kleiner.

VAARDIGHEDEN

V3.4 Sinus, cosinus, tangens

MASSA OP EEN HELLING

Een situatie die in verschillende gedaanten regelmatig terugkomt is een massa op een helling, bijvoorbeeld een slee die op een besneeuwde helling staat (figuur 18) of een fietser op een brug. Het is duidelijk dat de zwaartekracht recht naar beneden wijst. Om te bepalen welke beweging de slee of fiets gaat uitvoeren, kun je de zwaartekracht in twee componenten ontbinden: loodrecht op en parallel aan de helling.
De component loodrecht op de helling, $F_{z,\perp}$, duwt de slee de sneeuw in. Alleen de component evenwijdig aan de helling, $F_{z,\parallel}$, zorgt ervoor dat de slee in die richting naar beneden zal glijden. In de constructie van figuur 18 zie je dat F_z de schuine zijde van een rechthoekige driehoek is. Je kunt de componenten daarom als volgt berekenen: $F_{z,\perp} = F_z \cdot \cos \alpha$ en $F_{z,\parallel} = F_z \cdot \sin \alpha$
De loodrechte component $F_{z,\perp}$ wordt gecompenseerd door de normaalkracht die de helling uitoefent op de slee. Als er geen wrijving is, dan is de parallelle component gelijk aan de resulterende kracht. Met de tweede wet van Newton kun je vervolgens de versnelling van de slee berekenen.



figuur 18 Een massa op een helling.

PRACTICUM 4 Massa op een helling

Onthoud

- Je kunt een kracht ontbinden in twee richtingen.
- In een vectortekening doe je dat met een parallellogramconstructie.
- Als de richtingen waarin je de kracht ontbindt loodrecht op elkaar staan, kun je de componenten berekenen met behulp van de sinus of de cosinus van de hoek tussen de kracht en een van de richtingen waarin je de component wilt weten.

OPDRACHTEN ▸ Basis

21 Welke richting?

Een fietser rijdt van een helling af.
In welke richting werken de volgende krachten?
Kies steeds uit: *recht naar beneden / recht omhoog / langs de helling omlaag / langs de helling omhoog / loodrecht op de helling naar beneden / loodrecht op de helling omhoog*.

a zwaartekracht
b normaalkracht
c remkracht
d luchtweerstandskracht

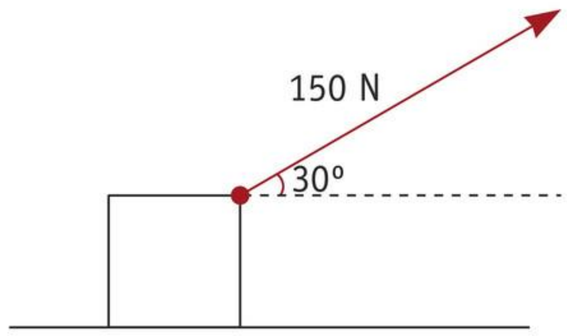
22 Slee

Iemand trekt aan een touw een slee voort met een kracht van 150 N. De situatie is in figuur 19 schematisch weergegeven.

a Bepaal door middel van constructie de horizontale component van de kracht.

b Bereken de grootte van de horizontale component van de kracht.

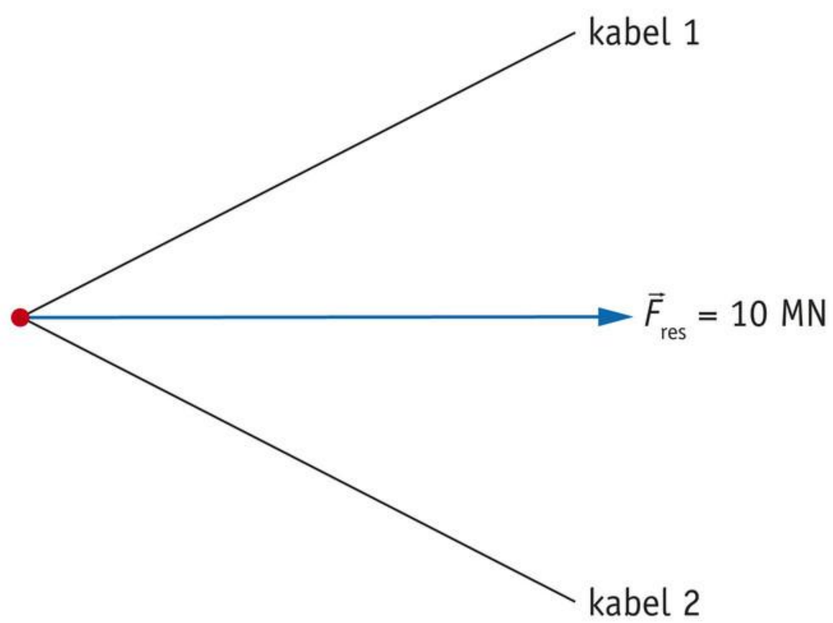
c Vergelijk je antwoorden op opdracht a en b. Is het verschil acceptabel?



figuur 19 Een slee wordt voortgetrokken aan een touw.

23 Sleepboten

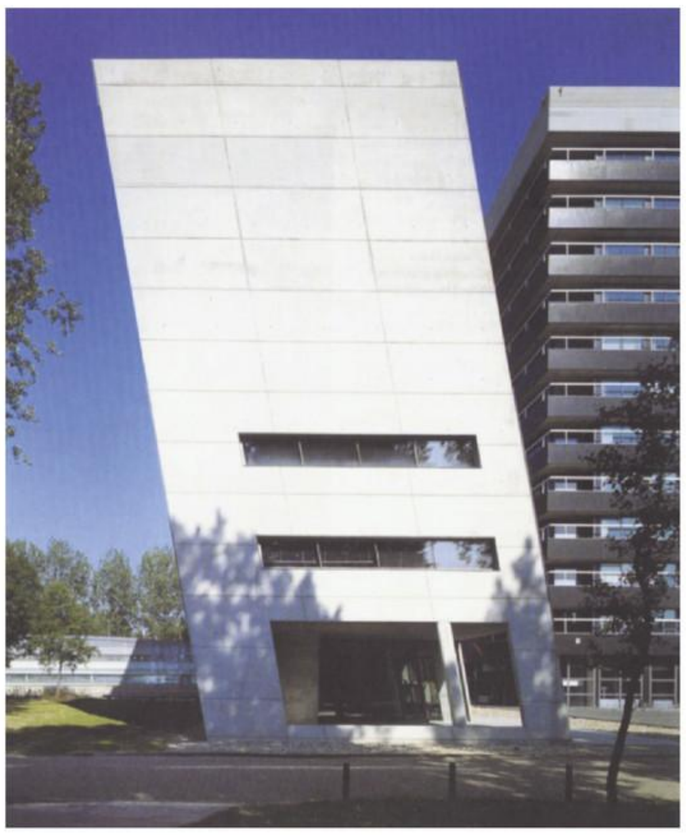
Je ziet in figuur 20 de richtingen van de kabels waarmee twee sleepboten een tanker voorttrekken. De resulterende kracht F_{res} is getekend.
Bepaal door middel van een constructie de grootte van de kracht in elke kabel.



figuur 20 Een tanker wordt voortgetrokken aan twee kabels.

24 Gevelplaat

Het Oortgebouw in Leiden staat scheef (figuur 21). Aan beide schuine zijden zijn gevelplaten gemonteerd. Stel dat op een plaat een zwaartekracht van 2,0 kN werkt.
Bepaal door middel van een constructie de kracht langs de helling en loodrecht daarop. Doe dit voor de kant waar de gevel voorover helt.



figuur 21 Het Oortgebouw in Leiden.

25 Steeds schuiner

Je houdt een tafel steeds schuiner. Er ligt een etui op. Maak eventueel schetsen van de volgende situaties.

a Welke component van de zwaartekracht op de etui is evenredig met de sinus van de hellingshoek?

b Welke component van de zwaartekracht op de etui is evenredig met de cosinus van de hellingshoek?

c Welke component van de zwaartekracht op de etui wordt steeds groter?

d Welke component van de zwaartekracht op de etui wordt steeds kleiner?

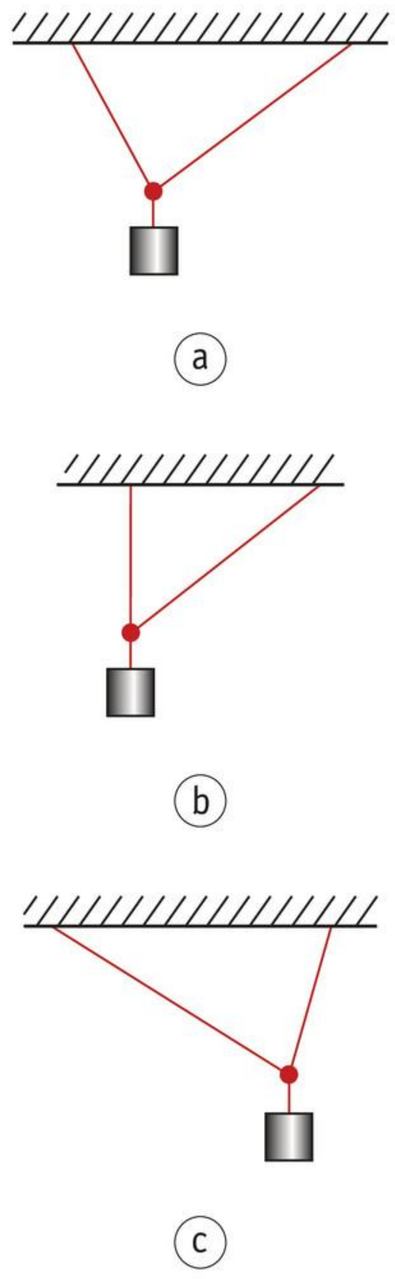
e Bij welke hellingshoek is de component van de zwaartekracht langs het tafelblad precies half zo groot als de zwaartekracht?

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

26 Gewichtje

In figuur 22 zie je steeds een gewichtje dat aan twee kabels hangt. De massa is in de drie situaties gelijk.
Beredeneer in welke situatie de kracht in de linkerkabel het grootst is.

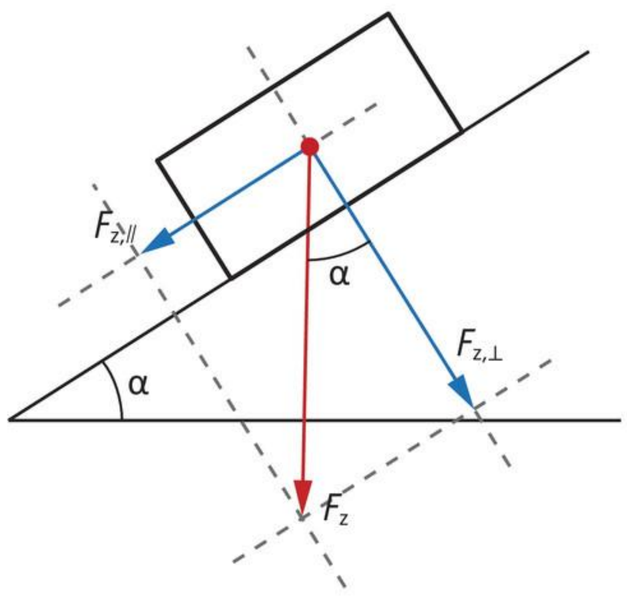


figuur 22 Een gewichtje op verschillende manieren opgehangen.

27 Gelijke hoeken

In figuur 23 staat twee keer een hoek α: eenmaal als hellingshoek, eenmaal als hoek tussen $\vec{F}_{z,\perp}$ en $\vec{F}_{z}$.

Toon aan dat deze twee hoeken inderdaad gelijk aan elkaar zijn.



figuur 23 Twee keer een hoek α.

28 Krat op een helling

Een krat met een massa van 40 kg staat op een helling. De helling maakt een hoek van 12° met de horizontaal.

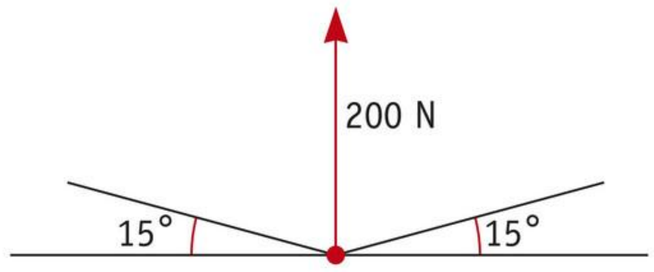
a Maak een schets van de situatie. Teken hierin de zwaartekracht en ontbind deze in een component parallel aan en loodrecht op de helling.

b Gebruik je schets om de twee componenten te berekenen.

29 Voorwerp aan een kabel

Een zwaar voorwerp hangt aan twee touwen. In figuur 24 zie je welke kracht de twee touwen samen leveren.

a Neem figuur 24 over. Bepaal door middel van een constructie de beide spankrachten.



figuur 24 De resulterende kracht is bekend, de beide spankrachten niet.

De hoek tussen de touwen wordt vergroot naar 160°.

b Bepaal opnieuw de beide spankrachten. Vergelijk je antwoord met dat op opdracht a.

c Beredeneer of het mogelijk is dat de hoek tussen de touwen 180° wordt.

★ 30 Componenten berekenen

De spankrachten in de touwen in figuur 24 kun je ook berekenen. Ontbind eerst de kracht in het rechtertouw in een verticale en horizontale component. Doe hetzelfde met de kracht in het linkertouw.

a Wat weet je over de grootte van de twee verticale componenten samen? Gebruik dit om de krachten in de touwen te berekenen.

b Hoe zou je de krachten in de touwen kunnen berekenen wanneer de twee hoeken ongelijk zijn? De hoeken zijn dus wel gegeven, maar niet even groot.

4 KRACHTEN IN EVENWICHT

Leerdoelen

2.4.1 Je kunt beredeneren welke krachten in evenwicht zijn als de snelheid van een voorwerp constant is.

2.4.2 Je kunt uitleggen wat de normaalkracht, rolweerstandskracht en schuifwrijvingskracht zijn en hoe je deze krachten in verschillende situaties kunt bepalen of berekenen.

2.4.3 Je kunt uitleggen welke eigenschappen een veer heeft die aan de wet van Hooke voldoet.

2.4.4 Je kunt berekeningen maken met de formule voor de luchtweerstandskracht op de frontale oppervlakte van een bewegend voorwerp.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	2.4.1	2.4.2	2.4.3	2.4.4
Onthouden				
Begrijpen	31			
Toepassen	33, 34ab, 36b, 39	32ab, 34c, 36a, 37a, 38	32ce, 35b, 37c, 41bc	32d, 34d, 35a, 37b, 40c, 42
Analyseren	40a, 43		41a	40b

Volgens de tweede wet van Newton versnelt een voorwerp als er een resulterende kracht op werkt die ongelijk is aan nul. Maar als je op de fiets zit, moet je trappen om een constante snelheid te houden. De tweede wet van Newton kan ook deze situatie verklaren. In deze paragraaf worden verschillende krachten besproken die voor evenwicht kunnen zorgen.

CONSTANTE SNELHEID, GEEN NETTOKRACHT

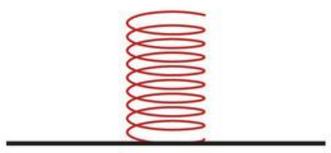
Uit de tweede wet van Newton volgt dat een voorwerp waarop geen resulterende kracht F_{res} werkt, niet versnelt: $F_{res} = m \cdot a \rightarrow 0 = m \cdot a$ dus $a = 0$. Een voorwerp dat niet versnelt, staat stil of beweegt met constante snelheid in een rechte lijn.

Dit geldt ook andersom: als een voorwerp in rust is of met constante snelheid beweegt, is de resulterende kracht op het voorwerp nul.

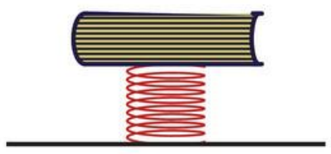
In de eerste paragraaf heb je geleerd dat je het kunt zien als er wel een resulterende kracht op een voorwerp werkt: de beweging wijkt dan af van een rechte lijn of de snelheid is niet constant. Door te kijken naar het soort beweging dat een voorwerp uitvoert (eenparig, versneld of vertraagd), kun je iets te weten komen over de krachten die erop werken.

NORMAALKRACHT

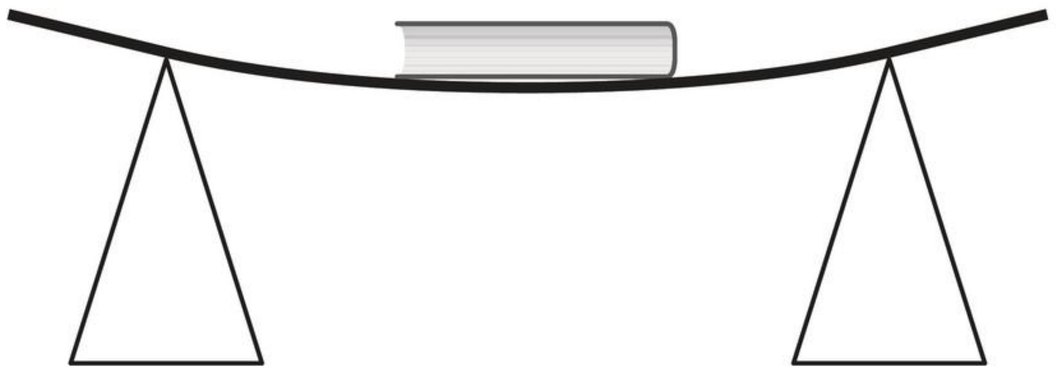
Volgens de wetten van Newton is de resulterende kracht op een boek dat stilligt op tafel gelijk aan nul. Omdat in ieder geval de zwaartekracht op het boek werkt, moet er nog een andere kracht zijn die het boek op zijn plek houdt. Die kracht moet worden uitgeoefend door de tafel, want als de tafel er niet is, valt het boek naar beneden.
Stel je voor dat je een boek op de veer in figuur 25a legt. De veer wordt net zo ver ingedrukt dat de kracht van de veer op het boek in evenwicht is met de zwaartekracht op het boek (figuur 25b). In deze situatie is het dus de veerkracht die het boek op zijn plek houdt.
Ook wanneer je het boek op een tafel legt, zal de tafel een klein beetje vervormen en zo de zwaartekracht tegenwerken. Bij de meeste tafels is die vervorming niet te zien. Wel als het tafelblad een dunne plank is zoals in figuur 25c. Je kunt dus zeggen dat de tafel terugduwt. Deze kracht noem je de **normaalkracht F_N**.
Normaal is een ander woord voor een lijn die loodrecht op een vlak staat. De normaalkracht is namelijk een kracht die altijd loodrecht op het oppervlak staat waarop een voorwerp ligt.



figuur 25a Een veer ligt ontspannen op een tafel.



figuur 25b De zwaartekracht en de veerkracht op het boek zijn in evenwicht.



figuur 25c Een zwaar boek laat een dunne plank doorbuigen.

Voorbeeldopdracht 4

Een massa van 2,0 kg wordt op een helling met een hellingshoek van 15° door een touw op zijn plek gehouden. Het touw loopt parallel aan de helling. De helling is glad: er is geen wrijving.

a Bereken de grootte van de normaalkracht op de massa.

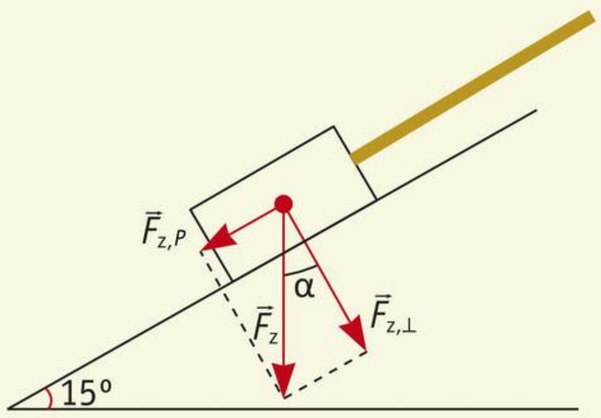
b Bereken hoe groot de spankracht in het touw moet zijn om de massa op zijn plaats te houden.

Uitwerking

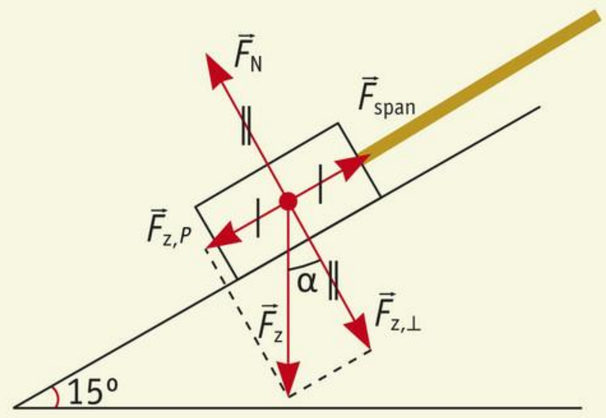
Maak een schematische tekening van de situatie. Teken de zwaartekracht op de massa en ontbind deze in een component parallel aan en loodrecht op de helling (figuur 26a). Uit de eerste wet van Newton volgt dat de component loodrecht op de helling in evenwicht moet zijn met de normaalkracht van de helling op de massa, dus: $F_N = F_{z,\perp}$. Net zo moet de component parallel aan de helling in evenwicht zijn met de spankracht in het touw, dus: $F_{span} = F_{z,\parallel}$ (figuur 26b).

a $F_N = F_{z,\perp} = F_z \cdot \cos\alpha = m \cdot g \cdot \cos\alpha = 2{,}0 \times 9{,}81 \cdot \cos 15° = 19$ N

b $F_{span} = F_{z,\parallel} = F_z \cdot \sin\alpha = m \cdot g \cdot \sin\alpha = 2{,}0 \times 9{,}81 \cdot \sin 15° = 5{,}1$ N



figuur 26a Een massa ligt stil op een helling: de zwaartekracht is ontbonden in $F_{z,\perp}$ en $F_{z,\perp}$.



figuur 26b De krachten F_N en $F_{z,\perp}$ houden elkaar in evenwicht, evenals de krachten $F_{z,\parallel}$ en F_{span}.

WET VAN HOOKE

De normaalkracht komt dus tot stand doordat de ondergrond vervormt. Dat geldt in het algemeen voor voorwerpen die je vervormt, zoals een veer. Bij een veer noem je de kracht 'veerkracht'. Als de vervorming niet te groot is, dan wordt de veerkracht gegeven door de **wet van Hooke**, vernoemd naar Robert Hooke, tijdgenoot van Isaac Newton.

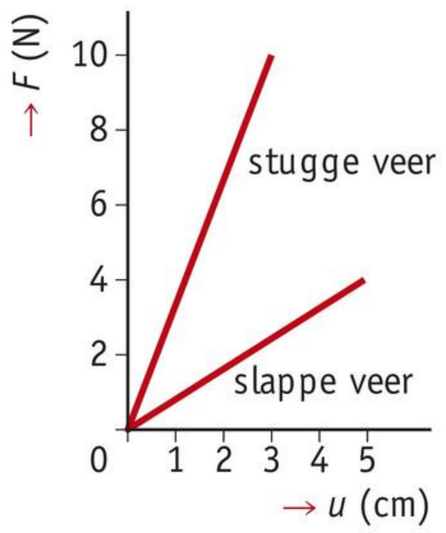
Formule

De formule voor de wet van Hooke is:

$$F_v = C \cdot u$$

Hierin is:
- F_v de op de veer uitgeoefende kracht in newton (N);
- C de veerconstante in newton per meter (N m^{-1});
- u de uitrekking of indrukking in meter (m).

De wet van Hooke is een recht evenredig verband: in een diagram waarin de benodigde kracht staat uitgezet tegen de uitrekking, is de grafiek een rechte lijn door de oorsprong. De veerconstante C geeft de stugheid van een veer aan: hoe groter de veerconstante, hoe stugger de veer, hoe steiler de grafiek (figuur 27). Als je voor een bepaalde veer het verband tussen F_v en u kent, dan kun je de veer gebruiken als **veerunster** om krachten mee te meten.



figuur 27 De stugge veer heeft een grotere veerconstante dan de slappe veer.

Voorbeeldopdracht 5

Bereken de veerconstante van een traptrede die 2 mm doorzakt als iemand met een massa m = 60 kg erop staat. Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Gegevens

$m = 60$ kg
$g = 9{,}81$ m s^{-2}
$u = 2$ mm $= 2 \cdot 10^{-3}$ m

Formules

$F_z = m \cdot g$
$F_v = C \cdot u \rightarrow C = \frac{F_v}{u}$

Uitwerking

Als er evenwicht is, is de resulterende kracht op de persoon nul en weet je dat de veerkracht even groot is als de zwaartekracht.

$F_z = m \cdot g = 60 \times 9{,}81 = 588{,}6$ N

$C = \frac{F_v}{u} = \frac{588{,}6}{2 \cdot 10^{-3}} = 3 \cdot 10^5$ N m^{-1}

Het antwoord is in één significant cijfer, omdat u in één cijfer is gegeven.

ROLWEERSTANDSKRACHT EN SCHUIFWRIJVINGSKRACHT

Rollende wielen, zoals van fietsen of auto's, hebben altijd last van rolweerstand. Dat is de tegenwerking die een voorwerp ondervindt door de vervorming van banden en ondergrond (figuur 28). Rolweerstand ontstaat dus niet doordat een band over de weg schuift. Het deel van de band dat contact maakt met de grond beweegt namelijk niet ten opzichte van de grond. De **rolweerstandskracht** hangt niet af van de snelheid van een voertuig. Als een voertuig zwaarder is beladen, of de banden zijn niet voldoende op spanning, dan is de rolweerstandskracht groter.



figuur 28 Vervorming van een fietsband.

Als je met je fiets heel hard remt, dan slippen je banden: ze schuiven over de straat. Als het ijzelt, zul je eerder slippen: je banden hebben weinig grip. De weerstand in deze situaties wordt **schuifwrijvingskracht $F_{w,s}$** genoemd. Schuifweerstand ontstaat doordat voorwerpen niet perfect glad zijn. Als je het oppervlak van een voorwerp sterk uitvergroot, zie je allemaal oneffenheden (figuur 29). Die oneffenheden grijpen in elkaar. Als je een horizontale kracht uitoefent, dan duw je eigenlijk tegen al die oneffenheden aan. Je moet het voorwerp als het ware een stukje optillen, of de oneffenheden vervormen om het voorwerp in beweging te krijgen.



figuur 29 Microscopische opname van een velletje papier.

De schuifwrijvingskracht hangt af van de ondergrond, de structuur van het voorwerp en de massa van het voorwerp. Ondanks al die details blijkt dat er een vrij eenvoudig experimenteel verband voor is.

Formule

De formule voor de schuifwrijvingskracht is:

$$F_{w,s,max} = f \cdot F_N$$

Hierin is:
- $F_{w,s,max}$ de maximale schuifwrijvingskracht in newton (N);
- f de schuifwrijvingscoëfficiënt: een constante (zonder eenheid) die afhangt van de eigenschappen van de ondergrond en het voorwerp;
- F_N de normaalkracht op het voorwerp in newton (N).

De constante f moet experimenteel worden vastgesteld.

LUCHTWEERSTANDSKRACHT

Wanneer een voorwerp ten opzichte van een gas of vloeistof beweegt, dan ondervindt het een weerstandskracht. Beweegt het voorwerp door de lucht, dan noem je deze kracht **luchtweerstandskracht $F_{w,l}$** (figuur 30). Deze kracht komt tot stand door de manier waarop de lucht om het voorwerp stroomt. Hoe dat precies werkt is ingewikkeld, maar de luchtweerstandskracht wordt beschreven met het volgende verband:

Formule

De formule voor de luchtweerstandskracht is:

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

Hierin is:
- $F_{w,l}$ de luchtweerstandskracht in newton (N);
- C_w de luchtweerstandscoëfficiënt (geen eenheid);
- ρ de dichtheid van de lucht in kilogram per kubieke meter (kg m^{-3});
- A de frontale oppervlakte in vierkante meter (m^2); dit is het oppervlak dat je van voren ziet;
- v de snelheid van het voorwerp ten opzichte van de lucht in meter per seconde (m s^{-1}).

De frontale oppervlakte A is gelijk aan de oppervlakte van aanzicht van een voorwerp in de richting waar de lucht vandaan komt (figuur 31). De constante C_w heeft te maken met de stroomlijn van het voorwerp en wordt experimenteel vastgesteld. Voor enkele veelvoorkomende vormen is de waarde van C_w in *BiNaS* tabel 28A vermeld. De dichtheid van de lucht ρ (bij 273 K) staat in *BiNaS* tabel 12: 1,293 kg m^{-3}



figuur 30 Fietsers ervaren de luchtweerstandskracht.



figuur 31 De frontale oppervlakte van de eerste fietser uit figuur 30.

PRACTICUM 5 Parachuutjes

Onthoud

- Als een voorwerp stilstaat of beweegt met constante snelheid in een rechte lijn, dan zijn de krachten in evenwicht.
- De ondergrond waarop een voorwerp staat, oefent op het voorwerp een normaalkracht uit die loodrecht op het oppervlak staat.
- De wet van Hooke luidt: $F_v = C \cdot u$. De veerconstante C geeft aan hoe stug een veer is: hoe groter de veerconstante, hoe stugger de veer.
- De rolweerstandskracht is de weerstand die een voorwerp ondervindt door de vervorming van banden en ondergrond. Deze hangt niet af van de snelheid van het voorwerp.
- De schuifwrijvingskracht is de weerstand die een voorwerp ondervindt door contact met een oppervlak waarover het voorwerp beweegt. Deze hangt niet af van de snelheid van het voorwerp. Er geldt: $F_{w,s,max} = f \cdot F_N$
- De luchtweerstandskracht op de frontale oppervlakte van een bewegend voorwerp wordt gegeven door: $F_{w,l} = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$

OPDRACHTEN ▸ Basis

31 Evenwicht

Noteer steeds twee of drie krachten die elkaar opheffen.

a Een regendruppel valt met constante snelheid recht naar beneden.

b Een luchtballon stijgt verticaal op met constante snelheid.

c Een gevelplaat zit goed vastgelijmd aan een verticale gevel.

d Een etui ligt op een tafel, je houdt de tafel scheef.

e Een rolstoel wordt met constante snelheid vooruit geduwd.

32 Ordenen

a Zet op volgorde van kleinste naar grootste kracht.

A De rolweerstandskracht op een wiel van een fatbike, een skateboard, een trein en een fiets.

B De normaalkracht op een boek van 0,50 kg dat op een horizontale tafel ligt, hetzelfde boek op een tafel die je een beetje scheef houdt, en op een boek van 1,0 kg op de tafel die een beetje scheef staat.

C De veerkracht van een veer met veerconstante 30 N cm^{-1} die je 2,0 cm uitrekt, dezelfde veer die je 1,5 cm uitrekt en een veer met veerconstante 40 N cm^{-1} die je 0,80 cm uitrekt.

D De luchtweerstandskracht op een auto die 50 km h^{-1} rijdt, een auto die een 1,3× zo grote frontale oppervlakte heeft en die ook 50 km h^{-1} rijdt, en de eerste auto die 60 km h^{-1} rijdt.

b Zet op volgorde van kleinste naar grootste veerconstante:

- biljartbal
- goed opgepompte voetbal
- zachte voetbal

33 Schuifwrijvingskracht

Beredeneer voor de volgende situaties hoe groot de schuifwrijvingskracht is voor een boek dat op een tafel ligt.

a Het boek ligt onaangeroerd op tafel.

b Je duwt in horizontale richting tegen het boek met een kracht van 3 N. Het boek blijft liggen.

c Je duwt in horizontale richting tegen het boek met een kracht van 8 N. Het boek komt net niet in beweging.

d Je duwt in horizontale richting tegen het boek, zodat het met constante snelheid over de tafel schuift.

34 Constante snelheid

Bij een verhuizing zet je een kast met een massa van 60 kg op een kleed en schuift hem met constante snelheid van 0,50 m s^{-1} over de vloer. Jouw duwkracht is 300 N.

a Uit welk gegeven kun je afleiden hoe groot de schuifwrijvingskracht is?

b Welke gegevens uit de vraag heb je niet nodig als je de grootte van de schuifwrijvingskracht wilt vaststellen?

c Bereken de waarde van f in de formule voor de schuifwrijvingskracht voor deze situatie.

d Beredeneer dat de grootte van de luchtweerstandskracht in deze situatie heel klein is.

35 Constanten berekenen

Een auto met een massa van $1{,}6 \cdot 10^3$ kg en een frontale oppervlakte van 3,2 m^2 blijkt een motorkracht van 2,0 kN nodig te hebben om met een constante snelheid van 108 km h^{-1} op een horizontale weg te rijden.

a Bereken de luchtweerstandscoëfficiënt C_w. Verwaarloos alle krachten behalve de luchtweerstandskracht. Gebruik voor de dichtheid van de lucht 1,3 kg m^{-3}.

Als vier mensen met een totale massa van 300 kg in de auto gaan zitten, zakt de carrosserie 4,0 cm naar beneden.

b Bereken de veerconstante van de vering van de auto.

36 Scheepshelling

Grote schepen worden gebouwd op een scheepshelling. Als een schip af is, glijdt het het water in.
Een schip van 2800 ton ligt op een helling met een hellingshoek van 7,0°.

a Bereken de grootte van de normaalkracht van de helling op het schip.

b Bereken hoe groot de kracht langs de helling moet zijn om het schip op zijn plaats te houden.

37 Schaatser

Een schaatser op een recht stuk ondervindt twee tegenwerkende krachten.

a Beredeneer dat de schuifwrijvingskracht klein is. Gebruik in je antwoord het begrip 'schuifwrijvingscoëfficiënt'.

b Maak een schatting van de grootte van de luchtweerstandskracht op een topschaatser op topsnelheid. Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Op een slootje is het ijs dun. Het buigt door als er iemand op schaatst. Hoe zwaarder de persoon, hoe meer het doorbuigt.

c Leg uit hoe je de veerconstante van de ijsvloer zou kunnen bepalen.

38 Boek op een tafel

Je legt een boek op tafel. Langzaam kantel je de tafel door één kant van de tafel op te tillen. Het boek blijft liggen.
Leg uit wat er gebeurt met:

a de normaalkracht op het boek

b de schuifwrijvingskracht op het boek

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

39 Slee

Een kind op een slee glijdt met constante snelheid van een helling. Samen hebben ze een massa van 30 kg. De slee ondervindt een wrijvingskracht van 91 N.
Bereken de hoek van de helling waarop de slee glijdt.

P 40 Vallende bal

Een bal wordt uit een heteluchtballon gegooid vanaf zeer grote hoogte, waar de dichtheid van de lucht laag is. De bal ondervindt luchtwrijving.

a Teken voor de drie volgende situaties schematisch de krachten die op de bal werken, waarbij je rekening houdt met de relatieve grootte van de krachten: de bal is net losgelaten, de bal valt korte tijd, de bal bereikt zijn topsnelheid.

b Beredeneer wat er vervolgens met de snelheid van de bal gebeurt wanneer hij lager komt.

De bal heeft een massa van 230 g en een diameter van 25 cm. Als de bal zijn topsnelheid bereikt, is de dichtheid van de lucht 1,2 kg m^{-3}.

c Bereken de topsnelheid van de bal. Zoek daartoe in *BiNaS* de luchtweerstandscoëfficiënt voor een bol op.

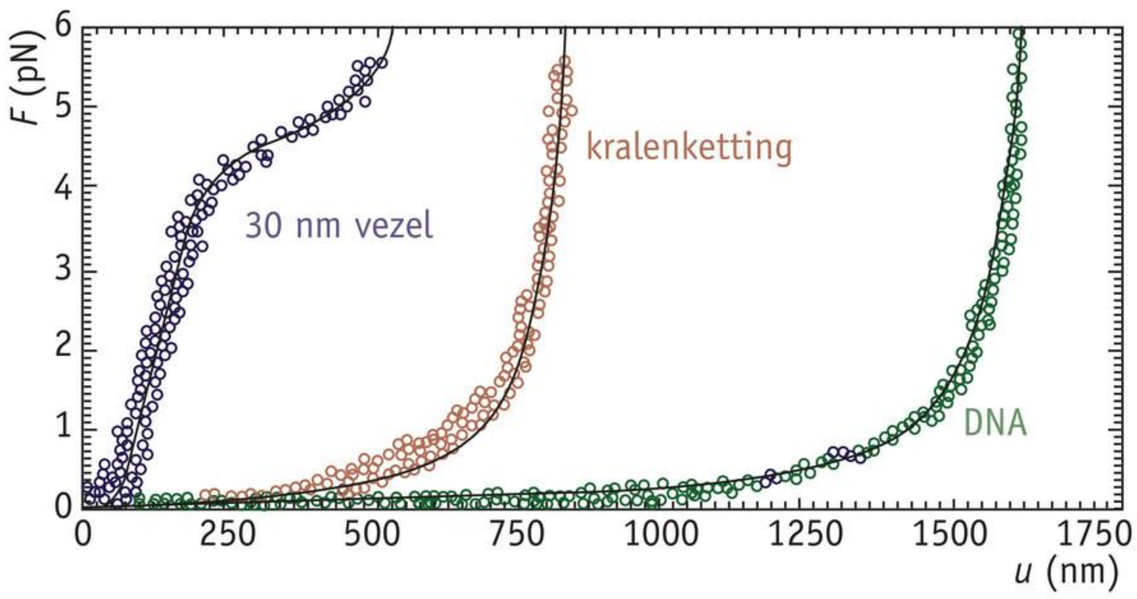
41 DNA-molecuul

Met slimme experimentele technieken is het mogelijk van een enkel DNA-molecuul te bepalen hoe groot de uitrekking is bij een bepaalde kracht (figuur 32). Bij kleine uitrekking gedraagt het DNA-molecuul zich volgens de wet van Hooke, bij grotere uitrekkingen niet meer.

a Leg uit hoe je dat in de figuur kunt zien.

b Leg uit of het molecuul bij grotere uitrekkingen stugger of juist minder stug wordt.

c Bepaal met behulp van figuur 32 de veerconstante van een DNA-molecuul voor kleine uitrekkingen.



figuur 32 Uitrekking van verschillende ‘kettingen’.

P 42 Ballon recht omhoog

Een vrijwel bolvormige heteluchtballon met straal 7,0 m staat op het punt te vertrekken. De opwaartse kracht en de zwaartekracht op de ballon met mand en lading heffen elkaar precies op. De ballonpiloot wil dat de ballon opstijgt met een snelheid van 0,50 m s^{-1}. Er wordt ballast afgeworpen, de ballon versnelt, de ballon krijgt een snelheid ten opzichte van de lucht, de tegenwerkende luchtweerstandskracht neemt toe totdat een constante snelheid is bereikt.
Maak een schatting van hoeveel kilogram ballast, in de vorm van zandzakken, moet worden afgeworpen. Gebruik voor de dichtheid van de lucht 1,3 kg m^{-3}.

★ P 43 Parachutist

Parachutist Mohammed springt uit een vliegtuig. Na enkele seconden bereikt hij een constante snelheid (situatie 1). Vervolgens opent Mohammed zijn parachute. Snel bereikt hij opnieuw een constante snelheid (situatie 2). Deze snelheid is veel lager dan die in situatie 1.
Wat geldt er voor de luchtweerstandskracht op de parachutist Mohammed met zijn parachute in situatie 1 (F_1) en situatie 2 (F_2)?

A $F_1 > F_2$
B $F_1 = F_2$
C $F_1 < F_2$
D Je kunt dit niet weten, want er ontbreken gegevens.

naar: Nationale Natuurkunde Olympiade, eerste ronde 2016

5 DYNAMISCHE MODELLEN

Leerdoelen

2.5.1 Je kunt voor een gegeven situatie een geschikt computermodel opstellen.
2.5.2 Je kunt enkele belangrijke functies herkennen.
2.5.3 Je kunt uit de uitkomsten van een computermodel conclusies trekken.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	2.5.1	2.5.2	2.5.3	1.3.2*	V2.5*
Onthouden					
Begrijpen	45ab	44			
Toepassen	45c, 46, 47b, 48ab, 49c, 50b, 51d	45d, 47a, 48c	47cd, 48d, 49d	49b	49a
Analyseren	50a, 51abe, 52		51cf		

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

Met de modelleercyclus uit hoofdstuk 1 kun je in verschillende stappen complexe problemen oplossen. Die aanpak kun je ook gebruiken om dynamische modellen op te stellen, waarbij je de computer laat uitrekenen hoe een systeem zich in de tijd ontwikkelt. Dat is vooral handig voor situaties waarvoor je niet (eenvoudig) een exacte oplossing kunt vinden. Een voorbeeld van zo'n situatie is een valbeweging met luchtweerstand.

VAL VAN EEN PARACHUTIST

Stel je de sprong van een parachutist voor. Het eerste stuk bestaat uit een val waarin de parachutist door de luchtweerstand een bepaalde maximale snelheid bereikt. Het is dus geen vrije val. Na enige tijd opent de parachute. De luchtweerstand wordt ineens een stuk groter, waardoor de parachutist afremt tot een snelheid waarmee hij veilig kan landen. Over dit probleem kun je een aantal vragen stellen:

- Hoe groot moet de parachute zijn, zodat een veilige eindsnelheid wordt bereikt?
- Wat is de minimale hoogte waarop de parachute moet openen, zodat die eindsnelheid op tijd wordt bereikt?
- Hoe langzaam moet de parachute openen, zodat de kracht die de parachutist van de parachute ondervindt niet te groot is?

Voor elk van de vragen kun je de modelleercyclus doorlopen, waarbij je het model steeds realistischer maakt. Doordat de luchtweerstandskracht van de snelheid afhangt, kun je de wiskundige vergelijkingen niet exact oplossen. Door gebruik te maken van een **computermodel** is het probleem wel op te lossen. Om te begrijpen hoe dat werkt is het handig te beginnen met een vrije val.

VAARDIGHEDEN

V1.4 Modelleren

DYNAMISCH MODEL VOOR EEN VRIJE VAL

In hoofdstuk 1 is een tikkerbandopname gemaakt van een vallend gewichtje. Voor de verschillende intervallen is de verplaatsing bepaald en daarmee de snelheid en versnelling voor elk interval (tabel 1). Met die gemiddelde versnelling en de massa van het gewichtje kun je met behulp van de tweede wet van Newton de resulterende kracht op het gewichtje voor het betreffende interval berekenen.

tabel 1 Meetgegevens van een vallend gewichtje (m = 50 g).

t (ms)	x (mm)	Δx (mm)	v (m s^{-1})	a (m s^{-2})	F_{res} (N)
0	0	0			
20	2	2	0,1		
40	8	6	0,3	10	0,50
60	18	10	0,5	10	0,50
80	32	14	0,7	10	0,50

Een computermodel werkt precies andersom, uitgaande van de kracht bereken je de verplaatsing:

1 bepaal de resulterende kracht op het voorwerp: $F_{res} = \Sigma F_i$
2 uit de resulterende kracht volgt de versnelling (tweede wet van Newton): $a = \frac{F_{res}}{m}$
3 uit de versnelling volgt de snelheidsverandering: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, dus $\Delta v = a \cdot \Delta t$
4 de nieuwe snelheid volgt uit: $v_{nieuw} = v_{oud} + \Delta v$
5 met de nieuwe snelheid kun je de verplaatsing Δx berekenen
6 de nieuwe plaats volgt uit: $x_{nieuw} = x_{oud} + \Delta x$

De computer heeft getallen nodig om deze stappen uit te voeren, zoals het volgende voorbeeld laat zien.
Een bal met massa 0,250 g valt vanuit stilstand vanaf een hoogte van 10 m. Er is geen luchtweerstand.

1 $F_{res} = F_z = -m \cdot g = -0{,}250 \times 9{,}81 = -2{,}4525$ N
2 $a = \frac{F_{res}}{m} = \frac{-2{,}4525}{0{,}250} = -9{,}81$ m s^{-2}

   De versnelling is dus in grootte gelijk aan de valversnelling. Het is immers een vrije val.
3 De tijdsverandering Δt wordt in een computermodel de **stapgrootte** genoemd en die kun je zelf kiezen, bijvoorbeeld Δt = 0,05 s:
   $\Delta v = -9{,}81 \times 0{,}05 = -0{,}4905$ m s^{-1}
4 $v_{nieuw} = v_{oud} + \Delta v = 0 + -0{,}4905 = -0{,}4905$ m s^{-1}. Dit is dus de snelheid op t = 0,05 s.
5 Nu is er een probleem: de verplaatsing hangt af van de snelheid, maar die is niet constant. In tabel 1 en in hoofdstuk 1 heb je daarom de gemiddelde snelheid van een interval berekend en die in het midden van het interval gezet. Dat is voor een computermodel niet handig. Een eenvoudige methode met nog redelijke resultaten is dat je doet alsof de bal gedurende het interval Δt met constante snelheid valt, gelijk aan de eindsnelheid van het interval:
   $\Delta x = v_{nieuw} \cdot \Delta t = -0{,}4905 \times 0{,}05 = -0{,}02405$ m
   Dit gaat alleen goed als de stapgrootte klein genoeg is.
6 $x_{nieuw} = x_{oud} + \Delta x = 10 + -0{,}02405 = -9{,}97595$ m

In de bovenstaande berekeningen is niet afgerond, omdat een computer dat ook niet zou doen.
Het voorgaande is slechts één **rekenstap**. Om de beweging van de bal te weten te komen, moet deze rekenstap worden herhaald. Dat herhalen wordt **itereren** genoemd en het rekenen met een computermodel noem je daarom een **iteratief proces**. Je blijft de rekenstappen herhalen totdat de plaats van de bal gelijk is aan nul: de bal raakt dan de grond.

INVOEREN VAN EEN COMPUTERMODEL

Er zijn twee methoden om met een computer te modelleren. Bij grafisch modelleren wordt het model schematisch weergegeven door een proces met pijltjes, blokjes en ballonnetjes. Bij tekstmodelleren geef je de computer instructies in de vorm van tekstregels. In *Nova* wordt gebruikgemaakt van tekstmodelleren, omdat je in die instructies de vergelijkingen kunt herkennen die je al kent.
In figuur 33 zie je het tekstmodel van de vrije val die hiervoor is besproken. De regelnummers staan er alleen om naar te verwijzen: die moet je niet invoeren in de computer. De tekst achter de apostrof is een toelichting en wordt door de computer genegeerd. De computer voert eerst, van boven naar beneden, de instructies uit in de rechterkolom van figuur 33, de **startwaarden**. Vervolgens voert de computer, weer van boven naar beneden, de instructies uit in de linkerkolom (de **modelregels** in figuur 33). Bij de laatste modelregel aangekomen, springt de computer weer naar boven en begint van voren af aan. De volgorde waarin je de regels zet, is dus van belang.

START

modelregels		startwaarden	
1 t := t + dt	‘ nieuwe tijd	1 dt := 0,05	‘ stapgrootte (s)
2 Fz := -m*g	‘ zwaartekracht	2 t := 0	‘ begintijd (s)
3 Fres := Fz	‘ resulterende kracht	3 h := 100	‘ beginhoogte (m)
4 a := Fres/m	‘ versnelling	4 v := 0	‘ beginsnelheid (m/s)
5 v := v + a*dt	‘ nieuwe snelheid	5 g := 9,81	‘ valversnelling (m/s^2)
6 h := h + v*dt	‘ nieuwe hoogte	6 m := 0,250	‘ massa (kg)
7 Als h<=0 Dan	‘ stopconditie		
8 Stop			
9 EindAls			

HERHAAL

figuur 33 Model voor de vrije val.

Toelichting:

- De computer kan niet rekenen met eenheden. Die worden dus niet ingevoerd. Het is verstandig om altijd alle waarden in te voeren in SI-eenheden.
- In het computermodel kan een punt, maar ook een komma worden gebruikt om de decimalen te scheiden van de eenheden. In tabel 2 staat een aantal andere speciale karakters voor wiskundige bewerkingen.
- De `:=` moet je lezen als 'wordt'. In modelregel 1 staat dus: de nieuwe tijd wordt de oude tijd plus dt. Merk op dat het geen isgelijkteken kan zijn: dan staat er onzin, want links en rechts zou `t` wegvallen en dan volgt dat `dt` gelijk is aan nul. En dat klopt niet.
- In modelregel 5 is gebruikgemaakt van $v_{nieuw} = v_{oud} + \Delta v$ en $\Delta v = a \cdot \Delta t$ (binnen een tijdstap mag je aannemen dat de versnelling constant is en het een eenparig versnelde beweging is).
- In modelregel 6 is gebruikgemaakt van $x_{nieuw} = x_{oud} + \Delta x$ en $\Delta x = v_{nieuw} \cdot \Delta t$ (weer geldt dat je binnen een tijdstap kunt aannemen dat de waarde van v constant is).
- Modelregels 7-9 bevatten de **stopvoorwaarde**. Zonder stopvoorwaarde voert de computer een vooraf ingesteld aantal iteraties uit. Het zou dan kunnen dat de hoogte kleiner wordt dan nul en de bal dus 'door de grond valt'. De stopvoorwaarde zorgt ervoor dat de berekening stopt zodra de hoogte kleiner of gelijk aan 0 wordt.

tabel 2 Speciale weergave voor wiskundige bewerkingen in een tekstmodel.

wiskundige bewerking	karakter in tekstmodel
vermenigvuldigen	`*`
delen	`/`
$a \cdot 10^b$	`aEb`
a^b	`a^b`
$\sqrt{a}$	`Sqrt(a)`
$\lvert a \rvert$	`Abs(a)`

ENKELE BELANGRIJKE FUNCTIES

In het model van figuur 33 zag je een voorbeeld van een stopvoorwaarde. **`Als ... Dan`** geeft zo'n voorwaarde weer en **`Stop`** is de functie om het programma onmiddellijk te laten eindigen. Als aan de voorwaarde tussen **`Als`** en **`Dan`** wordt voldaan, dan worden de opdrachten tussen **`Dan`** en **`EindAls`** uitgevoerd. In dit geval eindigt dan het programma.

Je kunt ook twee voorwaarden hebben, bijvoorbeeld dat een valbeweging van een meteoriet stopt als de grond is bereikt óf als de meteoriet helemaal is verdampt in de atmosfeer. Je gebruikt dan **`OF`**:

```
Als h <= 0 OF m <= 0 Dan Stop EindAls
```

Wanneer aan twee voorwaarden allebei moet worden voldaan, dan gebruik je **`EN`**.

Opmerking: bij de voorwaarden zet je `<= 0` en niet `= 0`, omdat bij discrete stapjes je nooit precies op bijvoorbeeld een precieze massa 0 uitkomt. De waarde is nog net positief en de volgende tijdstap levert een net negatieve waarde op, signaal om het model te laten stoppen.

Soms zijn speciale functies handig, bijvoorbeeld **`Abs()`**. Uit de wiskunde ken je de absolute waarde. Bij wiskunde schrijf je bijvoorbeeld $|-12| = 12$. In een computermodel is de notatie hiervoor `Abs`, dus `Abs(x)` heeft als uitkomst de absolute waarde van x.

De tweede speciale functie is **`Teken()`**. De uitkomst daarvan is –1 als tussen de haakjes iets negatiefs staat, en +1 als tussen de haakjes iets positiefs staat.
Voorbeeld: de luchtweerstandskracht werkt altijd tegen de richting van de snelheid in. Dan schrijf je:

```
F = -Teken(v) * c * v^2
```

COMPUTERMODEL VERBETEREN

Het (computer)model voor een vrije val voegt nog niet zoveel toe: je wist al hoe een voorwerp zonder luchtweerstand valt. Maar volgens de modelleercyclus uit hoofdstuk 1 begin je eenvoudig en maak je later het model realistischer. Bovendien: doordat je weet wat de uitkomst van het computermodel zonder luchtweerstand is, kun je controleren of je geen fouten bij het opschrijven van je model hebt gemaakt.
Het belangrijkste wat verandert als er luchtweerstand is, is de resulterende kracht. Die wordt: $F_{res} = F_z + F_{w,l}$ waarbij $F_{w,l} = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$ (paragraaf 4). De luchtweerstandskracht werkt tegen de richting waarin de bal beweegt. Deze is positief, dus wijst naar boven wanneer de bal naar beneden beweegt. De modelregel met de resulterende kracht moet je nu dus aanpassen. Maar dan moet de computer ook weten hoe groot $F_{w,l}$ is en daarvoor zijn ook nieuwe startwaarden nodig.
Het aangepaste computermodel staat in figuur 34. De volgende modelvergelijkingen zijn nieuw of aangepast:

3 Dit is een nieuwe regel die de formule voor de luchtweerstandskracht geeft.
4 In deze regel is de resulterende kracht aangepast.

De volgende startwaarden zijn toegevoegd:

7 De luchtweerstandscoëfficiënt voor een bol (*BiNaS* tabel 28A).
8 De frontale oppervlakte van een bol met een straal van 10 cm.
9 De luchtdichtheid op zeeniveau (*BiNaS* tabel 12).

modelregels	startwaarden
1 t := t + dt 2 Fz := -m*g 3 Flucht := 0,5*Cw*rho*A*v^2 4 Fres := Fz + Flucht 5 a := Fres/m 6 v := v + a*dt 7 h := h + v*dt 8 Als h<=0 Dan 9 Stop 10 EindAls	1 dt := 0,05 2 t := 0 3 h := 100 4 v := 0 5 g := 9,81 6 m := 0,250 7 Cw := 0,47 ' luchtweerstandscoefficient 8 A := 0,0314 ' frontale oppervlakte 9 rho := 1,293 ' luchtdichtheid

figuur 34 Model voor vallen met luchtweerstand.

In figuur 35 zie je het resultaat van de modelberekening. Als je het model eenmaal hebt, kun je gemakkelijk testen wat er verandert aan het resultaat als je een parameter verandert. In figuur 35 staat ook het resultaat voor een lichtere, maar even grote bal. In verhouding heeft de luchtweerstand daarop meer invloed. De bovenste curve, waarbij de val langer duurt, hoort bij de lichtere bal. Zo trek je conclusies op grond van de uitkomsten van een modelberekening. Overigens kan de conclusie in sommige gevallen ook zijn dat je het model nog moet verbeteren, omdat de uitkomst overduidelijk niet klopt met de werkelijkheid.



figuur 35 Resultaat van het model voor vallen met luchtweerstand.

Onthoud

- Met behulp van een computermodel kun je problemen oplossen die niet exact of niet gemakkelijk zijn op te lossen.
- Een computermodel bestaat uit modelregels en startwaarden waarmee een computer de verandering van natuurkundige grootheden in de tijd kan berekenen.
- Modelregels zijn gebaseerd op natuurkundige formules. Iedere natuurkundige grootheid krijgt in het model een startwaarde: de waarde van de grootheid op $t = 0$ s.
- Het doorrekenen van een computermodel is een iteratief proces: een aantal rekenstappen wordt herhaald tot een stopvoorwaarde.
- De stapgrootte bepaalt de toename van een natuurkundige grootheid (meestal de tijd) tussen twee rekenstappen in het computermodel.
- Belangrijke functies zijn: `Als ... Dan ... EindAls; Teken(); Abs(), EN; OF; Stop`.
- De uitkomsten van een computermodel beoordeel je steeds op hun realiteitsgehalte. Als dat nog te wensen overlaat, verbeter je het model.

OPDRACHTEN ▸ Basis

44 Modelleren

Zet in onderstaande tekst de volgende begrippen op de goede plaats: *iteratief proces – modelregels – plaats – snelheid – stapgrootte – startwaarden – stopvoorwaarde – versnelling*.
Een computermodel noem je ook wel een (1). De computer leest eerst een aantal (2) in. Vervolgens worden deze aangepast volgens de (3). De computer berekent eerst op basis van de krachten in het model van figuur 34 de nieuwe (4), dan de nieuwe (5) en vervolgens de nieuwe (6). Daarbij wordt gedaan alsof de snelheid in het interval constant is. Door de (7) klein te kiezen, levert dat slechts een kleine fout op. Door een geschikte (8) toe te voegen, eindigt het computermodel.

45 Korter opschrijven

Het model in figuur 33 kun je korter opschrijven.

a Ga na dat je modelregels 2 tot en met 4 kunt samenvoegen tot één modelvergelijking. Noteer de nieuwe modelvergelijking.

b Geef een reden waarom het toch handiger is om de drie oorspronkelijke modelregels te gebruiken.

Bij het omhooggooien van een bal werkt de luchtweerstand voortdurend tegen, zowel bij de weg omhoog als bij het terugvallen.

c Leg uit dat de volgende regel hiervoor zorgt:

```
Als v > 0 dan Flucht := -k * v^2 Anders
Flucht := k * v^2 EindAls
```

d Schrijf de modelregel van opdracht c korter met behulp van de functie `Teken`.

46 Model met fouten

In figuur 36 zie je een model voor een vallende regendruppel. Er zitten verschillende fouten in.
Pas het model aan om de fouten te verbeteren. Alles achter een apostrof (') wordt door de computer niet gelezen, zo kun je commentaar opnemen in je model. De notatie `2E-03` is de wetenschappelijke notatie, zoals je die ook op het scherm van je rekenmachine ziet. Hier staat dus: $2 \cdot 10^{-3}$

modelregels	startwaarden
t := t + dt m := rho*4/3*pi*r Flucht := –k*v^2 Fz := –m*g Fres := Fz + Fw a := Fres / m v := v + a*dt x := x + v*dt	t := 0 ' starttijd h := 2000 ' beginhoogte v := 0 ' beginsnelheid dt := 0,1 ' tijdstap g := 9,81 ' valversnelling r := 2E-03 ' straal regendruppel Rho := 0,998E03 ' dichtheid water

figuur 36 Model voor een vallende regendruppel, met fouten.

P 47 Opstijgende ballon

In figuur 37 zie je een model voor een opstijgende heteluchtballon. Hij gaat recht omhoog. De kracht `Fomhoog` is gelijk aan de opwaartse kracht minus de zwaartekracht op de ballon met mand.

a Vul de zes open plekken in het model van figuur 36 aan.

b Wat zou je in het model moeten veranderen als de ballonpiloot bij de start meer ballast afwerpt?

In figuur 38 zie je uitkomsten van twee modelberekeningen. Een curve hoort bij de parameters die je in figuur 36 ziet, de andere curve hoort bij parameters van een ballon die even zwaar is, waarbij de kracht omhoog even groot is, maar waarbij de ballon een grotere straal heeft.

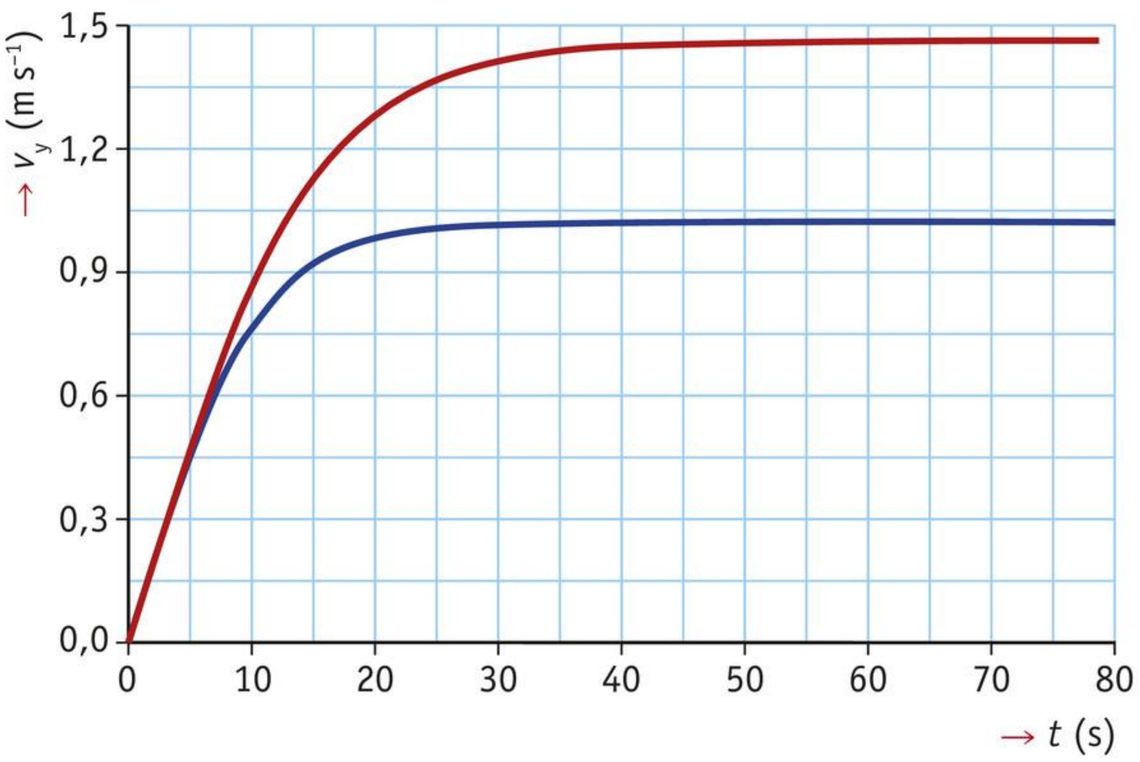
c Leg uit welke curve bij de grootste ballon hoort.

d Typ het model in, voer het uit met verschillende startwaarden en onderzoek zo wat er verandert aan de eindsnelheid als je `Fomhoog` 4× zo groot maakt.

modelregels	startwaarden

`Flucht := 0,5 * Cw * rho * A * vy^2`
`Fres := Fomhoog – Flucht`
`ay :=`
`vy :=`
`y :=`
`Als y >= 10000 Dan Stop EindAls`
`t :=`
	`m := 1000`
	`r := 7,0`
	`A: =`
	`rho :=`
	`Cw := 0,47`
	`Fomhoog := 100`
	`y := 0`
	`vy:= 0`
	`t := 0`
	`dt := 0,1`

figuur 37 Model voor een opstijgende heteluchtballon.



figuur 38 Uitkomsten van twee modelberekeningen.

48 Helling afglijden

Een slee glijdt van een helling. De hellingshoek is α, uitgedrukt in graden. In figuur 39 zie je hiervoor een model.

a De tweede regel beschrijft de schuifweerstandskracht. Vul deze regel aan.

b Vul de regel voor `Fres` aan.

c Vul de regel met de stopvoorwaarde aan.

d Noem vier veranderingen van de startwaarden die een hogere eindsnelheid zullen opleveren.

modelregels	startwaarden
Fzbaan := m * 9,81 * Sin(alfa) Fwrijving := f * m * 9,81 * … Flucht := k * v^2 Fres := a := Fres/m v:= v + a * dt x := x + v* dt Als … Dan Stop … t := t + dt	m := 100 alfa := 10 Lengtebaan := 20 f := 0,02 k := 0,1 t := 0 dt :=0,1

figuur 39 Model voor een slee die een helling afglijdt.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

49 Vallen met luchtweerstand

Het model in figuur 34 houdt rekening met luchtweerstand. Vaak wordt de luchtweerstandskracht geschreven als:

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

a Geef een uitdrukking voor de constante k door de gegeven formule te vergelijken met de formule uit figuur 34.

b Leid de eenheid af van k.

c Maak een schatting van de waarde van k die goed is voor een parachutist die valt met geopende parachute. Geef je antwoord in één significant cijfer.

d Schets het (a,t)-diagram van de parachutist bij het begin van zijn val met ongeopende parachute, zoals dat volgt uit het model van figuur 34. Licht je antwoord toe met behulp van modelregels 3 tot en met 5.

50 Modelleren van een stuiterbal

Het model in figuur 33 kun je als basis gebruiken voor het modelleren van de beweging van een stuiterbal.

a Pas het model aan voor een stuiterbal met een diameter van 10 cm die van een hoogte van 2,0 m valt. Zodra de stuiterbal de grond raakt, beweegt hij weer omhoog, maar met een snelheid die gelijk is aan 90% van de snelheid voor het raken van de grond.

b Pas het model aan zodat je ook rekening houdt met luchtweerstand. Maak gebruik van het model in figuur 34.
Tip: de richting van de luchtweerstand hangt af van de bewegingsrichting van de bal. Bij een beweging omhoog is de snelheid positief, bij een beweging omlaag negatief. Het teken van de snelheid (plus of min) vind je met de functie: `Teken(v)`

51 Een parachute ontwerpen

Het model voor vallen met luchtweerstand (figuur 34) kun je gebruiken als hulpmiddel bij het ontwerpen van een parachute. De belangrijkste eis aan de parachute is dat een ervaren parachutist na het bereiken van de eindsnelheid tijdens de vrije val de parachute op minimaal 65 m hoogte moet kunnen openen voor een veilige landing.

a Leg met behulp van een berekening uit dat 6 m s^{-1} een redelijke schatting is van de maximale snelheid waarmee de parachutist veilig kan landen. Doe dit door te bedenken van welke hoogte je zonder parachute kunt springen zonder jezelf te blesseren.

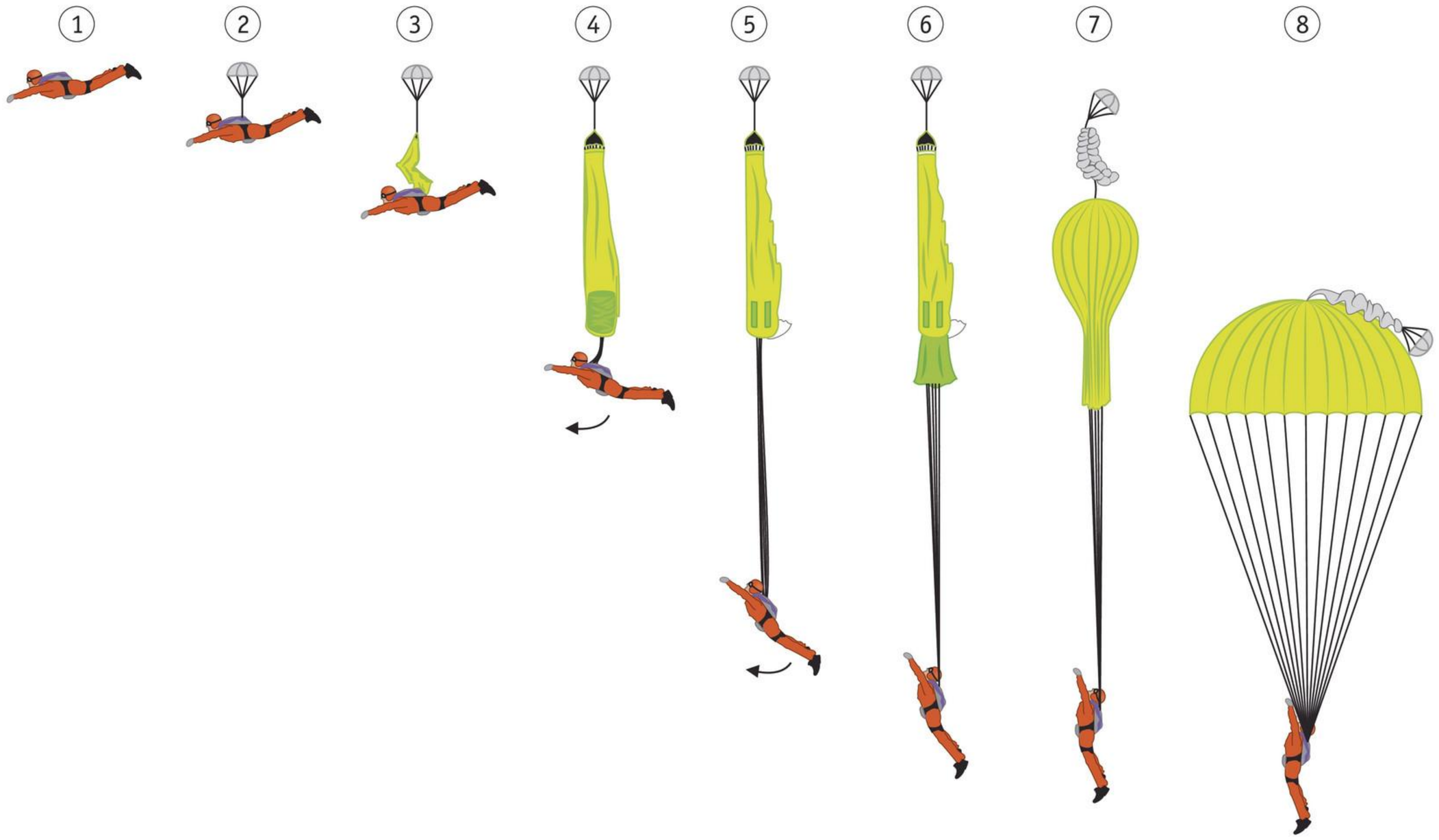
b Onderzoek met behulp van de modelleercyclus en een computermodel welke kleinst mogelijke waarde van $C_w \cdot A$ voor de parachute voldoet. Ga uit van een massa van 100 kg voor de parachutist met parachute. Neem aan dat de parachute in een keer opent. In vrije val 'ligt' de parachutist op zijn buik. In die positie is de luchtweerstandscoëfficiënt C_w gelijk aan 2.

Een andere belangrijke eis is dat tijdens het openen de kracht van de parachute op de parachutist niet groter mag worden dan vijf keer de zwaartekracht.

c Gebruik je computermodel van opdracht b om te bepalen of aan die eis wordt voldaan.

In figuur 40 zie je de verschillende stappen tijdens het openen van een parachute. De parachute opent dus niet in een keer, maar doet daar ongeveer 2 tot 3 seconden over.

d Leg uit wat het gevolg is van het langzaam uitvouwen van de parachute op de kracht die op de parachutist wordt uitgeoefend.



figuur 40 Het openen van een parachute.

e Gebruik figuur 40 om je model realistischer te maken. Onderzoek daarbij of aan de twee eisen (minimale hoogte en maximale kracht) wordt voldaan. Geef als antwoord de waarde van $C_w \cdot A$.

Basejumpers halen gevaarlijke toeren uit door met een parachute van gebouwen te springen. Zo sprong Gary Connery in 2003 vanaf de zuil van Nelson (46 m hoog), een monument op Trafalgar Square in Londen.

f Gebruik de sprong van Connery om je model te evalueren. Connery opende zijn parachute vrijwel direct.

★ 52 Vos en haas

Een vos rent met een snelheid van 15 m s^{-1} achter een haas aan, steeds in de richting waarin hij de haas op dat moment ziet. Hij anticipeert niet op de looprichting van de haas. Als de vos op een afstand van 20 m is, begint de haas van de vos weg te rennen met een versnelling van 8,0 m s^{-2} en onder een hoek α ten opzichte van de richting waarin de vos loopt. De maximale snelheid van de haas is 16 m s^{-1}.
Bepaal met een computermodel de route die de vos en de haas lopen. Ontsnapt de haas?
Tip: zorg ervoor dat de instelling van het programma zo is, dat hoeken in graden worden uitgedrukt, niet in radialen.

AFSLUITING

In dit hoofdstuk heb je geleerd hoe voorwerpen bewegen onder invloed van de krachten die erop werken. Maak de eindopdrachten en bereid je voor op de toets.

Eindopdrachten

53 Bowling

Een bowlingbal die is gegooid, gaat rechtuit over de baan met constante snelheid.

a Welke wet zegt dat er bij constante snelheid geen nettokracht op de bal als geheel werkt?

Elk gedeelte van een rollende bal ondervindt wel een kracht, afkomstig van de rest van de bal.

b Leg uit waarom dat wel zo moet zijn. Ga in je antwoord in op de beweging (het gaat er niet om dat de bal anders in stukjes uit elkaar valt).

Nauwkeurige meting laat zien dat de bal toch een beetje afremt. Stel dat een bal van 7,2 kg aan het begin van de baan een snelheid heeft van 10,0 m s^{-1} en aan het eind, 18,3 m verder, een snelheid van 9,4 m s^{-1}. Ga ervan uit dat de beweging eenparig vertraagd is.

c Bereken de gemiddelde remkracht. Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

d Maak een schatting van de afmetingen van de bal en beredeneer daarmee of de luchtweerstandskracht of de rolweerstandskracht bij deze worp met deze bal de belangrijkste kracht zal zijn.

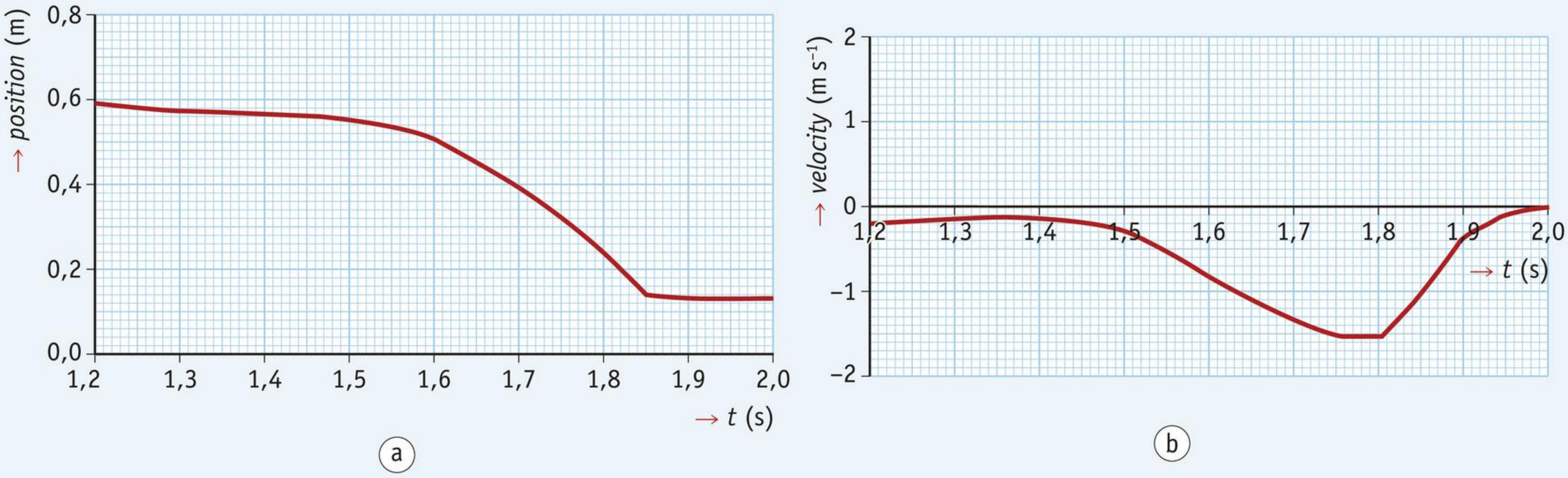
54 Speelgoedparachute

In figuur 41a zie je de plaats als functie van de tijd van een poppetje aan een parachuutje. In figuur 41b zie je de snelheid als functie van de tijd van dit poppetje. Het poppetje wordt op t = 1,5 s losgelaten. Het versnelt minder hard omlaag dan bij een vrije val, doordat de luchtweerstand op het parachuutje tegenwerkt. De massa van poppetje en parachuutje samen is 300 g.

a Bepaal zo nauwkeurig mogelijk de versnelling op t = 1,6 s.

b Bereken de resulterende kracht op dat moment.

c Bereken de grootte van de luchtweerstandskracht op dat moment.



figuur 41 (x,t)-diagram (a) en (v,t)-diagram (b) van een speelgoedparachutist verkregen met een meetprogramma.

55 Kayak-jumping

Casper doet aan 'kayak-jumping'. Daarbij wordt een speciale baan gebruikt om een 'sprong' te kunnen maken (figuur 42). Deze baan bestaat uit een helling omlaag, daarna een klein horizontaal gedeelte en ten slotte een eindstuk dat schuin omhoogloopt. Zowel de helling als het eindstuk maakt een hoek van 42° met het horizontale vlak.
Casper maakt een sprong. De zwaartekracht F_z en de wrijvingskracht F_w die nu op Casper en zijn kajak werken, zijn op schaal getekend in figuur 43. De massa van Casper is 69,0 kg, de massa van de kajak is 14,5 kg.

a Bepaal in figuur 43 met een constructie de grootte van de resulterende kracht.

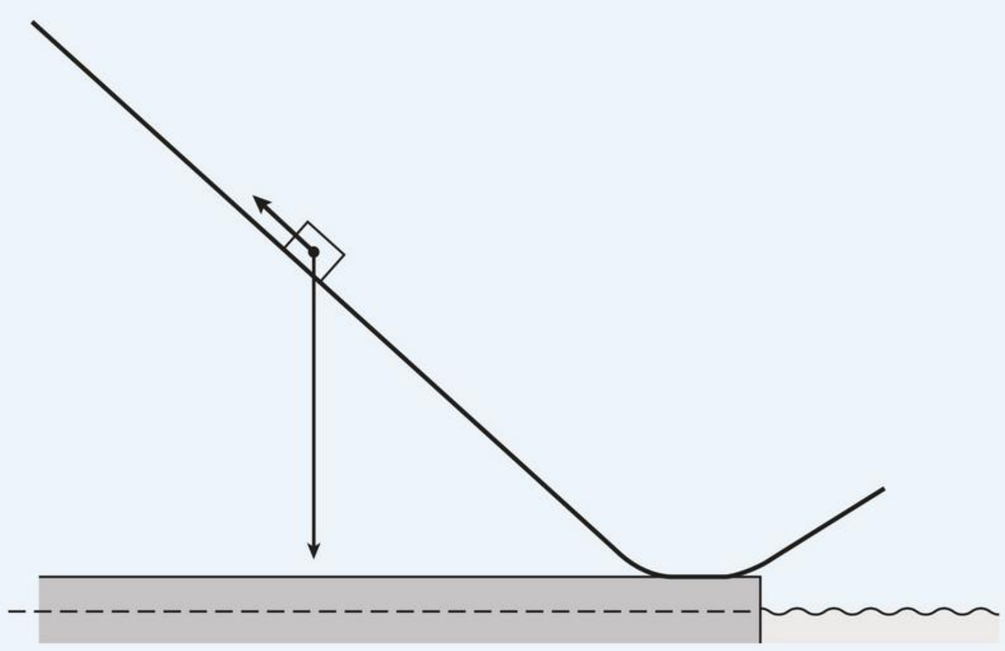
In figuur 44 zijn drie punten aangegeven. De schuifwrijvingskracht in punt 1 wordt vergeleken met die in punt 2 en punt 3.

b Leg van elk van de schuifwrijvingskrachten in de punten 2 en 3 uit of deze groter, kleiner of gelijk is in vergelijking met de schuifwrijvingskracht in punt 1.

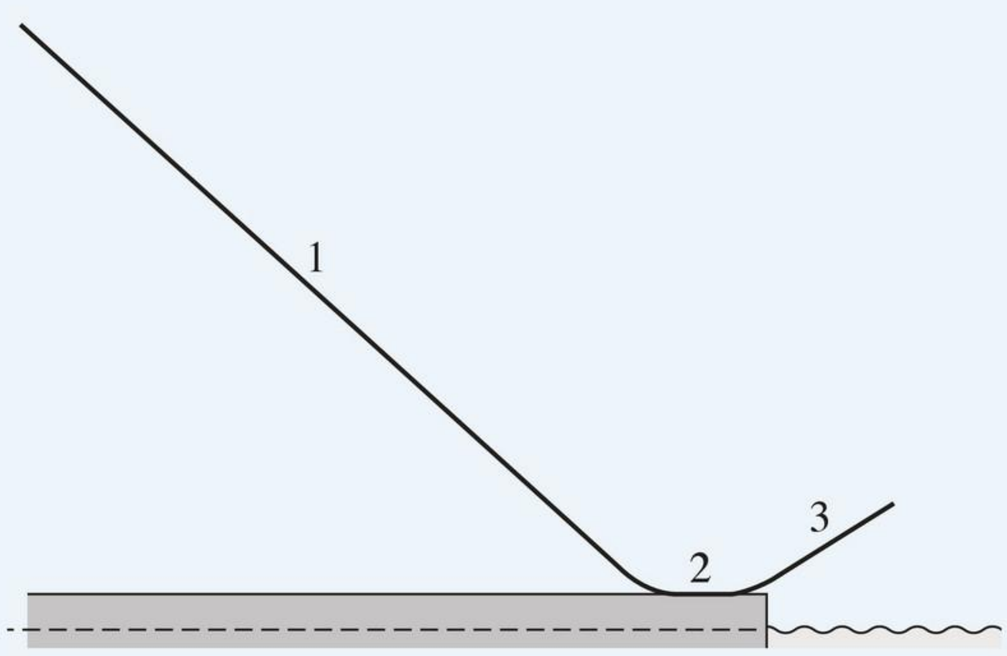
Casper stelt een model op voor de beweging van het zwaartepunt van zijn kajak op de baan. Zijn model stopt aan het eind van de baan, bij een totale baanlengte van 23,8 m. Na 17,9 m wordt de baan horizontaal en na 20,0 m gaat de baan omhoog.
Het computermodel is weergegeven in figuur 45. In het model zijn twee modelformules en een startwaarde niet compleet.



figuur 42 Kajak maakt sprong.



figuur 43 Baan om de sprong te maken, zwaartekracht en wrijvingskracht.



figuur 44 Drie punten op de baan.

	Modelformules	Startwaarden
1	als s > 17,9 dan alfa = 0 eindals	t = 0 (s)
2	als s > 20 dan alfa = –42 eindals	dt = 0,001 (s)
3	Fzlangs = m*g*sin(alfa)	s = 0 (m)
4	Fn = ……	v = 0 (m s^{-1})
5	Fw = f*Fn	m = 69 + 14,5 (kg)
6	Fres = Fzlangs – Fw	alfa = 42 (º)
7	a = Fres / m	g = …… (m s^{-2})
8	v = ……	f = 0,25
9	s = s + v*dt	
10	als s > 23,8 dan stop eindals	
11	t = t + dt	

figuur 45 Model voor een kajaksprong.

c Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de formule voor F_n die je in het model moet gebruiken.
- Geef de formule voor v die je in het model moet gebruiken.
- Leg uit of in de startwaarden $g = 9{,}81$ (m s^{-2}) of $g = -9{,}81$ (m s^{-2}) moet staan.

naar: examen 2021-III

P 56 Heteluchtballonmodel

Een heteluchtballon stijgt op doordat de opwaartse kracht groter is dan de zwaartekracht. Tegelijkertijd wordt de ballon opzij geblazen door de wind. De totale zwaartekracht op de massa van 700 kg en de opwaartse kracht zijn voor de start precies in evenwicht. Er wordt 10 kg ballast overboord gegooid.

a Bereken de verticale versnelling bij de start.

b Leg uit dat de horizontale kracht evenredig is met $(v_{wind} - v)^2$.

In het model in figuur 46 staat een fout.

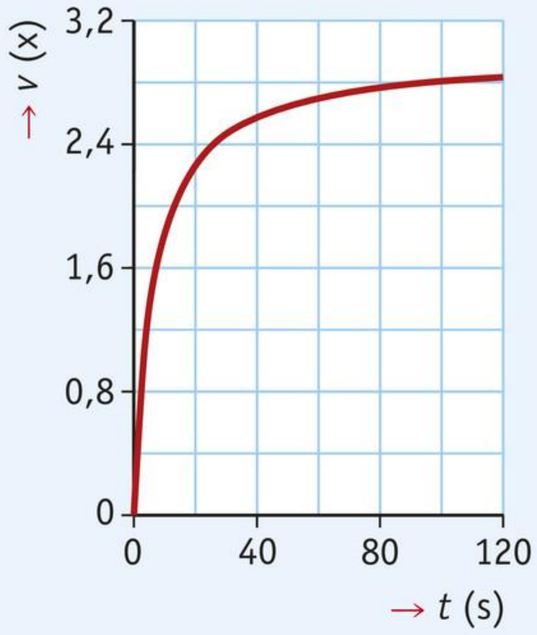
c Corrigeer die fout.

modelregels	startwaarden
Fx := 0,5 * Cw * rho * Pi * (straal^2) * (vwind - vx)^2 ax := Fx/m vx := vx + ax * dt x := x + ax * dt t := t + dt	m := 700 straal := 6,0 Cw := 0,47 rho := 1,3 vwind := 3,0 x := 0 vx := 0 y := 0 t := 0 dt := 1

figuur 46 Model voor de horizontale beweging van een heteluchtballon.

Met het gecorrigeerde model is een berekening gemaakt.
Het resultaat staat in figuur 47.

d Leg uit hoe het komt dat de grafiek steeds minder steil wordt.



figuur 47 Horizontale snelheid tegen de tijd bij een startende heteluchtballon.

57 Skiën

Bij skiën heb je te maken met veel krachten: zwaartekracht, normaalkracht, schuifwrijvingskracht en luchtweerstandskracht.

a Leg uit waarom het handig is de zwaartekracht te ontbinden in een kracht langs de helling en een kracht loodrecht daarop. Geef twee redenen.

De schuifwrijvingscoëfficiënt f hangt af van hoe glad de sneeuw is en hoe glad de ski's. Als je langzaam gaat, is de luchtweerstandkracht te verwaarlozen. Met deze aanname is er een bepaalde steilheid van de helling waarbij je een snelheid die je hebt, zult behouden en waarbij je dus niet versnelt of afremt. Noem de hoek tussen de helling en de horizontale richting α.

b Leid een formule af voor de richtingscoëfficiënt van deze helling. De richtingscoëfficiënt is gelijk aan tan α.

BEREID JE VOOR OP DE TOETS

BOEK

- ☐ Neem 'Onthoud' door.
- ☐ Maak de eindopdrachten.
- ☐ Maak de opdrachten die je lastig vond nog een keer.
- ☐ Bestudeer de voorbeeldopdrachten.

BEREID JE ONLINE VOOR OP DE TOETS

ONLINE

- ☐ Test de basis met Test jezelf.
- ☐ Oefen de begrippen met Flitskaarten.
- ☐ Maak de oefentoets.



STUDEREN

BOUWKUNDE

Veel mensen, vooral jongeren, kunnen geen goede woning vinden. Na een studie Bouwkunde kun je bijdragen aan het realiseren van betaalbare huizen en appartementen.

Duurzaamheid speelt tijdens de studie Bouwkunde een belangrijke rol. Waar komen de grondstoffen vandaan, wordt bij de winning van de materialen het milieu niet te veel belast, wordt voldaan aan de normen van stikstofuitstoot? Is het gebouw energieneutraal? Een van de vijf leerlijnen die door de bacheloropleiding lopen heeft niet voor niets de naam Maatschappij.

Bouwkunde biedt brede ontwikkelingsmogelijkheden met ontwerpopdrachten, de mogelijkheid een minor te doen in het buitenland, aandacht voor tekenen en presenteren.

Op de site van de studie Bouwkunde op de TU Delft staat dit citaat van eerstejaarsstudent Nick: “De afwisseling van techniek en creativiteit die bij deze studie wordt toegepast sprak me heel erg aan.” En derdejaars Gwen zegt: “De keuze voor Bouwkunde was gebaseerd op het feit dat ik niet de keiharde techniek in wilde, maar ook niet een hele zweverige opleiding wilde gaan doen.”

Voor toelating aan de studie Bouwkunde in Delft en ook aan de bachelor Architecture, Urbanism & Building Sciences in Eindhoven, zijn de vakken wiskunde B en natuurkunde verplicht. Niet gek als je bedenkt dat ook bouwfysica tot het curriculum behoort. Een bouwkundige moet weten hoeveel gewicht elke bodemsoort kan dragen en welke krachten een constructie moet kunnen weerstaan, niet alleen onder rustige omstandigheden, maar ook in weer en wind en als de aarde trilt. Kennis van materiaaleigenschappen is essentieel.

PRACTICA

ONLINE

Bij dit hoofdstuk horen practica, onderzoeken en ontwerpopdrachten. Deze staan online.

PRACTICA

De practica kun je zelfstandig uitvoeren of onder begeleiding van je docent.

PRACTICUM 1 Blaaswedstrijd
Wat is het kwalitatieve verband tussen de massa van een voorwerp en de kracht die nodig is om dat voorwerp te versnellen of af te remmen?

PRACTICUM 2 Luchtkussenbaan
Komen kwantitatieve metingen aan een massa op een luchtkussenbaan overeen met wat je verwacht volgens de tweede wet van Newton?

PRACTICUM 3 Krachten ontbinden
Hoe hangt de grootte van de krachtcomponenten in een touw af van de hoek tussen de krachtcomponenten?

PRACTICUM 4 Massa op een helling
Zijn de verbanden voor de krachtcomponenten $F_{z,\perp}$ en $F_{z,\parallel}$ voor een massa op een helling experimenteel te verifiëren?

PRACTICUM 5 Parachuutjes
Tot op hoeveel procent nauwkeurig kloppen de drie hypothesen met de metingen die je doet aan zelfgemaakte parachuutjes?

ONDERZOEKEN, ONTWERPEN EN MODELLEREN

OPEN ONDERZOEK 1 Bungeejumpen
Hoe groot is de valversnelling van en de resulterende kracht op een bungeejumper?

OPEN ONDERZOEK 2 Stuiteren
Hoe nauwkeurig komt een computermodel van een stuiterende stuiterbal overeen met videometingen?



3 ENERGIE-OMZETTINGEN

DOMEIN: C Beweging en wisselwerking ▶ **SUBDOMEIN:** C2 Energie en wisselwerking

Voor vervoer en transport zijn grote hoeveelheden energie nodig. Die energie komt steeds vaker uit duurzame bronnen. Nederland was in 2017 het eerste land ter wereld waar alle elektrische treinen gingen rijden op duurzaam opgewekte elektriciteit. De stroom is afkomstig van windparken uit Nederland, Zweden en Finland. Maar er zijn nog steeds voertuigen die fossiele brandstoffen, zoals benzine, gebruiken als energiebron.

Je voelt pas hoeveel energie benzine levert als de tank van je scooter leeg is en je zelf moet duwen om vooruit te komen. Bij alles wat je doet, zet je de ene vorm van energie om in de andere.

In de natuurkunde is energie een centraal begrip. In dit hoofdstuk maak je kennis met verschillende vormen van energie en hoe deze in elkaar worden omgezet. Je zult merken dat het best lastig is om energiebronnen efficiënt te gebruiken, ondanks de wet van behoud van energie.



PRAKTIJK

Energie-efficiënt reizen | 128

THEORIE

Voorkennis | 130

1 Arbeid en verplaatsing | 132
2 Arbeid en snelheid | 139
3 Arbeid en veerkracht | 145
4 Behoud van energie | 153
5 Energie om arbeid te verrichten | 161
6 Warmte en rendement | 167
7 Vermogen | 174

Afsluiting | 182

MAATSCHAPPIJ

Studeren: Electrical engineering | 186

BOEK

LESSTOF

Alle teksten, voorbeelden en opdrachten staan ook online in MAX.

OEFENEN

- Test jezelf bij elke paragraaf
- Flitskaarten
- Oefentoets

AANVULLEND

- Practica, onderzoeken en ontwerpen

ONLINE

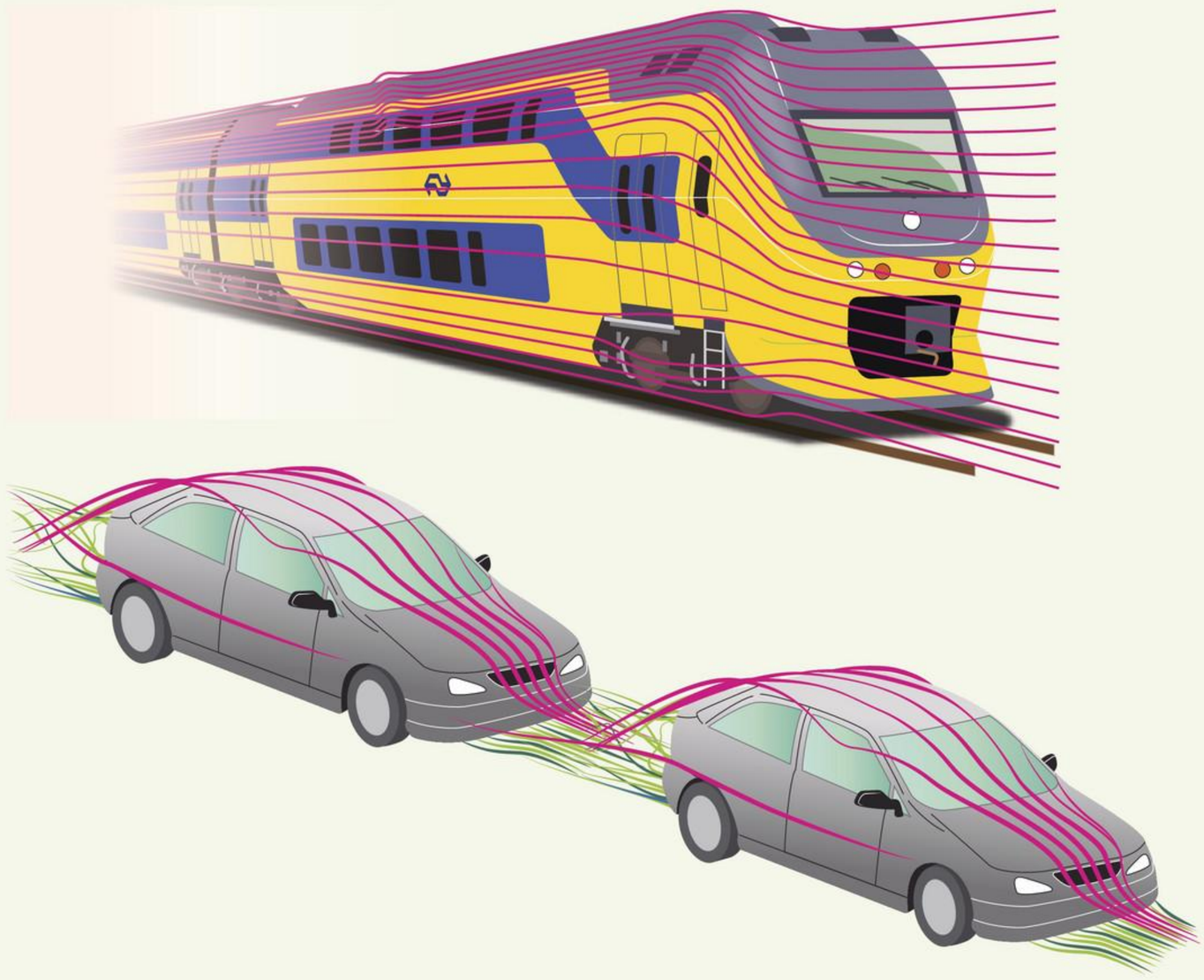


ENERGIE-EFFICIËNT REIZEN

Elektrische auto's winnen terrein als energiezuinigere oplossing, maar het openbaar vervoer blijft voor het klimaat een betere keuze. Wereldwijd maken steeds meer steden hun metrosystemen efficiënter. Daardoor hoeven elektriciteitscentrales minder stroom te leveren en stoten ze minder kooldioxide uit.

VOORDELEN VAN OPENBAAR VERVOER

Metrotreinen zijn net als trams en treinen al relatief energiezuinig. Er is minder rolweerstand bij harde metalen wielen dan bij rubberen luchtbanden en daardoor ontstaat minder warmte.
Treinen en bussen hebben per passagier ook minder luchtweerstand dan auto's. Bij een lang treinstel is er maar één voorkant met een relatief kleine oppervlakte waar lucht tegenaan botst. Bij een rij auto's duwt ieder zijn eigen lucht opzij (figuur 1), ongunstig als je weinig energie wilt verbruiken.



figuur 1 Een trein heeft minder luchtweerstand dan een rij auto's.

SLIM ONTWERP: HEUVEL OP, HEUVEL AF

Metro's moeten vaak remmen voor de vele stations. Ze raken daarbij (net als auto's) voortdurend bewegingsenergie kwijt, waarna ze meteen weer in beweging komen. Bij het remmen wordt veel energie omgezet in warmte, die verloren gaat.

Een deel van de oplossing zit in het ontwerp, zoals bij de Victorialijn in Londen waar de stations hoger zijn aangelegd dan het spoor ertussen (figuur 2). Bij het naderen van een station rolt de metrotrein een heuvel op, waardoor hij al behoorlijk afremt. Zo wordt een deel van de bewegingsenergie omgezet in zwaarte-energie. Wanneer de metro verder rijdt, rolt deze de heuvel af en wordt de zwaarte-energie weer omgezet in bewegingsenergie. Hierdoor is er minder elektrische energie voor de beweging nodig.

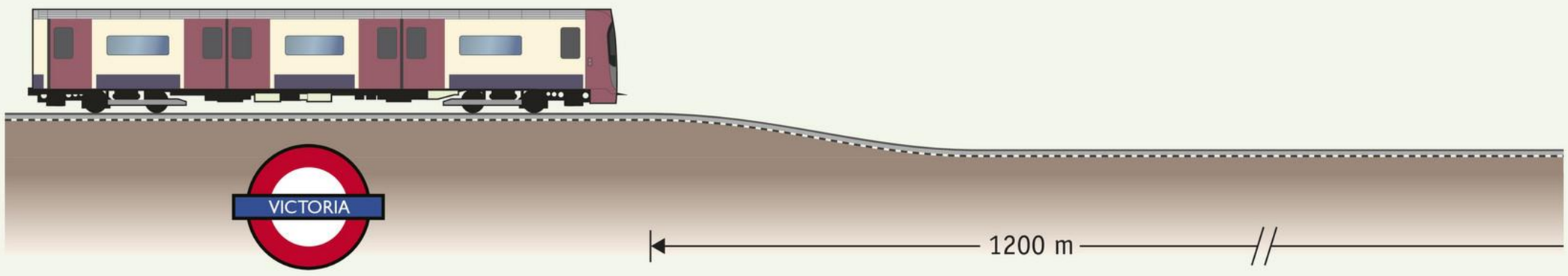
REMENERGIE NUTTIG GEBRUIKEN

Hoogteverschillen toepassen voor auto's bij kruispunten of bestaande metrolijnen ombouwen, is bijna onmogelijk. Je kunt wel op andere manieren de energie die vrijkomt bij het remmen nuttig gebruiken. Door te remmen met de weerstand van een dynamo in plaats van schijfremmen, wordt de remenergie omgezet in elektrische energie in plaats van warmte. De elektrische energie wordt opgeslagen in een batterij en kan worden gebruikt om met de elektromotor het voertuig weer op gang te helpen.
Sinds een aantal jaar werkt een deel van de metro in Londen met deze innovatieve techniek. Er wordt dubbelop bespaard: doordat er minder warmte vrijkomt, is er ook minder koeling van stations nodig. In Londen draagt de overgebleven vrijgekomen warmte bij aan het verwarmen van huizen.

Bij de Rotterdamse metro is het plan om met de vrijkomende energie elektrische auto's op te laden. Bij treinen van de NS wordt de elektriciteit teruggeleverd aan bovenleidingen. Een achteropkomende trein kan die energie weer gebruiken.
Deze techniek wordt ook toegepast in auto's. Op deze manier gebruiken formule 1-auto's bijvoorbeeld hun benzinemotor minder. Bij veel remmen voor bochten besparen ze op korte afstanden relatief veel energie. Maar elektrische auto's hebben het grootste voordeel: doordat de elektromotor tegelijkertijd werkt als dynamo, is er geen apart systeem voor nodig.

MINDER CO_2-UITSTOOT

Metro's en treinen stoten zelf geen uitlaatgassen uit, maar de elektriciteitscentrales die de benodigde stroom produceren wel. De manier waarop die elektriciteit wordt opgewekt is van belang voor de CO_2-uitstoot. Met het terugwinnen van remenergie verbruik je minder elektriciteit en dat is natuurlijk beter.



figuur 2 De stations van de Victorialijn in Londen liggen hoger dan het tussengelegen spoor.

▶ **Aansluitende opdrachten bij ENERGIE-EFFICIËNT REIZEN: 6, 10, 13, 30, 37, 43, 56, 59, 66, 70 en 74.**

VOORKENNIS

In de vorige leerjaren heb je al een aantal dingen over energieomzettingen geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

Leerdoelen

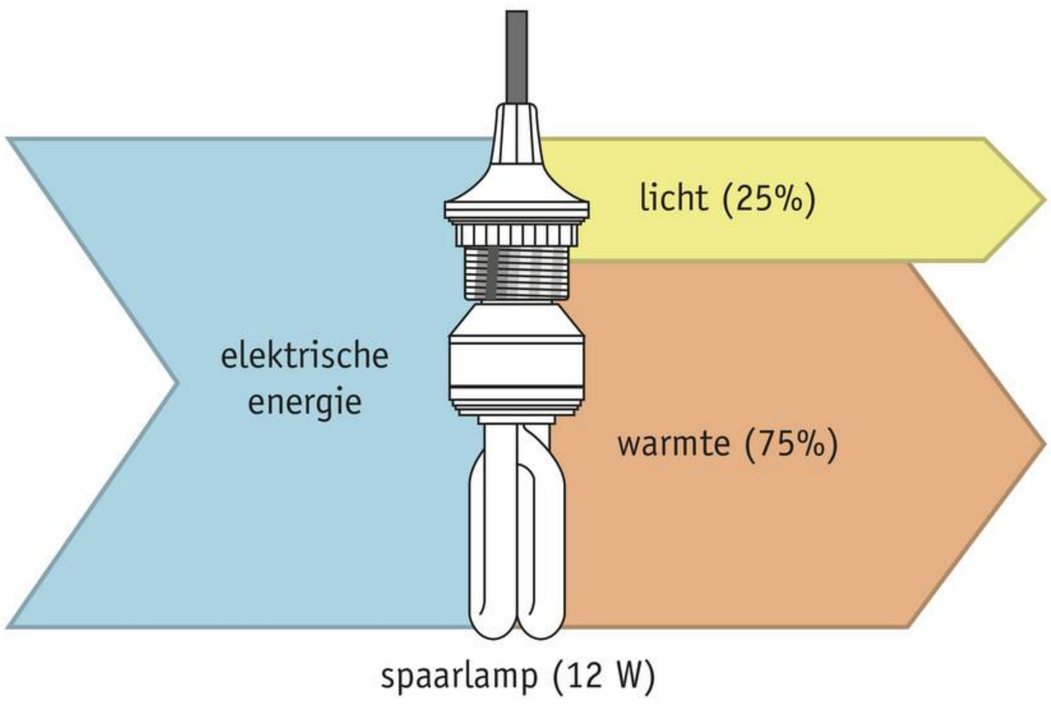
1 Je kunt uitleggen dat bij energieomzettingen de kwantiteit (hoeveelheid energie) niet verandert, maar de kwaliteit (bruikbaarheid) wel.
2 Je kunt aan de hand van een energiestroomdiagram uitleggen hoe efficiënt een apparaat met energie omgaat.
3 Je kunt het rendement van een apparaat berekenen op basis van vermogen.
4 Je kunt berekeningen maken met de arbeid, de (voortstuwende) kracht en de afstand.
5 Je kunt het verbruik van elektrische energie in huis berekenen en de uitkomst weergeven in kWh of MJ.

1 Leerdoel 1

Bekijk figuur 1.

Welke uitspraken zijn juist?

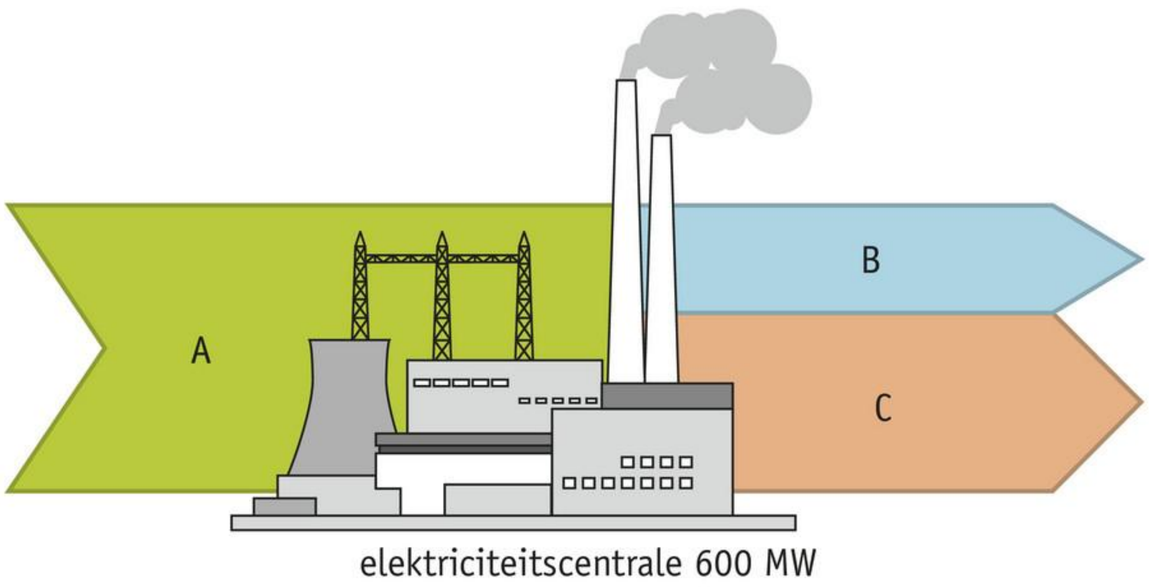
- ☐ Je ziet dat de wet van behoud van energie geldt, doordat de twee pijlen achter de energieomzetter samen even hoog zijn als de pijl ervoor.
- ☐ Je ziet dat de wet van behoud van energie geldt, doordat de twee pijlen achter de energieomzetter even lang zijn als de pijl ervoor.
- ☐ Hier geldt de wet van behoud van energie niet, want er gaat energie verloren in de vorm van warmte.
- ☐ Het rendement van deze lamp is 17%.
- ☐ Het rendement van deze lamp is 100%.



figuur 1 Spaarlamp.

2 **Leerdoel 2**

Je ziet het energiestroomdiagram van een gasgestookte centrale (figuur 2). De centrale heeft een rendement van 40%.
Kies de juiste soort energie.
Welk soort energie stelt pijl A voor?
chemische energie / elektrische energie / warmte
Welk soort energie stelt pijl B voor?
chemische energie / elektrische energie / warmte
Welk soort energie stelt pijl C voor?
chemische energie / elektrische energie / warmte



figuur 2 Elektriciteitscentrale.

3 **Leerdoel 3**

Meneer Boukari heeft zijn dak bedekt met 16 m^2 zonnepanelen. Als de zon volop schijnt, is het ingestraalde vermogen 1000 W m^{-2}. De zonnepanelen leveren dan een elektrisch vermogen van 2,4 kW.
Bereken het rendement van de zonnepanelen.

Het rendement van de zonnepanelen is ..... %.

4 **Leerdoel 4**

Tijdens de gymles klim je 4,5 m langs een touw omhoog. Je massa is 53,8 kg.
Bereken de arbeid die je hierbij verricht.

Je verricht hierbij ..... kJ arbeid.

5 **Leerdoel 5**

De magnetron van Wendy (met een vermogen van 600 W) staat 12 minuten aan.
1 kWh kost € 0,40.
Hoeveel euro moet Wendy betalen voor de elektrische energie die de magnetron heeft verbruikt? Rond af op twee decimalen.

Wendy moet hiervoor € ..... betalen.

1 ARBEID EN VERPLAATSING

Leerdoelen

3.1.1 Je kunt redeneren met de formule voor arbeid.
3.1.2 Je kunt berekeningen maken met arbeid bij omhoog bewegen.
3.1.3 Je kunt berekeningen maken met kracht, verplaatsing en arbeid.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	3.1.1	3.1.2	3.1.3	2.3.3*
Onthouden				
Begrijpen	1, 3e, 4			7ac
Toepassen	3c	2, 5a, 6, 7b	3abd, 5b, 8a	
Analyseren	9		7d, 8b, 10	

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

Als je met een rugzak een berg oploopt, kost dat meer moeite als de rugzak zwaarder is en als de berg hoger is. De moeite die je moet doen, is recht evenredig met de kracht die je moet uitoefenen en met de verticale verplaatsing.

ARBEID

In de natuurkunde geeft de grootheid **arbeid *W*** aan hoeveel moeite je moet doen om een massa te verplaatsen. Deze grootheid duid je aan met de letter *W* van het Engelse woord voor arbeid: *work*. De arbeid is gelijk aan de kracht maal de verplaatsing.

!

Formule

De formule voor de arbeid *W* is:

$W = F \cdot s$

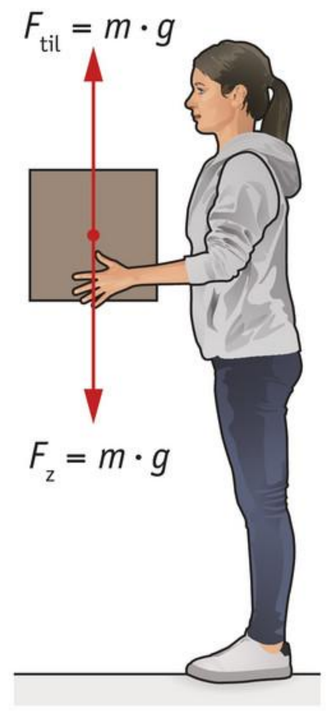
Hierin is:
- *W* de arbeid in newtonmeter (N · m = N m);
- *F* de kracht in newton (N);
- *s* de verplaatsing in meter (m) in dezelfde richting als de kracht *F*.

In plaats van de eenheid newtonmeter mag je ook de joule gebruiken: 1 N m = 1 J

PRACTICUM 1 Hijsen met katrollen

ARBEID BIJ OMHOOG BEWEGEN

De arbeid die je verricht hangt af van de kracht F die je uitoefent. Je wilt bijvoorbeeld een voorwerp met constante snelheid omhoogtillen. Op het voorwerp met massa m werkt een zwaartekracht $F_z = m \cdot g$. Hierin is g de valversnelling. Je oefent dan een even grote kracht uit als de zwaartekracht, maar in tegengestelde richting (figuur 1). De verplaatsing s van de massa is in dit geval de hoogte h, tot waar je de massa optilt. Deze gegevens kun je invullen in de definitie voor arbeid W.



figuur 1 Tillen met constante snelheid.

De formule voor de arbeid W bij een verandering van de hoogte is:

$$W = F \cdot s = F_z \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

De arbeid die je verricht om een massa m tot een hoogte h op te tillen, is dus: $W = m \cdot g \cdot h$
Als er wel een kracht is, maar geen verplaatsing, dan verricht deze kracht geen arbeid. De verplaatsing s is dan 0. W is dan ook 0, omdat $W = F \cdot s = F \cdot 0$. Stel je voor dat je een doos met boeken in je handen houdt: je moet wel een kracht uitoefenen, maar er is geen verplaatsing. Je verricht in dat geval geen arbeid.

Voorbeeldopdracht 1

Een doos met boeken heeft een massa van 15 kg. Je tilt de doos vanaf de grond op tot een hoogte van 75 cm.
Bereken de arbeid die je verricht.

Gegevens $m = 15$ kg
$g = 9{,}81$ m s^{-2}
$s = 0{,}75$ m

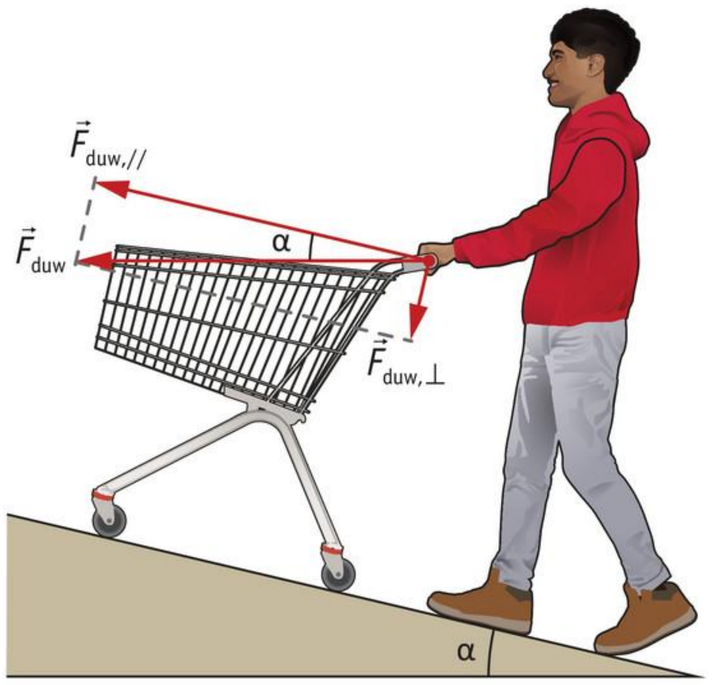
Formule $W = m \cdot g \cdot h$

Uitwerking
$W = 15 \times 9{,}81 \times 0{,}75 = 1{,}1 \cdot 10^2$ N m

KRACHT EN VERPLAATSING NIET IN DEZELFDE RICHTING

Er wordt alleen arbeid verricht wanneer er een kracht werkt langs dezelfde lijn als de verplaatsing. Denk bijvoorbeeld aan een winkelwagentje dat je een helling opduwt (figuur 2). Stel dat je een kracht in horizontale richting uitoefent. Deze kracht kun je in twee componenten ontbinden: één parallel aan het hellend vlak en één loodrecht daarop.

Alleen de parallelle component staat in de richting van de verplaatsing. Deze parallelle component beïnvloedt de beweging van het winkelwagentje en verricht arbeid. De loodrechte component van de kracht helpt het wagentje niet omhoog en verricht dan ook geen arbeid. Als kracht en verplaatsing niet dezelfde richting hebben, maar onder een hoek α staan, dan wordt de component parallel aan de verplaatsing gegeven door: $F_{\parallel} = F \cdot \cos \alpha$



figuur 2 Een winkelwagentje wordt een helling opgeduwd.

Formule

De arbeid W bij een verplaatsing s in een andere richting dan de kracht F is:

$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$

Hierin is:
- W de arbeid in newtonmeter (N m);
- F de kracht in newton (N);
- s de verplaatsing in meter (m);
- α de hoek tussen de kracht F en de verplaatsing s.

Voorbeeldopdracht 2

Je duwt met constante snelheid een winkelwagen met boodschappen een helling van 20° op. Je oefent daarvoor een kracht uit van $1{,}6 \cdot 10^2$ N in horizontale richting. De massa van de winkelwagen met boodschappen is 45 kg. Er is in deze opdracht geen weerstand.

a Bereken de arbeid die je moet verrichten om de winkelwagen 5,0 m langs de helling omhoog te verplaatsen.

b Bereken de arbeid die je moet verrichten als je de winkelwagen verticaal tot dezelfde hoogte zou tillen als in opdracht a. Vergelijk je uitkomsten.

a **Gegevens** $F = F_{duw} = 1{,}6 \cdot 10^2$ N
$\alpha = 20°$
$s = 5{,}0$ m

Formule $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$

Uitwerking
$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha = 1{,}6 \cdot 10^2 \times 5{,}0 \times \cos 20° = 7{,}5 \cdot 10^2$ N m

b De hoogte is gelijk aan de overstaande zijde van de hoek van 20° in een rechthoekige driehoek met schuine zijde 5,0 m. De arbeid die je nu moet verrichten vind je met de formule uit voorbeeldopdracht 1.

Gegevens
$m = 45$ kg
$g = 9{,}81$ m s^{-2}
$\alpha = 20°$
$s = 5{,}0$ m

Formules
$W = m \cdot g \cdot h$
$h = s \cdot \sin \alpha$

Uitwerking
$h = 5{,}0 \times \sin 20° = 1{,}71$ m
$W = m \cdot g \cdot h = 45 \times 9{,}81 \times 1{,}71 = 7{,}5 \cdot 10^2$ N m
De arbeid is precies gelijk aan de arbeid uit opdracht a.

In voorbeeldopdracht 2 heb je gezien dat het voor de arbeid niet uitmaakt hoe je een voorwerp optilt wanneer er geen weerstand is. Wel is de kracht om het voorwerp verticaal te tillen groter dan wanneer je het langs een helling omhoogbrengt.
De formule $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$ is ook geldig als de kracht F een tegenwerkende kracht is. Als een auto remt, is de richting van de remkracht tegengesteld aan de richting van de verplaatsing. De arbeid die de remkracht verricht is negatief.
Dat zie je in de formule doordat: cos 180° = −1
Uit deze formule volgt ook dat de arbeid gelijk is aan nul wanneer de kracht en de verplaatsing onder een hoek van 90° staan. De cosinus van 90° is immers nul.
In bovenstaande voorbeelden was er steeds één kracht die arbeid leverde. Als er meerdere krachten op een voorwerp werken, dan kun je ook de totale arbeid uitrekenen. Dat kan op twee manieren: eerst de resulterende kracht berekenen en daarmee de arbeid, of van elke kracht de arbeid berekenen en die arbeid bij elkaar optellen.

Onthoud

- Als een kracht F over een afstand s werkt, levert de kracht een arbeid $W = F \cdot s$. Dit geldt alleen als F en s dezelfde richting hebben.
- Als je een voorwerp met constante snelheid omhoogtilt, is de arbeid die je levert gelijk aan: $W = m \cdot g \cdot h$
- Als de kracht en de verplaatsing niet dezelfde richting hebben, maar onder een hoek α staan, levert de kracht een arbeid van: $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$. Een kracht die loodrecht op de verplaatsing staat, verricht dus geen arbeid.

OPDRACHTEN ▸ Basis

1 Wel of geen arbeid

Leg met behulp van een formule uit of er in de volgende situaties arbeid wordt verricht. Negeer alle vormen van weerstand.

a Je duwt tegen een betonnen muur.
b Een doos boeken valt van tafel.
c Je tilt een doos boeken op tafel.
d Je verplaatst je over het schoolplein en tilt je tas in je hand.

2 Aarde en maan

Als je iets met constante snelheid omhoogbrengt, moet je een kracht uitoefenen die even groot is als de zwaartekracht.

a Bereken de arbeid die nodig is om een massa van 1,0 kg op de maan tot 1,0 m hoogte op te tillen (de begin- en eindsnelheid zijn nul).
b Doe dit ook voor de aarde.
c Vergelijk je antwoorden op opdracht a en b en leg uit hoeveel keer zo groot de arbeid op aarde is als op de maan.

3 Op rails rijden

Een karretje rijdt over horizontale rails. Iemand trekt het karretje voort aan een touw. Hij loopt niet recht voor het karretje, maar schuin ervoor, naast de rails, zodat het touw een hoek van 30° maakt met de bewegingsrichting. Er is een trekkracht van 100 N nodig om het karretje met constante snelheid voort te trekken.

a Maak een schematische tekening in bovenaanzicht van de situatie.
b Bereken hoeveel arbeid wordt verricht als de verplaatsing 200 m is.

Een karretje komt op je af, je gaat ervoor staan en probeert het tegen te houden. Jij oefent een kracht uit van 1,0 kN. Het karretje staat niet meteen stil, maar als je 2,0 m achteruit bent gestapt terwijl je tegen het karretje blijft duwen, staat het karretje wel stil.

c Leg uit hoe je aan de formule voor arbeid kunt zien dat de arbeid in dit geval een negatieve waarde heeft.
d Bereken de arbeid.
e Leg uit bij welke waarden voor de hoek α tussen de kracht en de verplaatsing de arbeid negatief is.

↻ 4 Positief of negatief

Leg voor de volgende drie situaties uit of de arbeid *die de zwaartekracht verricht* positief is, negatief is of gelijk is aan nul.

a Je hijst een voorwerp omhoog.
b Een voorwerp valt.
c Een voorwerp ligt op tafel.

5 Kleine broer

Je tilt je kleine broer van 25 kg in een bolderkar (kar op wielen). Je moet hem daarvoor over de rand van de kar tillen. Zijn zwaartepunt gaat eerst 60 cm omhoog en dan weer 40 cm naar beneden.

a Bereken hoeveel arbeid je hiervoor moet verrichten.

Je kleine broer zit in de bolderkar. Jij trekt de kar met constante snelheid voort met een touw dat aan de kar vastzit. Het touw maakt een hoek van 25° met de horizontaal. Je oefent een kracht uit van 150 N.

b Bereken de arbeid die je moet verrichten om je broer een afstand van 500 m te verplaatsen.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

P 6 Metro met hoogteverschil

In Lausanne, Zwitserland overbruggen metrotreinstellen met een massa van 57,3 ton een hoogteverschil van 338 m. Dat is het grootste hoogteverschil ter wereld.

a Bereken de arbeid die daarvoor nodig is.

Het blijkt dat in werkelijkheid de benodigde arbeid $2{,}40 \cdot 10^8$ N m is, omdat ook de massa van de passagiers omhoog wordt gebracht.

b Bereken de massa van de passagiers.

7 Twee hellingen

Een winkelwagen met massa 20 kg wordt een helling van 5,0° opgeduwd over een hoogte van 0,50 m. Er is geen weerstand.

a Bereken hoe groot de duwkracht is wanneer je parallel aan het oppervlak duwt.

b Bereken de arbeid die de duwkracht verricht.

De hoek wordt vergroot naar 15°.

c Beredeneer of je harder of minder hard moet duwen nu de hoek groter is.

d Beredeneer of er in deze nieuwe situatie meer arbeid wordt verricht.

8 Winkelwagen met weerstand

In voorbeeldopdracht 2 is geen rekening gehouden met weerstand. In werkelijkheid ondervindt de winkelwagen een rolweerstand van F_{rol} = 50 N. Je duwt de winkelwagen opnieuw met constante snelheid over een afstand van 5,0 m langs de helling met een hoek van 20° omhoog. F_{duw} in horizontale richting, zonder weerstand, is weer $1{,}6 \cdot 10^2$ N.

a Bereken opnieuw hoeveel arbeid je moet leveren, nu rekening houdend met de rolweerstand.

Massa's omhoog verplaatsen langs een helling heeft een voordeel en een nadeel.

b Leg uit welk voordeel en nadeel dat zijn.

9 Verhuizers

Bij het verhuizen van dozen in of uit een woning maken verhuizers vaak en treintje: de verhuizers staan achter elkaar en geven de dozen aan elkaar door. Er staat dan bijvoorbeeld een verhuizer bovenaan een trap en een onderaan de trap.
Leg met behulp van de formule voor arbeid bij omhoog bewegen uit waarom dat handiger is dan steeds de trap op- en aflopen met een doos.

★ P 10 Naar beneden rollen

Een losgeslagen metrotrein met massa m rolt vanaf een hoogte h een helling af met hellingshoek α. Er is geen wrijving.

a Leid een verband af voor de hoeveelheid arbeid die de zwaartekracht heeft verricht wanneer de metro onderaan de helling is gekomen.

b Van welke grootheden hangt de totale arbeid af?

2 ARBEID EN SNELHEID

Leerdoelen

3.2.1 Je kunt uitleggen dat een positieve arbeid op een voorwerp zorgt voor een snelheidstoename en een negatieve arbeid voor een snelheidsafname.
3.2.2 Je kunt berekeningen maken met arbeid, massa en snelheidsverandering.
3.2.3 Je kunt op basis van een snelheidsverandering de gemiddelde uitgeoefende kracht berekenen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	3.2.1	3.2.2	3.2.3
Onthouden			
Begrijpen	11, 14a		
Toepassen	20	12, 13b, 14bc, 15b, 16, 17	13ac, 15a, 18
Analyseren		19	21

Bij de start van een bobslee rennen de atleten zo lang mogelijk mee. Ze duwen de slee aan met hun spierkracht en na de aanloop springen ze erin. De eindsnelheid van een voorwerp dat op gang wordt gebracht, hangt af van drie dingen: de grootte van de kracht, de massa van het voorwerp en de afstand waarop de kracht blijft werken.

VERBAND TUSSEN ARBEID EN SNELHEIDSVERANDERING

Als je een massa met constante snelheid omhoogtilt, dan lever je een positieve arbeid gelijk aan $W = m \cdot g \cdot h$. De zwaartekracht levert dan ook een arbeid van $W = -m \cdot g \cdot h$, maar de zwaartekracht is tegengesteld gericht en dus is de arbeid negatief. De totale arbeid die op de massa wordt verricht is dan nul.
Omdat de snelheid van de massa constant is, is de versnelling a gelijk aan nul. Volgens de tweede wet van Newton, $F = m \cdot a$, is de resulterende kracht op de massa dus ook nul: jouw spierkracht is gelijk, maar tegengesteld aan de zwaartekracht op de massa.
Als er wel een resulterende kracht op een voorwerp werkt, dan verandert de snelheid. Bij een positieve resulterende kracht op een voorwerp is de totale arbeid groter dan nul en neemt de snelheid toe, bij een negatieve resulterende kracht is de totale arbeid kleiner dan nul en neemt de snelheid af. In beide gevallen wordt er wel een totale arbeid verricht. Dan geldt de wet van arbeid en energie.



figuur 3 Aanduwen van een bobslee.

Formule

De formule van de wet van arbeid en energie is:

$$\Sigma W = \tfrac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{eind}} - \tfrac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{begin}}$$

Hierin is:

- ΣW de totale arbeid, ofwel de netto-arbeid die op het voorwerp wordt geleverd in newtonmeter of joule (N m of J);
- m de massa van het voorwerp in kilogram (kg);
- v_{begin} de beginsnelheid in meter per seconde (m s^{-1});
- v_{eind} de eindsnelheid in meter per seconde (m s^{-1}).

Het symbool Σ is de Griekse hoofdletter sigma en wordt in de wiskunde gebruikt om een som (optelling) mee aan te geven.

In het eenvoudigste geval is de kracht constant en versnelt het voorwerp vanuit rust: $v_{\text{begin}} = 0$. Met de informatie uit de voorgaande hoofdstukken kun je dit verband tussen arbeid en snelheidsverandering afleiden.
Stel dat op een massa m een constante kracht F werkt over een afstand s. Kracht en verplaatsing staan in dezelfde richting. Voor deze situatie gelden de volgende formules:
$W = F \cdot s$
$F = m \cdot a$
$s = v_{\text{gem}} \cdot t$
Hieruit volgt: $W = F \cdot s = m \cdot a \cdot v_{\text{gem}} \cdot t$
Voor een eenparig versnelde beweging vanuit stilstand geldt:
$v_{\text{gem}} = \tfrac{1}{2} \cdot v_{\text{eind}}$ en $a \cdot t = v_{\text{eind}}$
Samenvoegen geeft: $W = \tfrac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{eind}}$

Als je het voorwerp niet vanuit stilstand versnelt, dan hoef je natuurlijk minder arbeid te verrichten om dezelfde eindsnelheid te bereiken. De arbeid die je dan minder verricht, is gelijk aan de arbeid die nodig was om het voorwerp te versnellen tot de beginsnelheid. Daaruit volgt het algemene verband voor arbeid en energie:
$\Sigma W = \tfrac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{eind}} - \tfrac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{begin}}$
Het maakt voor de verrichte arbeid niet uit of de kracht wel of niet constant is en ook niet over welke weg de arbeid wordt verricht. Alleen de begin- en eindsnelheid zijn van belang.

Voorbeeldopdracht 3

Een bobslee wordt aan het begin van een wedstrijd aangeduwd (figuur 3).

a Bereken de geleverde arbeid op een bobslee met massa 200 kg die vanuit stilstand tot een snelheid van 8,0 m s^{-1} wordt versneld.

b Beredeneer wat de eindsnelheid zal zijn als de bobslee met eenzelfde gemiddelde kracht over een twee keer zo grote afstand wordt aangeduwd.

c Bereken de geleverde arbeid op de bobslee als deze van 8,0 m s^{-1} tot een snelheid van 16 m s^{-1} wordt versneld.

a **Gegevens** $m = 200$ kg
$v_{begin} = 0$ m s^{-1}
$v_{eind} = 8{,}0$ m s^{-1}

Formule $\Sigma W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{eind} - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{begin}$

Uitwerking
$\Sigma W = \frac{1}{2} \times 200 \times 8{,}0^2 - \frac{1}{2} \times 200 \times 0^2 = \frac{1}{2} \times 200 \times 8{,}0^2 = 6{,}4 \cdot 10^3$ N m

b Er geldt: $W = F \cdot s$. De kracht is gelijk, maar de afstand is twee keer zo groot. Daarom is de arbeid ook twee keer zo groot.
Vanuit stilstand geldt: $\Sigma W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{eind}$. De eindsnelheid in het kwadraat wordt dus twee keer zo groot. Dan is de eindsnelheid zelf $\sqrt{2}$ keer zo groot, dus $v_{eind} = \sqrt{2} \times 8{,}0 = 11$ m s^{-1}.

c **Gegevens** $m = 200$ kg
$v_{begin} = 8{,}0$ m s^{-1}
$v_{eind} = 16$ m s^{-1}

Formule $\Sigma W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{eind} - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{begin}$

Uitwerking
$\Sigma W = \frac{1}{2} \times 200 \times 16^2 - \frac{1}{2} \times 200 \times 8{,}0^2 = 19 \cdot 10^3$ N m

In voorbeeldopdracht 3 kun je zien dat het versnellen van de bobslee vanuit stilstand tot 8,0 m s^{-1} minder dan de helft van de arbeid kost die je nodig hebt om de bobslee nog eens 8,0 m s^{-1} sneller te laten gaan. Dat komt door het kwadraat van de snelheid in de formule voor arbeid bij versnellen.

AFREMMEN

Bij afremmen (vertragen) is de resulterende kracht op een voorwerp negatief en de arbeid ook. De kracht is dan tegengesteld gericht aan de verplaatsing. De hoek tussen de richting van de kracht en de richting van de verplaatsing is dan $\alpha = 180°$. De cosinus daarvan is gelijk aan -1, zodat de uitkomst van $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$ negatief is.
Dat klopt met het verband tussen totale arbeid en snelheidsverandering, $\Sigma W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{eind}} - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{begin}}$. Bij afremmen geldt $v_{\text{eind}} < v_{\text{begin}}$. Daarom krijgt de totale arbeid een negatieve waarde.

NIET-CONSTANTE KRACHTEN

Bij niet-constante krachten blijft de wet van arbeid en energie geldig. Je moet wel meer moeite doen om de totale arbeid uit te rekenen. Als de kracht een paar keer verandert van de ene constante waarde naar de andere, kun je voor de verschillende stukken $W = F \cdot s$ toepassen en de resultaten optellen om de totale arbeid uit te rekenen. Daarna kun je met de wet van arbeid en energie uitrekenen hoe de snelheid verandert. Omgekeerd is gemakkelijker: als je weet wat de begin- en de eindsnelheid zijn, dan weet je ook hoeveel arbeid er netto is geleverd. Als je weet over welke afstand de arbeid is geleverd, dan kun je daarmee de gemiddelde kracht berekenen op het voorwerp. Er geldt dan: $\Sigma W = F_{\text{gem}} \cdot s$

Onthoud

- Bij een positieve resulterende kracht op een voorwerp is de totale arbeid groter dan nul en neemt de snelheid toe. Bij een negatieve resulterende kracht is de totale arbeid kleiner dan nul en neemt de snelheid af.
- Voor de totaal verrichte arbeid bij een snelheidsverandering zijn alleen de begin- en eindsnelheid van belang.
- Als op een voorwerp met massa m arbeid W wordt verricht, geldt de wet van arbeid en energie: $\Sigma W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{eind}} - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{begin}}$
- Als de kracht op een voorwerp niet constant is, dan bereken je de gemiddelde kracht met $\Sigma W = F_{\text{gem}} \cdot s$. De snelheidsverandering volgt dan uit de wet van arbeid en energie.

OPDRACHTEN ▸ Basis

11 Parachutist

Een parachutist daalt een kilometer met constante snelheid. Op de parachutist werken twee krachten: de zwaartekracht en de luchtweerstandskracht.

a Leg met behulp van de formule $\Sigma W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{eind}} - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{begin}}$ uit dat de totale arbeid verricht op de parachutist gelijk moet zijn aan nul.

b Welke kracht verricht positieve arbeid?

c Welke kracht verricht negatieve arbeid?

12 Bobslee

Op een startende bobslee van 600 kg werkt een constante kracht van 4,5 kN.

a Bereken de snelheid van de slee na 12 m duwen.

b Beredeneer wat de eindsnelheid zal zijn als de kracht waarmee de bobslee wordt aangeduwd twee keer zo groot is.

P 13 Metrotreinstel

Een metrotreinstel met een massa van 50 ton trekt op vanuit stilstand. Na 25 m is de snelheid 12 km h^{-1}. Verwaarloos de wrijving.

a Bereken de gemiddelde motorkracht.

Deze metro versnelt verder tot een snelheid van 60 km h^{-1}. De motorkracht is hierbij gelijk aan die van opdracht a.

b Bereken de afstand die de metro hierbij aflegt.

c Vervolgens remt de metro over een afstand van 50 m af tot stilstand.
Bereken de gemiddelde remkracht.

C 14 Kogeltje

Een kogeltje met een massa van 100 g valt van 10 m hoogte. De luchtweerstand is te verwaarlozen.

a Leg uit of de arbeid die de zwaartekracht hierbij verricht positief of negatief is en leg hiermee uit dat de snelheid toeneemt.

De arbeid die de zwaartekracht hierbij verricht is 9,8 N m.

b Bereken de snelheid waarmee het kogeltje neerkomt.

c Bereken de eindsnelheid voor een kogeltje dat van 40 m hoogte valt.

C 15 Vrachtwagen

Een zwaarbeladen vrachtwagen staat bij een stoplicht. Het stoplicht springt op groen en de vrachtwagen trekt op tot een snelheid van 80 km h^{-1} over een afstand van 1,0 km. De vrachtwagen heeft een massa van $32 \cdot 10^3$ kg.

a Bereken de gemiddelde motorkracht van de vrachtwagen tijdens het optrekken. Verwaarloos alle vormen van wrijving.

Even later moet de vrachtwagen een noodstop maken. De maximale remkracht van de vrachtwagen bedraagt 160 kN.

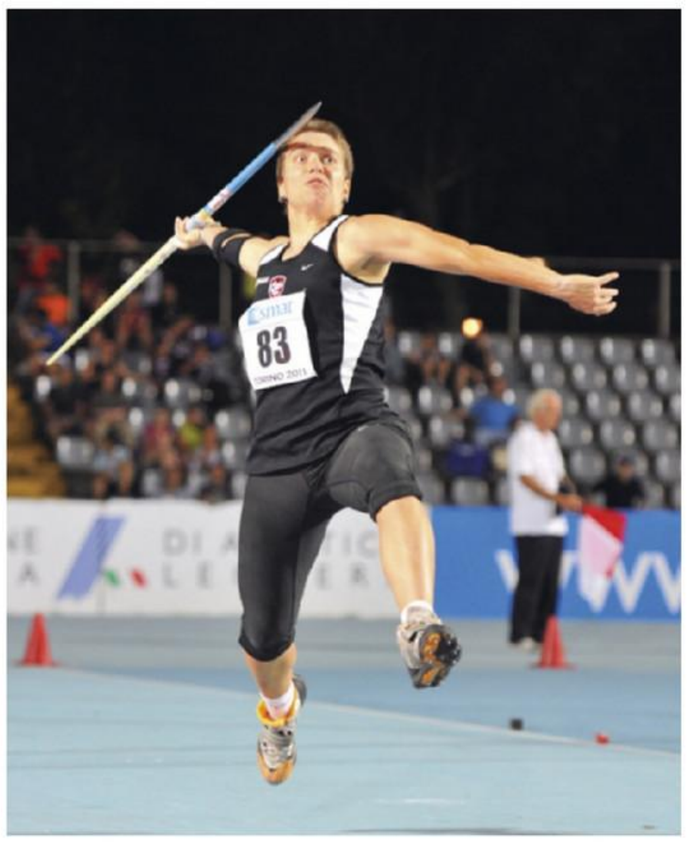
b Bereken na welke afstand de vrachtwagen tot stilstand komt.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

16 Speerwerper

Een speerwerper houdt tijdens de aanloop de speer zo ver mogelijk achter zich (figuur 4). Aan het eind beweegt hij zijn arm van helemaal naar achteren naar zo ver mogelijk voor zich.
Leg met behulp van de 'formule voor arbeid en energie' uit dat dit 'zo ver mogelijk uitstrekken van de arm naar achteren en naar voren' helpt als je de speer ver weg wilt gooien.



figuur 4 Speerwerpen.

17 Slee

Op een slee met massa van 200 kg die begint vanuit stilstand werkt 18 m lang een kracht van 50 N. Daarna werkt nog 35 m lang een kracht van 20 N.
Bereken met behulp van de wet van arbeid en energie de eindsnelheid van de slee.

18 Afremmende auto

Een auto met een massa van 1000 kg remt binnen 40 m af van 120 km h^{-1} tot 90 km h^{-1}.
Bereken de gemiddelde grootte van de remkracht van de auto.

19 Wielrenner

Een wielrenner oefent tijdens het versnellen na de start een constante kracht uit. Om een snelheid van 12 km h^{-1} te bereiken, legt de wielrenner een afstand van 25 m af.
Bereken de afstand die de wielrenner extra aflegt om een snelheid van 60 km h^{-1} te bereiken. Verwaarloos alle vormen van weerstand.

20 Eenheden

De formule van de wet voor arbeid en energie koppelt verschillende grootheden aan elkaar. Omdat er een isgelijkteken staat, moet de eenheid van het linkerdeel gelijk zijn aan die van het rechterdeel.
Toon dat aan door middel van een afleiding van eenheden. Druk hiervoor alle eenheden uit in SI-basiseenheden. Maak gebruik van *BiNaS*.

★ 21 Kracht niet constant bij hijsen

In paragraaf 1 heb je geleerd dat de arbeid die je verricht als je een massa over een bepaalde hoogte omhoogtilt gelijk is aan: $W = m \cdot g \cdot h$. Daarbij nam je aan dat de snelheid constant is. Maar als je iets optilt tot een bepaalde hoogte is de snelheid meestal niet constant.
Toon met behulp van de wet van arbeid en energie aan dat de formule voor arbeid bij tillen geldt zolang de begin- en eindsnelheid maar gelijk zijn. Daarmee toon je dus aan dat de snelheid tussen begin en eind niet constant hoeft te zijn.

3 ARBEID EN VEERKRACHT

Leerdoelen

3.3.1 Je kunt de arbeid bepalen uit een (*F*,*s*)-diagram.
3.3.2 Je kunt berekenen hoeveel arbeid nodig is om een veer in te drukken of uit te rekken.

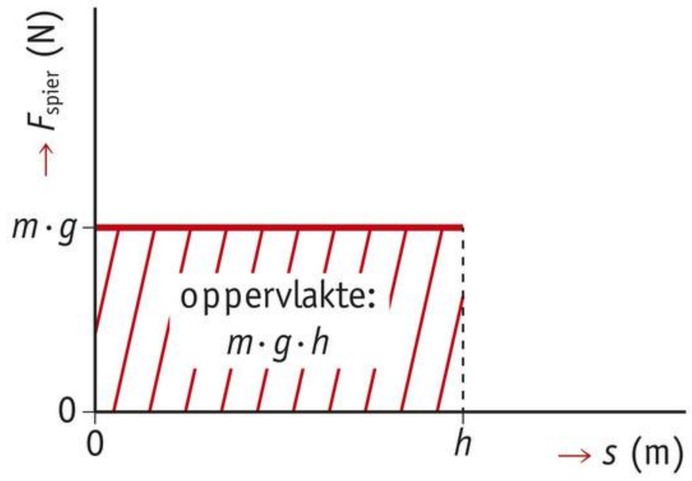
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	3.3.1	3.3.2	3.1.3*	2.4.3*
Onthouden				
Begrijpen	22a	22b, 30a		
Toepassen	23d, 26, 27	23abc, 24b, 25, 28ac, 30ad, 31ab	29a, 30bc	24a
Analyseren	28d	28c, 29bc, 31c		28b

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

Een boog van een boogschutter lijkt op een veer: hoe verder je de pees van de boog uitrekt, hoe groter de kracht is die je moet uitoefenen. Het uitrekken van een veer is een speciaal geval van een niet-constante kracht.

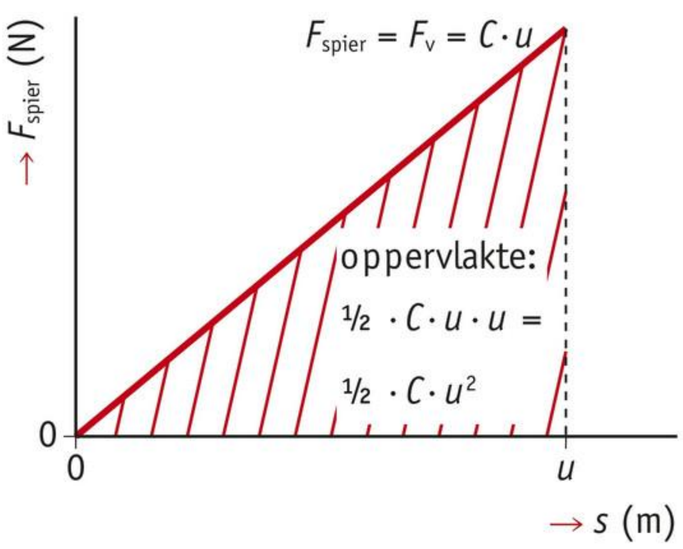
ARBEID GRAFISCH BEPALEN

Verende systemen komen veel voor, van traptrede tot bungeejumpelastiek en zelfs in moleculaire bindingen. Als de veer aan de wet van Hooke voldoet, is de veerkracht F_v recht evenredig met de uitrekking u: $F_v = C \cdot u$. Hierin is C de veerconstante.
Wanneer je een veer uitrekt, oefen je een kracht uit over een bepaalde afstand. De verplaatsing s is in dit geval gelijk aan de uitrekking u van de veer. Je verricht dus arbeid bij het uitrekken van een veer. Maar de kracht die je uitoefent, is niet constant.
De arbeid die een niet-constante kracht verricht, kun je grafisch bepalen uit een (*F*,*s*)-diagram. Om te begrijpen hoe je dat doet, kun je eerst kijken hoe dat voor een constante kracht zoals de zwaartekracht werkt. Bekijk daarvoor het (*F*,*s*)-diagram van het optillen van een massa (figuur 5). De spierkracht die je uitoefent, is gelijk aan de zwaartekracht. Arbeid is de kracht maal de verplaatsing. Omdat de spierkracht constant is voor de hoogte waarover je tilt, is $F \cdot s$ precies de oppervlakte van een rechthoek met hoogte $m \cdot g$ en breedte h. De arbeid wordt dan gegeven door $m \cdot g \cdot h$. Dat was de conclusie van paragraaf 1.



figuur 5 (*F*,*s*)-diagram van het optillen van een massa.

In het algemeen geldt dat de arbeid die een kracht F verricht, gelijk is aan de oppervlakte onder het (F,s)-diagram. Zo kun je altijd *grafisch* de arbeid *bepalen*, zelfs wanneer de kracht verandert als de positie verandert. Voorwaarde is wel dat de kracht F in de richting van de verplaatsing s werkt. Ook moet de kracht in newton zijn uitgedrukt en de verplaatsing in meter.
In figuur 6 staat het (F,s)-diagram van een veer: verticaal is de spierkracht F_{spier} weergegeven die nodig is om de veer een uitrekking u te geven. De spierkracht is gelijk aan de veerkracht.



figuur 6 (F,s)-diagram van het uitrekken van een veer.

De arbeid die je moet verrichten om een veer uit te rekken, kun je berekenen door de oppervlakte onder de grafiek te bepalen. De figuur onder de grafiek is een driehoek. De oppervlakte van een driehoek bereken je met: ½ × basis × hoogte. Daaruit volgt de volgende formule:

Formule

De formule voor de arbeid W die nodig is om een veer vanuit de ruststand een uitrekking u te geven is:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2$$

Hierin is:
- W de arbeid in newtonmeter (N m);
- C de veerconstante in newton per meter (N m^{-1});
- u de uitrekking van de veer in meter (m).

De arbeid hangt dus af van het *kwadraat* van de uitrekking: rek je een veer *twee* keer zo ver uit, dan verricht je *vier* keer zoveel arbeid. Vergelijk dit met de arbeid om een massa op te tillen: $W = m \cdot g \cdot h$. Til je een massa *twee* keer zo hoog, dan verricht je ook *twee* keer zoveel arbeid.

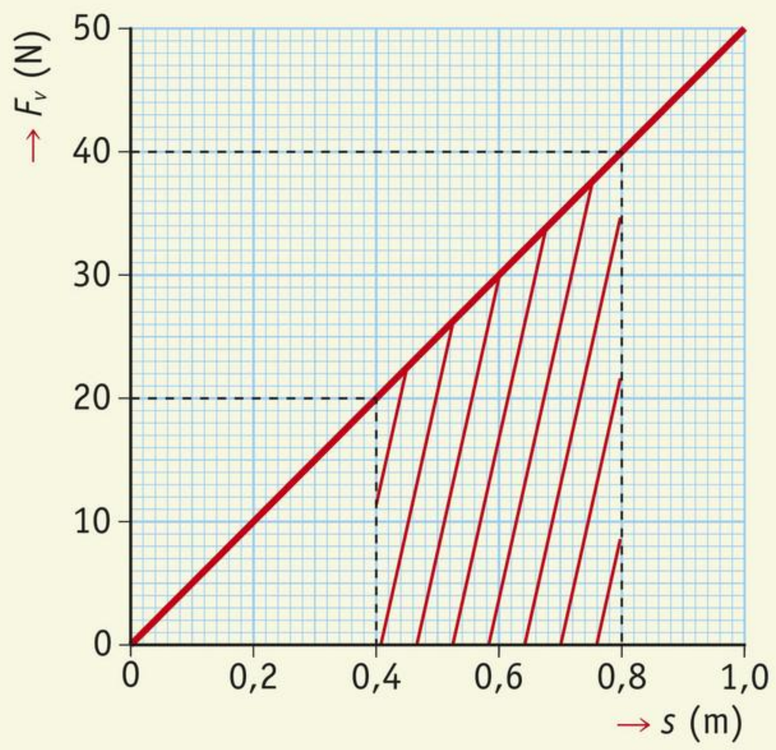
Voorbeeldopdracht 4

Een veer heeft een veerconstante van 50 N m^{-1} en is 40 cm uitgerekt.
Bereken hoeveel arbeid je moet verrichten om de veer verder uit te rekken tot 80 cm.

Uitwerking

Er zijn twee uitwerkingen die op hetzelfde neerkomen:

I Je kunt de arbeid bepalen door de oppervlakte te bepalen onder het (F,s)-diagram tussen u = 0,40 m en u = 0,80 m (figuur 7). Deze oppervlakte kun je berekenen door eerst de oppervlakte van de driehoek tot aan u = 0,80 m te berekenen en daar de oppervlakte van de driehoek tot aan u = 0,40 m van af te trekken. Je vindt dan:
$W = ½ \times 0{,}80 \times 40 - ½ \times 0{,}40 \times 20 = 16 - 4{,}0 = 12$ N m



figuur 7 De arbeid om een veer van 40 cm tot 80 cm uit te rekken, is gelijk aan de gearceerde oppervlakte.

II Je kunt de arbeid ook berekenen met behulp van de formule $W = ½ \cdot C \cdot u^2$. Bereken eerst de arbeid om de veer uit te rekken tot 80 cm. Daar trek je dan de arbeid van af om de veer uit te rekken tot 40 cm, want in het begin was de veer al zo ver uitgerekt. De arbeid is dan:
$W = ½ \times 50 \times (0{,}80)^2 - ½ \times 50\ (0{,}40)^2 = 16 - 4{,}0 = 12$ N m

Merk op dat je in beide uitwerkingen de uitrekking omrekent van cm naar m.

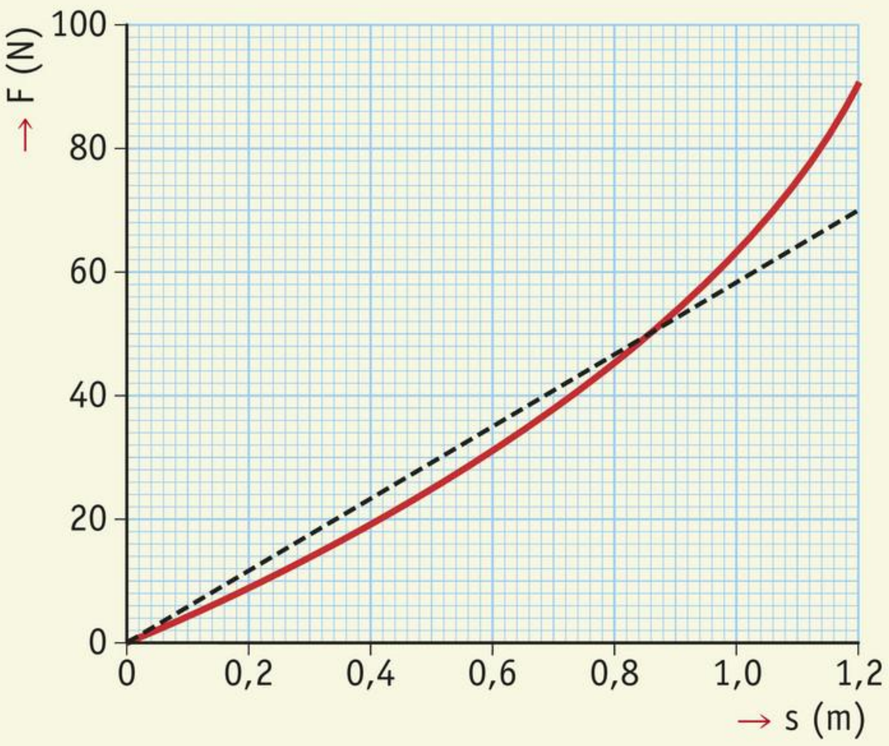
De kracht die arbeid verricht is niet altijd lineair, dus de grafiek in een (F,s)-diagram is niet altijd een rechte lijn. Ook in dat geval kun je de arbeid vinden door de oppervlakte onder de grafiek in het (F,s)-diagram te bepalen.

Voorbeeldopdracht 5

In figuur 8 zie je een (*F*,*s*)-diagram van een voorwerp dat 1,2 m wordt uitgerekt.

a Leg uit dat je nu niet de formule voor de uitrekking van een veer kunt gebruiken om de arbeid te bereken.

b Bepaal de arbeid die wordt verricht om het voorwerp uit te rekken tot 1,2 m.



figuur 8 Een niet-constante kracht.

Uitwerking

a De formule voor een veer geldt alleen als de kracht recht evenredig is: dus een rechte lijn vanuit de oorsprong. Hier begint de grafiek wel vanuit de oorsprong, maar is geen rechte lijn.

b De arbeid is gelijk aan de oppervlakte onder de kromme in het (*F*,*s*)-diagram. Bepaal deze oppervlakte door een rechte lijn te tekenen, zodat er op het oog net zoveel oppervlakte te veel is gerekend (links, waar de stippellijn hoger ligt dan de echte grafiek) als te weinig (rechts). Onder de stippellijn is de oppervlakte: ½ × 1,2 × 70 = 42 N m

In voorbeeldopdracht 5 is de oppervlakte onder de grafiek bepaald door de oppervlakte te benaderen met een eenvoudigere vorm: een driehoek. Je mag ook de methode van hokjes tellen gebruiken. Tel daarvoor het aantal hokjes onder de grafiek. Bereken de oppervlakte van één hokje en vermenigvuldig die met het aantal hokjes.

ONTWERPEN VAN EEN BOOG

Bij het ontwerpen van een boog kun je gebruikmaken van de theorie over de arbeid om een veer uit te rekken. Een boogschutter wil een pijl met zo groot mogelijke snelheid afschieten. Daarvoor is het nodig dat de boogschutter bij het spannen van de boog zoveel mogelijk arbeid verricht. Diezelfde arbeid kan de pees daarna op de pijl verrichten bij het schieten. Om een schatting te maken van de maximale arbeid die kan worden verricht, moet je weten welke kracht een boogschutter maximaal kan uitoefenen en over welke afstand. Het blijkt dat een sterk persoon maximaal een kracht *F* van 360 N met de arm kan uitoefenen. Als je naar figuur 9 kijkt, zie je dat de afmetingen van het



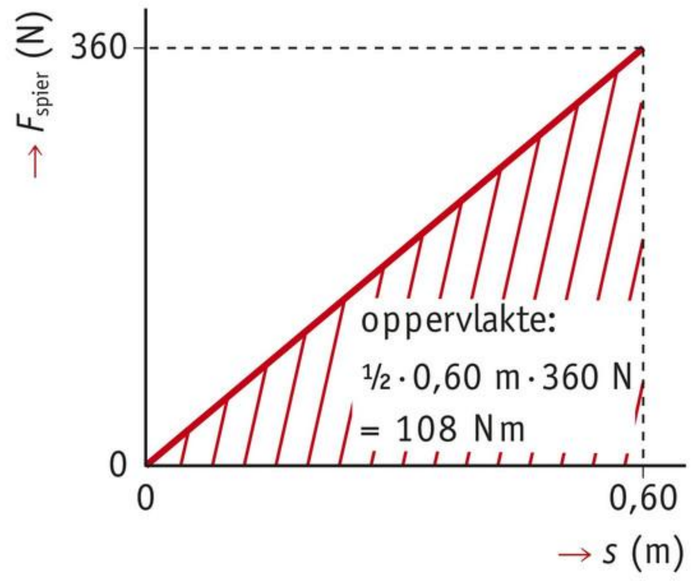
figuur 9 De boogschutter kan de pees van de boog niet verder uitrekken (dan zou zij langere armen moeten hebben).

menselijk lichaam de afstand s beperken waarover je deze maximale kracht kunt uitoefenen: ongeveer 0,60 m. Als de boogschutter de hele tijd de maximale kracht zou uitoefenen, zou de arbeid $W_{max} = F \cdot s = 360 \times 0{,}60 = 216$ N m zijn.

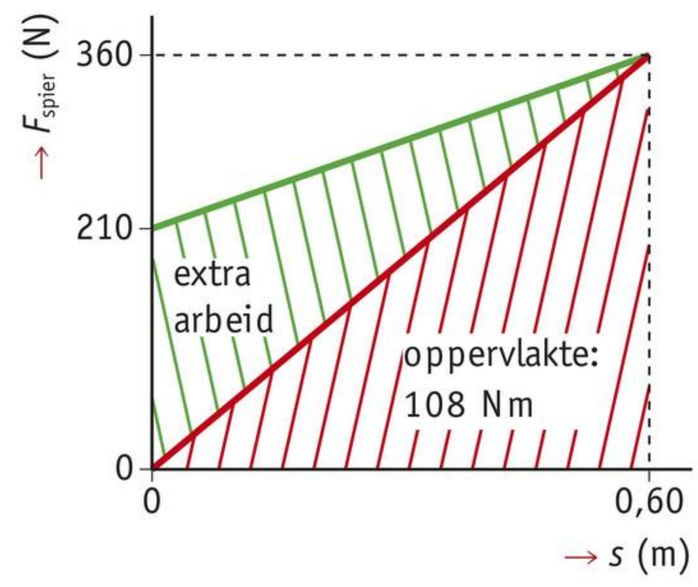
Je kunt een pees bij benadering zien als een veer: de kracht is recht evenredig met de uitrekking. Stel dat op de pees een kracht werkt van 0 N als hij ontspannen is. En stel dat de boog zo is gemaakt dat bij een uitrekking van 0,60 m de kracht gelijk is aan 360 N. Je kunt de arbeid dan bepalen door te kijken naar de oppervlakte onder het (F,s)-diagram (figuur 10). De oppervlakte onder de grafiek is gelijk aan: ½ × 0,60 × 360 = 108 N m

Dat is slechts de helft van de arbeid die een mens maximaal kan uitoefenen. Dat komt doordat je gedurende het uitrekken van de boog niet steeds de maximale kracht uitoefent.

Wil je meer arbeid op de boog verrichten, dan kun je niets veranderen aan de uitrekking: die wordt beperkt door de lengte van je arm. Je moet zorgen dat je bij het uitrekken van de boog een gemiddeld grotere kracht uitoefent. Dat kun je doen door de pees voor te spannen. Er is dan al een kracht nodig om de boog vanuit rust uit te rekken. In het (F,s)-diagram van figuur 11 is die kracht gelijk aan 210 N. De maximale kracht is nog steeds 360 N, maar de oppervlakte onder de groene lijn in de grafiek is groter. De arbeid bij het uitrekken is dus ook groter. Pijlen die je afschiet met een voorgespannen boog zullen verder komen dan pijlen afgeschoten met een niet-voorgespannen boog.



figuur 10 (F,s)-diagram van een boog.



figuur 11 (F,s)-diagram van een voorgespannen boog.

Onthoud

- De arbeid van een kracht die niet constant is, kun je vinden door de oppervlakte onder het (F,s)-diagram te bepalen. F moet dan wel in de richting van s werken.
- De arbeid die je moet verrichten om een veer (of ander voorwerp) die aan de wet van Hooke voldoet een uitrekking u te geven, is gelijk aan: $W = ½ \cdot C \cdot u^2$

OPDRACHTEN ▸ Basis

22 Formule voor arbeid op een veer

De formule voor de arbeid op een veer geldt alleen als de veer vanuit rust wordt uitgerekt.

a Leg dat uit met behulp van de oppervlakte onder het (F,s)-diagram.

De formule kun je ook alleen gebruiken als je de juiste eenheden gebruikt: de veerconstante in N m^{-1} en de uitrekking in m.

b Leg met behulp van de formule voor arbeid op een veer uit waarom je geen arbeid in N m krijgt als je de veerconstante in N cm^{-1} en de uitrekking in cm uitdrukt.

23 Uitrekken

Een veer heeft een veerconstante van 50 N m^{-1}. Je rekt de veer uit van 0 tot 20 cm.

a Bereken de arbeid die je hierbij verricht.

b Bereken de arbeid die je verricht wanneer je de veer uitrekt van 0 tot 40 cm.

c Bereken hoeveel arbeid je verricht wanneer je de veer uitrekt van 20 tot 40 cm.

d Geef de antwoorden van a t/m c weer in een (F,u)-diagram.

24 Pees

Bij het spannen van een boog neem je aan dat de pees is te benaderen door een veer. Stel dat bij een uitrekking van 0 m de kracht gelijk is aan 0 N en bij een uitrekking van 0,60 m gelijk is aan 360 N.

a Bereken de veerconstante C.

b Bereken hoeveel arbeid je verricht als je de pees van 0 m uitrekt tot 0,60 m.

C 25 Stugge veer

Een stugge veer heeft een veerconstante van 50 N cm^{-1}. Je rekt de veer uit van 0 tot 2,0 mm.

a Bereken de arbeid die je hierbij verricht.

b Bereken de arbeid die je verricht wanneer je de veer uitrekt van 2,0 mm tot 4,0 mm.

C 26 Voorspannen

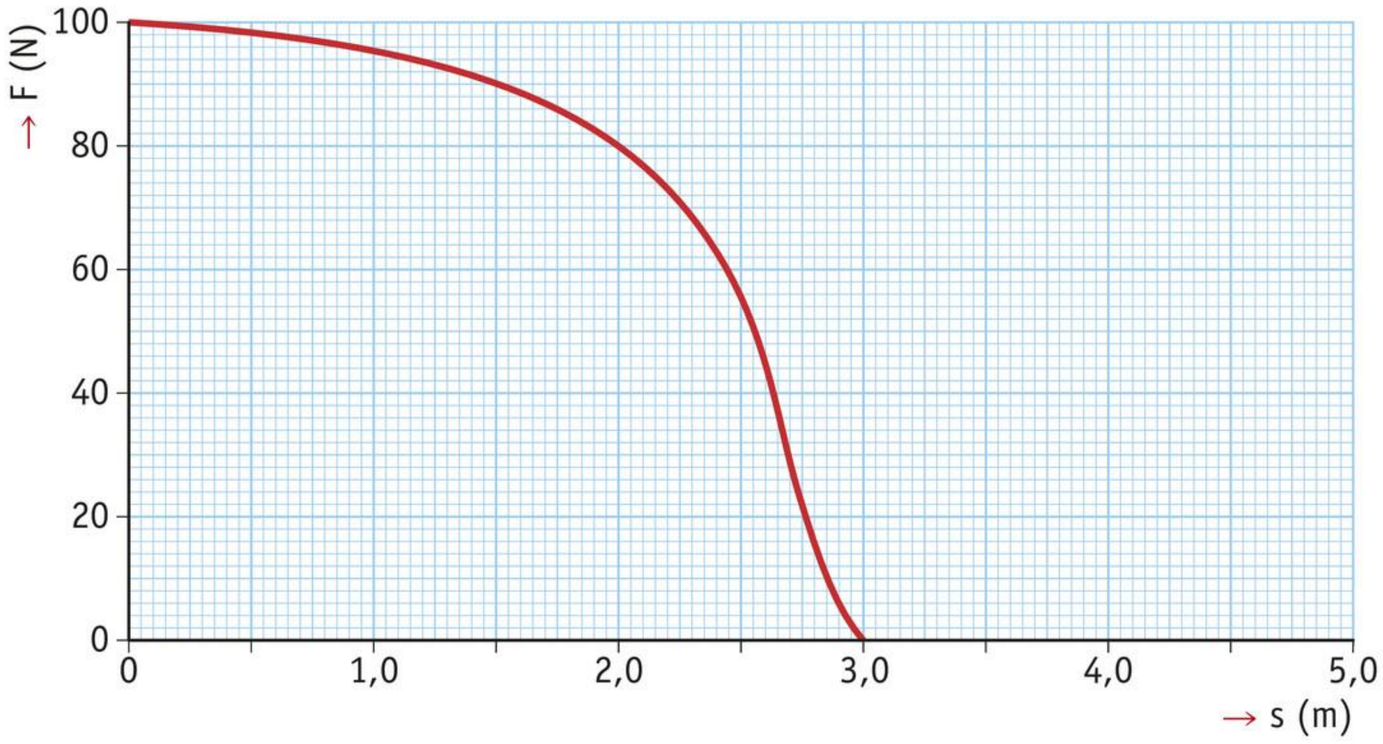
Een boog is voorgespannen, zodat er bij een uitrekking van 0 m een kracht van 210 N op de boog werkt. De kracht neemt lineair toe met de uitrekking. Bij een uitrekking van 0,60 m is de kracht gelijk aan 360 N. Zie figuur 11.
Bepaal uit figuur 11 de arbeid die je verricht om de boog uit te rekken van 0 naar 0,60 m.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

27 Afnemende kracht

In figuur 12 zie je een (*F*,*s*)-diagram van een kracht die steeds kleiner wordt.
Bepaal de arbeid die deze kracht verricht tussen s = 0 m en s = 3,0 m.



figuur 12 Afnemende kracht.

28 Duikplank

Op een duikplank staat een meisje met een massa van 60 kg. De duikplank is aan het uiteinde 15 cm doorgebogen. Bij deze doorbuiging kun je de duikplank bij benadering zien als een veer die voldoet aan de wet van Hooke.

a Bereken de arbeid die hiervoor is verricht.

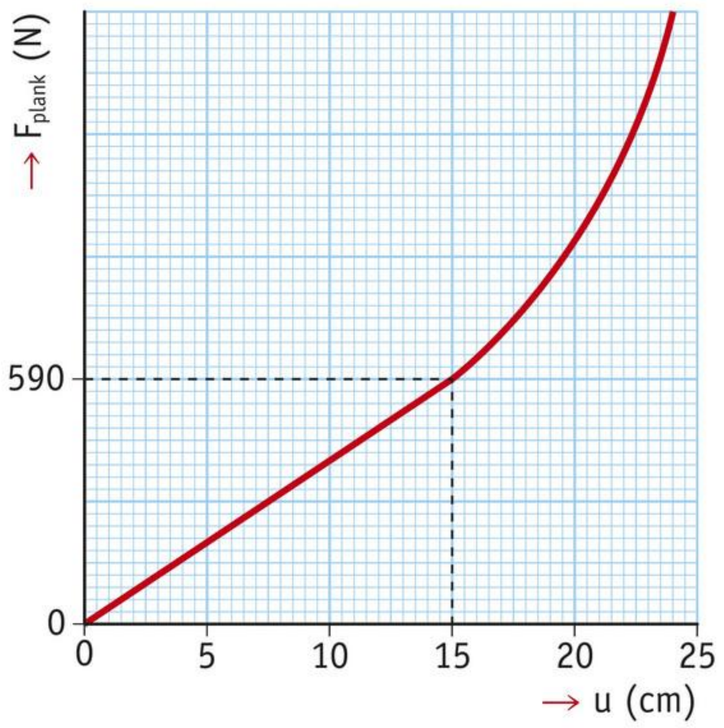
In figuur 13 staat het (*F*,*u*)-diagram van de duikplank.

b Geef een verklaring voor de vorm van de grafiek.

Als de duikplank voor alle afstanden aan de wet van Hooke had voldaan, dan zou de arbeid bij een doorbuiging van 20 cm precies $\left(\frac{4}{3}\right)^2 = \frac{16}{9}$ keer zo groot zijn als bij een doorbuiging van 15 cm.

c Leg dat uit met behulp van de formule voor de arbeid van een veer.

d Leg op basis van figuur 13 uit of de arbeid in werkelijkheid bij een doorbuiging van 20 cm meer of minder dan $\frac{16}{9}$ keer zo groot is als bij een doorbuiging van 15 cm.



figuur 13 (*F*,*u*)-diagram van een duikplank.

P 29 Stootblok bij metro

Als een metrolijn eindigt, staat er aan het eind van de rails een 'stootblok' om een doorschietend metrotreinstel tegen te houden (figuur 14). Sommige werken met wrijvingskracht. Het blok schuift dan achteruit over de rails. Een stootblok dat werkt met wrijvingskracht geeft 12 m mee en kan $2{,}0 \cdot 10^6$ N m arbeid leveren.

a Bereken de grootte van de wrijvingskracht.

Sommige stootblokken werken met veerkracht: de metro duwt de veer in.

b Leg uit bij welk type stootblok de grootste afstand nodig is om de trein af te remmen, aangenomen dat de *maximale* remkracht in beide gevallen gelijk is.

c Leg uit dat een stootblok niet uit *alleen maar* uit een veer kan bestaan, omdat er dan een ongewenst effect zou zijn.



figuur 14 Stootblok.

30 Flipperkast

Een flipperkastballetje met een massa van 80 g wordt door een veer met veerconstante 55 N m^{-1} afgeschoten. De veer wordt 5,0 cm ingedrukt.

a Bereken hoeveel arbeid de veer verricht op het balletje wanneer de veer weer ontspant.

De helling van de flipperkast is 10°.

b Bereken hoeveel arbeid de zwaartekracht tijdens het ontspannen van de veer op het balletje heeft verricht.

c Bereken de arbeid die er in totaal op het balletje is verricht.

Je gebruikt nu een balletje van 50 g.

d Hoe veranderen je antwoorden bij opdracht a tot en met c?

★ 31 Twee veren

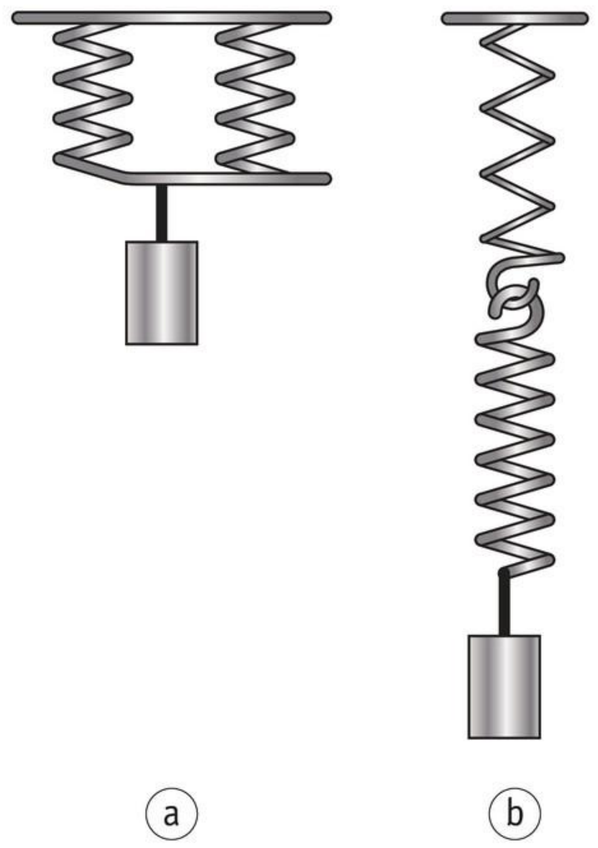
Je hebt twee veren, elk met een veerconstante van 24 N m^{-1}. Je bevestigt de veren naast elkaar aan een statief. Je hangt één gewicht tegelijkertijd aan beide veren (figuur 15a). De veren rekken 5,0 cm uit. Verwaarloos in deze opdracht de massa van de veren zelf.

a Bereken de door het gewicht verrichte arbeid.

Vervolgens bevestig je de veren onder elkaar en hang je het geheel weer aan het statief (figuur 15b). Je hangt hetzelfde gewicht aan de onderste veer.

b Bereken de door het gewicht verrichte arbeid in deze nieuwe situatie.

c Beredeneer op basis van het verschil in arbeid hoe groot de veerconstante is van de twee combinaties veren.



figuur 15 Twee veren.

4 BEHOUD VAN ENERGIE

Leerdoelen

3.4.1 Je kunt de formules voor veerenergie, kinetische energie en zwaarte-energie toepassen.
3.4.2 Je kunt berekeningen maken met de wet van behoud van energie.
3.4.3 Je kunt benoemen wat de stappen van de ontwerpcyclus zijn.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	3.4.1	3.4.2	3.4.3
Onthouden	32a		
Begrijpen	32b		38a
Toepassen	33ac, 36a, 41b	33b, 34, 35, 36bcd, 37, 41c	39
Analyseren	41a	38b, 40, 41d	38c

Door arbeid te verrichten kun je een veer spannen, een voorwerp versnellen of naar een hogere positie brengen. Dat is in de vorige paragrafen van dit hoofdstuk beschreven. Al deze dingen kunnen ook achtereenvolgens plaatsvinden.

ENERGIESOORTEN

Als een boogschutter een pijl omhoogschiet (figuur 16), verrichten verschillende krachten na elkaar arbeid. De hoeveelheid arbeid is steeds gelijk. Als een voorwerp arbeid kan verrichten, zeg je dat het *energie* heeft.
Bij het omhoogschieten van een pijl kun je de volgende stappen onderscheiden:

- De boogschutter verricht arbeid op de pees tot deze is uitgerekt.
- Bij het ontspannen verricht de pees dezelfde hoeveelheid arbeid op de pijl. De snelheid op het moment van het loskomen van de pees wordt bepaald door: $W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
- Tijdens het stijgen verricht de zwaartekracht negatieve arbeid op de pijl. In het hoogste punt is de snelheid gelijk aan 0. Voor de opwaartse beweging geldt dus dat de door de zwaartekracht verrichte arbeid gelijk is aan: $W = F \cdot s = -\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Als je weet wat de snelheid is waarmee de pijl wordt afgeschoten en ook de grootte van de zwaartekracht kent, kun je berekenen hoe hoog de pijl komt.



figuur 16 Spierkracht, veerkracht en zwaartekracht verrichten na elkaar arbeid.

Enkele nieuwe begrippen zijn nuttig bij het doen van berekeningen. Bij elke stap wordt een *energiesoort* omgezet in een andere energiesoort, doordat een kracht arbeid verricht: van veerenergie naar kinetische energie naar zwaarte-energie:

- De **veerenergie E_v** is de energie die is opgeslagen in een gespannen veer. Voor de veerenergie geldt dus: $E_v = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2$
- De energie opgeslagen in een bewegend voorwerp noem je **kinetische energie E_k**. De naam komt van het Griekse woord *κινητικός*, bewegend. De kinetische energie bereken je met $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$. Deze energievorm noem je ook wel bewegingsenergie.
- Als een voorwerp op een bepaalde hoogte is, heeft het **zwaarte-energie E_z**. De hoeveelheid zwaarte-energie is gelijk aan de arbeid die je moet verrichten om het voorwerp naar die hoogte te brengen: $E_z = m \cdot g \cdot h$

Omdat arbeid gelijk is aan de verandering van een energiesoort, is de eenheid van deze energiesoorten gelijk aan de Nm. Die combinatie komt zoveel voor dat voor energie de eenheid joule (J) wordt gebruikt.
Deze drie energiesoorten noem je gezamenlijk **mechanische energie**, omdat ze allemaal met krachten en beweging te maken hebben. De zwaarte-energie en de veerenergie zijn allebei voorbeelden van **potentiële energie**. Dat is een verzamelnaam voor soorten energie die afhangen van de positie van het ene voorwerp ten opzichte van het andere: in de genoemde voorbeelden een massa ten opzichte van de aarde en de windingen van de veer ten opzichte van elkaar.
De regel die geldt voor de arbeid bij een snelheidsverandering kun je korter schrijven nu je weet dat $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ de kinetische energie wordt genoemd. In $\Sigma W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{eind}} - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2_{\text{begin}}$ staat de eindwaarde min de beginwaarde van de kinetische energie. Dat is dus de verandering van deze grootheid. De korte notatie wordt: $\Sigma W = \Delta E_k$. Dit is ook de notatie die in *BiNaS* wordt gebruikt.

WET VAN BEHOUD VAN ENERGIE

Als arbeid wordt verricht, wordt de ene energiesoort omgezet in een andere, maar de totale energie blijft constant. Dit heet de **wet van behoud van energie**. Als er geen energie bij komt (uit bijvoorbeeld brandstof) en er geen energie verloren gaat (bijvoorbeeld in de vorm van warmte), dan is het systeem een **gesloten systeem**. Daarbinnen is de totale energie constant. De wet van behoud van energie kun je opschrijven als: $E_{\text{tot},1} = E_{\text{tot},2}$
Daarbij geven 1 en 2 twee verschillende situaties of momenten aan.

Voorbeeldopdracht 6

Een pijl wordt afgeschoten vanaf een hoogte van 1,5 m met een snelheid van 90 km h^{-1}. De pijl heeft een massa van 150 g.

a Bereken hoe hoog deze pijl maximaal komt als hij verticaal wordt afgeschoten.

De pijl wordt nu onder een hoek afgeschoten. Daardoor bereikt hij slechts een hoogte van 20,0 m.

b Bereken de maximale snelheid van de pijl in het hoogste punt.

a Omdat de pijl verticaal wordt afgeschoten is de snelheid in het hoogste punt gelijk aan nul. Voor de maximale hoogte neem je verder aan dat er geen energie wordt omgezet in warmte.

Gegevens

$v_1 = 90 \text{ km h}^{-1} = 25 \text{ m s}^{-1}$
$h_1 = 1{,}5 \text{ m}$
$v_2 = 0 \text{ m s}^{-1}$
$m = 0{,}150 \text{ kg}$
$g = 9{,}81 \text{ m s}^{-2}$

Formules

$E_{tot,1} = E_{tot,2}$
$E_k = ½ \cdot m \cdot v^2$
$E_z = m \cdot g \cdot h$

Uitwerking

$E_{tot,1} = E_{tot,2} = ½ \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 = ½ \cdot m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2$
Je ziet dat je de massa links en rechts kunt wegdelen:
$½ \cdot v_1^2 + g \cdot h_1 = ½ \cdot v_2^2 + g \cdot h_2$
$½ \cdot v_1^2 + g \cdot h_1 = g \cdot h_2$ (omdat $v_2 = 0$)

$$h_2 = h_1 + \frac{½ \cdot v_1^2}{g} = 1{,}5 + \frac{½ \times 25^2}{9{,}81} = 33{,}4 \text{ m}$$

b Voor de maximale snelheid neem je aan dat er geen energie wordt omgezet in warmte.

Gegevens

$v_1 = 90 \text{ km h}^{-1} = 25 \text{ m s}^{-1}$
$h_1 = 1{,}5 \text{ m}$
$h_2 = 20{,}0 \text{ m}$
$m = 0{,}150 \text{ kg}$
$g = 9{,}81 \text{ m s}^{-2}$

Formules

$E_{tot,1} = E_{tot,2}$
$E_k = ½ \cdot m \cdot v^2$
$E_z = m \cdot g \cdot h$

Uitwerking

$E_{tot,1} = E_{tot,2} = ½ \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 = ½ \cdot m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2$
Je ziet dat je de massa links en rechts kunt wegdelen:
$½ \cdot v_1^2 + g \cdot h_1 = ½ \cdot v_2^2 + g \cdot h_2$
$½ \cdot v_2^2 = ½ \cdot v_1^2 + g \cdot h_1 - g \cdot h_2 = ½ \cdot v_1^2 - g \cdot (h_2 - h_1)$
$v_2^2 = v_1^2 - 2 \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$
$v_2 = \sqrt{v_1^2 - 2 \cdot g \cdot (h_2 - h_1)}$
$v_2 = \sqrt{25^2 - 2 \times 9{,}81 \times (20{,}0 - 1{,}5)} = 16 \text{ m s}^{-1}$

HET ONTWERPPROCES

Er bestaan veel apparaten die de ene energievorm omzetten in de andere en er worden ieder jaar weer nieuwe systemen bedacht. Stel dat je een idee hebt voor een nieuw remsysteem voor metro's. Voordat je dat kunt gaan bouwen, maak je eerst een ontwerp. Bij het ontwerpen van een apparaat of systeem kun je gebruikmaken van wat je weet over energiesoorten. Die kennis helpt bij het bereiken van het doel waarvoor je het apparaat wilt gebruiken.
Als je een product ontwerpt, doorloop je bijna dezelfde stappen als wanneer je een (computer)model opstelt of als je een onderzoek doet. Belangrijk is dat je in plaats van een onderzoeksvraag een aantal wensen (of eisen) van de gebruiker van het product hebt. Daarna kun je twee fasen onderscheiden. In de eerste fase probeer je creatief te zijn en los te komen van bestaande voorbeelden. Je denkt 'out of the box': het is belangrijk dat je komt met nieuwe oplossingen voor het probleem van de gebruiker. In de volgende fase kies je het idee dat het best haalbaar is, of het goedkoopst, en dat het best aan de ontwerpeisen zal voldoen. Dat idee voer je uit. In figuur 17 zie je een schema van de ontwerpcyclus. Het is een cyclisch proces, omdat een werkend prototype nieuwe wensen oproept en wordt verbeterd.
Alexander Graham Bell bouwde in de negentiende eeuw de eerste werkende telefoon. Aan het einde van de twintigste eeuw kwamen er draagbare toestellen op de markt en nu kun je met een smartphone veel meer doen dan bellen alleen. Thomas Alva Edison onderzocht verschillende materialen op geschiktheid als gloeidraad en bouwde een werkende gloeilamp. Nieuwere lampen, zoals ledlampen, gaan langer mee en zijn energiezuinig. Zo voldoen ze beter aan de wensen van consumenten.



figuur 17 Ontwerpcyclus.

Onthoud

- In een systeem kan mechanische energie zijn opgeslagen in de vorm van:
  - veerenergie: $E_v = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2$
  - kinetische energie: $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
  - zwaarte-energie: $E_z = m \cdot g \cdot h$
- Potentiële energie is een verzamelnaam voor energiesoorten waarbij de positie van voorwerpen ten opzichte van elkaar van belang is. Voorbeelden zijn veerenergie en zwaarte-energie.
- Voor een gesloten systeem geldt: als een kracht arbeid verricht, verandert de ene energiesoort in de andere.
- Voor een gesloten systeem geldt de wet van behoud van energie.
- Bij het ontwerpproces doorloop je een cyclus, waarbij de wensen van de gebruiker belangrijk zijn.

OPDRACHTEN ▸ Basis

32 Potentiële energie

Er zijn verschillende soorten potentiële energie.

a Geef een voorbeeld van een vorm van potentiële energie.

b Leg uit dat kinetische energie geen vorm van potentiële energie is.

33 Basketbal

De massa van een basketbal is 630 g. Je gooit de bal recht omhoog. Op het moment van loslaten is de snelheid 10 m s^{-1}.

a Bereken de kinetische energie van de basketbal.

b Bereken hoeveel hoger de basketbal komt.

Een volleybal heeft een massa van 260 g.

c Bereken de snelheid die een volleybal heeft als hij dezelfde kinetische energie heeft als de basketbal van opdracht a.

34 Trampoline

Serafine, met massa 50 kg, springt in de gymles vanaf een kast op een trampoline. De beginhoogte is 1,5 m. Daar is de snelheid 0 m s^{-1}. Op 70 cm hoogte raakt ze de trampoline.

a Bereken de snelheid die Serafine op dat moment heeft.

De trampoline deukt nog 30 cm in voordat Serafine is afgeremd tot snelheid 0 m s^{-1}.

b Laat met een berekening zien dat de veerconstante van de trampoline gelijk is aan $C = 1{,}2 \cdot 10^4$ N m^{-1}.
Tip: gebruik alleen zwaarte-energie en veerenergie.

35 Polsstok

Bij polsstokhoogspringen neemt een atleet met een massa van 70 kg een aanloop met in zijn handen een flexibele polsstok. Aan het eind van de aanloop is zijn snelheid 10,5 m s^{-1}. Zijn kinetische energie wordt niet direct omgezet in zwaarte-energie, maar eerst in een andere vorm van energie.

a In welke vorm van energie wordt de kinetische energie in eerste instantie omgezet?

b Bereken hoeveel het zwaartepunt van de atleet omhoog zal gaan als al zijn kinetische energie uiteindelijk wordt omgezet in zwaarte-energie.

c Bereken hoe hoog een polsstokhoogspringer op de maan zou kunnen komen, als zijn aanloop met dezelfde snelheid zou gaan als op aarde.

d Leg uit waarom je voor deze opdracht de massa van de atleet niet hoeft te weten.

36 Stuiterbal

Een stuiterbal met massa 200 g valt van 1,5 m hoogte. Op het moment dat hij de grond raakt, begint hij in te deuken. De snelheid neemt af tot het moment waarop de stuiterbal snelheid nul heeft (net als bij de skippybal in figuur 18). Op dat moment is hij maximaal ingedeukt. Daarna veert de bal terug. De snelheid neemt toe in verticale richting, de bal is minder en minder ingedeukt en komt weer los van de grond. Ga ervan uit dat er geen energieverlies is, dus dat de bal perfect stuitert. Ga ook uit van een heel kleine stuiterbal, waarbij de straal zo klein is dat tijdens het indeuken de zwaarte-energie nauwelijks verandert, en ook zo klein dat je er geen rekening mee hoeft te houden dat het zwaartepunt iets boven de grond blijft.



figuur 18 De skippybal links is op het laagste punt maximaal ingedeukt en heeft verticale snelheid 0.

a Bereken de zwaarte-energie in het hoogste punt.

b Bereken de snelheid op het moment dat de bal de grond raakt.

c Leg uit hoe groot de veerenergie is op het moment dat de bal maximaal is ingedeukt.

d Leg uit wat er met de veerenergie, de kinetische energie en de zwaarte-energie gebeurt tijdens het weer omhoog bewegen van de stuiterbal.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

P 37 Kopstation

Een metro rijdt een station binnen met een snelheid van 27 km h^{-1}. De motor is uit, de bestuurder remt niet. Stel dat er geen enkele wrijvingskracht is. De metro moet 2,0 m omhoogrijden tijdens dit binnenrollen. De massa van de metro is $4{,}0 \cdot 10^4$ kg.

a Haalt de metro het tot bovenaan? Geef je antwoord in een berekening. Bereken, als de metro het niet haalt, op welke hoogte hij tot stilstand komt. Bereken, als de metro het wel haalt, met welke snelheid hij bovenaan arriveert.

Een metrobestuurder valt in slaap en remt niet aan het eind van een metrolijn. De baan is vlak, de metrotrein botst tegen het uiteinde, waarbij hij tot stilstand komt. Je kunt deze situatie vergelijken met een val van een bepaalde hoogte, waarbij dezelfde snelheid wordt gehaald.

b Bereken welke hoogte overeenkomt met een snelheid van 60 km h^{-1}.

38 Muizenvallanceerinstallatie

In figuur 19 zie je een muizenval. In de veer zit energie opgeslagen, die je wilt gebruiken om een voorwerp zo hoog mogelijk te laten komen. Je mag zelf een voorwerp kiezen. Je mag bijvoorbeeld een knikker een helling op laten rollen of een pijltje recht omhoog lanceren. De enige voorwaarde is dat je de energie van de muizenval gebruikt.



figuur 19 Muizenval.

a Met welke stap in de ontwerpcyclus ben je bezig als je noteert: 'de snelheid van het voorwerp moet aan het begin zo groot mogelijk zijn'?

b Leg uit of de massa van het voorwerp belangrijk is.

Fabian bedenkt dat hij een voorwerp horizontaal wil wegschieten, waarna het een helling op rolt.

c Noem twee eisen waaraan de helling moet voldoen en twee eisen waaraan het voorwerp moet voldoen.

39 Babymobile

Boven de wieg van een baby hangt vaak een speeltje dat beweegt. Soms werkt het op batterijen, vaak komt de energie van een opgewonden veer. Het is belangrijk dat de beweging lang blijft duren.
Stel voor zo'n speeltje een programma van eisen op.
Werk elke eis uit in meerdere deeluitwerkingen. Geef je uitwerking overzichtelijk weer in een tabel.

40 Hoogtepuzzel

Van een 40 meter hoge toren wordt een steen met een snelheid v_0 verticaal omlaag gegooid. Op 30 m hoogte blijkt de zwaarte-energie gelijk te zijn aan de kinetische energie. Ga ervan uit dat op de grond de zwaarte-energie nul is. Bereken de grootte van de beginsnelheid v_0.

bron: Nationale Natuurkunde Olympiade, eerste ronde 2001

★ 41 Kantelen?

Een kubusvormig blok met een grootte van L bij L bij L cm en een massa van 10 kg glijdt over een glad oppervlak (figuur 20). Hoek D botst tegen een klein vastzittend blokje S. Het hangt van de snelheid af of het blok kantelt en in de positie terechtkomt die rechts is getekend en dan verder schuift. Als de snelheid te laag is, komt het blok niet voorbij S.

a Van welke energiesoort heeft het blok méér gekregen als het half is gekanteld en op zijn punt D staat?

b Leid voor de situatie van opdracht a een verband af tussen de extra energie en de lengte L.

c Leid een verband af tussen de beginsnelheid die minimaal nodig is om voorbij het blokje S te komen en de afmeting L.

d Bereken hoeveel keer zo snel een 2× zo zwaar blok van hetzelfde materiaal moet gaan, om voorbij blokje S te komen.

figuur 20 Een blok glijdt tegen een klein obstakel.

5 ENERGIE OM ARBEID TE VERRICHTEN

Leerdoelen

3.5.1 Je kunt berekeningen maken met elektrische energie.
3.5.2 Je kunt berekeningen maken met chemische energie.
3.5.3 Je kunt berekeningen maken met verschillende energiesoorten en de wet van behoud van energie.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	3.5.1	3.5.2	3.5.3	3.4.1*
Onthouden				
Begrijpen				
Toepassen	42, 46, 48a	45, 47a, 49ab	43, 44, 46b, 47b	50b
Analyseren	48bcde	49c, 50a	50c	

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

Energie blijft behouden in een gesloten systeem. Wanneer er arbeid wordt verricht, wordt energie van de ene soort in de andere omgezet; de totale hoeveelheid energie blijft behouden. In het dagelijks leven verrichten apparaten en mensen arbeid. Ze moeten dus energie bezitten om arbeid te kunnen verrichten. Die energie kan komen van verschillende bronnen.

ELEKTRISCHE ENERGIE

Een elektrische lift die mensen van de begane grond naar een bepaalde verdieping brengt, verricht arbeid (figuur 21). De zwaarte-energie van de lift die omhooggaat, neemt toe. De energie waarmee de lift de arbeid van het omhooggaan kan verrichten, komt uit het elektriciteitsnetwerk. Alleen als je zowel de lift als het netwerk bekijkt, heb je te maken met een gesloten systeem.
De lift werkt op een bepaalde spanning U. Om de lift omhoog te bewegen, gaat een elektromotor draaien. Daarvoor moet er een stroom I door de elektromotor lopen. De elektromotor levert dan een vermogen dat afhangt van de spanning over en de stroom door de motor.



figuur 21 Een lift krijgt de benodigde energie uit het elektriciteitsnet.

Formule

De formule voor het elektrisch vermogen P_{el} wordt gegeven door:

$$P_{el} = U \cdot I$$

Hierin is:
- P_{el} het elektrisch vermogen in watt (W);
- U de spanning in volt (V);
- I de elektrische stroom in ampère (A).

Dit verband ken je uit de onderbouw. Het vermogen geeft aan hoeveel elektrische energie er per seconde wordt omgezet. Daarom wordt de **elektrische energie E_{el}** gegeven door $E_{el} = P \cdot t$. Met deze twee formules samen kun je de elektrische energie vinden met: $E_{el} = U \cdot I \cdot t$.
Deze elektrische energie wordt door de lift voor een deel omgezet in zwaarte-energie. De wet van behoud van energie geldt ook als je hierbij rekening houdt met de hoeveelheid elektrische energie.

Voorbeeldopdracht 7

Een elektrische lift werkt op een spanning van 230 V. De lift gaat van de derde naar de vierde verdieping en doet hier 4,5 s over. Er loopt een stroom van 40 A. Bereken de elektrische energie die de lift omzet.

Gegevens
$U = 230$ V
$I = 40$ A
$t = 4{,}5$ s

Formules
$E_{el} = P_{el} \cdot t$
$P_{el} = U \cdot I$

Uitwerking
$E_{el} = P_{el} \cdot t = U \cdot I \cdot t = 230 \times 40 \times 4{,}5 = 4{,}1 \cdot 10^4$ J

CHEMISCHE ENERGIE

In een auto met verbrandingsmotor wordt brandstof verbrand om vooruit te komen. Bij de verbranding wordt een gas verwarmd dat uitzet en de motor in beweging brengt. De brandstof bevat energie die vrijkomt door een chemisch proces: verbranding. De energie die in de brandstof zit, noem je daarom **chemische energie E_{ch}**. De wet van behoud van energie geldt ook als je hierbij rekening houdt met de hoeveelheid chemische energie.
De chemische energie wordt uitgedrukt in de **stookwaarde r**, de hoeveelheid energie per liter of per kilogram van de brandstof.

Formules

Voor de chemische energie E_{ch} gelden de volgende verbanden:

$$E_{ch} = r_V \cdot V$$
$$E_{ch} = r_m \cdot m$$

Hierin is:
- E_{ch} de chemische energie in joule (J);
- r_V de stookwaarde ofwel de hoeveelheid energie per *volume* brandstof, in joule per kubieke meter (J m^{-3});
- V het volume van de brandstof in kubieke meter (m^3);
- r_m de stookwaarde ofwel de hoeveelheid energie per *massa* brandstof, in joule per kilogram (J kg^{-1});
- m de massa van de brandstof in kilogram (kg).

Meestal wordt de stookwaarde van vaste stoffen gegeven als hoeveelheid energie per *massa* brandstof en de stookwaarde van vloeistoffen en gassen als hoeveelheid energie per *volume* brandstof. De stookwaarde van verschillende brandstoffen vind je in *BiNaS* tabel 28B.

Voorbeeldopdracht 8

Een fonduestel wordt warm gehouden door het verbranden van spiritus. In het brandertje past 25 mL spiritus.

a Bereken hoeveel energie er bij de verbranding vrijkomt.

Stel, je kunt arbeid verrichten met alle energie die vrijkomt en daarmee til je een massa van 100 kg op.

b Bereken hoe hoog de massa komt.

a **Gegevens** $r_V = 18{\cdot}10^9$ J m^{-3} (*BiNaS* tabel 28B)
$V = 25$ mL $= 25{\cdot}10^{-3}$ L $= 25{\cdot}10^{-3}{\cdot}10^{-3}$ m^3 $= 25{\cdot}10^{-6}$ m^3

Formule $E_{ch} = r_V \cdot V$

Uitwerking

$E_{ch} = r_V \cdot V = 18{\cdot}10^9 \times 25{\cdot}10^{-6} = 4{,}5{\cdot}10^5$ J

b **Gegevens** $E_z = E_{ch} = 4{,}5{\cdot}10^5$ J
$m = 100$ kg
$g = 9{,}81$ m s^{-2}

Formule $E_z = m \cdot g \cdot h \rightarrow h = \frac{E_z}{m \cdot g}$

Uitwerking

$h = \frac{E_z}{m \cdot g} = \frac{4{,}5{\cdot}10^5}{100 \times 9{,}81} = 4{,}6{\cdot}10^2$ m

ENERGIE UIT VOEDSEL

Je kunt het lichaam zien als een soort verbrandingsmotor. Het voedsel dat je eet, wordt langzaam verbrand: het is een vorm van chemische energie. Als je minder energie verbruikt dan je binnenkrijgt, zal een deel van die energie worden vastgelegd in vetten en zul je in gewicht aankomen. Voor sporters is het belangrijk goed op hun voeding te letten om een topprestatie te kunnen leveren (figuur 22). De energie in voedsel wordt uitgedrukt in de eenheid kilojoule (kJ) of kilocalorie (kcal). Eén calorie is de hoeveelheid energie die nodig is om één gram (zuiver) water één graad Celsius in temperatuur te doen stijgen. Hoewel de calorie dus nog wordt gebruikt, is het een verboden eenheid in het SI (zie *BiNaS* tabel 5).



figuur 22 Een sporter krijgt energie uit voedsel.

Onthoud

- Elektrische energie, $E_{el} = U \cdot I \cdot t$, is in veel toepassingen de energiesoort die voor een deel wordt omgezet in mechanische energie.
- Stoffen bevatten chemische energie die voor een deel bij verbranding vrijkomt.
- De chemische energie die bij verbranding vrijkomt per eenheid volume of massa is de stookwaarde r. Er geldt: $E_{ch} = r_V \cdot V$, of $E_{ch} = r_m \cdot m$, waarbij r_V de hoeveelheid energie per kubieke meter stof is en r_m de hoeveelheid energie per kilogram stof.
- De wet van behoud van energie geldt nog steeds als je hierbij ook rekening houdt met de hoeveelheid elektrische en chemische energie.

OPDRACHTEN ▸ Basis

42 **Telefoonoplader**

De oplader van een telefoon is aangesloten op het stopcontact. De spanning op het stopcontact bedraagt 230 V. Tijdens het opladen loopt er een stroom van 0,45 A. Het opladen duurt 2,0 h.
Bereken hoeveel elektrische energie het opladen van de telefoon kost.

P 43 **Optrekkende metro**

Een metrotrein van 160 ton trekt in 25 s op tot 60 km h^{-1}. De spanning op de bovenleiding is 0,75 kV.
Bereken de gemiddelde stroomsterkte die door de motoren loopt.

44 **Batterij**

Een batterij van 1,5 V bevat 12 kJ energie. Een speelgoedautootje met twee van deze batterijen heeft een massa van 450 g.
Bereken hoe hoog dit autootje kan komen als alle energie uit de batterijen zou worden omgezet in zwaarte-energie.

45 Naar school

In Nederland worden veel scholieren bij regenachtig weer met de auto naar school gebracht, zeker als ze wat verder weg wonen. Een bepaalde personenauto rijdt 15 km op 1,0 L benzine.

a Bereken hoeveel arbeid je maximaal kunt verrichten met een liter benzine.

b Bereken hoeveel energie het op een dag kost om naar school gebracht en weer opgehaald te worden als de gemiddelde afstand huis-school 10 km bedraagt.

46 Lift

Een lift in een winkel brengt mensen van de begane grond naar de eerste verdieping, 4,0 m hoger. Er staat een gezin in de lift: vader, moeder en twee kinderen. Het gezin heeft een totale massa van 200 kg. De lift werkt op een spanning van 230 V en er loopt een stroom van I = 5,0 A.
Bereken hoeveel tijd het kost om dit gezin naar boven te brengen.

47 Suiker

Op een pak suiker staat dat 100 g suiker een energie bevat van 1683 kJ.

a Bereken met deze gegevens de verbrandingswarmte van suiker.

b Bereken hoe hoog je een massa van 100 kg op zou kunnen tillen met de energie uit 100 g suiker.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

48 Roltrap

Een roltrap in een winkel brengt mensen van de begane grond naar de eerste verdieping, 4,0 m hoger. Er staan vier scholieren op de roltrap met een totale massa van 190 kg.

a Bereken hoeveel elektrische stroom er minimaal moet lopen om de scholieren in 6,0 s boven te krijgen. Neem aan dat de spanning gelijk is aan U = 230 V.

b Leg uit waarom in werkelijkheid de stroom groter zal zijn.

c Leg uit wat er gebeurt met de stroom wanneer de spanning groter is.

d Leg uit wat er bij gelijke spanning met de stroom gebeurt wanneer de roltrap sneller gaat.

e Leg uit wat er bij gelijke spanning met de stroom gebeurt wanneer er meer mensen op de roltrap staan. De roltrap blijft hierbij even snel draaien.

49 Boeing

Een Boeing 747 met een massa van 442 250 kg stijgt op met snelheid 300 km h^{-1}.

a Bereken hoeveel liter kerosine (stookwaarde 35,5 MJ L^{-1}) moet worden verbrand om deze snelheid te bereiken. Ga ervan uit dat 100% van de chemische energie wordt omgezet in kinetische energie.

De Boeing stijgt naar een hoogte van 10 670 m.

b Bereken hoeveel liter kerosine het kost om die hoogte te bereiken.

Een personenauto met één persoon erin legt met 1 L benzine ongeveer 20 km af. Een Boeing 747 legt met 460 mensen aan boord een afstand af van maximaal 14 815 km. In de tanks past 243 120 L kerosine.

c Laat met een berekening zien welke vorm van vervoer de meeste energie per kilometer per passagier kost.

★ 50 Raket

Een raket heeft bij de start een massa van 710 ton. De maximale kracht die de motor uitoefent is 10,6 MN. In enorme tanks gaat 26 ton waterstof en 130 ton zuurstof mee. De raket gaat recht omhoog. Hij gaat steeds sneller tot de brandstof op is. Daarna remt de zwaartekracht hem af, in het hoogste punt is de snelheid nul.

a Bereken hoeveel energie vrijkomt bij de verbranding van alle brandstof.

Ruud berekent hoe hoog een massa van 710 ton komt met de hoeveelheid energie van opdracht a.

b Voer Ruuds berekening uit.

In werkelijkheid komt de raket hoger dan Ruud heeft berekend. Eén reden is het kleiner worden van de zwaartekracht op grotere hoogte.

c Geef een *andere* reden waarom de raket hoger komt dan Ruud denkt.

6 WARMTE EN RENDEMENT

Leerdoelen

3.6.1 Je kunt uitleggen dat de wet van behoud van energie geldig blijft als je ook de hoeveelheid warmte die ontstaat erbij betrekt.
3.6.2 Je kunt berekeningen maken met wrijvingskracht, afstand en warmte.
3.6.3 Je kunt berekeningen maken met nuttige energie, rendement en warmte.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	3.6.1	3.6.2	3.6.3	3.5.2*
Onthouden				51a
Begrijpen	51b, 54			
Toepassen	55c, 58b	52, 53d, 55b, 56a	53abce, 55a, 57, 58a	
Analyseren	56b	59		

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

In alle voorbeelden in de vorige paragrafen was de totale energie behouden. Voor een vallende regendruppel lijkt dat niet het geval te zijn. Als alle zwaarte-energie van een druppel op 2 km hoogte zou worden omgezet in kinetische energie, zou de snelheid vlak voor het neerkomen 200 m s^{-1} zijn. Gelukkig komt de druppel met een lagere snelheid op je hoofd. De enorme hoeveelheid zwaarte-energie wordt niet geheel omgezet in kinetische energie.

VALLENDE METEOROÏDE

Als bij het vallen van een meteoroïde alle zwaarte-energie zou worden omgezet in kinetische energie, zou dat leiden tot een eindsnelheid van 11,2 km s^{-1}. Een groot deel van de zwaarte-energie van een meteoroïde wordt echter gebruikt bij het warm worden en het verdampen van het materiaal. De heet geworden meteoroïde wordt roodgloeiend: hij zendt ook licht uit (figuur 23). Een ander deel van de zwaarte-energie wordt omgezet in warmte bij het in beweging zetten van de lucht, die door de steen opzij wordt geduwd. Uiteindelijk stijgt de luchttemperatuur daardoor een beetje, maar omdat die warmte wordt verdeeld over heel veel lucht is dat niet merkbaar.
Eenmaal bij de aarde is er meestal geen steen meer over. Heel soms, als de meteoroïde erg groot is, bereikt een klein brokje de aarde. Er is dan een beetje kinetische energie over, maar veruit de meeste energie is omgezet in warmte.



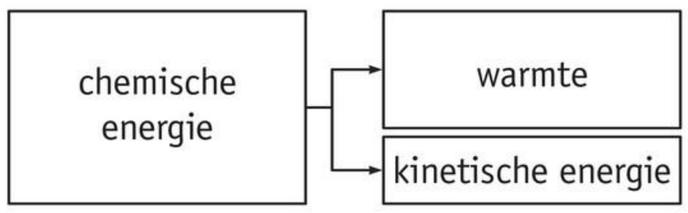
figuur 23 Een meteoroïde schiet langs de hemel: er ontstaan licht en warmte.

WARMTE EN STRALINGSENERGIE

Je bent in eerdere paragrafen verschillende soorten energie tegengekomen: veerenergie, kinetische energie, zwaarte-energie, elektrische energie en chemische energie. Al die energiesoorten moet je meetellen als je de wet van behoud van energie toepast. Het voorbeeld van de meteoroïde laat zien dat dit niet genoeg is: je moet ook de warmte die ontstaat meetellen en het licht dat een voorwerp uitzendt. Warmte is de energiesoort die ontstaat als iets heet wordt. Het licht en de warmtestraling die een heet voorwerp uitzendt, noem je **stralingsenergie**.
Als je warmte en stralingsenergie meerekent, dan geldt de wet van behoud van energie nog steeds. Deze wet wordt ook wel geformuleerd als $\Sigma E_{in} = \Sigma E_{uit}$. Dit lees je als: de totale hoeveelheid energie die een proces uitgaat is gelijk aan de totale hoeveelheid energie die het proces ingaat.

WRIJVING DOOR LUCHTWEERSTAND EN ROLWEERSTAND

In het voorbeeld van de meteoroïde is de wrijving tussen de meteoroïde en de lucht de oorzaak van het ontstaan van warmte. Als er wrijving is, ontstaat er warmte.
Een andere situatie waarbij luchtweerstand een rol speelt, is in het verkeer. Een auto op gang brengen van 0 tot 100 km h^{-1} kost nog geen 0,02 L benzine. In figuur 24 zie je een schema van de energiestroom bij het begin van een rit. Als je in de stad rijdt, moet je steeds opnieuw op gang komen. Elke keer dat je remt, wordt die kinetische energie omgezet in warmte. Daardoor loopt de totale hoeveelheid kinetische energie die je met benzine moet maken, flink op. Bij een rit op de snelweg hoeft dat op gang komen maar één keer te gebeuren. Op de snelweg ben je het grootste deel van de tijd bezig met het overwinnen van de luchtweerstand. Je besteedt per honderd kilometer snelweg ongeveer tweehonderd miljoen joule aan het opzijduwen van lucht, dat is de energie-inhoud van ongeveer 6 L benzine.
Een auto heeft ook een klein beetje rolweerstand. De banden worden daardoor warm, dus ook bij dat deel van het verlies aan mechanische energie ontstaat warmte. Als je aan het eind van de rit afremt en je auto parkeert, heb je als nettoresultaat van de hele rit de energiesoort chemische energie uit benzine omgezet in de energiesoort warmte. De kinetische energie van de auto is inmiddels weer nul geworden.
De hoeveelheid warmte die ontstaat, is gelijk aan de wrijvingskracht maal de afstand waarover die wrijvingskracht werkt. Voor de energiesoort **warmte Q** geldt $Q = F_w \cdot s$. De ontstane hoeveelheid warmte reken je positief.
De arbeid die de wrijvingskracht op de auto verricht is negatief, doordat de kracht en de verplaatsing tegengesteld zijn gericht. Als de motor niet werkt, wordt de auto door



figuur 24 Schema van hoe de chemische energie wordt gebruikt bij het begin van een autorit.

de wrijvingskracht afgeremd. Er wordt dan kinetische energie omgezet in warmte. Als de motor wel werkt, zorgt de negatieve arbeid van de wrijvingskracht ervoor dat de snelheid niet eindeloos blijft toenemen, ondanks de positieve arbeid die de stuwkracht verricht. De chemische energie wordt niet omgezet in extra kinetische energie, maar in warmte.

Voorbeeldopdracht 9

Een skiër glijdt vanuit stilstand vanaf een helling. De skiër gaat steeds sneller en komt 100 m lager aan met een snelheid van 25 m s^{-1}. De massa van de skiër inclusief uitrusting is 90 kg. De lengte van het parcours is 580 m.
Bereken de gemiddelde weerstandskracht die de skiër ondervindt.

Gegevens

$v_1 = 0$
$v_2 = 25$ m s^{-1}
$m = 90$ kg
$h = 100$ m
$s = 580$ m

Formules

$E_z = m \cdot g \cdot h$
$E_k = ½ \cdot m \cdot v^2$
$Q = F_w \cdot s$

Uitwerking

Maak gebruik van de wet van behoud van energie, maar neem daarin de warmte op die ontstaat door de wrijvingskracht:

$E_{z,1} = E_{k,2} + Q$

$Q = E_{z,1} - E_{k,2} = m \cdot g \cdot h - ½ \cdot m \cdot v_2^2 = 90 \times 9{,}81 \times 100 - ½ \times 90 \times 25^2 = 6{,}02 \cdot 10^4$ J

$F_w = \frac{Q}{s} = \frac{6{,}02 \cdot 10^4}{580} = 104$ N $= 1{,}0 \cdot 10^2$ N

ELEKTRISCHE WEERSTAND

Net als de meteoroïde en de autobanden worden ook stroomdraden warm. Een elektrische gelijkspanning is voor een elektron net zoiets als de zwaartekracht voor een meteoroïde. De meteoroïde wordt naar de aarde getrokken, het elektron naar de pluspool. Net zoals een meteoroïde zonder luchtweerstand op het aardoppervlak zou inslaan, zou het elektron inslaan op de pluspool als het geen weerstand zou ondervinden. Als het elektron door een vacuüm beweegt, gebeurt dat inderdaad.
In een stroomdraad moet het elektron zich door een rooster van trillende metaalatomen met onregelmatigheden worstelen. De verhoudingen zijn anders dan die bij de meteoroïde in de lucht, want het elektron is veel lichter dan de metaalionen, terwijl een meteoroïde veel zwaarder is dan de luchtmoleculen.

Toch kun je deze situaties met elkaar vergelijken: elektron en meteoroïde zouden allebei versnellen als ze niet werden gehinderd, maar ze botsen voortdurend op obstakels. En net zoals een meteoroïde zichzelf en de lucht heet maakt als er luchtweerstand is, zo maakt het elektron de stroomdraad heet als er elektrische weerstand is. Ook hier ontstaat warmte. Bij een gloeidraad van bijvoorbeeld een broodrooster wordt die warmte uiteindelijk omgezet in stralingsenergie.

RENDEMENT

In de meeste situaties is vrijkomende warmte ongewenst. Je laat geen automotor draaien met de bedoeling dat deze de lucht verwarmt. Ook de warmte die ontstaat in schakelingen van een computer is ongewenst. Het deel van de energie dat wel wordt omgezet in de gewenste energievorm, noem je het **rendement η**. De definitie van rendement is: de energie die vrijkomt in de vorm die je wilt hebben, als percentage van de energie die ergens ingaat (E_{in}). De gewenste vrijkomende energie noem je **nuttige energie E_{nuttig}**.

Formule

Het rendement η bereken je met de volgende formule:

$$\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{in}} \cdot 100\%$$

Soms wordt de 100% weggelaten; het rendement is dan een getal tussen 0 en 1. Het rendement heeft geen eenheid. Dit komt doordat je twee energieën, beide uitgedrukt in joule, door elkaar deelt.

Onthoud

- Door wrijvingskracht ontstaat warmte. Deze energiesoort moet je meetellen als je berekeningen doet met de wet van behoud van energie.
- De hoeveelheid warmte wordt gegeven door: $Q = F_w \cdot s$
- Meestal is warmte ongewenst. De gewenste energie is een percentage van de verbruikte energie. Dit percentage noem je het rendement: $\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{in}} \cdot 100\%$

OPDRACHTEN ▸ Basis

51 Opstijgende raket

Een raket verbrandt tijdens het opstijgen brandstof, meestal waterstofgas.

a Hoe heet de energiesoort die wordt gebruikt?

b Noteer welke drie energiesoorten er ontstaan bij het opstijgen.

52 Remmen bij afdaling

Een automobilist rijdt al remmend een berg af met constante snelheid. Hierdoor worden de remmen heet. De auto heeft een massa van 1200 kg en het verschil in hoogte is 100 m.

a Bereken hoeveel warmte er ontstaat tijdens de afdaling.

Bij afdalingen zijn zogenoemde grindbakken aangelegd, waarin een auto tot stilstand kan komen als de remmen het niet meer doen. Een internationaal vrachtwagenchauffeur zegt hierover: "Als m'n remmen het niet meer doen, en ik rij met 140 km h^{-1} die berg af (want dat is een goeie afdaling), dan moet ik toch een goeie coureur zijn om hem nog in de grindbak te mikken. Ik vraag me dan ook af of die grindbak van 30 meter mijn vrachtwagen van circa 40 ton met 140 km h^{-1} wel stopt."

b Bereken hoe groot de gemiddelde wrijvingskracht tussen het grind en de banden moet zijn om deze vrachtwagen te stoppen. Neem aan dat de grindbak horizontaal is en houd dus alleen rekening met de kinetische energie van de vrachtwagen.

53 Pijl met wrijving

Met een boog schiet je een pijl van 200 g recht omhoog. De pees is niet voorgespannen.

De veerconstante van de boog is 5,0 kN m^{-1}. De uitrekking is 20 cm. De snelheid waarmee de pijl de boog verlaat is 30 m s^{-1}. De pijl komt 35 m hoog.

a Bereken het rendement van de energieomzetting van veerenergie naar kinetische energie. Druk je antwoord uit in een percentage.

b Bereken hoeveel warmte bij dat proces ontstaat.

c Bereken het rendement van de energieomzetting van kinetische energie naar zwaarte-energie. Druk je antwoord uit in een percentage.

d Bereken de gemiddelde wrijvingskracht op de pijl tijdens het opstijgen.

e Bereken het rendement van het hele proces: de omzetting van veerenergie naar zwaarte-energie.

54 In de lucht schieten

In bepaalde landen schieten mensen soms met geweren in de lucht bij feestelijke gebeurtenissen, zoals een bruiloft. Als je wordt geraakt door een terugvallende kogel, is dat minder gevaarlijk dan wanneer je van korte afstand met hetzelfde geweer wordt neergeschoten. Kennelijk heeft de terugvallende kogel minder kinetische energie dan hij had toen hij het geweer verliet.

a Omschrijf alle energieomzettingen die een rol spelen bij het in de lucht schieten met een geweer.

b Leg met behulp van de energieomzettingen uit waarom een terugvallende kogel minder gevaarlijk is dan een kogel die je raakt direct nadat hij uit een geweer komt.

55 Vrachtwagen over heuvel

Een vrachtwagen die inclusief lading een massa heeft van 30 ton rijdt een heuvel op die 100 m hoog is. Dit blijkt 2,0 L diesel (gasolie) meer te kosten dan het afleggen van dezelfde afstand op een vlakke weg.

a Bereken het rendement van de motor van die vrachtwagen.

Bij het dalen moet de chauffeur voortdurend remmen om dezelfde snelheid te houden.

b Bereken de hoeveelheid warmte die ontstaat.

Stel dat dit een hybride vrachtwagen is: bij het dalen wordt de zwaarte-energie omgezet in elektrische energie, die later kan worden gebruikt.

c Leg uit dat de besparing minder dan 2,0 L diesel bedraagt.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

P 56 Heet metrostation

Stel dat een metrotrein van 250 ton afremt van 60 km h^{-1} tot stilstand, dat de remmen heet worden en dat de warmte uiteindelijk wordt afgegeven aan de lucht in het metrostation. Het perron is 400 m lang, de tunnel is 5,0 m hoog en 10 m breed. Het kost ongeveer 1 kJ om 1 kg lucht met 1 °C op te warmen.

a Bereken hoe groot de temperatuurstijging van de lucht in het station is per keer dat zo'n metro remt. Zoek de dichtheid van lucht op in *BiNaS*.

b Geef twee redenen waarom de temperatuurstijging in werkelijkheid minder groot zal zijn.

57 Roltrap

Een roltrap werkt op een spanning van 750 V. Op een drukke dag transporteert de roltrap elke 12 s twintig mensen met een gemiddelde massa van 75 kg over een afstand van 4,5 m naar boven. Op dat moment is de stroomsterkte door de draden 11 A.
Bereken het rendement van de energieomzetting.

58 Minder efficiënt

Een verbrandingsmotor kan een rendement leveren van 25%.

a Bereken de arbeid die de motor met een liter benzine kan leveren.

b Je kunt aan de uitlaat van een auto merken dat het rendement van de motor niet gelijk is aan 100%. Leg uit hoe je dat kunt merken.

★ P 59 Vergelijkend onderzoek

Onderzoek hoe zuinig verschillende vormen van vervoer zijn. Gebruik als maat het energieverbruik in kWh per passagierskilometer. Eén passagierskilometer is één kilometer afgelegd door één passagier. Als je bijvoorbeeld met vier mensen in een auto 100 kilometer aflegt, dan zijn dat 400 passagierskilometers. Maak onderscheid tussen het verbruik bij maximale bezetting van het voertuig en het verbruik bij de gemiddelde bezetting. Vergelijk de volgende vormen van vervoer: fiets, trein, auto.
Welke is de zuinigste vorm?

7 VERMOGEN

Leerdoelen

3.7.1 Je kunt berekeningen maken met arbeid, tijd en vermogen.
3.7.2 Je kunt het rendement berekenen op basis van het nuttige en toegevoerde vermogen.
3.7.3 Je kunt uitleggen hoe bij constante snelheid het vermogen afhangt van de uitgeoefende kracht en de grootte van de snelheid.
3.7.4 Je kunt berekeningen maken met snelheid, kracht en vermogen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN								
	3.7.1	3.7.2	3.7.3	3.7.4	3.1.3*	3.6.3*	2.3.3*	2.4.4*	2.5.1*
Onthouden									
Begrijpen	60a	63b	61a						
Toepassen	60bc, 63a, 65b, 66	62bc, 65c, 68a	67de	61b, 62a, 64, 68c	65a	67c		68b	67b
Analyseren	68e	65d	65e, 67a, 68d				69		

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

Een trap oprennen is een grotere prestatie dan dezelfde trap rustig oplopen. Bij het verrichten van arbeid maakt het uit in hoeveel *tijd* je die arbeid verricht.

VERMOGEN

Het **vermogen *P***, denk aan het Engelse woord *power*, geeft aan hoeveel arbeid er per seconde wordt geleverd of hoeveel energie er per seconde wordt omgezet.

Formule

Het vermogen P kun je uitrekenen met:

$$P = \frac{W}{t} \text{ of } P = \frac{E}{t}$$

Hierin is:
- P het vermogen in watt (W);
- W de arbeid in joule (J);
- E de omgezette energie in joule (J);
- t de tijd waarin de arbeid wordt geleverd of de energie wordt omgezet in seconde (s).

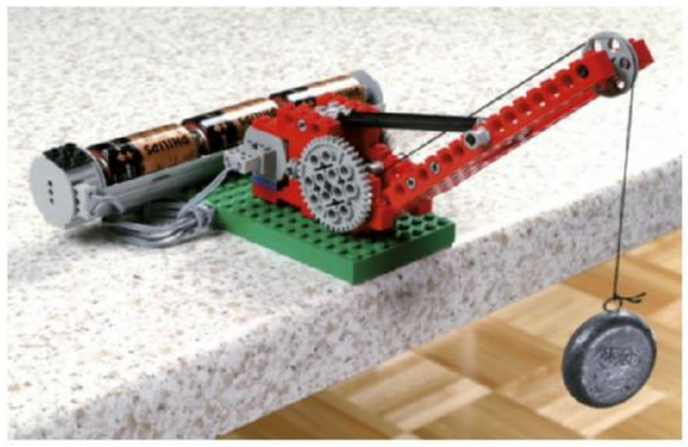
Uit deze formule kun je aflezen dat de eenheid watt gelijk is aan joule per seconde: $1\ \text{W} = 1\ \text{J s}^{-1}$

VERMOGEN EN RENDEMENT

Vermogen ben je al tegengekomen in paragraaf 5. Daar ging het over *elektrisch* vermogen. Om het verschil tussen de soorten vermogen duidelijk te maken, kun je kijken naar het ophijsen van een massa met een elektromotor (figuur 25). Het elektrisch vermogen van de elektromotor bereken je met $P_{el} = U \cdot I$. Dit is het toegevoerde vermogen, ofwel de energie die de elektromotor per seconde van het elektriciteitsnet of een batterij opneemt. Het resultaat van de elektromotor is dat een massa tot een bepaalde hoogte wordt opgetild. Dit kost arbeid: $W = m \cdot g \cdot h$

Het vermogen dat bij die arbeid hoort, is $P = \frac{W}{t}$. Dit is niet gelijk aan het elektrisch vermogen P_{el}. Een elektromotor gebruikt namelijk niet al het opgenomen vermogen om de massa op te tillen. Een deel van de energie komt vrij als warmte (dat is hier niet-nuttige energie). De warmte die een elektromotor produceert, kun je vaak goed voelen.

Je zou kunnen zeggen dat $P = \frac{W}{t}$ het minimale vermogen is dat een mens of apparaat nodig heeft bij het omzetten van energie. Dit is het nuttig geleverde vermogen wanneer het rendement 100% is. In de praktijk zal het rendement lager zijn. Een deel van het vermogen wordt omgezet in warmte. In paragraaf 6 heb je het rendement berekend met energie E. Omdat $E = P \cdot t$, kun je ook het rendement uitrekenen met vermogen P:



figuur 25 Een massa wordt opgehesen met een elektromotor.

Formule

Het verband tussen het rendement η en het vermogen P wordt dan:

$$\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{in}} \cdot 100\% = \frac{P_{nuttig} \cdot t}{P_{in} \cdot t} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{nuttig}}{P_{in}} \cdot 100\%$$

In het geval van de elektromotor die een massa ophijst, is het nuttig vermogen gelijk aan $P_{nuttig} = \frac{W}{t}$ en het opgenomen vermogen P_{in} gelijk aan: $P_{el} = U \cdot I$

Voorbeeldopdracht 10

Een elektrisch hijskraantje tilt in 3,0 s een gewicht van 200 g over een hoogte van 1,0 m omhoog. Het hijskraantje is aangesloten op een spanningsbron van 12 V. Er loopt een stroom van 60 mA.
Bereken het rendement van het kraantje.

Gegevens

$m = 0{,}200$ kg
$h = 1{,}0$ m
$t = 3{,}0$ s
$U = 12$ V
$I = 60 \cdot 10^{-3}$ A

Formules

$E_z = m \cdot g \cdot h$
$P = \frac{W}{t}$
$P_{el} = U \cdot I$
$\eta = \frac{P_{nuttig}}{P_{in}}$

Uitwerking

Het nuttig vermogen bereken je door de toename van de zwaarte-energie te delen door de tijd waarin het gewichtje omhoog wordt getild:

$$P_{nuttig} = \frac{E_z}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} = \frac{0{,}200 \times 9{,}81 \times 1{,}0}{3{,}0} = 0{,}654 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{el} = U \cdot I = 12 \times 60 \cdot 10^{-3} = 0{,}72 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{nuttig}}{P_{in}} \cdot 100\% = \frac{0{,}654}{0{,}72} \times 100\% = 91\%$$

PRACTICUM 2 Elektrisch hijsen

VERMOGEN EN SNELHEID

In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk is de arbeid W gedefinieerd als $W = F \cdot s$. Als je dit invult in de formule voor vermogen, dan krijg je: $P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t}$
Merk op dat je $\frac{s}{t}$ ook kunt zien als de gemiddelde snelheid. Als je de verplaatsing in een heel korte tijd bekijkt, dan is $\frac{s}{t}$ de snelheid op dat moment.

Formule

Je kunt het vermogen dus ook als volgt berekenen:

$P = F \cdot v$

Hierin is:

- P het vermogen in watt (W);
- F de (gemiddelde) kracht in newton (N);
- v de (gemiddelde) snelheid in meter per seconde (m s^{-1}).

Dit kun je gebruiken bij het bepalen van het vermogen dat je moet leveren om de luchtwrijving te overwinnen (bijvoorbeeld op de fiets of met een auto). De luchtweerstandskracht is evenredig met het kwadraat van de snelheid (zie ook paragraaf 2.1): $F_{w,l} \sim v^2$ (ook wel $F_{w,l} = k \cdot v^2$).
Omdat nu geldt: $P = F_{w,l} \cdot v$ is het vermogen dus evenredig met de derde macht van de snelheid: $P = F_{w,l} \cdot v \sim v^3$
Dus als je *twee* keer zo hard rijdt, moet je *acht* keer zoveel vermogen leveren. Het vermogen dat een mens, auto, vliegtuig, trein, enzovoort kan leveren, is vaak een vast gegeven. Het hangt bijvoorbeeld af van hoe fit en getraind je bent. Daarmee ligt bijvoorbeeld ook je maximale snelheid op de fiets vast.

Voorbeeldopdracht 11

Een raceauto met een massa van 850 kg versnelt vanuit stilstand met een constante versnelling van 8,0 m s^{-2}.
Bereken het nuttig vermogen van de auto na 10 s.

Gegevens
$m = 850$ kg
$a = 8{,}0$ m s^{-2}
$t = 10$ s

Formules
$P = F \cdot v$
$F = F_{res} = m \cdot a$
$v = a \cdot t$

Uitwerking
$v = a \cdot t = 8{,}0 \times 10 = 80$ m s^{-1}
$F = m \cdot a = 850 \times 8{,}0 = 6{,}8 \cdot 10^3$ N
$P = F \cdot v = 6{,}8 \cdot 10^3 \times 80 = 5{,}4 \cdot 10^5$ W

PRACTICUM 3 Het vermogen van een mens

Onthoud

- Het vermogen wordt gegeven door: $P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}$
- Het rendement kun je uitdrukken in het toegevoerde vermogen P_{in} en het nuttig vermogen P_{nuttig}: $\eta = \frac{P_{nuttig}}{P_{in}} \cdot 100\%$
- Het vermogen kun je ook berekenen met: $P = F \cdot v$

OPDRACHTEN ▸ Basis

60 Energie en vermogen

Energie en vermogen zijn twee heel verschillende grootheden, maar ze worden weleens door elkaar gehaald. Een huishoudelijk apparaat kan bijvoorbeeld een laag vermogen hebben, maar toch veel energie omzetten.

a Leg met behulp van de formule voor vermogen uit hoe dat kan.

Huishoudelijke elektrische producten moeten een energielabel hebben waarop je kunt vinden hoe (on)zuinig de apparaten zijn. Een koel-vriescombinatie met energielabel A gebruikt per jaar gemiddeld een energie van 392 MJ.

b Reken uit wat het gemiddelde vermogen is van deze koel-vriescombinatie.

Een stofzuiger heeft een aansluitwaarde van 900 W.
Dat is het maximale vermogen dat de stofzuiger van het elektriciteitsnet vraagt als hij is ingeschakeld.

c Bereken hoeveel energie de stofzuiger maximaal gebruikt als deze 15 min is ingeschakeld.

61 Tegen de wind in fietsen

Het NK tegen de wind in fietsen wordt gereden over de Oosterscheldekering als het stormt met minimaal windkracht 7. Bij die windkracht hoort een gemiddelde windsnelheid van 55 km h^{-1}. Bij de vrouwen won Lisa Scheenaard, een roeister, die de afstand in 2022 reed met een gemiddelde snelheid van 22,6 km h^{-1}.

a Leg uit dat voor de snelheid in de formule $P = F \cdot v$ de snelheid van Scheenaard van belang is en niet de windsnelheid.

Scheenaard ondervond een gemiddelde luchtweerstandskracht van 170 N.

b Bereken het door haar geleverde nuttig vermogen. Ga alleen uit van de luchtweerstandskracht.

62 Rendement roltrap

Een roltrap werkt op een spanning van 400 V. Er loopt een stroom van 3,23 A. Op de roltrap staat een gezin met een massa van 210 kg. De verticale snelheid van de roltrap is 0,54 m s^{-1}.

a Toon met een berekening aan dat het nuttig geleverde vermogen gelijk is aan $1{,}1 \cdot 10^3$ W.

b Bereken het rendement van de elektromotor in de roltrap.

c Bereken hoeveel warmte gemiddeld per seconde wordt geproduceerd.

C 63 Vermogen mens

Een volwassen man heeft per dag ongeveer 2500 kcal nodig en een volwassen vrouw 2000 kcal. Stel dat deze energie gedurende de dag wordt omgezet in het lichaam.

a Reken uit wat het gemiddelde vermogen dan is voor een man en een vrouw. Noteer je antwoord in twee significante cijfers. Maak gebruik van *BiNaS* tabel 5 om de energie in kcal om te rekenen naar joule.

b Leg uit of het hier om het nuttige vermogen gaat of het toegevoerde vermogen.

C 64 Mechanische doping

Een wielrenner levert een constant vermogen van 250 W op een recht stuk weg van 3,0 km lengte. Ga ervan uit dat de luchtweerstand de enige tegenwerkende kracht is en dat die wordt gegeven door: $F_{w,l} = 0{,}30 \cdot v^2$

a Bereken de snelheid van de wielrenner.

De wielrenner gaat valsspelen: hij heeft een elektromotortje in zijn fiets (dat wordt mechanische doping genoemd). Dat motortje levert een vermogen bovenop de normale 250 W. Daardoor neemt zijn snelheid toe tot 10 m s^{-1}.

b Bereken het vermogen van het elektromotortje.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

P 65 Motoren van de metro

De (gemiddelde) stuwkracht die de motor van een bepaalde metrotrein uitoefent is 150 kN, de afstand 2,0 km en de reisduur 1,0 min.

a Bereken de arbeid die de motor verricht.

b Bereken het (gemiddelde) nuttig vermogen.

De motor van de locomotief heeft een rendement van 90%.

c Bereken het (gemiddelde) opgenomen vermogen.

Een langere, zwaardere metrotrein heeft een groter vermogen nodig.

d Leg uit dat het vermogen dat nodig is voor op gang komen en voor stijgen evenredig is met de massa, maar het vermogen dat nodig is voor met constante snelheid op een recht stuk rijden niet.

e Beredeneer hoeveel keer zo groot het benodigde vermogen is als een metro 1,3 keer zo snel rijdt op een recht stuk, waarbij hij alleen luchtweerstand hoeft te overwinnen.

66 Wielrenner

Over de beklimming van de Alpe d'Huez door wielrenners vind je de volgende gegevens:
Recordhouder: Contador (37 min 30 s); Alpe d'Huez hoogteverschil: 1071 m; Lengte van de klim: 14,3 km; Gemiddelde snelheid: 22,8 km h^{-1}; Gewicht fietser: 63 kg; Fiets: 7 kg; Gemiddeld uitwendig vermogen: 333 watt.
Ga met een berekening na of het opgegeven vermogen klopt.

67 Model voor op gang komen

Bij het op gang komen van een motorfiets is er een maximale kracht en een maximaal vermogen. De maximale kracht heeft te maken met de grip van de banden op de weg, het maximale vermogen heeft te maken met de werking van de benzinemotor.

a Leg uit dat direct na de start de kracht de beperkende factor is en later het vermogen. Gebruik in je uitleg een formule.

Een aantal gegevens wordt verwerkt in een computermodel (figuur 26). Behalve de snelheid v en de positie x worden ook drie energiewaarden bijgehouden, de kinetische energie E_{kin}, de totale energie $E_{gebruikt}$ en de opwarming van de lucht door wrijving Q. Volgens het model ontstaat in de motor geen warmte en is de rolweerstand gelijk aan nul.

b Vul de regels 3, 7, 8 en 9 in figuur 26 aan.

c Geef een andere formule waarmee je ook de warmte Q die aan de lucht wordt afgegeven kunt uitrekenen.

d Leg uit dat de motor uiteindelijk een constante eindsnelheid zal bereiken.

e Voer het model uit en bepaal de eindsnelheid.

modelvergelijkingen	startwaarden
1 Als v < vgrens Dan Fmotor := Fmax 2 Anders Fmotor := Pmax/v EindAls 3 Flucht := ...*v^2 4 Fres := Fmotor - Flucht 5 a := Fres/m 6 v := v + a*dt 7 x := ... 8 Ekin := ... 9 Egebruikt := Egebruikt + ...*v*dt 10 Q := Q + Flucht*v*dt 11 t := t + dt	1 t := 0 2 dt := 0.1 3 x := 0 4 v := 0 5 m := 300 6 vgrens := 10 7 Fmax := 1200 8 Pmax := Fmax*vgrens 9 k := 0.1 10 Egebruikt := 0 11 Q := 0 12 Ekin := 0

figuur 26 Model voor een motorfiets die start.

68 Remmende krachten op auto

Een auto heeft een topsnelheid van 190 km h^{-1} en bij deze snelheid een nuttig vermogen van 84 kW.

a Bereken de totale wrijvingskracht wanneer de auto op topsnelheid rijdt.

Op de auto werkt alleen lucht- en rolweerstand. De rolweerstand hangt niet van de snelheid af en bedraagt 500 N. De auto heeft een frontale oppervlakte van 2,60 m^2.

b Bereken de C_w-waarde van de auto.

Wanneer de auto 100 km met een snelheid van 100 km h^{-1} rijdt, wordt er 6,2 L benzine verbrand.

c Bereken het rendement van de auto.

Als je met een auto een steile helling afrijdt, moet je voortdurend remmen. De remmen worden daarbij heet. Ga uit van steeds dezelfde snelheid van 20 km h^{-1}.

d Leg met behulp van de formule $P = F \cdot v$ uit dat de remmen heter worden bij een steilere helling.

e Leg dit ook uit met behulp van de formule: $E_z = m \cdot g \cdot h$

★ 69 Helling op

Breid het model van opdracht 68 uit voor het op- of afrijden van een helling van α graden. Onderzoek hoe de eindsnelheid afhangt van de hoek, zowel voor het oprijden als voor het afrijden van de helling.

AFSLUITING

In dit hoofdstuk heb je geleerd hoe verschillende vormen van energie in elkaar worden omgezet en welke toepassingen er zijn. Maak de eindopdrachten en bereid je voor op de toets.

Eindopdrachten

P 70

Metro versnellen en vertragen

Amsterdamse metrotreinstellen hebben een massa van 190 ton. Ze hebben zestien motoren met een vermogen van elk 200 kW, die samen zorgen voor een versnelling van 1,2 m s^{-2}. De maximale snelheid is 90 km h^{-1}.

a Laat met een berekening zien dat het optrekken 21 s duurt als de versnelling steeds even groot zou zijn. Gebruik in je berekening de snelheid en de versnelling.

b Ga met een berekening na of inderdaad gedurende 21 s het maximale vermogen nodig is om de metro de maximale kinetische energie te geven.

c Leg uit dat de omzetting van elektrische energie in kinetische energie gedurende het optrekken een steeds kleiner rendement zal krijgen.

Op 24 maart 2014 reed in Chicago een metrotrein door aan het eind van de lijn, doordat de bestuurder in slaap was gevallen. De snelheid was 64 km h^{-1}, de massa 100 ton. De trein reed door het stootblok en schoot een roltrap op (zie figuur 27). Volgens de fabrikant kan het stootblok 2 MJ kinetische energie opnemen. Bij een lagere snelheid had het stootblok de klap kunnen opvangen.

d Bereken welke snelheid deze metrotrein had mogen hebben, zodat het stootblok de klap had kunnen opvangen.

e In welke twee energiesoorten werd de bewegingsenergie bij dit ongeluk omgezet?



figuur 27 Het ongeluk op het metrostation bij het vliegveld van Chicago. De foto is door traliewerk genomen.

Na het ongeluk was een van de nieuwe veiligheids-maatregelen dat de maximumsnelheid werd verlaagd van 40 mijl per uur naar 24 mijl per uur.

f Bereken hoeveel procent de maximale kinetische energie dan lager is.

71 Indrukken

Een veer die je kunt indrukken, voldoet ook aan de wet van Hooke. Een veer heeft een lengte van 10,0 cm en bestaat uit vijftien windingen van elk 2 mm dik.

a Leg uit dat de veer bij een bepaalde indrukking niet meer aan de wet van Hooke zal voldoen.

b Bereken deze indrukking.

Neem aan dat de veer aan de wet van Hooke voldoet tot de indrukking die je bij opdracht b hebt berekend. Je moet een kracht van 35 N uitoefenen om de veer volledig in te drukken.

c Bereken de veerconstante van de veer bij indrukken.

De veer heeft dezelfde veerconstante bij uitrekken.

d Bereken de arbeid die je moet verrichten om de veer vanuit de ruststand uit te rekken tot een lengte van 15,0 cm.

72 Droogmalen

De Schermer, de Haarlemmermeerpolder en de Flevopolders stonden ooit onder water. De Schermer is drooggemalen met behulp van windmolens, de Haarlemmermeerpolder met stoomgemalen en voor de Flevopolders werd diesel (ook gasolie genoemd) als brandstof voor de gemalen gebruikt. Stel je voor dat een dijk wordt aangelegd en dat iemand steeds 2 m omhoogloopt met twee emmers water van elk 10 L, de emmers leeggooit in de ringvaart achter de dijk en weer terugloopt.

a Bereken de hoeveelheid energie die het water krijgt, per keer lopen.

Iemand komt op het idee dat de persoon beter beneden kan blijven en de emmers water door middel van een constructie met touwen en katrollen omhoog kan takelen. Daarbij worden de emmers bovenaan automatisch geleegd, doordat ze ondersteboven komen te hangen.

b Leg uit dat het rendement van dit proces ongeveer vijf keer zo groot is als in het geval van de man die steeds met zijn emmertjes omhoogloopt.

Een getraind iemand kan per seconde ongeveer 200 J energie voor langere tijd leveren.

c Maak een schatting van het aantal jaar dat het zou kosten totdat iemand met een veertigurige werkweek de Haarlemmermeerpolder (17 000 hectare, 5 m diep) heeft leeggeschept.

d Maak een schatting van de hoeveelheid diesel (gasolie) die nodig was om de Flevopolders (6× zo groot als de Haarlemmermeerpolder, ongeveer even diep) leeg te pompen.

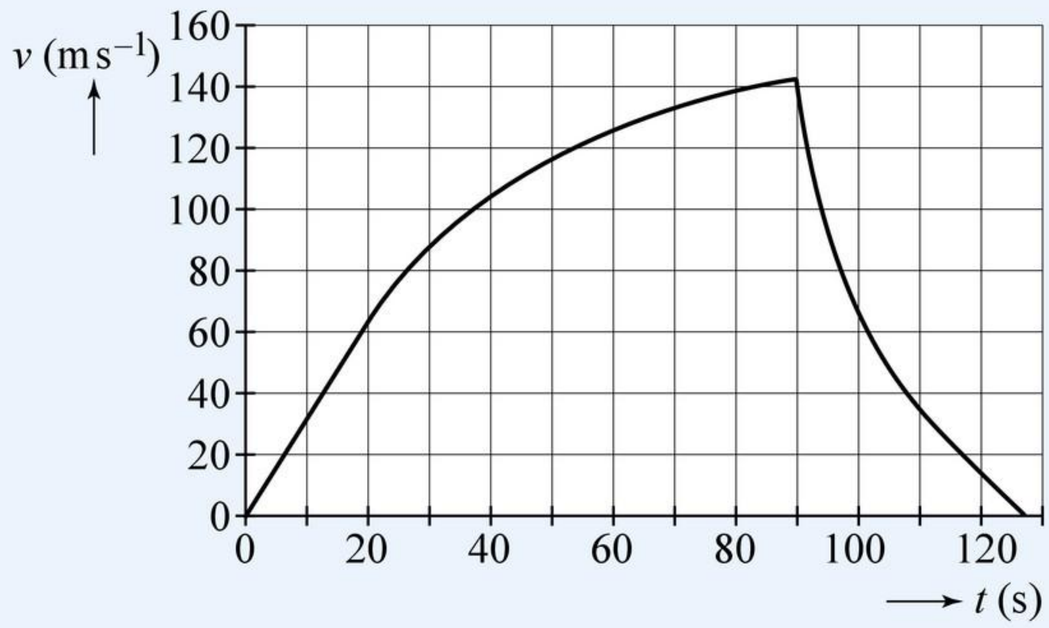
73 Buckeye Bullet

De Buckeye Bullet is een snelle elektrische auto die bijna een snelheid van 500 km h^{-1} haalt op een zoutvlakte in de staat Utah in de Verenigde Staten. De auto heeft een massa van 1740 kg. Op de zoutvlakte hebben de banden minder grip dan op een gewone weg. Bij te fel optrekken kunnen de wielen daarom slippen. Voor auto's als de Buckeye Bullet geldt op de zoutvlakte de vuistregel: 'de voortstuwende kracht die de motoren via de wielen op de zoutvlakte kunnen uitoefenen, is maximaal een derde van het gewicht van de auto'. In figuur 28 staat het (v,t)-diagram van een rit van de Buckeye Bullet.

a Ga met behulp van figuur 28 na of de vuistregel geldt. Negeer de lucht- en rolweerstandskracht.

Pas vanaf t = 20 s leveren de motoren het volle vermogen. Ze blijven dit leveren totdat de bestuurder gaat remmen. In figuur 29 is het verloop van de motorkracht F_{motor} weergegeven. Je ziet dat F_{motor} kleiner wordt, terwijl het motorvermogen constant is.

b Leg met een formule uit hoe dit komt.



figuur 28 (v,t)-diagram van de Buckeye Bullet.

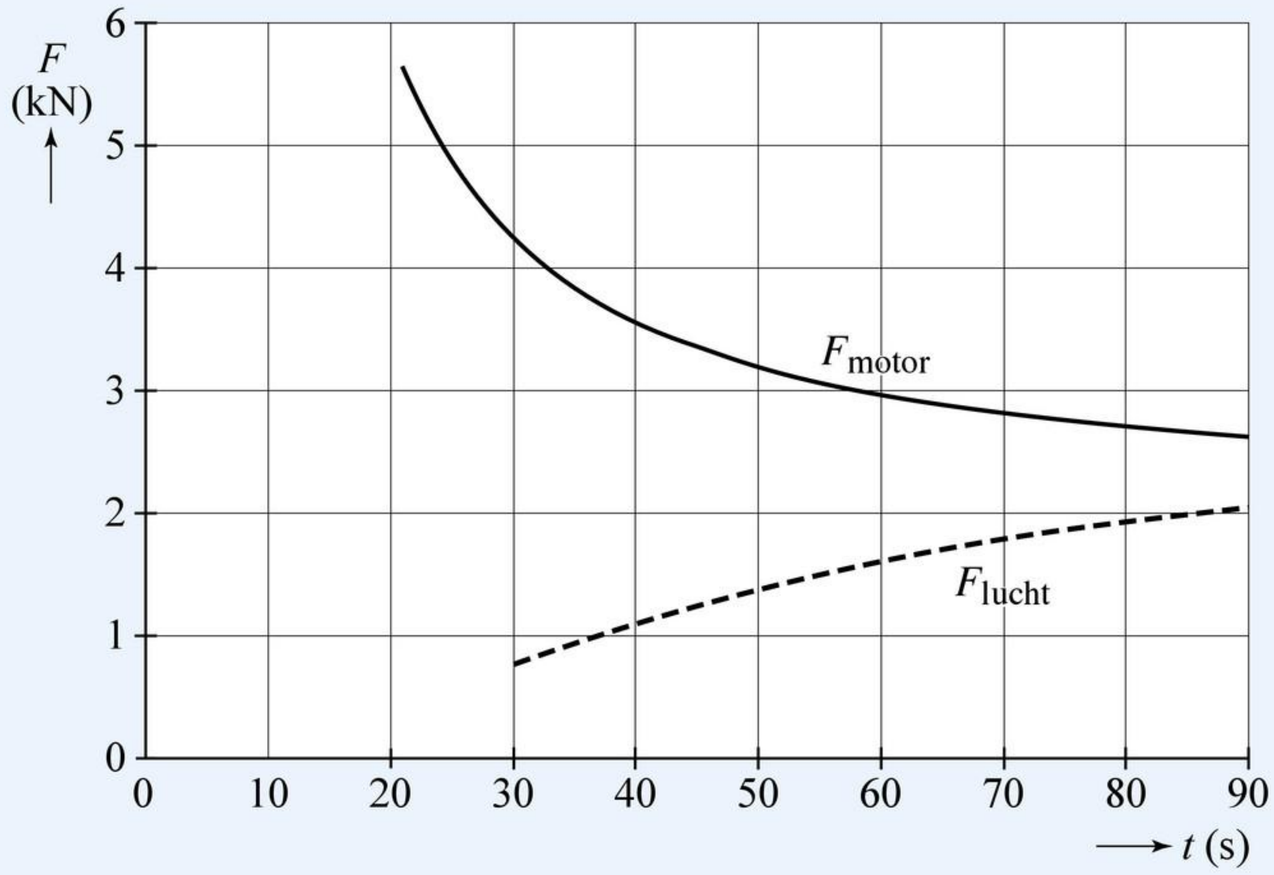
In figuur 29 zie je ook de luchtweerstandskracht op de Buckeye Bullet. De rolweerstand van de auto mag je verwaarlozen.

c Bepaal welk percentage van het motorvermogen op t = 50 s wordt gebruikt voor het doen toenemen van de kinetische energie van de auto.

Voor de luchtweerstandskracht geldt: $F_{w,l} = 0{,}10 \cdot v^2$, met v de snelheid.

d Bereken de theoretische maximumsnelheid van de Buckeye Bullet.

naar: examen 2010-II



figuur 29 F_{motor} van en $F_{w,l}$ op de Buckeye Bullet.

P 74 Metro

De stations van de Victorialijn van de Londense metro liggen hoger dan het tussengelegen spoor. Bij vertrek vanaf een station rolt de metro dus een helling af, bij aankomst op het volgende station rolt de metro juist een helling op.

a Geef in een schema alle energieomzettingen weer voor een treinstel dat van het ene station naar het volgende rijdt. Geef hierin ook mogelijke verliezen aan.

b De maximale snelheid van de metro is 60 km h^{-1} en de hoogte van de heuvels is 1,3 m.
Bereken de energiebesparing per keer remmen als percentage van de maximale bewegingsenergie.

c Bereken de snelheidsafname van de metro als deze de helling op rolt.

d Leg uit wat er met het percentage energiebesparing gebeurt bij een hogere maximale snelheid van de metro tussen de stations.

e Bereken hoe hoog een heuvel zou moeten zijn om alle bewegingsenergie van deze metro die 60 km h^{-1} rijdt op te slaan in zwaarte-energie. Ga ervan uit dat er geen verliezen zijn.

BEREID JE VOOR OP DE TOETS

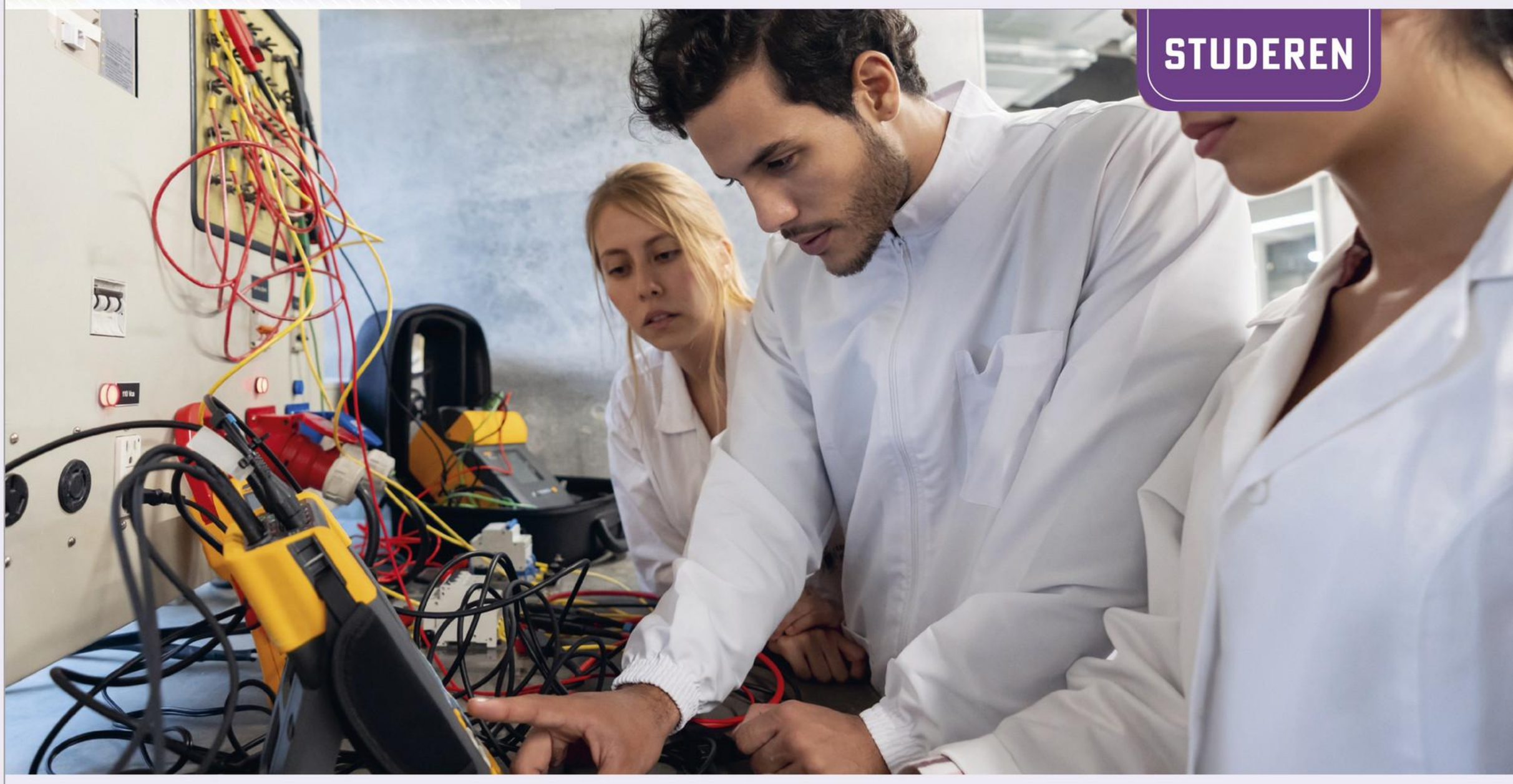
BOEK

- ☐ Neem ‘Onthoud’ door.
- ☐ Maak de eindopdrachten.
- ☐ Maak de opdrachten die je lastig vond nog een keer.
- ☐ Bestudeer de voorbeeldopdrachten.

BEREID JE ONLINE VOOR OP DE TOETS

ONLINE

- ☐ Test de basis met Test jezelf.
- ☐ Oefen de begrippen met Flitskaarten.
- ☐ Maak de oefentoets.



STUDEREN

ELECTRICAL ENGINEERING

In 2050 moet Nederland uitsluitend nog hernieuwbare energiebronnen gebruiken die (netto) geen CO_2 uitstoten. Dat betekent dat we veel meer gebruik zullen moeten maken van elektrische systemen, bijvoorbeeld voor het opladen van elektrische auto's en het aandrijven van warmtepompen voor het verwarmen van huizen en kantoren.

De vraag naar elektriciteit moet beter worden afgestemd op het aanbod van duurzame elektrische energie uit zon en wind. De elektrificatie van onze maatschappij en economie vraagt slimme elektrische systemen en zorgvuldig ontworpen elektriciteitsnetwerken. Apparaten moeten bijvoorbeeld slimmer worden ontworpen, zodat ze met het elektriciteitsnetwerk kunnen communiceren over wanneer ze welke taken uitvoeren.

De bachelor Electrical engineering leidt je op tot een ingenieur die deze elektrificatie mogelijk kan maken. Je kunt deze bachelor volgen aan drie technische universiteiten in Nederland: TU Delft, TU Eindhoven en de Universiteit Twente. De studie omvat veel meer dan alleen de energietransitie. Het gaat ook om het ontwerpen van medische apparatuur en ontwikkelen van elektrische auto's. In Eindhoven is er ook een variant van deze bachelor: *automotive technology*. Ontdek via de websites van de verschillende universiteiten wat de studie Electrical engineering inhoudt en waar je allemaal voor wordt opgeleid.

PRACTICA

ONLINE

Bij dit hoofdstuk horen practica, onderzoeken en ontwerpopdrachten. Deze staan online.

PRACTICA

De practica kun je zelfstandig uitvoeren of onder begeleiding van je docent.

PRACTICUM 1 Hijsen met katrollen

1 Is er een grootheid die bij het hijsen met katrollen groter wordt wanneer het aantal katrollen toeneemt? Zo ja, welke grootheid is dit?
2 Is er een grootheid die bij het hijsen met katrollen constant blijft wanneer het aantal katrollen toeneemt?

PRACTICUM 2 Elektrisch hijsen

Hoe groot zijn het vermogen en het rendement van een elektromotor?

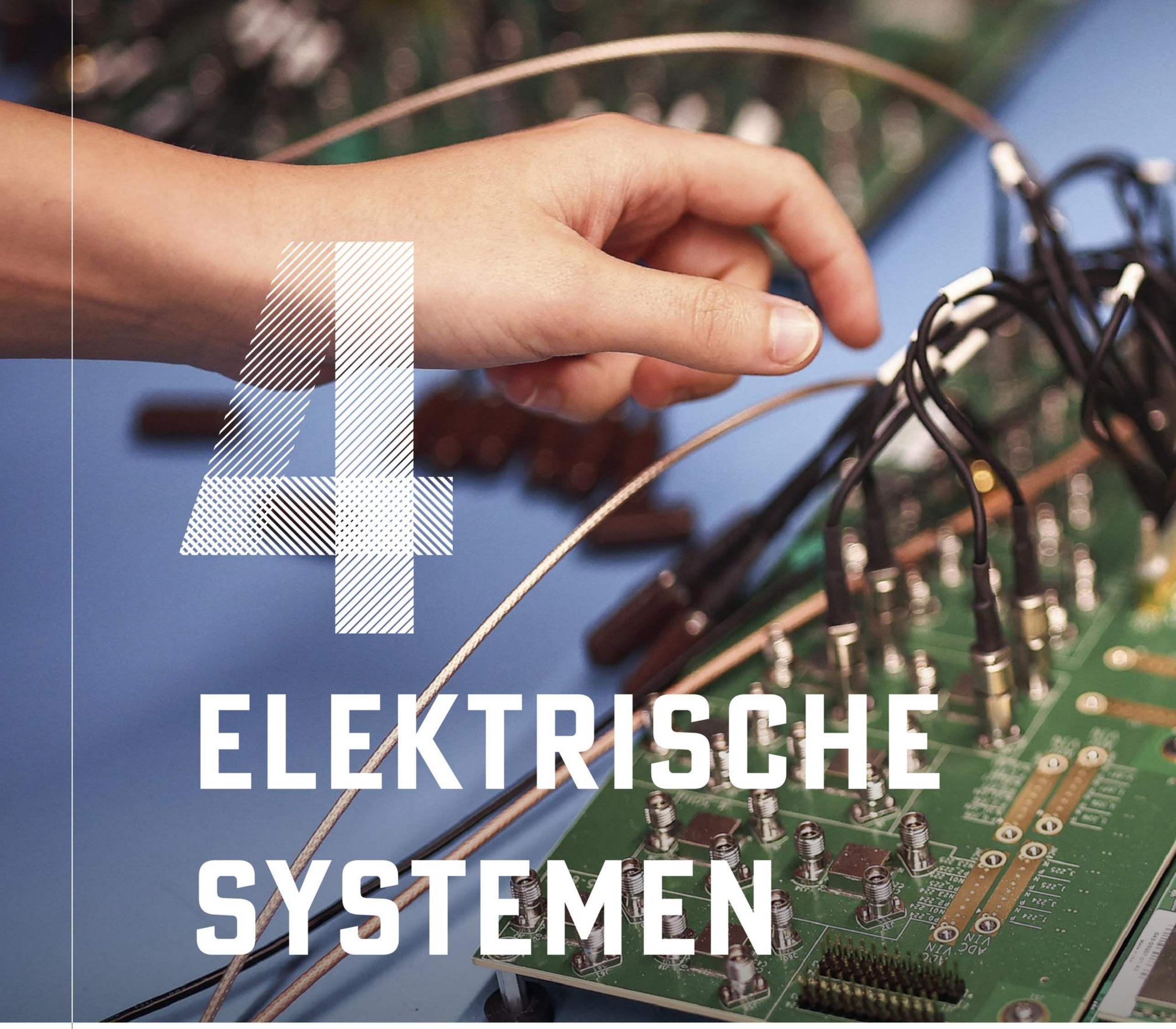
PRACTICUM 3 Het vermogen van een mens

Hoe groot is het nuttig vermogen van een mens?

ONDERZOEKEN, ONTWERPEN EN MODELLEREN

OPEN ONDERZOEK Rendement van speelgoed

Hoe groot is het rendement van de energieomzetting bij dit stuk speelgoed?

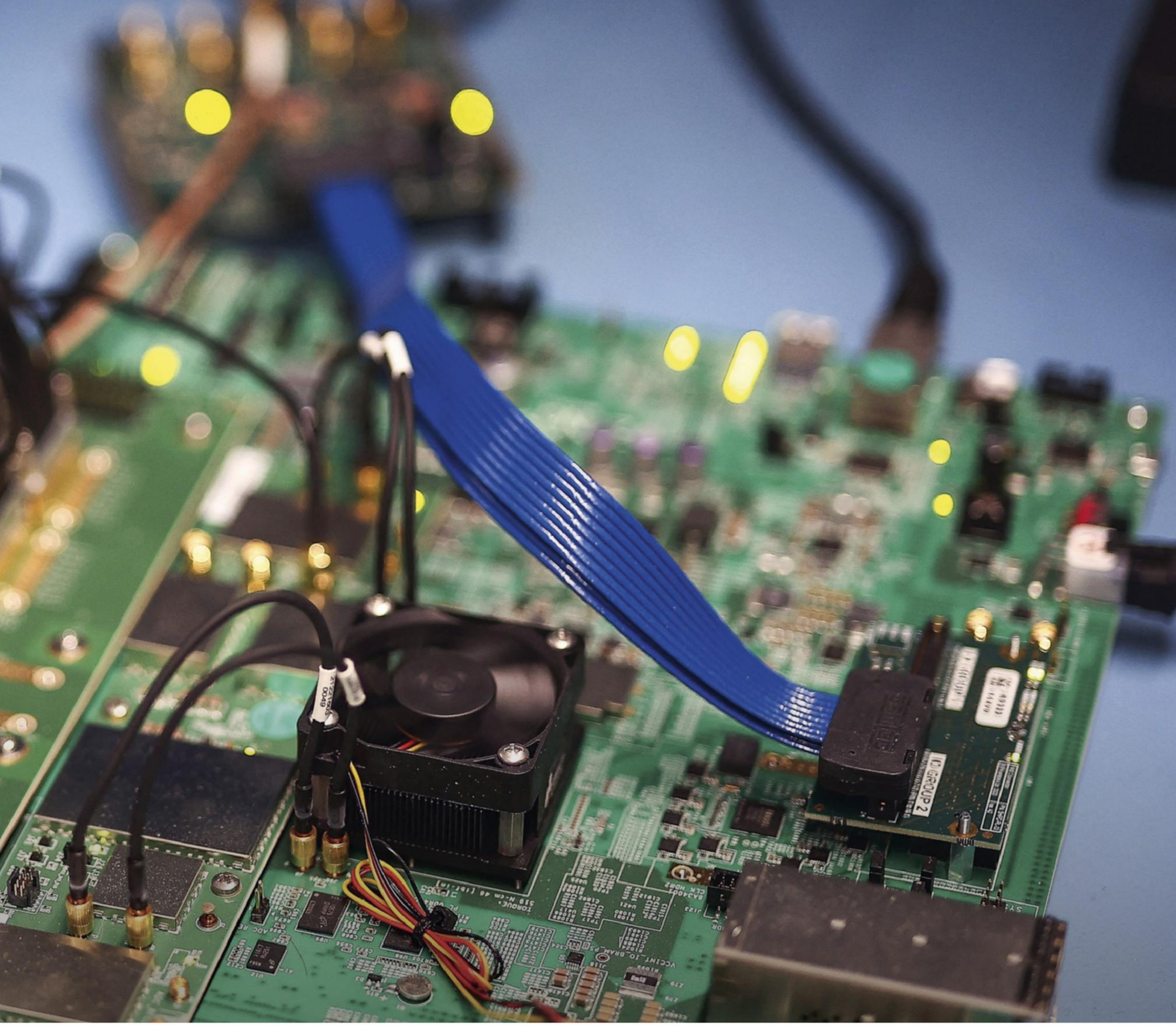


ELEKTRISCHE SYSTEMEN

DOMEIN: D Lading en veld ▶ **SUBDOMEIN:** D1 Elektrische systemen

Als de stroom uitvalt, merk je pas hoe groot de rol is van allerlei elektrische systemen in je leven. Elektrische energie wordt opgewekt door elektriciteitscentrales, windmolens en zonnepanelen. Het hoogspanningsnetwerk brengt de elektrische energie naar dorpen en steden, bedrijven en woningen. Treinen en metro's kunnen daardoor rijden en overal branden lampen. Thuis hoef je alleen maar een stekker in het stopcontact te steken als je een apparaat vol minuscule elektronica wilt gebruiken, of de batterij van je smartphone wilt opladen.

In dit hoofdstuk leer je de begrippen waarmee je kunt inzien hoe al die apparaten en systemen functioneren. Je leert de eigenschappen kennen van verschillende componenten in schakelingen en van de draden waar stroom doorheen gaat. Je leert hoe je stroom en spanning kunt meten in schakelingen met verschillende componenten. Met kennis van de eigenschappen van stroom en spanning in elektrische systemen kun je zelf schakelingen maken met een bepaald doel.



PRAKTIJK

De weg van de minste weerstand | 190

BOEK

THEORIE

Voorkennis | 192

1 Elektrisch vermogen | 194

2 Weerstand | 202

3 Weerstand van een draad | 209

4 Stroom en spanning verdelen | 215

5 Totale weerstand | 224

6 Speciale componenten | 232

Afsluiting | 240

MAATSCHAPPIJ

Werken: Zonnepanelen voor in de ruimte | 244

LESSTOF

Alle teksten, voorbeelden en opdrachten staan ook online in MAX.

ONLINE

OEFENEN

- Test jezelf bij elke paragraaf
- Flitskaarten
- Oefentoets

AANVULLEND

- Practica, onderzoeken en ontwerpen



DE WEG VAN DE MINSTE WEERSTAND

De vraag naar duurzaam opgewekte elektriciteit wordt steeds groter. In theorie is dat geen probleem: met zonnepanelen op 1,2% van de oppervlakte van de Saharawoestijn kan de hele wereld worden voorzien van elektriciteit. Het probleem is alleen dat een groot deel van de elektrische energie is omgezet in warmte voordat ze bij jou thuis aankomt. Het zou mooi zijn als dit verlies kleiner of zelfs helemaal nul kan worden. Supergeleiders bieden mogelijk de oplossing.

DRADEN WARMEN OP

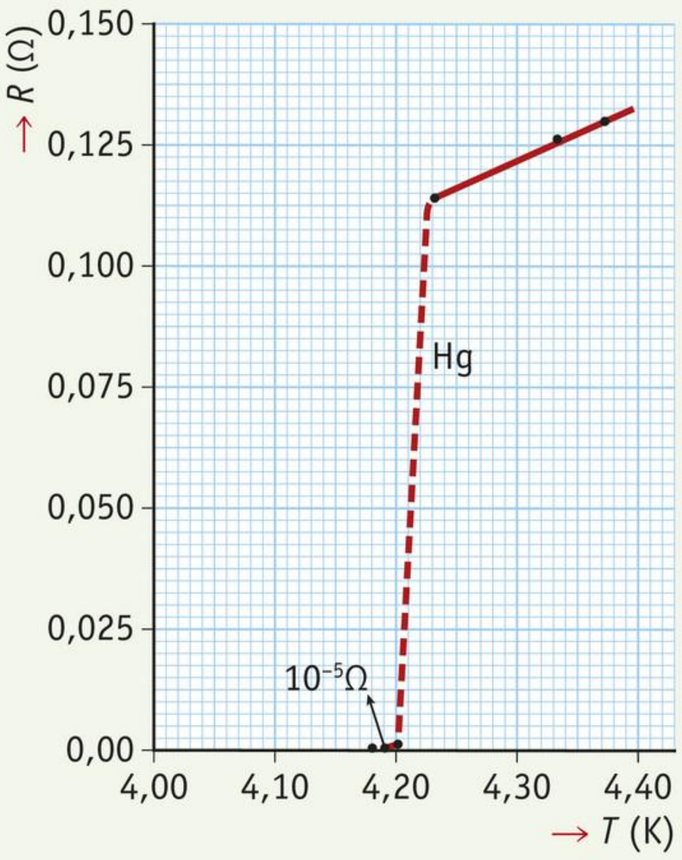
In de praktijk hebben elektriciteitsdraden weerstand. Daardoor wordt elektrische energie deels omgezet in warmte. Hoe langer de afgelegde afstand en hoe groter de stroomsterkte, hoe meer warmte er ontstaat. Dit is niet alleen onwenselijk bij transport van energie, het is ook problematisch bij toepassingen waarvoor een grote stroomsterkte nodig is, zoals MRI-scanners in ziekenhuizen en de deeltjesversneller bij CERN. Als wetenschappers erin slagen draden te creëren die geen weerstand hebben, dan opent er een nieuw tijdperk voor elektrische systemen waarbij energieverliezen tot het verleden behoren.

SUPERGELEIDING

In 1911 ontdekte de Nederlander Heike Kamerlingh Onnes een baanbrekend fenomeen. Toen hij een kwikdraadje afkoelde met vloeibaar helium tot 4,2 K, verdween de elektrische weerstand opeens volledig (figuur 1). Eerst dacht hij dat zijn apparatuur kapot was, maar bij het verhogen van de temperatuur zag hij dat de weerstand weer terugkwam. Kwik vertoont bij deze extreem lage temperaturen supergeleiding: het geleidt elektriciteit helemaal zonder weerstand en dus zonder energieverlies. Deze plotselinge faseovergang is vergelijkbaar met vloeibaar water dat ineens ijs wordt en niet eerst minder vloeibaar.

TOEPASSINGEN

Supergeleiders maken het mogelijk om krachtige elektromagneten te creëren. Deze zijn bruikbaar in bijvoorbeeld MRI-scanners voor scherpere beelden van het lichaam. Magneten in MRI-scanners kunnen na koeling tot extreem lage temperatuur stroomsterkten tot 1000 A geleiden zonder energieverlies door weerstand (figuur 2). Ter vergelijking: de stroom door een groep in huis is maximaal 16 A.



figuur 1 De meting van Kamerlingh Onnes van de weerstand van een kwikdraadje als functie van de temperatuur (26 oktober 1911).

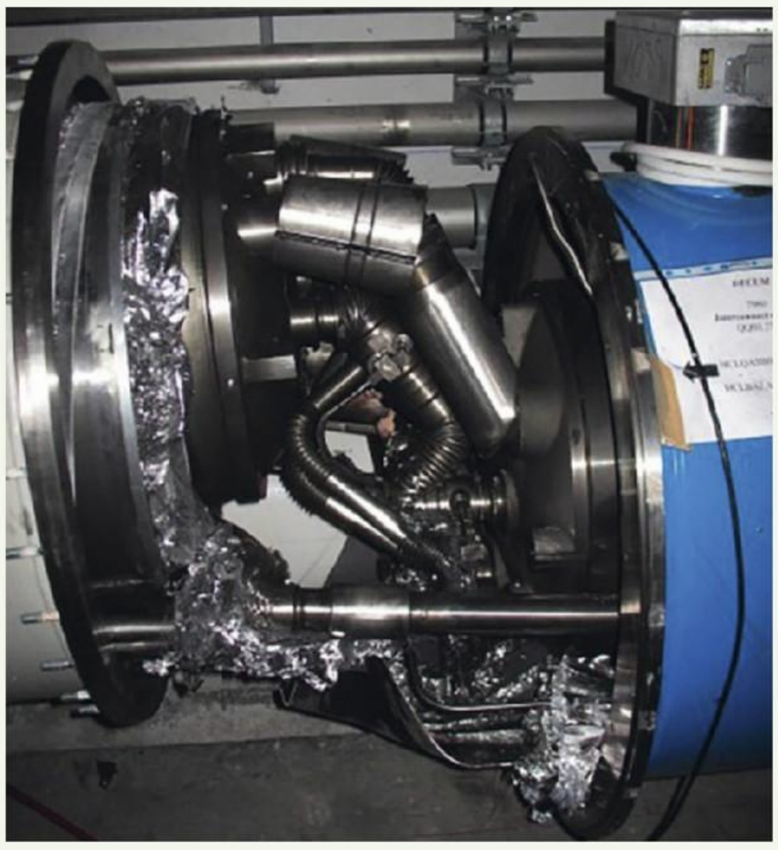


figuur 2 Vloeibaar helium wordt als koelmiddel toegevoegd aan een MRI-scanner.

Bij de onderzoeksorganisatie CERN in Genève worden supergeleidende magneten toegepast in de Large Hadron Collider (LHC), de grootste deeltjesversneller ter wereld. Hierin kunnen protonen en andere kleine deeltjes worden versneld tot bijna de lichtsnelheid. Wanneer de supergeleidende eigenschappen plotseling wegvallen, heeft dat enorme gevolgen. Toen de LHC van CERN voor het eerst opstartte in 2008, werd een supergeleidende magneet door een fout in de elektronica plotseling een normale geleider met weerstand. Dit veroorzaakte erg veel warmte, met een ontploffing en veel schade tot gevolg (figuur 3).

DE ZOEKTOCHT GAAT DOOR

Er zijn inmiddels duizenden materialen bekend die supergeleidend zijn bij extreem lage temperaturen. Door de benodigde grote en dure koelinstallaties zijn de toepassingen erg beperkt. Het koelen kost bovendien veel energie. Tot 2021 was er in het Duitse Essen een experimentele 1 km lange supergeleidende kabel in gebruik die werd gekoeld met vloeibare stikstof. De koelinstallaties voor de kabel waren indrukwekkend (figuur 4). Deze supergeleidende kabel kon veel hogere stromen geleiden zonder weerstand, waardoor de spanning van de transformatoren tien keer zo laag kon blijven.
De heilige graal is nu het vinden van materialen die supergeleiding vertonen bij kamertemperatuur. Dat is extreem lastig. Materiaal van supergeleiders bij extreem lage temperaturen kun je niet een beetje aanpassen zodat het bij hogere temperaturen ook werkt. Lanthaanhydride is een materiaal dat supergeleidend kan zijn bij −20 °C. Dat klinkt veelbelovend, maar het materiaal moet hierbij worden samengeperst tot een druk vergelijkbaar met die van de aardkern. Alleen diamant is sterk genoeg om die druk te verdragen. Kabels van diamant, gevuld met lanthaanhydride, lijken nog niet echt praktisch. Een praktische en kostenefficiënte supergeleider waarmee we de zonne-energie uit de Sahara zonder verlies naar Nederland kunnen halen laat voorlopig dus nog op zich wachten.



figuur 3 Verbogen installaties als gevolg van de defecte supergeleidende magneet van de LHC (2008).



figuur 4 De supergeleidende kabel in Essen werd gekoeld met vloeibare stikstof.

▶ **Aansluitende opdrachten bij DE WEG VAN DE MINSTE WEERSTAND: 41, 60, 63, 64 en 66.**

VOORKENNIS

In de vorige leerjaren heb je al een aantal dingen over elektrische systemen geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

Leerdoelen

1 Je kunt het energieverbruik van een elektrisch apparaat berekenen in de eenheid joule.
2 Je kunt de totale stroomsterkte en het totaal opgenomen vermogen in een groep berekenen.
3 Je kunt uitleggen welke gevaren het gebruik van elektriciteit met zich meebrengt.
4 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen weerstand, spanning en stroomsterkte.
5 Je kunt het verschil uitleggen tussen een ohmse weerstand en een niet-ohmse weerstand.
6 Je kunt de stroomsterkte I_1, I_2, I_3, ... door elke weerstand in een parallelschakeling berekenen.
7 Je kunt berekeningen maken met nuttige energie, rendement en warmte.

1 **Leerdoel 1**

Een bouwlamp (150 W) gebruikt 18 000 J aan elektrische energie.
Hoelang heeft de bouwlamp aangestaan? Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

De bouwlamp heeft ..... minuten aangestaan.

2 **Leerdoel 2**

Op een groep van een huisinstallatie zijn drie apparaten aangesloten. Elk apparaat bevat een typeplaatje waarop de spanning over en de stroomsterkte door het apparaat zijn vermeld:

- een stofzuiger: 230 V / 3,00 A
- een lamp: 230 V / 0,10 A
- een waterkoker: 230 V / 6,9 A

Wat is het totale vermogen van de aangesloten apparaten? Rond af op één decimaal.

Het totale vermogen is ..... kW.

3 **Leerdoel 3**

Op een groep zijn drie apparaten ingeschakeld met een totaalvermogen van 4000 W. De schakelautomaat schakelt de groep uit.
Hier is sprake van *kortsluiting / overbelasting*.

4 **Leerdoel 4**

Bij een webwinkel kun je reservelampjes voor een zaklantaarn kopen.
In de beschrijving staat:

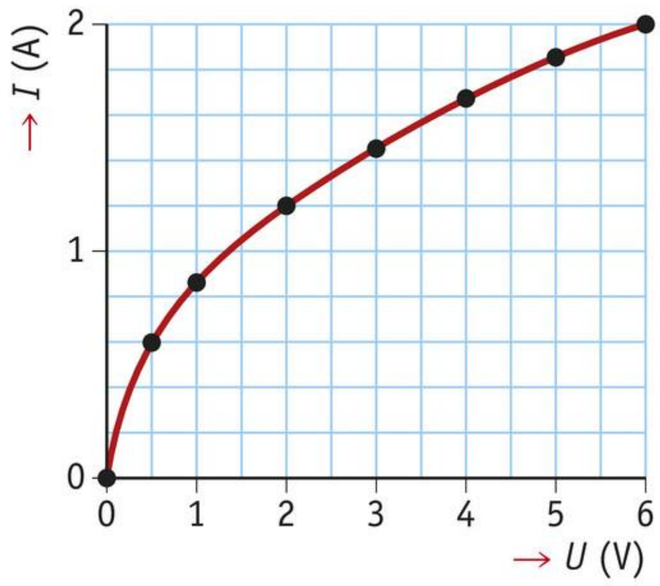
> Reservelamp voor zaklamp 3,5 V – 0,7 W – 200 mA
> Fitting = E10 – Helder

Bereken de weerstand van het reservelampje als dit op de juiste spanning brandt.

De weerstand van het reservelampje is ..... Ω.

5 **Leerdoel 5**

Zoë heeft enkele metingen verricht aan een zeer dunne metaaldraad. Haar resultaten heeft ze verwerkt in een (*I*,*U*)-diagram (figuur 1).
Wat kun je zeggen over de weerstand van de draad als er meer spanning over staat?
De weerstand *blijft gelijk / wordt groter / wordt kleiner*.

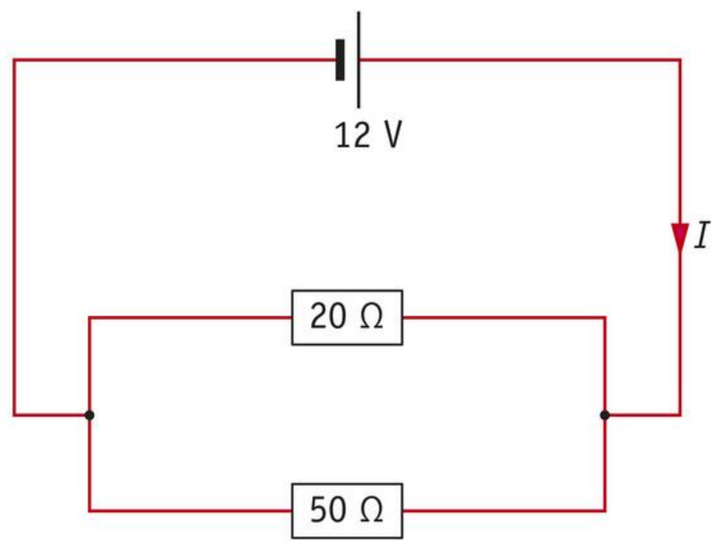


figuur 1 (*I*,*U*)-diagram.

6 **Leerdoel 6**

Bekijk de schakeling in figuur 2.
Bereken de totale stroomsterkte in deze schakeling.

De totale stroomsterkte is ..... A.



figuur 2 Schakeling.

7 **Leerdoel 7**

Een roltrap werkt op een spanning van 750 V. Op een drukke dag transporteert de roltrap elke 12 s twintig mensen met een gemiddelde massa van 75 kg over een afstand van 4,5 m naar boven. Op dat moment is de stroomsterkte door de draden 11 A.
Bereken het rendement van de energieomzetting.

Het rendement is .....%.

1

ELEKTRISCH VERMOGEN

Leerdoelen

4.1.1 Je kunt uitleggen wat de grootheden stroomsterkte en spanning betekenen.
4.1.2 Je kunt schakelschema's tekenen en interpreteren.
4.1.3 Je kunt berekeningen maken met stroomsterkte, lading en tijd.
4.1.4 Je kunt berekeningen maken met spanning, energie en lading.
4.1.5 Je kunt berekeningen maken met energie, vermogen, spanning en stroomsterkte.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	4.1.1	4.1.2	4.1.3	4.1.4	4.1.5	3.6.3*
Onthouden						
Begrijpen	1ab, 2					
Toepassen		1c, 6a	3a, 5b, 8a, 10a	3b, 5c, 8b, 10b	3c, 4, 5a, 6b, 7abde, 8ab, 9a, 10cd	8c, 9bcd
Analyseren					7c	

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

In Nederland heeft het lichtnet een spanning van 230 V. Zodra je een apparaat aanzet, bijvoorbeeld een waterkoker, loopt er een stroom doorheen en wordt elektrische energie omgezet. Op het typeplaatje van het apparaat kun je aflezen voor welke spanning het apparaat is ontworpen. Hierop zie je ook de grootte van het vermogen.

STROOMSTERKTE EN LADING

Een stroomkring kun je vergelijken met een rivier. In de Rijn stroomt een hoeveelheid water in één seconde langs een bepaald punt. Elektrische **stroomsterkte *I*** geeft aan hoeveel elektrische lading per seconde langs een punt van een stroomkring stroomt.

!

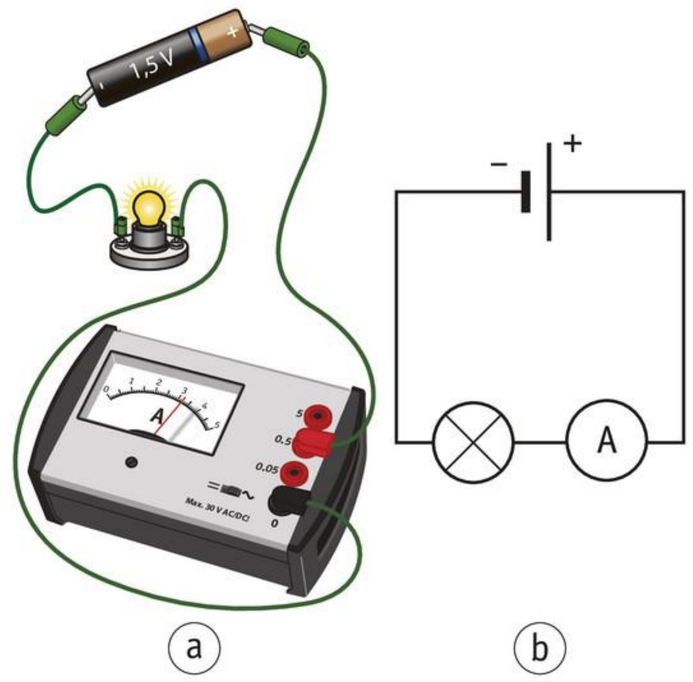
Formule

De formule voor de stroomsterkte I is:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Hierin is:
- I de stroomsterkte in ampère (A);
- Q de lading in coulomb (C);
- t de tijd waarin de lading Q voorbijkomt in seconde (s).

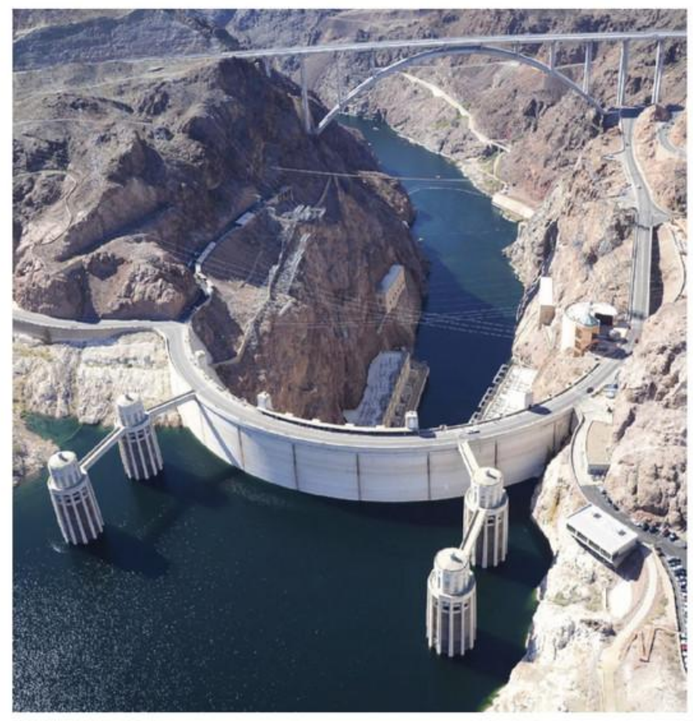
Een stroommeter (ook wel ampèremeter genoemd) moet je in de stroomkring plaatsen zoals aangegeven in figuur 1a. De stroom door het lampje gaat ook in zijn geheel door de stroommeter.
Het is handig een schakeling schematisch weer te geven. Dat doe je in een schakelschema (figuur 1b).
In een schakelschema teken je de draden als rechte lijnen en zo eenvoudig mogelijk. Voor de batterij, het lampje en de stroommeter gebruik je symbolen. Deze en andere elektrotechnische symbolen vind je in *BiNaS* tabel 17B.



figuur 1 Elektrische stroom meten.

ELEKTRISCHE ENERGIE EN SPANNING

Een lading kan elektrische energie hebben. De elektrische energie van een lading kun je vergelijken met de zwaarte-energie van een massa, bijvoorbeeld van water in een hooggelegen stuwmeer. In hoofdstuk 3 heb je geleerd dat bij het naar beneden gaan van massa zwaarte-energie wordt omgezet in kinetische energie. Als er een weerstandskracht is, wordt de kinetische energie vervolgens omgezet in warmte. Je kunt met de naar beneden gaande massa ook andere dingen in beweging zetten. Denk maar aan een stuwmeer met een waterkrachtcentrale (figuur 2). Het vallende water geeft energie af aan een turbine.
Met elektriciteit werkt het net zo. Ladingen krijgen elektrische energie door een **spanningsbron** in een stroomkring. Ze gaan daardoor bewegen en geven energie af aan het materiaal van de stroomkring, bijvoorbeeld een gloeidraad in een broodrooster. In dat geval wordt de elektrische energie van de elektronen omgezet in vooral warmte, maar ook een beetje licht.
Elektrische energie is een vorm van potentiële energie: dat is de verzamelnaam voor energiesoorten die van de positie van voorwerpen afhangen. Zoals de zwaarte-energie van een massa afhangt van de hoogte boven de aarde, zo hangt de elektrische energie van een lading af van de positie ten opzichte van de polen van een spanningsbron. De elektrische energie hangt ook af van de grootte van de lading.
De **spanning *U*** tussen twee punten in een stroomkring geeft aan wat het energieverschil is tussen die twee punten *per coulomb lading*. Bijvoorbeeld: de spanning over een lampje geeft aan dat er een energieverschil is in de stroomkring voor en na het lampje. Deze spanning komt overeen met de aan het lampje afgegeven energie per coulomb lading.



figuur 2 Stuwmeer met waterkrachtcentrale.

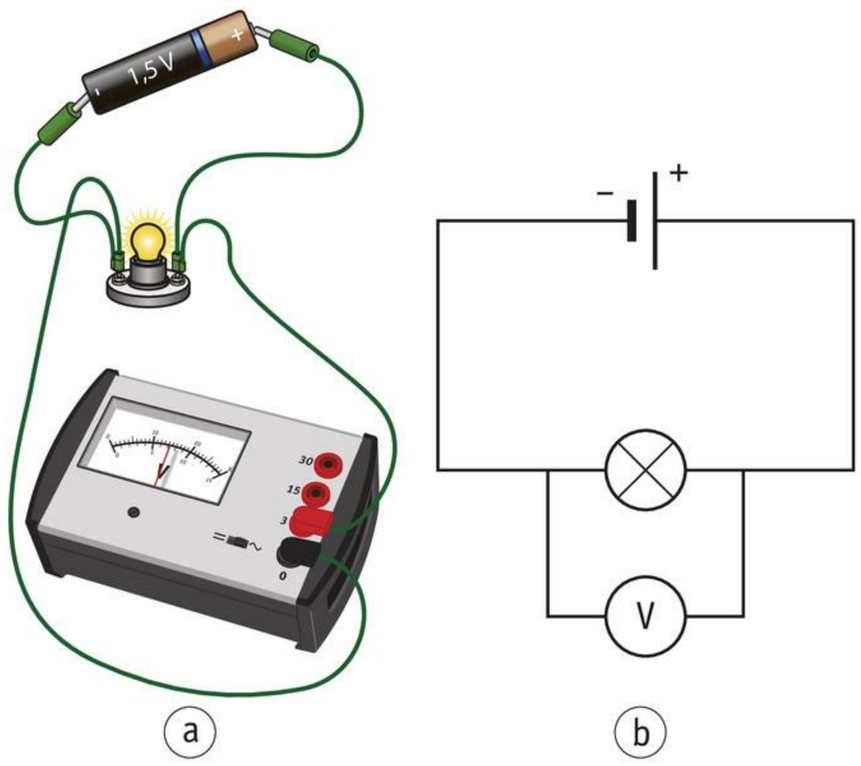
Formule

De formule voor de spanning U is:

$$U = \frac{\Delta E}{Q}$$

Hierin is:
- U de spanning in volt (V);
- ΔE het verschil in elektrische energie tussen twee punten in joule (J);
- Q de lading in coulomb (C).

De spanning U geeft aan hoe groot de 'druk' is die op elektronen wordt uitgeoefend om van de minpool in de richting van de pluspool te bewegen. De materialen bij beide polen spelen daarbij een rol: een lithium-mangaandioxidebatterij heeft een andere spanning dan een zink-koolstofbatterij. Als je wisselspanning opwekt met een dynamo, hangt de grootte van de spanning onder andere af van het tempo waarmee de dynamo draait. Spanning meet je met een spanningsmeter (ook wel voltmeter genoemd). Omdat spanning een verschil in elektrische energie tussen twee punten aangeeft, sluit je een spanningsmeter aan *over* een elektrische component, bijvoorbeeld parallel aan een lampje (figuur 3).



figuur 3 Elektrische spanning meten.

ELEKTRISCH VERMOGEN EN ENERGIE

Stroomsterkte geeft aan hoeveel lading per seconde langs een punt in een stroomkring stroomt. Spanning geeft aan hoeveel energie een lading tussen twee punten in de stroomkring afgeeft. Als je de spanning en de stroomsterkte weet, kun je berekenen hoeveel energie de ladingen per seconde afstaan:

$$\frac{\Delta E}{t} = \frac{\Delta E}{Q} \cdot \frac{Q}{t} = U \cdot I$$

De elektrische energie die per seconde door een spanningsbron aan een elektrische component wordt afgestaan, is het **elektrisch vermogen *P***.

Formule

De formule voor het elektrisch vermogen P is:

$$P = U \cdot I$$

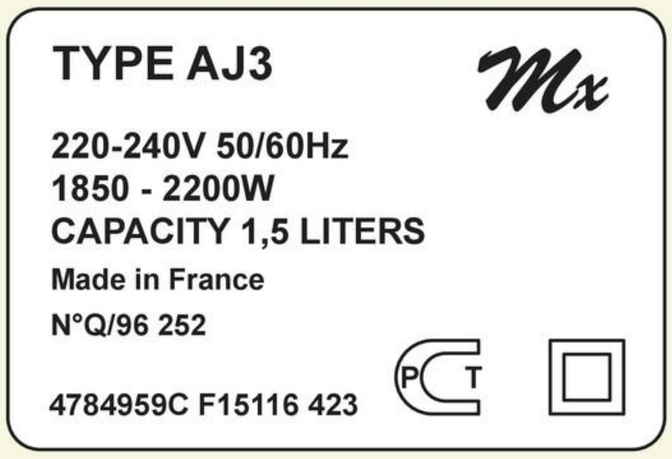
Hierin is:
- P het vermogen in watt (W);
- U de spanning in volt (V);
- I de stroomsterkte in ampère (A).

Voorbeeldopdracht 1

De spanning op een stopcontact in Nederland is 230 V. Een spelcomputer is aangesloten op het stopcontact. Er loopt een stroom van 976 mA.

a Bereken het elektrisch vermogen van de spelcomputer.

In figuur 4 staat het typeplaatje van een waterkoker. Het maximale vermogen hoort bij de maximale spanning waarvoor de waterkoker is ontworpen.



figuur 4 Typeplaatje van een waterkoker.

b Bereken de stroomsterkte die bij het maximale vermogen door de waterkoker loopt.

a **Gegevens** $U = 230$ V
$I = 976$ mA $= 0{,}976$ A

Formule $P = U \cdot I$

Uitwerking
$P = U \cdot I = 230 \times 0{,}976 = 224$ W

b **Gegevens** $U = 240$ V (figuur 4)
$P = 2200$ W

Formule $P = U \cdot I \rightarrow I = \frac{P}{U}$

Uitwerking

$I = \frac{P}{U} = \frac{2200}{240} = 9{,}17$ A

Het vermogen van een elektrische component geeft aan met welk tempo er elektrische energie wordt omgezet in een andere energievorm. Om uit te rekenen hoeveel elektrische energie een component in totaal omzet, moet je weten hoelang er energie wordt omgezet.

Formule

De formule voor de elektrische energie E is:

$E = P \cdot t$

Hierin is:
- E de energie in joule (J);
- P het vermogen in watt (W);
- t de tijd in seconde (s).

Het is bij elektrische energie gebruikelijk om de energie uit te drukken in kilowatt keer uur, kortweg kilowattuur. Je vult dan in bovenstaande formule het vermogen in kilowatt in en de tijd in uur.

Voorbeeldopdracht 2

Een 50 inch ledtelevisie heeft een vermogen van 120 W. Gemiddeld staat de televisie elke dag 3,00 uur aan.
Bereken de elektrische energie die de televisie omzet in een jaar (geen schrikkeljaar):

a in joule

b in kilowattuur

a **Gegevens** $P = 120$ W
$t = 3{,}00$ h $= 3{,}00 \times 3600 = 10{,}8 \cdot 10^3$ s (per dag)
1 y = 365 d

Formule $E = P \cdot t$

Uitwerking
$E = P \cdot t = 120 \times 10{,}8 \cdot 10^3 \times 365 = 4{,}73 \cdot 10^8$ J

b **Gegevens** $P = 120$ W $= 0{,}120$ kW
$t = 3{,}00$ h (per dag)
1 y = 365 d

Formule $E = P \cdot t$

Uitwerking
$E = P \cdot t = 0{,}120 \times 3{,}00 \times 365 = 131$ kWh

Je kunt joule en kilowattuur ook in elkaar omrekenen met de omrekeningsfactor die je in *BiNaS* tabel 5 kunt vinden: 1 kWh = $3{,}6 \cdot 10^6$ J. Omdat het energieverbruik in de industrie vaak heel groot is, worden daar ook wel MWh en GWh gebruikt. De kWh is een maat die meestal wordt gebruikt voor *elektrische* energie. Je kunt deze eenheid ook voor andere energiesoorten gebruiken, zoals voor mechanische energie.

Onthoud

- Elektrische stroomsterkte is de lading die per tijdseenheid langs een punt in een stroomkring stroomt: $I = \frac{Q}{t}$
- Elektrische spanning is het energieverschil tussen twee punten in een stroomkring, gerekend per lading: $U = \frac{\Delta E}{Q}$
- In een schakelschema geef je met symbolen en lijnen een elektrische schakeling zo eenvoudig en overzichtelijk mogelijk weer.
- Het vermogen is de elektrische energie die per seconde wordt omgezet in een andere energievorm. Je kunt het elektrisch vermogen berekenen met: $P = U \cdot I$
- De elektrische energie bereken je met $E = P \cdot t$. Als je SI-eenheden invult, dan is dit de elektrische energie in joule. Als je het vermogen in kilowatt en de tijd in uur invult, dan krijg je de elektrische energie in kilowattuur.

OPDRACHTEN ▸ Basis

1 Meetapparatuur

Een stroommeter wordt ook wel ampèremeter genoemd.

a Waarom is de term stroommeter beter dan ampèremeter?

b Leg met behulp van de definitie voor stroomsterkte uit waarom een stroommeter in de stroomkring in serie met een component wordt opgenomen en er niet parallel aan wordt geschakeld.

c Teken het schakelschema voor een lampje dat is aangesloten op een spanningsbron. Met een stroommeter wordt de stroomsterkte gemeten door het lampje en met een spanningsmeter de spanning over het lampje.

2 Analogie met water

In deze paragraaf is stroom door een stroomdraad vergeleken met een stromende rivier. Kies in de volgende twee vergelijkingen de juiste grootheid.

a Als je water een groter hoogteverschil laat overbruggen, kun je dat vergelijken met een grotere *stroom* / *spanning*.

b Als er door smeltend ijs in de bergen meer water door dezelfde rivier stroomt, kun je dat vergelijken met een grotere *stroom* / *spanning*.

3 Batterij

Je hebt een batterij van 9,0 V opgenomen in een stroomkring. Er loopt een stroom van 0,25 A.

a Bereken hoeveel lading er na 1,0 min door de stroomkring is gegaan.

b Bereken hoeveel elektrische energie er in die tijd door de ladingen in de stroomkring is afgegeven.

c Bereken het vermogen dat de batterij levert.

4 Spelcomputer

Een spelcomputer ontvangt tijdens het spelen van een spel van het stopcontact een vermogen van 105 W. Het spelen van het spel duurt 4 uur en 30 minuten.

a Bereken de energie die de spelcomputer in deze tijd omzet. Geef je antwoord in kWh.

b Reken de energie uit opdracht a om naar joule. Gebruik hiervoor de omrekenfactor die je in *BiNaS* tabel 5 kunt vinden.

5 Broodrooster

Een broodrooster heeft een vermogen van 900 W als hij is aangesloten op het stopcontact.

a Bereken de stroomsterkte door het broodrooster.

Het roosteren van een boterham duurt 2,0 min.

b Bereken de lading die in deze tijd door het broodrooster stroomt.

c Bereken de afgegeven energie met behulp van de formule: $U = \frac{\Delta E}{Q}$

6 Tosti-ijzer

Een tosti-ijzer bestaat uit een verwarmingselement en een schakelaar om het tosti-ijzer aan en uit te zetten. Het tosti-ijzer is aangesloten op het stopcontact (wisselspanning).

a Teken het schakelschema voor de beschreven situatie. Geef het verwarmingselement weer als weerstand. Maak gebruik van de juiste elektrotechnische symbolen (*BiNaS* tabel 17B).

Het maken van een tosti duurt 5,0 min. Het tosti-ijzer heeft een vermogen van 1500 W.

b Bereken hoeveel energie het maken van een tosti kost. Geef je antwoord in kWh.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

7 Koelkast

Het gemiddelde vermogen van een zuinige koelkast is 12 W, het piekvermogen is 130 W.

a Leg uit waarom het piekvermogen veel hoger is dan het gemiddelde vermogen.

b Bereken het energieverbruik van de koelkast in een jaar (geen schrikkeljaar), uitgedrukt in kWh.

Het opgegeven vermogen van een stofzuiger is 0,90 kW.

c Leg uit of hier piekvermogen of gemiddeld vermogen wordt bedoeld.

d Bereken het energieverbruik van de stofzuiger in een jaar, uitgedrukt in kWh. Schat hoelang een stofzuiger in een jaar aanstaat.

e Welk apparaat is duurder in gebruik, de koelkast of de stofzuiger?

8 Oplaadbare batterij

Op een oplaadbare batterij staat '1,2 V' en '2000 mAh'.

a Bereken hoeveel energie er in de batterij is opgeslagen. Druk dit uit in kilowattuur.

Je laadt de batterij op met een oplader. De stroom die gaat lopen is 200 mA bij een spanning van 1,2 V.

b Bereken hoelang het duurt voordat de batterij is opgeladen als je aanneemt dat er geen elektrische energie verloren gaat.

In werkelijkheid duurt het zestien uur voor de batterij is opgeladen.

c Bereken het rendement waarmee de batterij wordt opgeladen.

9 Spaarlamp

Een spaarlamp van 12 W zet 45% van de elektrische energie om in zichtbaar licht.

a Bereken hoeveel energie er per seconde wordt omgezet in warmte.

In de winter gebruik je deze lamp om warm te blijven.

b Beredeneer hoe groot het rendement van de lamp als warmtebron is.

Je wilt in de winter ook een boek lezen bij de lamp.

c Beredeneer hoe groot nu het rendement van de lamp is.

d Leg uit hoe het kan dat je in deze opdracht drie verschillende waarden voor het rendement hebt gevonden.

★ 10 Bliksem

De stroomsterkte van een bliksemflits is 30 kA. Bij de ontlading stroomt er in totaal 15 C elektrische lading.

a Bereken hoelang de ontlading duurt.

Bij de ontlading komt 500 MJ energie vrij.

b Bereken de spanning tussen de onweerswolk en de grond.

c Bereken het vermogen van een bliksemflits.

d Bereken hoe groot de stroomsterkte uit een stopcontact zou zijn als het vermogen even groot was als bij een bliksemflits.

2 WEERSTAND

Leerdoelen

4.2.1 Je kunt berekeningen maken met stroom, spanning, vermogen en weerstand.

4.2.2 Je kunt uitleggen wat een ohmse weerstand is.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	4.2.1	4.2.2	4.1.5*	4.5.1*
Onthouden				
Begrijpen	11			
Toepassen	12, 13, 14, 16a, 17a, 18, 19, 20, 21a	15, 16b	17bc	
Analyseren				21b

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

Een wasmachine en een leeslampje worden aangesloten op dezelfde spanning. Een wasmachine heeft een veel groter vermogen en er loopt een veel grotere stroom doorheen dan door het lampje. Omdat de weerstand van de wasmachine kleiner is dan die van het lampje, kan er een grotere stroom doorheen gaan.

DEFINITIE VAN WEERSTAND

Het water in een stuwmeer kan alleen naar beneden stromen als er een hoogteverschil is, dus als het water in het meer zwaarte-energie heeft. De mate waarin het water stroomt, wordt bepaald door hoe ver de kleppen in de dam openstaan. De beheerder zet de kleppen verder open als de turbines harder moeten draaien. Hoe verder ze openstaan, hoe meer water er per seconde gaat stromen.
Zo werkt het ook in elektrische systemen. Om een elektrische stroom door een apparaat te laten lopen is een spanning nodig. Hoeveel stroom er gaat lopen bij een bepaalde spanning wordt aangegeven door de grootheid **weerstand *R***. Hoe kleiner de weerstand, hoe groter de stroomsterkte.

Formule

De formule voor de spanning U over een weerstand R waar een stroom I door loopt is:

$U = I \cdot R$

Hierin is:
- U de elektrische spanning in volt (V);
- I de elektrische stroomsterkte in ampère (A);
- R de elektrische weerstand in ohm (Ω).

R is de afkorting van het Engelse woord *resistance*.
Bovenstaande formule kun je gebruiken om de weerstand te berekenen als je de spanning en de stroomsterkte weet:

$R = \frac{U}{I}$

In veel toepassingen ligt de spanning vast, bijvoorbeeld omdat een apparaat werkt op het lichtnet. Je gebruikt de formule daarom vaak om uit te rekenen wat de stroomsterkte wordt. De geschikte vorm is dan: $I = \frac{U}{R}$

Van veel huishoudelijke apparaten is het vermogen gegeven. P en U zijn dus bekend. Door de verbanden $P = U \cdot I$ en $U = I \cdot R$ te combineren, kun je de weerstand van het apparaat berekenen.

Voorbeeldopdracht 3

De stroom in een strijkijzer loopt via de draad van de ene stekkerpen in het stopcontact naar een verwarmingselement, door het verwarmingselement en door een draad terug naar de andere stekkerpen in het stopcontact. Een strijkijzer heeft een vermogen van 1800 W.
Bereken de gezamenlijke weerstand van de draden en het verwarmingselement.

Gegevens $U = 230$ V
$P = 1800$ W

Formules $P = U \cdot I \rightarrow I = \frac{P}{U}$
$U = I \cdot R \rightarrow R = \frac{U}{I}$

Uitwerking

$I = \frac{P}{U} = \frac{1800}{230} = 7{,}83$ A

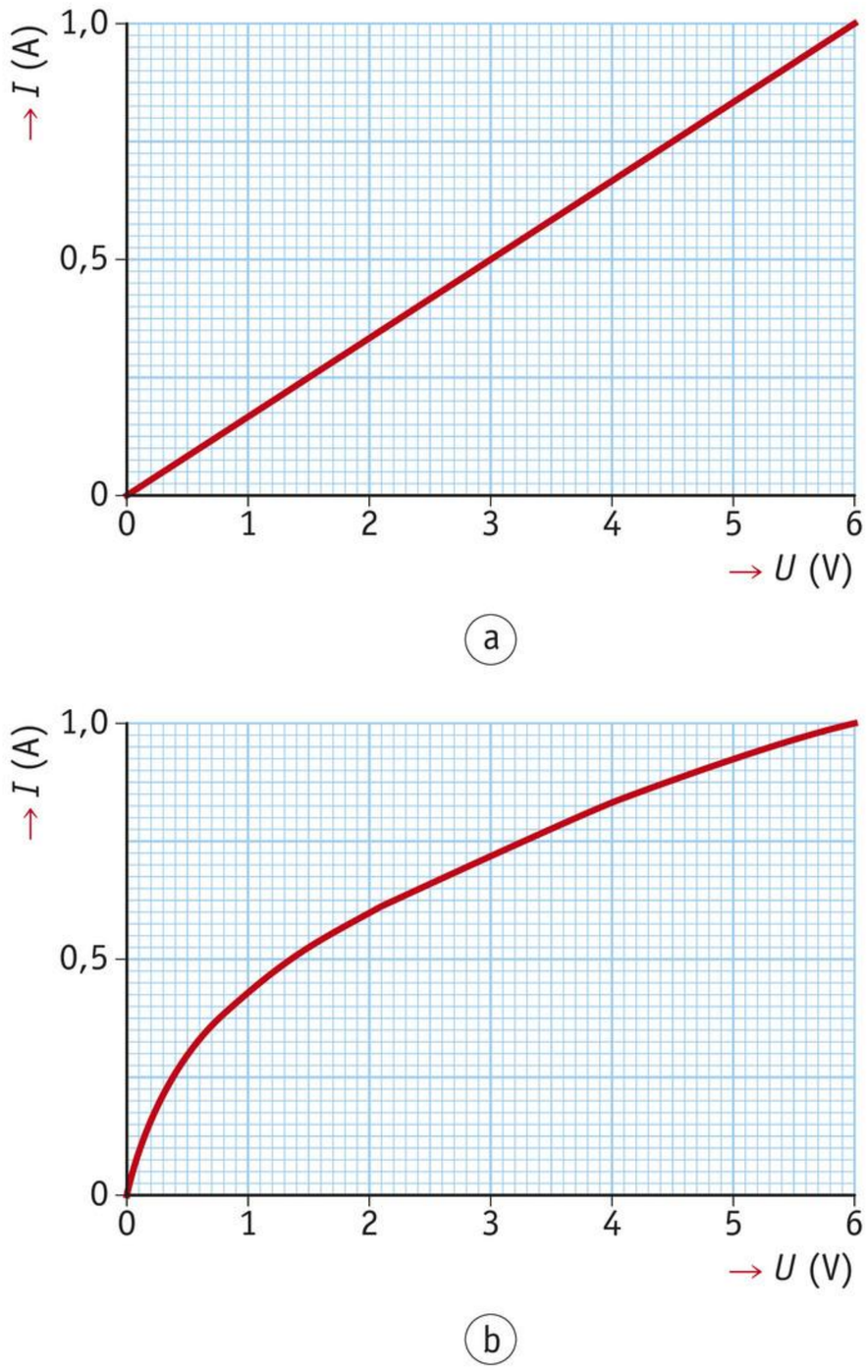
$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{7{,}83} = 29{,}4\ \Omega$

PRACTICUM 1 De weerstand van niet-aangesloten apparaten

OHMSE EN NIET-OHMSE WEERSTANDEN

Als de weerstandswaarde R van een elektrische component constant is en dus niet van de spanning afhangt, dan wordt het verband $U = I \cdot R$ de wet van Ohm genoemd. Een weerstand waarvan de weerstandswaarde constant is, wordt een **ohmse weerstand** genoemd. De stroom door een ohmse weerstand is recht evenredig met de aangelegde spanning. Dat zie je aan $I = \frac{U}{R}$, waarbij R constant is. Anders gezegd: als de spanning bijvoorbeeld tien keer zo groot wordt, dan wordt de stroomsterkte ook tien keer zo groot. De grafiek van I tegen U is dus een rechte lijn door de oorsprong. Je zegt dan: "Deze weerstand voldoet aan de wet van Ohm." In figuur 5a zie je het (I,U)-diagram van een ohmse weerstand.

Bij veel weerstandsdraden in apparaten is de weerstand niet constant. Het verband tussen U en I is dan niet recht evenredig. De oorzaak is dat de draad warm wordt bij een groter vermogen, als er meer energie per seconde wordt omgezet. Dit heeft invloed op de grootte van de weerstand. Meestal wordt bij een hogere temperatuur de weerstand groter. Dat betekent dat als de spanning bijvoorbeeld tien keer zo groot wordt, de stroomsterkte *minder* dan tien keer zo groot wordt. In figuur 5b zie je het (I,U)-diagram van een niet-ohmse weerstand.
Het verband $I = \frac{U}{R}$ is *altijd* geldig, maar je werkt met de op dat moment geldende I, U en R.



figuur 5 (I,U)-diagrammen van een ohmse weerstand (a) en een niet-ohmse weerstand (b).

Voorbeeldopdracht 4

In figuur 5b staat het (I,U)-diagram van een niet-ohmse weerstand.

a Bepaal de weerstand bij een spanning van 2,0 V.

b Leg zonder een berekening uit of de weerstand bij 4,0 V kleiner of groter is dan die bij 2,0 V.

a **Gegevens** $U = 2{,}0$ V
$I = 0{,}60$ A (afgelezen uit figuur 5b bij $U = 2{,}0$ V)

Formule $R = \frac{U}{I}$

Uitwerking

$R = \frac{U}{I} = \frac{2{,}0}{0{,}60} = 3{,}3\ \Omega$

b Bij 4,0 V is de spanning twee keer zo groot als bij 2,0 V. De stroomsterkte is minder dan twee keer zo groot. Aan de formule $U = I \cdot R$ kun je dan zien dat R groter is geworden.

In elektrische schakelingen is het vaak nodig om ohmse weerstanden te gebruiken. Deze weerstanden hebben een kleurcode waaraan je de weerstandswaarde kunt aflezen (zie figuur 6 en *BiNaS* tabel 17A). Je kunt de weerstand van weerstanden en andere elektrische componenten ook meten met een multimeter (figuur 6). Het is dan belangrijk dat er geen spanning over de te meten component staat, omdat het de meting van de weerstand kan beïnvloeden.
Een schakelaar is een bijzondere vorm van een weerstand. Als de schakelaar geopend is, dan heeft hij een zeer hoge weerstand, waardoor de stroom nul wordt. Als de schakelaar gesloten is, dan is de weerstand zeer laag (bijna nul), waardoor de stroomkring wordt gesloten en er een elektrische stroom gaat lopen. In elektrische schakelingen kan ook **kortsluiting** ontstaan: een ongewenste verbinding in de schakeling met geen of weinig weerstand.



a

b

figuur 6 Een multimeter wordt gebruikt om de weerstand te meten (a); bijbehorend schakelschema (b).

Onthoud

- De spanning over een weerstand R waar een stroom I door loopt bereken je met: $U = I \cdot R$
- Door de verbanden $P = U \cdot I$ en $U = I \cdot R$ te combineren, kun je conclusies trekken over de weerstand van een apparaat.
- Als de weerstand van een apparaat of een draad constant is, dan voldoet deze weerstand aan de wet van Ohm. Die weerstand noem je dan een ohmse weerstand.
- Bij niet-ohmse weerstanden hangt de weerstand af van de spanning over de weerstand.

OPDRACHTEN ▸ Basis

11 Andere stromen

Als een aanvoerbuis van de waterleiding is gesprongen, loopt er per seconde een grote hoeveelheid water je huis in.

a Leg uit met welk elektrisch verschijnsel je dit kunt vergelijken.

Als een weg is afgesloten, loopt er helemaal geen verkeersstroom.

b Leg uit met welke situatie dit overeenkomt in het geval van een elektrisch circuit.

12 Goede geleiders

Zet de volgende draden op volgorde van grote naar kleine weerstand.

1 $R = 4{,}0$ GΩ
2 $R = 4{,}0$ kΩ
3 $R = 4{,}0$ μΩ
4 $P = 4{,}0$ kW; het apparaat werkt op het lichtnet
5 Bij $U = 400$ V stroomt er $I = 400$ mA.

13 Lampje

Je hebt een batterij van 4,5 V. Je sluit er een lampje op aan dat hoort te werken op een spanning van 4,5 V en dan een vermogen van 6,0 W heeft.

a Bereken de weerstand van het lampje.

De batterij raakt leeg en je hebt alleen een andere batterij van 1,5 V.

b Bereken het vermogen dat deze batterij levert als je het lampje hierop aansluit. Ga ervan uit dat de weerstand gelijk blijft.

c Leg uit hoe het komt dat het vermogen nu méér dan drie keer zo klein is als bij een spanning van 4,5 V.

14 Apparaten

Apparaten hebben een bepaalde weerstand.

a Leg uit welk apparaat als geheel een grotere weerstand heeft: een vaatwasmachine met een vermogen van 1950 W of een koffiezetapparaat met een vermogen van 750 W.

Door aan een knop te draaien kun je een stofzuiger minder hard laten werken. Het vermogen wordt dan kleiner.

b Leg uit of daarbij de weerstand van de stofzuiger kleiner of groter wordt.

15 Weerstand bepalen

In figuur 5b zie je het (I,U)-diagram van een niet-ohmse weerstand.

a Toon aan dat de weerstand niet ohms is. Bepaal daartoe de weerstand bij een spanning van 2,0 V en bij een spanning van 6,0 V.

Stel dat de weerstand wel ohms was geweest.

b Beredeneer hoe groot de stroomsterkte door de weerstand was geweest als de spanning van 2,0 V naar 6,0 V zou zijn verhoogd.

16 Ohms of niet ohms

In een broodrooster zit een gloeidraad. Als je het apparaat aansluit op het lichtnet, is het vermogen 1,0 kW.

a Bereken de weerstand van het broodrooster.

Als je hetzelfde broodrooster aansluit in de Verenigde Staten, waar de spanning van het lichtnet 115 V is, dan is het vermogen 0,40 kW.

b Leg met behulp van getallen uit dat uit deze gegevens volgt dat de gloeidraad geen ohmse weerstand is.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

17 Ontlading

De polen van een batterij van 4,5 V raken een stukje staalwol, waardoor de weerstand tussen de polen gelijk is aan 0,1 Ω.

a Bereken het vermogen van de batterij.

b Leg uit dat de batterij op deze manier snel leeg zal raken.

Op de batterij staat '1800 mAh'. Dat betekent dat deze bijvoorbeeld 1 h lang 1800 mA kan leveren, of 10 h lang 180 mA.

c Bereken hoelang het duurt voor de batterij leeg is als deze de staalwol raakt.

18 Weerstand

In een auto werken de elektrische systemen op een accu die 12 V levert. Vergelijk een koplamp met vermogen 60 W met een lamp in huis met hetzelfde vermogen.

a Leg uit welke lamp de grootste weerstand heeft.

b Bereken de verhouding van de weerstanden van beide lampen.

19 Stroomsterkte

Orden de volgende situaties van kleine naar grote stroomsterkte.

1 Een lading van 1,0 nC passeert in 2,0 ms.
2 Een weerstand van 2,0 kΩ wordt aangesloten op een spanningsbron met een vermogen van 1,0 W.
3 Een apparaat dat op het lichtnet is aangesloten gebruikt in een etmaal 20 kJ energie.

20 Batterij vasthouden

Als je een 3,7 V batterij uit een telefoon met twee vingers vastpakt, gaat er een stroompje lopen. De weerstand van je huid is op dat moment 100 kΩ voor beide stukjes die de batterij raken, voor beide vingers. De totale weerstand is dus 200 kΩ.

a Bereken de grootte van de stroom door je vingers.

Als je een touchscreen aanraakt, gaat er een stroompje door je vinger, via je lichaam, door je schoenzolen, naar de grond.

b Geef twee redenen waarom dit stroompje nog veel kleiner zal zijn dan je antwoord op opdracht a.

★ 21 Potloodstreep

Met een multimeter meet je dat een heel dikke potloodstreep op papier een weerstand heeft van 1,5 MΩ.

a Bereken de stroom die zal gaan lopen als je de uiteinden van de potloodstreep verbindt met de polen van een batterij van 4,5 V.

b Laat met een berekening zien dat de potloodstreep bij deze spanning niet als een gloeidraad zal oplichten.

3 WEERSTAND VAN EEN DRAAD

Leerdoelen

4.3.1 Je kunt uitleggen waar de weerstand van een draad van afhangt.
4.3.2 Je kunt berekeningen maken met de soortelijke weerstand van een draad.

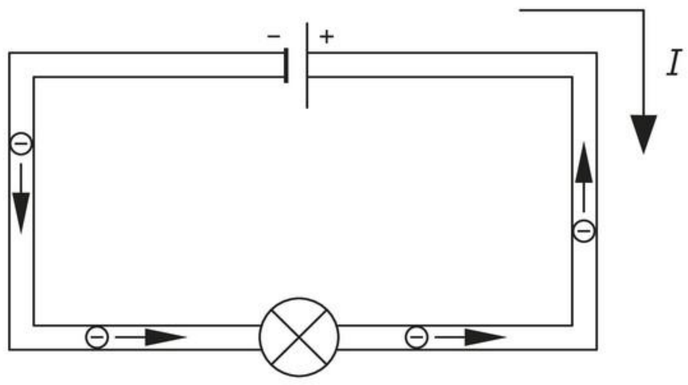
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	4.3.1	4.3.2	4.1.2*	4.2.1*	vaardigheid*
Onthouden	27a				
Begrijpen	22ab				
Toepassen	30b	24, 25, 26, 27bcd, 28, 29, 31, 32bc	30ac	32a	22c, 23
Analyseren	32de				

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

Meestal zijn stroomdraden gemaakt van koper met daaromheen een plastic omhulsel. Koper geleidt stroom goed, plastic juist niet. De elektrische geleiding hangt niet alleen van het materiaal af, maar ook van de afmetingen van de stroomdraad.

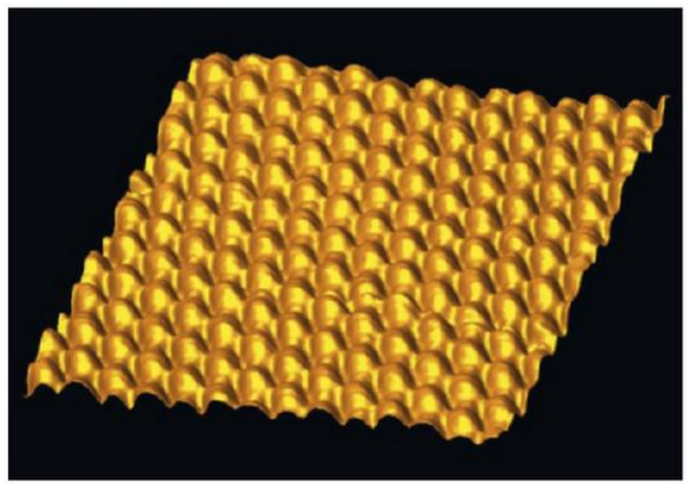
MODEL VAN EEN STROOMDRAAD

Natuurkundigen hebben in het verleden elektrische stroom gedefinieerd als een stroom positieve ladingen die van de pluspool naar de minpool van een spanningsbron bewegen. Later bleek dat het *negatieve* deeltjes zijn die in een stroomdraad van de minpool naar de pluspool bewegen (figuur 7). Deze negatieve deeltjes zijn elektronen, elk met een **elementaire lading** van $q_e = -e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Hierin is e het elementaire ladingsquantum (zie *BiNaS* tabel 7A voor een nauwkeurige waarde).



figuur 7 Elektrische stroom (I) en elektronenstroom in een stroomkring.

Metalen zijn goede **geleiders**: ze hebben een lage weerstand. Elektriciteitsdraden zijn meestal van koper gemaakt, omdat de weerstand van koper bijzonder laag is. Een koperatoom bestaat uit een kern met een lading van $+29e$ en daaromheen 29 elektronen met in totaal een lading van $-29e$. Het atoom is dus elektrisch neutraal. Een vaste stof van vele koperatomen is opgebouwd uit een regelmatig rooster van **ionen**: elk koperatoom heeft één elektron dat min of meer vrij door het rooster kan bewegen (figuur 8). Dit **vrije elektron** of valentie-elektron zorgt voor de elektrische geleiding van het metaal. De overige 28 elektronen blijven gebonden aan het koper-ion.



figuur 8 Afbeelding van een koperoppervlak gemaakt met een rastertunnelmicroscoop.

In een gesloten stroomkring kunnen de valentie-elektronen zich onder invloed van een kleine kracht door het metaalrooster verplaatsen. Wanneer een elektron zich verplaatst, laat het een lege plek achter die snel wordt gevuld door een ander elektron. Zo verplaatsen de elektronen zich met zijn allen door de koperen draad.
Als de stroomkring *niet* gesloten is, ondervinden de elektronen wel een elektrische kracht van de spanningsbron, maar kunnen ze geen kant op. Zodra je de schakeling sluit, stromen de elektronen richting de positieve pool. De elektronen bewegen nu door het metaalrooster en worden daardoor gehinderd. Gemiddeld bewegen ze wel de goede kant op, maar soepel gaat dat niet. Ze staan energie af aan het metaalrooster, dat daardoor opwarmt. Het effect hiervan is dat stroomdraden weerstand hebben en warm worden. Deze eigenschap wordt bijvoorbeeld gebruikt in het **verwarmingselement** van een waterkoker of broodrooster.
Isolatoren zijn materialen die juist slecht elektriciteit geleiden en dus een hoge weerstand hebben. In deze materialen zijn alle elektronen sterk gebonden aan de atomen of moleculen.

SOORTELIJKE WEERSTAND

De weerstand van een draad hangt af van de lengte, de doorsnede en het materiaal waarvan de draad is gemaakt. Om de weerstand van materialen te vergelijken kijk je naar hun **soortelijke weerstand ρ** (de Griekse letter rho) van het materiaal.

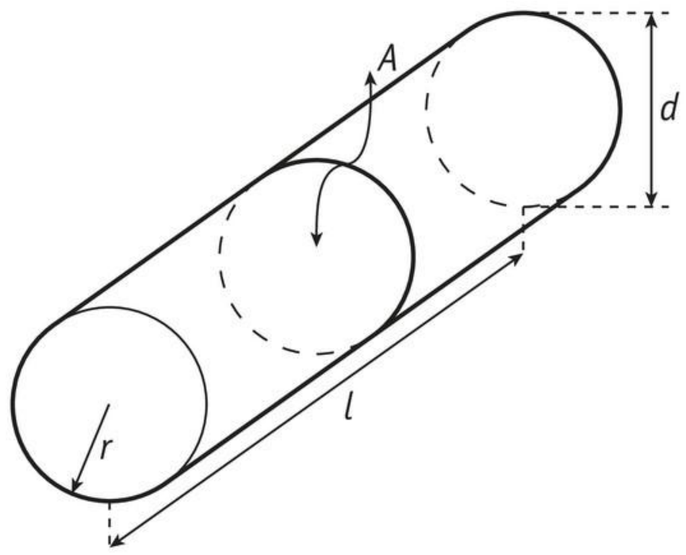
Formule

De formule voor de soortelijke weerstand ρ is:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l}$$

Hierin is:
- ρ de soortelijke weerstand van de draad in ohm keer meter (Ω m);
- R de weerstand van de draad in ohm (Ω);
- A de doorsnede van de draad in vierkante meter (m^2);
- l de lengte van de draad in meter (m).

In *BiNaS* vind je de soortelijke weerstand van verschillende materialen in de tabellen met stofeigenschappen (tabellen 8 t/m 10). De eenheid 'ohm keer meter' wordt vaak uitgesproken als 'ohm-meter'.
De doorsnede van een draad is meestal cirkelvormig. Je berekent de doorsnede dan met $A = \pi \cdot r^2$ (figuur 9).



figuur 9 Een draad met lengte (l), straal (r), dikte (d) en doorsnede (A).

Omdat de soortelijke weerstand voor een materiaal constant is, kun je met behulp van de formule $\rho = \frac{R \cdot A}{l}$ beredeneren:

- Hoe dunner de draad, des te kleiner de doorsnede en hoe groter de weerstand.
- Hoe langer de draad, des te groter de weerstand.

Voorbeeldopdracht 5

De koperen draad tussen een geluidsinstallatie en een luidspreker bestaat uit twee 'aders'. De draad heeft een lengte van 4,0 m. De doorsnede van een ader is 2,0 mm^2.
Bereken de weerstand van een van de aders van deze draad.

Gegevens $l = 4{,}0$ m
$A = 2{,}0\ mm^2 = 2{,}0 \cdot 10^{-6}\ m^2$
$\rho = 17 \cdot 10^{-9}\ \Omega\,m$ (*BiNaS* tabel 8)

Formule $\rho = \frac{R \cdot A}{l} \rightarrow R = \frac{\rho \cdot l}{A}$

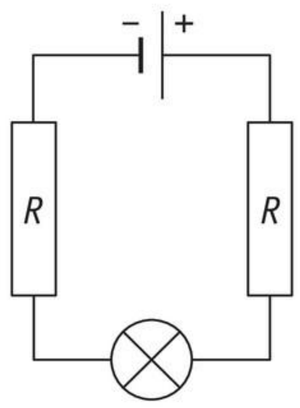
Uitwerking

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{17 \cdot 10^{-9} \times 4{,}0}{2{,}0 \cdot 10^{-6}} = 34 \cdot 10^{-3}\ \Omega = 34\ m\Omega$$

PRACTICUM 2 Het materiaal van een metalen draad bepalen

DRADEN IN EEN SCHAKELSCHEMA WEERGEVEN

In een schakelschema geef je de verbindingen tussen componenten weer met lijnen. De afspraak is dat die lijnen perfect geleidende draden voorstellen, dus zonder weerstand. De reden voor deze afspraak is dat het dan niet uitmaakt hoe lang je de lijnen tekent. Zo kun je het schakelschema overzichtelijk houden. In werkelijkheid hebben de draden natuurlijk wel weerstand. Wanneer je rekening moet houden met de weerstand van de draden, kun je de stroomdraden voorstellen als weerstanden met symbool *R* (figuur 10).



figuur 10 De weerstanden *R* geven hier de weerstand van de stroomdraden aan.

Onthoud

- Isolatoren zijn materialen met een zeer hoge weerstand en geleiden elektrische stroom niet of nauwelijks. Geleiders zijn materialen met een lage weerstand en geleiden elektrische stroom goed.
- In een draad die stroom geleidt, bewegen de elektronen. Doordat de elektronen zich door het metaalrooster moeten bewegen, ondervinden ze weerstand.
- De soortelijke weerstand ρ (in $\Omega\,m$) van een materiaal bereken je met: $\rho = \frac{R \cdot A}{l}$. Hierin is *R* de weerstand van de draad (in Ω), *l* de lengte van de draad (in m) en *A* de doorsnede van de draad (in m^2).
- De lijnen in een schakelschema stellen ideale stroomdraden voor: ze hebben geen weerstand.

OPDRACHTEN ▸ Basis

22 Soortelijke weerstand

In *BiNaS* staat een tabel met eigenschappen van metalen en een tabel met eigenschappen van legeringen.

a Welke van de stoffen die daarin worden genoemd heeft de hoogste soortelijke weerstand? Noteer de soortelijke weerstand van die stof.

b Welke stof heeft de laagste soortelijke weerstand? Noteer de soortelijke weerstand van die stof.

c Controleer aan de hand van de formule voor de weerstand van een draad dat de eenheid van soortelijke weerstand ρ gelijk is aan $\Omega\,\mathrm{m}$.

23 Formule herschrijven

Ga uit van de formule voor de soortelijke weerstand van een draad zoals gegeven in *BiNaS*. Herschrijf deze formule zodat deze achtereenvolgens begint met:

a $l = \ldots$

b $A = \ldots$

c $R = \ldots$

24 Weerstand van een draad

Een ronde stroomdraad is gemaakt van koper en heeft een diameter van 1,4 mm en een lengte van 3,8 m.

a Bereken de weerstand van de draad.

De draad wordt dubbelgevouwen. De dubbelgevouwen draad is twee keer zo kort en heeft een twee keer zo grote doorsnede als de enkele draad.

b Bereken opnieuw de weerstand van de draad.

25 Diameter van een draad

Een ronde stroomdraad is gemaakt van constantaan en heeft een lengte van 90 cm. De draad heeft een weerstand van 12,9 Ω.

Bereken de diameter van de draad.

26 Lengte van een draad

Een variabele weerstand is gemaakt van een constantaandraad die rond een cilinder is gewonden. De totale weerstand van de draad bedraagt 30,0 Ω. De dikte van de draad is 0,50 mm.

Bereken de lengte van de draad.

27 Eigenschappen van draden

De weerstand van een draad hangt af van drie verschillende grootheden.

a Noem deze drie grootheden en geef voor elk aan op welke manier deze invloed heeft op de weerstand van een draad.

Een koperen installatiedraad heeft een doorsnede van 2,5 mm^2 en een lengte van 15,0 m.

b Bereken de weerstand van deze draad.

Een ijzerdraad op een rol heeft een lengte van 10,0 m. De weerstand van de draad is 200 mΩ.

c Bereken de diameter van de draad.

Een verwarmingselement in een broodrooster is gemaakt van constantaan. De weerstand van het verwarmingselement is 66,5 Ω. De doorsnede van het verwarmingselement is 0,20 mm^2.

d Bereken de lengte van de draad.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

28 Onbekend materiaal

Een ronde draad van een onbekend materiaal heeft een lengte van 1,5 m en een diameter van 1,2 mm. Als de draad op een spanningsbron van 2,5 V wordt aangesloten, loopt er een stroom van 4,2 A door de draad.

a Bereken de soortelijke weerstand van de draad.

b Bepaal met behulp van *BiNaS* van welk materiaal deze draad gemaakt zou kunnen zijn.

29 Draden veranderen

Een stroomdraad heeft een diameter van 2,0 mm, is 10 m lang en heeft een weerstand van 1,0 Ω.
Beredeneer hoe groot de weerstand van de volgende draden is.

a Stroomdraad A is twee keer zo lang als de oorspronkelijke draad en twee keer zo dik.

b Stroomdraad B is gemaakt van dezelfde hoeveelheid materiaal als de oorspronkelijke draad, alleen uitgerekt tot een lengte van 20 m.

c Stroomdraad C is even lang en even dik als de oorspronkelijke draad, alleen is hij hol. De diameter van de holle binnenkant is 1,0 mm.

30 Lampjes

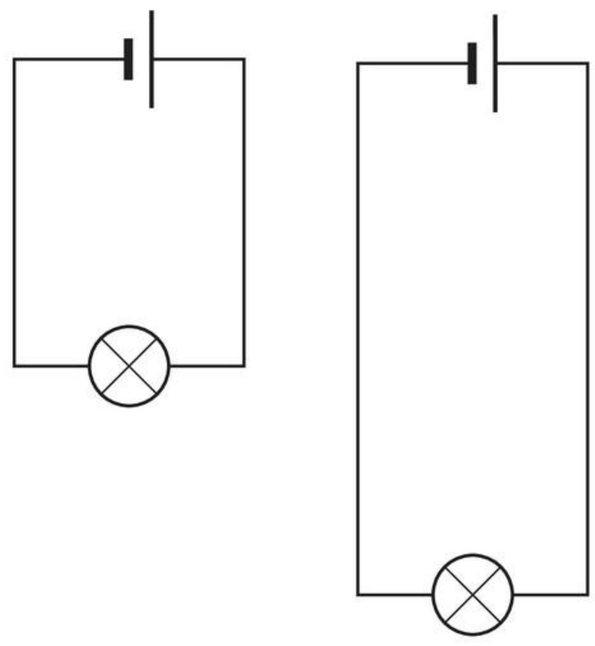
Bekijk de schakelschema's in figuur 11. De spanning van de bron is in beide gevallen hetzelfde. Ook is het lampje in beide schakelingen hetzelfde.

a Leg uit dat de lampjes even sterk zullen branden.

In werkelijkheid zullen de lampjes *niet* even sterk branden.

b Leg uit waarom niet.

c Teken een schakelschema waarin je rekening houdt met de weerstand van de draden waarmee de lampjes zijn aangesloten.



figuur 11 Twee schakelingen.

31 Aluminium

Een ronde draad van aluminium met een lengte van 1,0 m is aangesloten op een spanningsbron, ingesteld op 0,10 V. Door de draad gaat een stroom van 3,5 A. De draad wordt op kamertemperatuur gehouden.
Bereken de diameter van de draad.

★ 32 Waterkoker

Het verwarmingselement van een waterkoker bestaat uit een dikke metalen spiraal (figuur 12). De waterkoker heeft een vermogen van 2,3 kW.

a Bereken hoe groot de weerstand van het verwarmingselement bij dit vermogen is.

Mahdi en Zahra bespreken hoe de weerstand van het verwarmingselement ontstaat. Mahdi denkt dat de spiraal die je ziet in figuur 12 is gemaakt van massief metaal. Zahra is het hier niet mee eens. Ze merkt op dat de weerstand van zo'n dikke draad veel te laag zou zijn.

b Toon door middel van een berekening en een bepaling aan de hand van figuur 12 aan dat Mahdi ongelijk heeft. De waterkoker heeft een diameter van 15 cm.

In de metalen spiraal van figuur 12 bevindt zich een nichromen draad met een doorsnede van 1,0 mm^2. De nichromen draad is zelf ook weer gewonden als een spiraal en elektrisch geïsoleerd van het metalen omhulsel.

c Bereken de lengte van de draad. Ga uit van de soortelijke weerstand bij kamertemperatuur.

d Leg uit waarom er geen nichromen draad is gebruikt die even lang is als het verwarmingselement, maar wel dunner, waardoor de weerstand even groot is.

De weerstand van een metaal hangt af van de temperatuur. In *BiNaS* tabel 35D1 kun je daarvoor een formule vinden. De α in die formule is de weerstandstemperatuurcoëfficiënt, die je weer in *BiNaS* tabellen 8 en 9 kunt vinden.

e Leg met behulp van *BiNaS* uit waarom er voor nichroom is gekozen.



figuur 12 Verwarmingselement in een waterkoker.

4 STROOM EN SPANNING VERDELEN

Leerdoelen

4.4.1 Je kunt uitleggen hoe spanning en stroom zich verdelen in serie- en parallelschakelingen.

4.4.2 Je kunt in een gemengde schakeling berekenen hoe groot de spanning over en de stroom door de componenten is.

4.4.3 Je kunt uitleggen hoe een zekering en aardlekschakelaar de veiligheid van elektrische schakelingen vergroten.

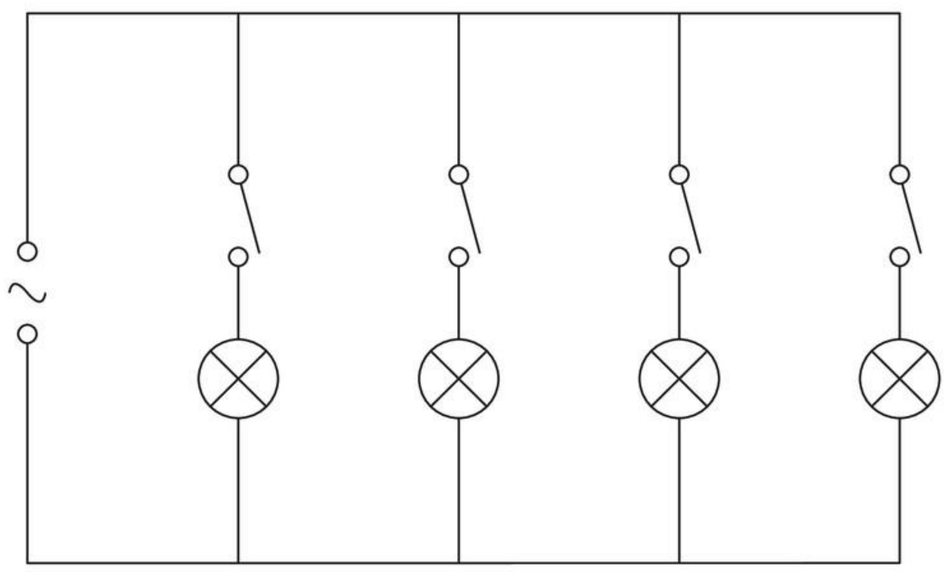
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	4.4.1	4.4.2	4.4.3	4.1.2*	4.1.5*
Onthouden					
Begrijpen	33abde, 34b		34ce		
Toepassen	33c, 35a, 36b	33f, 34a, 35b, 36a, 37, 38ab, 40, 41ab, 42	34d	39ac	41c
Analyseren		38c, 43	39b		

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

In de praktijk heb je vaak te maken met meerdere apparaten in een schakeling. In huis zijn die apparaten parallel geschakeld. Een schakelaar is altijd in serie geschakeld met het aangesloten apparaat. Veel toepassingen hebben een combinatie van parallel- en serieschakelingen.

PARALLELSCHAKELING

Op een stekkerdoos zijn vier apparaten aangesloten. De stekkerdoos zorgt ervoor dat elk van de vier apparaten zijn eigen stroomkring heeft, waarop in alle gevallen een spanning van 230 V staat. Op deze manier krijgt elk apparaat de juiste spanning en kun je de apparaten bovendien onafhankelijk van elkaar aan- en uitzetten (figuur 13).



figuur 13 Schema van een parallelschakeling.

Het lijkt vreemd dat elk apparaat in een **parallelschakeling** de totale spanning krijgt. Een spanning van 230 V betekent dat elke coulomb (C) lading 230 J energie meekrijgt bij de ene pool van de spanningsbron en deze energie weer kwijt is bij de andere pool. De lading geeft al die energie onderweg af. Daardoor worden bijvoorbeeld draden heet of komt een motor in beweging.
In een parallelschakeling neemt een bepaalde lading slechts een van de mogelijke routes. Die lading geeft alle energie af op de gevolgde route. Door elk parallel aangesloten apparaat gaan dus elektronen met dezelfde, door de spanningsbron meegegeven energie. De spanning is dus voor elk apparaat gelijk aan de spanning van de bron.
De stroom door elk apparaat is onafhankelijk van de stroom door de andere parallel aangesloten apparaten. Als er bijvoorbeeld een televisie en stofzuiger op de stekkerdoos zijn aangesloten en er loopt 1,00 A door de televisie en 5,00 A door de stofzuiger, dan is de stroomsterkte in de toevoer- en de afvoerdraad van de stekkerdoos gelijk aan 6,00 A. In de stekkerdoos splitst de stroom zich. Nadat de deelstromen door de apparaten zijn gegaan, komen ze uiteindelijk in de stekkerdoos weer bij elkaar en de hoofdstroom loopt terug naar het stopcontact. Dit noem je **stroomdeling** door alle parallel geschakelde componenten.
Samenvattend gelden de volgende regels voor twee of meer componenten die parallel zijn geschakeld:

Formule

De formule voor de spanning U_{tot} in een parallelschakeling is:

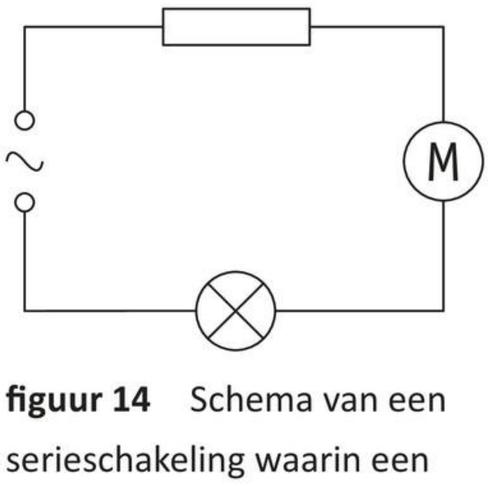
$$U_{tot} = U_1 = U_2 = \ldots$$

De formule voor de stroomsterkte I_{tot} in een parallelschakeling is:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + \ldots$$

SERIESCHAKELING

In een **serieschakeling** (figuur 14) kan elke lading slechts één route volgen, er zijn geen splitsingen of punten waar stromen zich samenvoegen. Alles wat door de weerstand stroomt, moet ook door de motor en het lampje stromen. Anders zou er lading in het niets verdwijnen, of zou zich lading ophopen. Dat is allebei onmogelijk, elektronen verdwijnen niet en een opeenhoping van lading zou zichzelf ongedaan maken doordat de ladingen elkaar afstoten. De regel $I_{tot} = I_1 = I_2$ voor een serieschakeling is een gevolg van de wet van behoud van lading.



figuur 14 Schema van een serieschakeling waarin een apparaat met een motor is opgenomen.

Spanning is gedefinieerd als energie per lading. Als een hoeveelheid lading bij de ene pool van een batterij 4,5 J energie meekrijgt en er kan slechts 1,5 J in een lampje worden omgezet, dan moet je ervoor zorgen dat die lading elders op de route nog 3,0 J afstaat. Dat kan gebeuren in een weerstand die in serie met het lampje is geschakeld. Je kunt dit schrijven als: $E_{tot} = E_1 + E_2$. Per eenheid lading volgt dan voor een serieschakeling de regel $U_{tot} = U_1 + U_2$. Deze regel is daarom een speciaal geval van de wet van behoud van energie. Dit noem je **spanningsdeling** door alle in serie geschakelde componenten.
Samenvattend gelden de volgende regels voor twee of meer in serie aangesloten componenten:

Formule

De formule voor de stroomsterkte I_{tot} in een serieschakeling is:

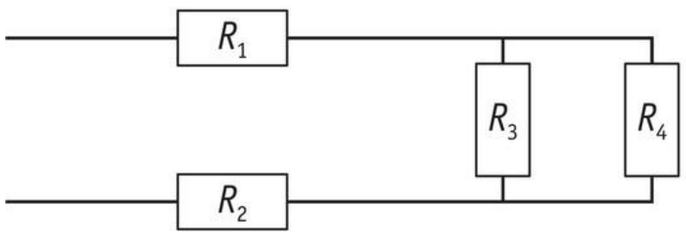
$I_{tot} = I_1 = I_2 = \ldots$

De formule voor de spanning U_{tot} in een serieschakeling is:

$U_{tot} = U_1 + U_2 + \ldots$

GEMENGDE SCHAKELINGEN

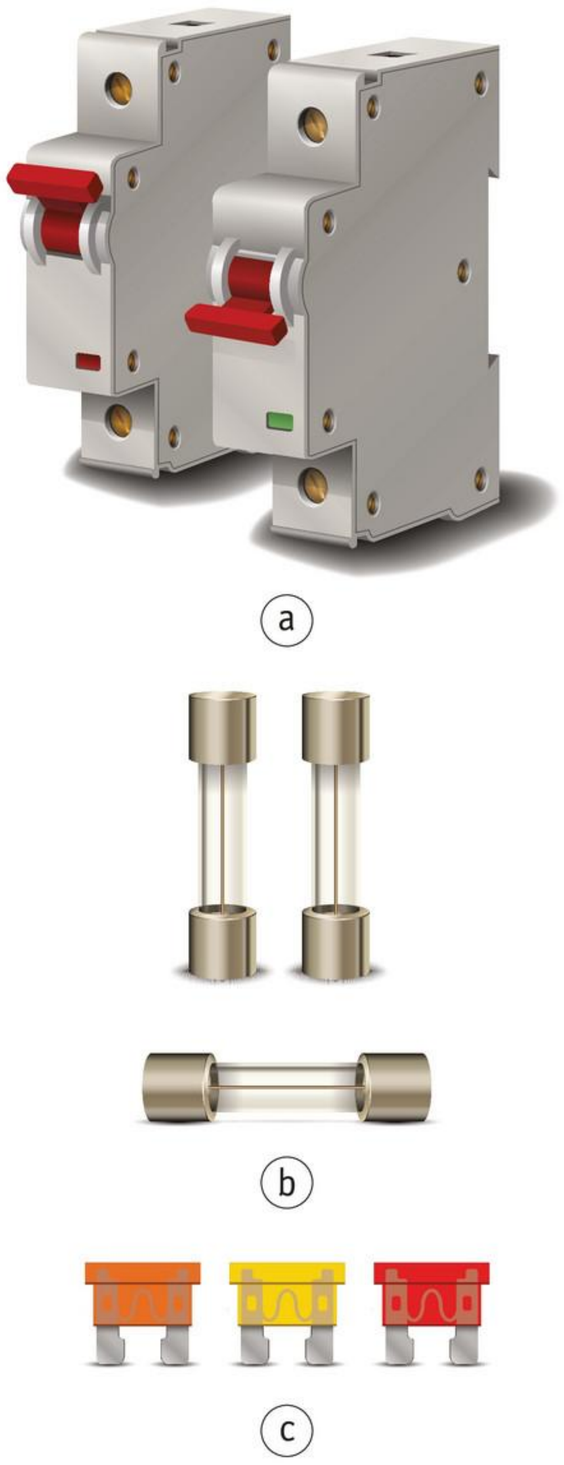
Gemengde schakelingen zijn een combinatie van serieschakelingen en parallelschakelingen. Zie bijvoorbeeld figuur 15. De weerstanden R_3 en R_4 staan parallel aan elkaar. Dat stuk van de schakeling staat vervolgens in serie met R_1 en met R_2.
Voor het deel met weerstanden R_3 en R_4 gelden de regels voor parallelschakelingen. Je weet in dit geval dat geldt:
$U_3 = U_4$ en $I_{3+4} = I_3 + I_4$
Voor de elementen die in serie zijn geschakeld gelden de regels voor serieschakelingen. Daarom geldt in figuur 15:
$I_1 = I_2 = I_{3+4}$
Als je de schakeling op een handige manier opdeelt in stukken die je kunt zien als parallelschakeling en stukken die je kunt zien als serieschakeling, kun je alles te weten komen over de afzonderlijke stromen en spanningen.



figuur 15 Gemengde schakeling: gedeeltelijk in serie, gedeeltelijk parallel.

ZEKERING

Elektriciteitsdraden in huis zijn van koper en hebben een kleine weerstand. Dat betekent dat er ook elektrische energie wordt omgezet in de draden: ze worden warm. Hoe groter de stroomsterkte, des te groter het omgezette vermogen in de draden. Als je steeds meer apparaten aan een stekkerdoos aansluit, tellen de deelstromen van deze parallelschakeling op en ontstaat het gevaar van brand. Daarom is in de meterkast de stroomsterkte begrensd met een **zekering**. De zekering is in serie aangesloten en werkt als een schakelaar die omslaat als de stroom boven een bepaalde waarde komt, vaak is dat 16 A (figuur 16a). Er bestaan ook zekeringen die zijn gemaakt van een dunne metalen draad. Hoe groter de stroom, hoe heter die draad wordt. Boven de grenswaarde smelt de draad en wordt de stroom onderbroken. Deze zekeringen worden smeltzekeringen genoemd (figuur 16b en c). Zekeringen vind je ook in elektrische apparaten en meetinstrumenten om ze tegen overbelasting te beschermen.



figuur 16 Verschillende soorten zekeringen: (a) zoals gebruikt in groepenkasten, (b) smeltzekering zoals bijvoorbeeld gebruikt in oude groepenkasten en (c) zekering zoals bijvoorbeeld gebruikt in auto's.

AARDLEKSCHAKELAAR

Bij zowel de serie- als parallelschakeling is de stroomsterkte die de schakeling ingaat gelijk aan de stroomsterkte die er weer uitgaat. Maar in elektrische systemen kan de stroom via een ongewenst pad weglekken. Dat kan bijvoorbeeld wanneer een persoon contact maakt met een van de stroomdraden, door een defect of door onvoorzichtigheid. Een kleine stroom door het lichaam kan al dodelijk zijn. Een zekering is daarom niet voldoende om je te beschermen tegen elektrocutie. Daarvoor is de aardlekschakelaar ontworpen.

De **aardlekschakelaar** meet of er evenveel stroom de schakeling ingaat als eruit komt. Als dat niet zo is, lekt ergens stroom weg naar de aarde, misschien wel via het lichaam van een persoon. De aardlekschakelaar schakelt binnen milliseconden de spanning uit als er een verschil van 30 mA is tussen de stroom die een groep ingaat en de stroom die terugkomt. Net als een zekering is de aardlekschakelaar in serie met de hele groep aangesloten.

Onthoud

- Voor weerstanden die parallel zijn geschakeld geldt: $U_{tot} = U_1 = U_2 = ...$ en $I_{tot} = I_1 + I_2 + ...$
- Voor weerstanden die in serie zijn geschakeld geldt: $I_{tot} = I_1 = I_2 = ...$ en $U_{tot} = U_1 + U_2 + ...$
- Een gemengde schakeling bestaat voor een deel uit componenten die in serie zijn geschakeld en voor een deel parallel zijn geschakeld. Door de schakeling op een handige manier op te delen in serie en parallel kun je de regels voor spanning en stroom voor serie- en parallelschakelingen toepassen.
- Een zekering beschermt tegen overbelasting en oververhitting van stroomdraden: boven een bepaalde stroomsterkte onderbreekt een zekering de stroomkring.
- Een aardlekschakelaar schakelt de stroom uit als er stroom weglekt naar de aarde. De aardlekschakelaar beschermt tegen elektrocutie.

OPDRACHTEN ▸ Basis

33 Stroommeters en spanningsmeters

Als je een meting doet, is het de bedoeling dat de meting de oorspronkelijk bestaande situatie zo min mogelijk verandert.

Je hebt een lampje aangesloten op een batterij en wilt de stroomsterkte meten. Zie figuur 17a.

a Leg met behulp van de regel voor spanningen in een serieschakeling uit dat er weinig spanning over de stroommeter zal moeten staan.

b Leg uit dat alle stroom door de stroommeter zal gaan.

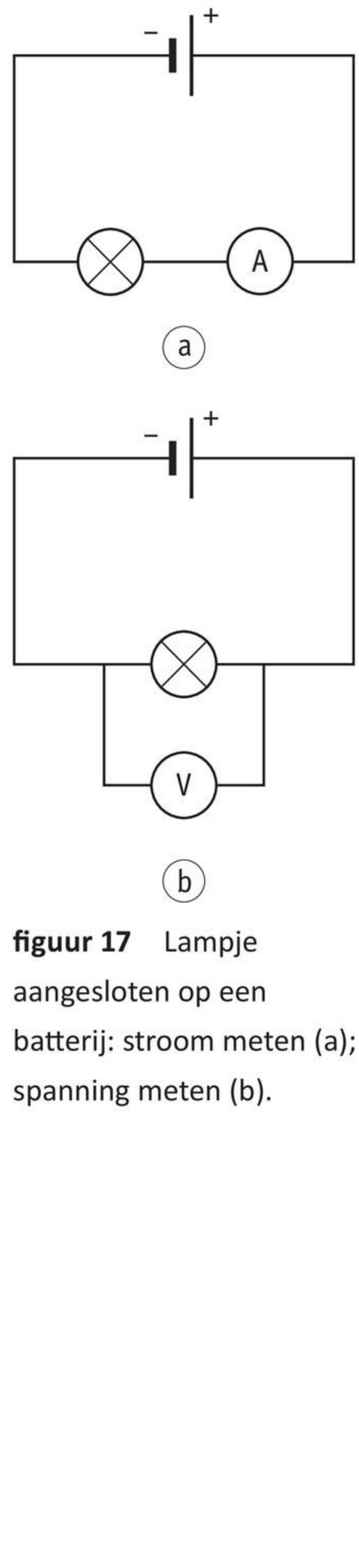
c Leg uit dat een stroommeter een kleine weerstand moet hebben.

Nu wil je de spanning over het lampje meten. Je ontkoppelt de stroommeter en zet een spanningsmeter parallel aan het lampje. Zie figuur 17b.

d Leg uit dat er weinig stroom door de spanningsmeter moet lopen.

e Leg uit dat over de spanningsmeter dezelfde spanning staat als over het element waar hij parallel aan staat.

f Leg uit dat een spanningsmeter een grote weerstand moet hebben.



figuur 17 Lampje aangesloten op een batterij: stroom meten (a); spanning meten (b).

34 Stekkerdoos

Op een stekkerdoos zijn een waterkoker met vermogen 1,8 kW en een koffiezetapparaat met een vermogen van 500 W aangesloten.

a Bereken de stroomsterkte door de draad van de stekkerdoos.

De stekkerdoos met de twee apparaten is aangesloten op een groep met daarin een zekering van 16 A.

b Leg uit of dit een serie-, parallelschakeling of gemengde schakeling vormt.

c Leg uit waar de zekering tegen beschermt.

d Bereken hoe groot het vermogen is van de apparaten die je tegelijk met de waterkoker en het koffiezetapparaat kunt aansluiten, zonder dat de zekering doorbrandt.

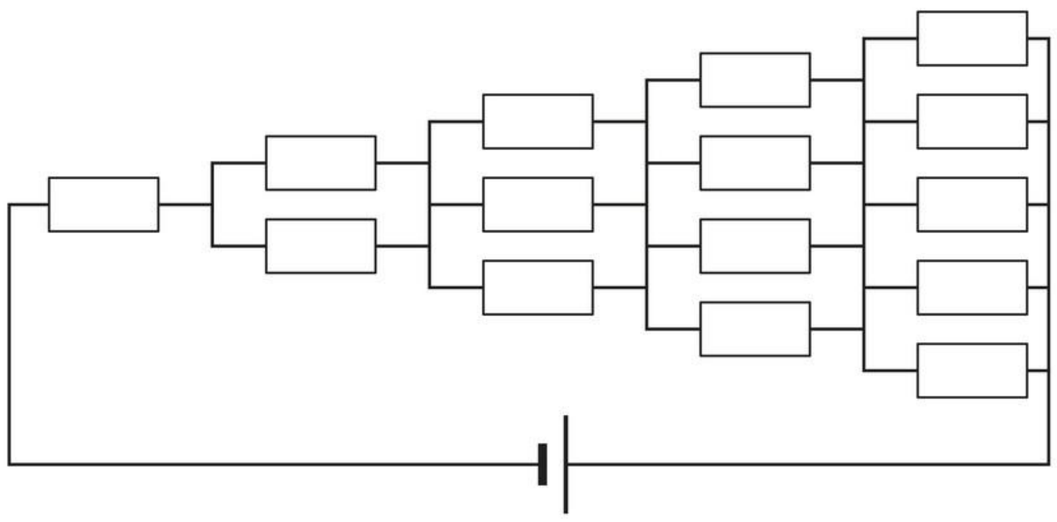
e Leg uit waarom de zekering niet tegen elektrocutie beschermt. Welke andere component moet hiertegen beschermen?

35 Steeds meer parallel

Je hebt vijftien identieke weerstanden van 10,0 Ω. Zie figuur 18. Je zorgt ervoor dat door de eerste weerstand een stroom van 1,00 A loopt.

a Leg uit hoe groot de stromen door de andere weerstanden zijn.

b Bereken U_{tot}.



figuur 18 Weerstandenboom.

C 36 Lampje en batterij

Je hebt een batterij van 4,5 V en een lampje waarop staat: 6,0 W; 1,5 V.

a Leg uit hoe je een extra weerstand in de schakeling moet opnemen om ervoor te zorgen dat het lampje goed brandt en bereken de benodigde weerstandswaarde.

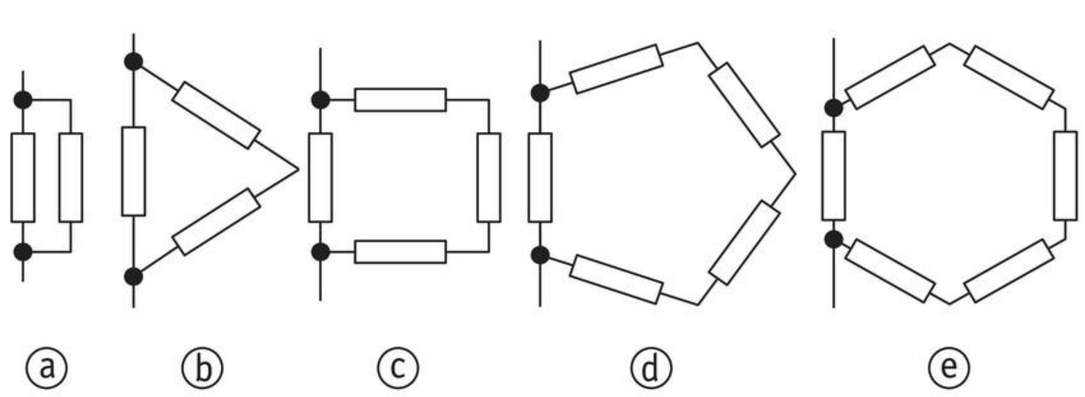
b Leg uit dat het niet lukt het lampje te laten branden als je een batterij van 1,5 V hebt en een lampje waarop staat: 6,0 W; 4,5 V.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

37 Stroom berekenen

In elk van de figuren 19a tot en met 19e staat over de twee aansluitpunten (zwarte stippen) een spanning van 1,0 V. Elke afzonderlijke weerstand heeft een waarde van 1,0 Ω. Bereken in alle gevallen de grootte van de totale stroom die loopt tussen de aansluitpunten.



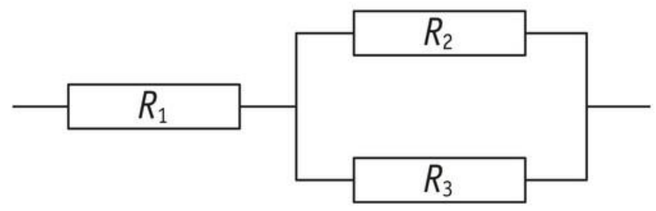
figuur 19 Vijf schakelingen.

38 Weerstandenpuzzel

In de schakeling van figuur 20 zijn de drie weerstanden bekend: $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 20\ \Omega$ en $R_3 = 30\ \Omega$. Je meet dat I_2 gelijk is aan 1,0 A.

a Bereken de stromen door en de spanningen over alle drie de weerstanden.

b Bereken de totale stroom door en de totale spanning over de schakeling.



figuur 20 Combinatie van drie weerstanden.

Je kunt dus met één enkele meting alles vastleggen.

c Leg uit of het uitmaakt welke van de afzonderlijke spanningen of stromen je meet.

39 Modelleer een elektricien

Elektriciens nemen veiligheidsmaatregelen goed in acht. Als ze met hoogspanning werken, hebben ze aan beide handen goed isolerende handschoenen. Ze dragen ook goed isolerende schoenen. Het lichaam geleidt goed. Je stelt een model op voor de stroom die door een persoon loopt, afhankelijk van de weerstand van een hand (huid met of zonder handschoen), het lichaam en een voet (huid met of zonder isolerende zool).

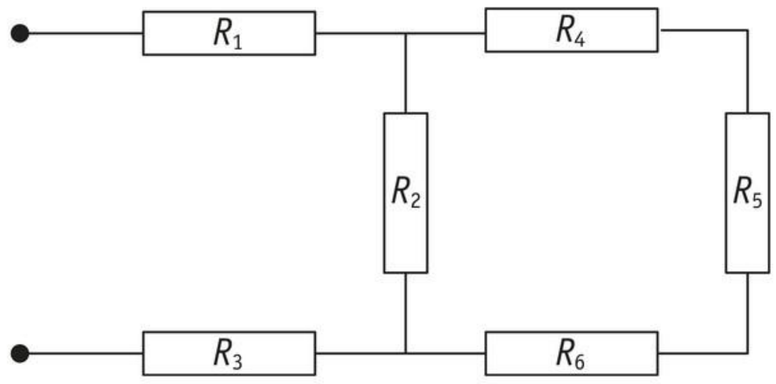
a Teken het schakelschema dat weergeeft dat de elektricien met elke hand een pool van een spanningsbron raakt.

b Leg uit dat de aardlekschakelaar in deze situatie niet beschermt tegen elektrocutie.

c Teken het schakelschema als een hand de pluspool raakt en de grond de minpool is.

40 **Schakeling**

In de schakeling van figuur 21 loopt door weerstand R_5 een stroom van 1,0 A. Elke afzonderlijke weerstand heeft een waarde van 1,0 Ω.
Bereken voor elke weerstand de stroomsterkte.



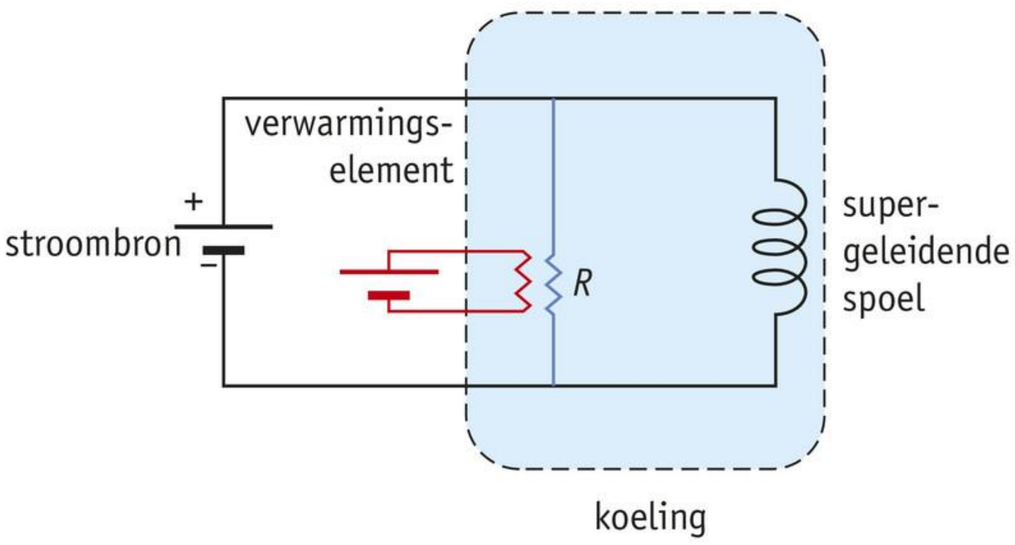
figuur 21 Combinatie van zes weerstanden.

P 41 **MRI-scanner**

Een MRI-scanner bevat een spoel om een magneetveld op te wekken. Veel MRI-scanners gebruikt in ziekenhuizen werken met een magnetisch veld van 1,5 T; ongeveer $3{\cdot}10^4$ keer zo sterk als het aardmagnetisch veld. Om zo'n sterk veld op te wekken zijn grote stromen nodig, tot wel 750 A. Bij het opstarten van een MRI wordt de stroom door de spoel langzaam opgevoerd. Dat kan wel twee dagen duren. Het elektrisch circuit dat hiervoor wordt gebruikt staat vereenvoudigd weergegeven in figuur 22.
Het deel in de blauwe rechthoek in figuur 22 is gekoeld tot 4 K, zodat de spoel supergeleidend wordt. Dat betekent dat de spoel geen weerstand heeft. Omdat de superkoeling nooit perfect is, blijft er een kleine weerstand van $1{\cdot}10^{-9}$ Ω over.
Tijdens het opladen is het verwarmingselement aan, waardoor een deel van het circuit wel een weerstand heeft. Dit is aangegeven met de letter *R* in figuur 22. De weerstand van dit deel is bij het laden 100 Ω.

a Teken in het schema van figuur 22 hoe de stroom zal lopen wanneer het verwarmingselement aanstaat en de spoel bijna is opgeladen. Geef de grootte van de stromen aan.

b Teken hoe de stroom zal lopen als het verwarmingselement wordt uitgeschakeld en dit deel van de schakeling is afgekoeld tot 4 K.



figuur 22 Elektrisch circuit om een MRI op te laden.

Eenmaal supergeleidend blijft de stroom door de spoel lopen. De stroombron kan worden uitgeschakeld. In het magneetveld is energie opgeslagen. Die kun je berekenen met $E = \frac{L \cdot I^2}{2}$, waarbij L staat voor de zelfinductie van de spoel in de eenheid henry (H). Gegeven is dat L = 40 H. I is de stroom door de spoel.

c Bereken hoelang het duurt voordat de energie in de spoel is omgezet in warmte ten gevolge van de kleine restweerstand van de spoel. Neem aan dat de stroomsterkte constant blijft.

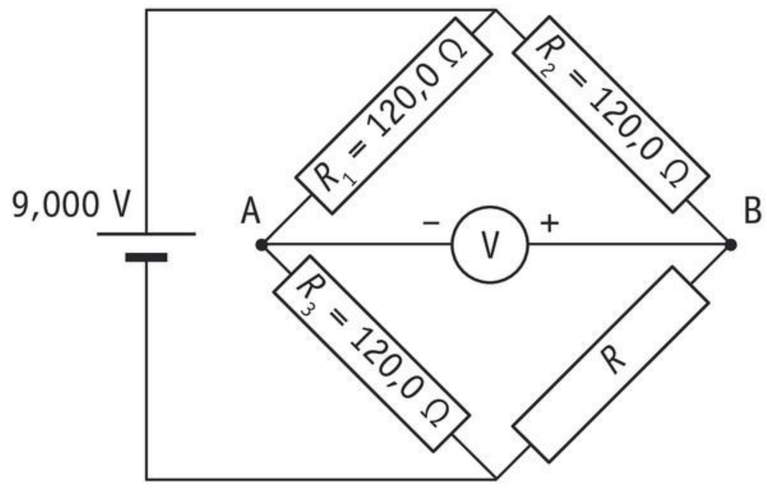
42 Weerstanden in serie

Je schakelt de volgende drie weerstanden in serie: 16 Ω (1,0 W), 8,0 Ω (0,40 W) en 4,0 Ω (0,25 W). De waarde tussen haakjes geeft het maximale vermogen dat de weerstand kan hebben, zonder dat deze wordt beschadigd. Deze serieschakeling wordt aangesloten op een regelbare voeding waarvan de spanning onbeperkt kan worden verhoogd.
Beredeneer welke weerstand als eerste zal worden beschadigd als je de spanning geleidelijk opvoert.

★ 43 Rekstrookjes

Rekstrookjes zijn weerstanden waarvan de weerstand verandert als de lengte verandert. Je kunt ze op een voorwerp plakken. Als dat voorwerp dan langer of korter wordt (of buigt), verandert de elektrische weerstand van het strookje. Zo kun je waarnemen of de lengte van het voorwerp verandert. Om de weerstand van zo'n rekstrookje nauwkeurig te bepalen wordt wel een schakeling als in figuur 23 gebruikt. Deze bestaat uit drie weerstanden van 120,0 Ω, terwijl het rekstrookje als vierde weerstand in de schakeling is opgenomen. In een bepaalde situatie geeft de spanningsmeter tussen A en B een spanning weer van 29,0 mV.
Bereken de weerstand van het rekstrookje in deze situatie.

bron: Nationale Natuurkunde Olympiade, eerste ronde 2016



figuur 23 Schakeling met rekstrookje *R*.

5 TOTALE WEERSTAND

Leerdoelen

4.5.1 Je kunt de totale weerstand voor serieschakelingen berekenen.
4.5.2 Je kunt de totale weerstand voor parallelschakelingen berekenen.
4.5.3 Je kunt redeneren met en berekeningen maken aan gemengde schakelingen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	4.5.1	4.5.2	4.5.3	4.1.2*	4.3.2*
Onthouden					
Begrijpen	44a	44b	44c, 46	50a	
Toepassen	45a, 48a, 52b	45b, 48b, 49c, 52c	47, 48c, 50b, 51, 52d	52a	49ab, 52e
Analyseren					

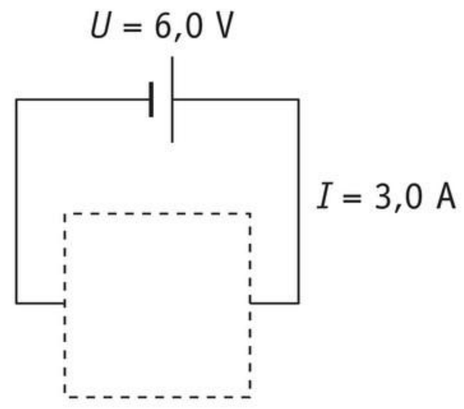
* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

De weerstand van een elektrische component geeft aan hoe groot de stroomsterkte door de component bij een bepaalde spanning is. Dan weet je ook het vermogen van de component. Hetzelfde geldt voor een complete schakeling. Wanneer je de weerstand van de hele schakeling kent, weet je ook hoe groot de stroomsterkte bij een bepaalde spanning is en daarmee het vermogen van de schakeling. Daarom is het handig als je deze totale weerstand kan berekenen.

TOTALE WEERSTAND VAN EEN SERIESCHAKELING

Stel je een kastje voor dat je op een spanningsbron kunt aansluiten. Je weet niet wat er in het kastje zit.
Als je er een spanning van 6,0 V op zet, gaat er een stroomsterkte van 3,0 A lopen (figuur 24). In paragraaf 1 heb je geleerd dat het vermogen van het kastje gelijk is aan $P = U \cdot I = 6{,}0 \times 3{,}0 = 18$ W. De weerstand kun je ook berekenen: $R = \frac{U}{I} = \frac{6{,}0}{3{,}0} = 2{,}0\ \Omega$ (paragraaf 2).
Als je het kastje openschroeft, ontdek je dat er twee identieke weerstanden in serie zijn geschakeld (figuur 25). Samen hebben deze weerstanden blijkbaar een weerstand van 2,0 Ω. Dit is de totale weerstand van de in serie geschakelde weerstanden. Zo heeft iedere schakeling een totale weerstand. Dit noem je ook wel de **vervangingsweerstand**.
De twee weerstanden in het kastje van figuur 25 hebben elk een bepaalde weerstand. Er moet dus een verband zijn tussen hun afzonderlijke weerstand en de totale weerstand als je ze in serie schakelt. Dat verband kun je afleiden met wat je voor een serieschakeling in paragraaf 4 hebt geleerd: $U_{tot} = U_1 + U_2$ en $I_{tot} = I_1 = I_2$. Voor de totale weerstand volgt dus:

$$R_{tot} = \frac{U_{tot}}{I_{tot}} = \frac{U_1 + U_2 + \ldots}{I_{tot}} = \frac{U_1}{I_{tot}} + \frac{U_2}{I_{tot}} + \ldots = \frac{U_1}{I_1} + \frac{U_2}{I_2} + \ldots = R_1 + R_2 + \ldots$$



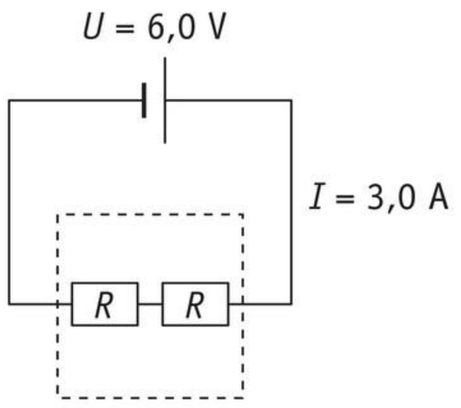
figuur 24 Een kastje is aangesloten op een spanningsbron.

Formule

De formule voor de totale weerstand R_{tot} van twee of meer in serie geschakelde weerstanden is:

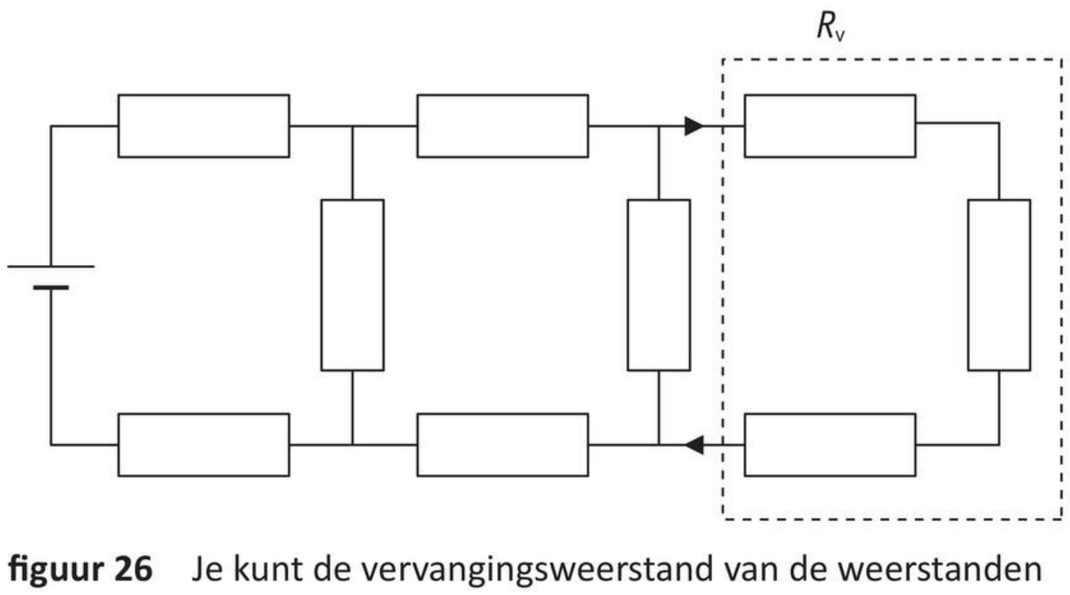
$$R_{tot} = R_1 + R_2 + ...$$

De totale weerstand van in serie geschakelde componenten is dus gelijk aan de som van de weerstanden van de afzonderlijke componenten. De twee identieke in serie geschakelde weerstanden in figuur 25 hebben dus elk een weerstand van 1,0 Ω. Een gevolg van deze formule is dat de totale weerstand van een serieschakeling altijd groter is dan die van de afzonderlijke weerstanden.



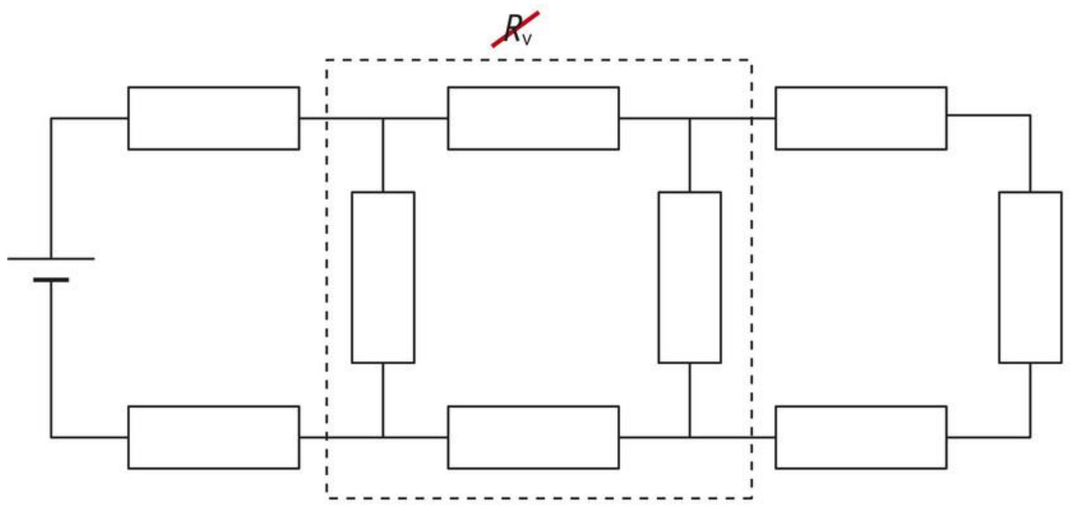
figuur 25 In het kastje zitten twee identieke weerstanden.

Je kunt van iedere combinatie van componenten de weerstand bepalen, als je ze maar (denkbeeldig) in een kastje kunt stoppen waar één draad in- en één draad uitgaat (figuur 26). Voor zo'n situatie is het handiger de term vervangingsweerstand te gebruiken, omdat je die componenten zou kunnen vervangen door een weerstand met een even grote weerstandswaarde. Het gaat dan niet om de totale weerstand van de schakeling, maar van het stukje dat je bekijkt.



figuur 26 Je kunt de vervangingsweerstand van de weerstanden in het 'kastje' bepalen.

In figuur 27 zie je een voorbeeld van waar het bepalen van de vervangingsweerstand misgaat. In deze situatie zijn er vier draden op het 'kastje' aangesloten. Dan kun je niet meer zeggen welke stroom erin gaat en welke spanning erop staat.



figuur 27 Het is niet mogelijk de vervangingsweerstand te bepalen van de weerstanden in het getekende 'doosje'.

PRACTICUM 3 De vervangingsweerstand van serie- en parallelschakelingen

TOTALE WEERSTAND VAN EEN PARALLELSCHAKELING

De totale weerstand van een parallelschakeling volgt ook uit de totale stroomsterkte en spanning. Het is duidelijk dat de weerstand van een parallelschakeling kleiner is dan de afzonderlijke weerstanden, want als je een weerstand parallel erbij schakelt, gaat de stroom alleen maar gemakkelijker van de ene naar de andere kant.
Om de vervangingsweerstand van de twee parallelle weerstanden te berekenen, is het gemakkelijker om eerst naar de totale stroom te kijken:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$$

Omdat de weerstanden parallel staan, is de spanning over de weerstanden gelijk aan de totale spanning:

$$I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_1} + \frac{U_{tot}}{R_2}$$

Deel links en rechts door U_{tot} en je vindt:

Formule

De formule om de totale weerstand in een parallelschakeling te berekenen is:

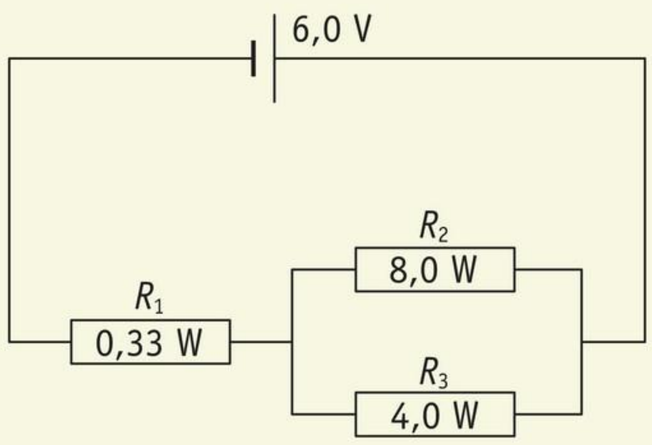
$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Voorbeeldopdracht 6

Bekijk de schakeling in figuur 28.

a Bereken de totale weerstand van deze schakeling.

b Bereken de totale stroomsterkte bij een totale spanning van 6,0 V.



figuur 28 Schakeling met drie weerstanden.

Uitwerking

a De totale weerstand kun je in twee stappen berekenen. Bereken eerst de vervangingsweerstand R_p van de twee parallel geschakelde weerstanden:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{8{,}0} + \frac{1}{4{,}0} = \frac{3}{8}\ \Omega^{-1}, \text{ dus } R_p = \frac{8}{3}\ \Omega = 2{,}7\ \Omega$$

Dit is een afgerond tussenantwoord. Reken in je rekenmachine door met het onafgeronde antwoord. De parallelschakeling staat in serie met weerstand 1. De totale weerstand is dan:

$$R_{tot} = R_1 + R_p = 0{,}33\ \Omega + 2{,}7\ \Omega = 3{,}0\ \Omega$$

b Uit de formule $R_{tot} = \frac{U_{tot}}{I_{tot}}$ volgt dat de totale stroomsterkte gelijk is aan:

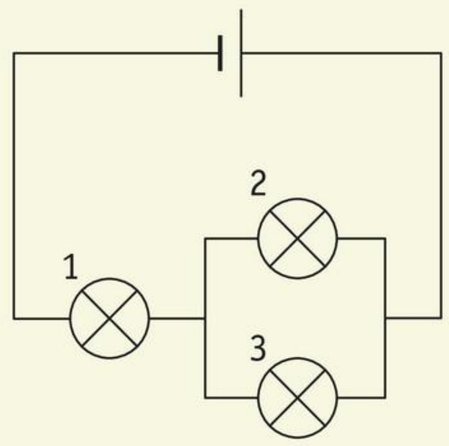
$$I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}} = \frac{6{,}0}{3{,}0} = 2{,}0\ A$$

Je kunt met behulp van de eigenschappen van een serie- en parallelschakeling ook *beredeneren* wat er met bijvoorbeeld de totale stroomsterkte gebeurt wanneer er iets in de schakeling verandert. Daarvoor hoef je niet steeds alles precies uit te rekenen.

Voorbeeldopdracht 7

Bekijk de schakeling met drie identieke gloeilampjes in figuur 29. De spanning over de lampjes is laag, zodat ze zich als ohmse weerstand gedragen. Hun weerstanden zijn dus gelijk aan elkaar.
Beredeneer wat er in de volgende gevallen gebeurt.

a Lampje 1 wordt losgedraaid.
b Lampje 3 wordt losgedraaid.
c Er wordt een lampje 4 parallel aan lampje 1 geplaatst.
d Er wordt een lampje 4 parallel aan lampje 2 en 3 geplaatst.



figuur 29 Drie lampjes, aangesloten op een spanningsbron.

De bronspanning blijft in alle gevallen gelijk.

Uitwerking

a Lampje 1 staat in serie met 2 en 3. Wanneer lampje 1 wordt losgedraaid, wordt de stroomkring onderbroken. De weerstand van dat deel van de schakeling wordt oneindig groot en alle lampjes gaan uit.

b Lampje 2 en 3 zijn parallel geschakeld. Wanneer lampje 3 wordt losgedraaid, gaat alle stroom door lampje 2. De parallelle weg door lampje 3 is niet meer beschikbaar. De weerstand van lampje 2 alleen is groter dan die van de lampjes 2 en 3 parallel. De totale weerstand van de schakeling neemt dus toe. De totale stroomsterkte neemt dus af. Uit $U = I \cdot R$ volgt dat de spanning over lampje 1 afneemt. Dus een groter deel van de spanning gaat over lampje 2 staan. Dus lampje 2 gaat feller branden, lampje 1 minder fel. De lampjes branden nu even fel.

c Wanneer er een lampje parallel aan lampje 1 wordt geplaatst, neemt de weerstand van dit deel van de schakeling af. De totale stroomsterkte zal veranderen, maar de stroomsterkte door lampjes 1 en 4 zal wel gelijk zijn aan de totale stroomsterkte door lampjes 2 en 3. Omdat $U = I \cdot R$ en R van lampjes 1 en 4 kleiner is geworden, gaat er minder spanning over lampje 1 en 4 staan. Over alle lampjes komt nu evenveel spanning te staan, dus ze branden even fel.

d Wanneer er nog een lampje parallel aan lampje 2 en 3 wordt geplaatst, neemt de weerstand van de parallelschakeling af. Ook nu verandert de totale stroomsterkte, maar doordat $U = I \cdot R$, zal er minder spanning over het parallelle deel van de schakeling staan. De totale spanning blijft gelijk, dus de spanning over lampje 1 neemt toe. De parallel geschakelde lampjes gaan dus minder fel branden, lampje 1 feller.

Onthoud

- De totale weerstand van in serie geschakelde componenten is gelijk aan de som van de weerstand van de afzonderlijke componenten: $R_{tot} = R_1 + R_2 + ...$
- De totale weerstand van in serie geschakelde componenten is altijd *groter* dan die van de afzonderlijke weerstanden.
- De totale weerstand van een parallelschakeling kun je berekenen met: $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ...$
- De totale weerstand van in parallel geschakelde componenten is altijd *kleiner* dan die van de afzonderlijke weerstanden.
- De totale weerstand van een gehele schakeling of van een deel van een schakeling noem je ook wel de vervangingsweerstand.

OPDRACHTEN ▸ Basis

44 Weerstanden toevoegen

Een weerstand is aangesloten op een spanningsbron.
Leg uit wat er in de volgende gevallen gebeurt met de weerstand van een schakeling.

a Je voegt een gelijke weerstand in serie toe aan de eerste weerstand.

b Je voegt een gelijke weerstand parallel toe aan de eerste weerstand.

c Je voegt twee gelijke weerstanden toe aan de eerste weerstand: één parallel en één in serie.

45 Identieke weerstanden

Je hebt een verzameling van identieke weerstanden: elk heeft een weerstand van 10 Ω.

a Bereken de totale weerstand als je 2, 3 of *n* van deze weerstanden in serie aansluit.

b Bereken de totale weerstand als je 2, 3 of *n* van deze weerstanden parallel aan elkaar aansluit.

46 Staalwol

Een bolletje staalwol wordt onder spanning gezet (figuur 30). Er gaat een stroom lopen en het bolletje gaat gloeien.

a Leg uit of je het bolletje staalwol kunt zien als serie- of parallelschakeling, of als gemengde schakeling.

Je trekt het bolletje staalwol uit elkaar, zodat er een enkele draad ontstaat. Vervolgens zet je deze draad onder dezelfde spanning als hiervoor.

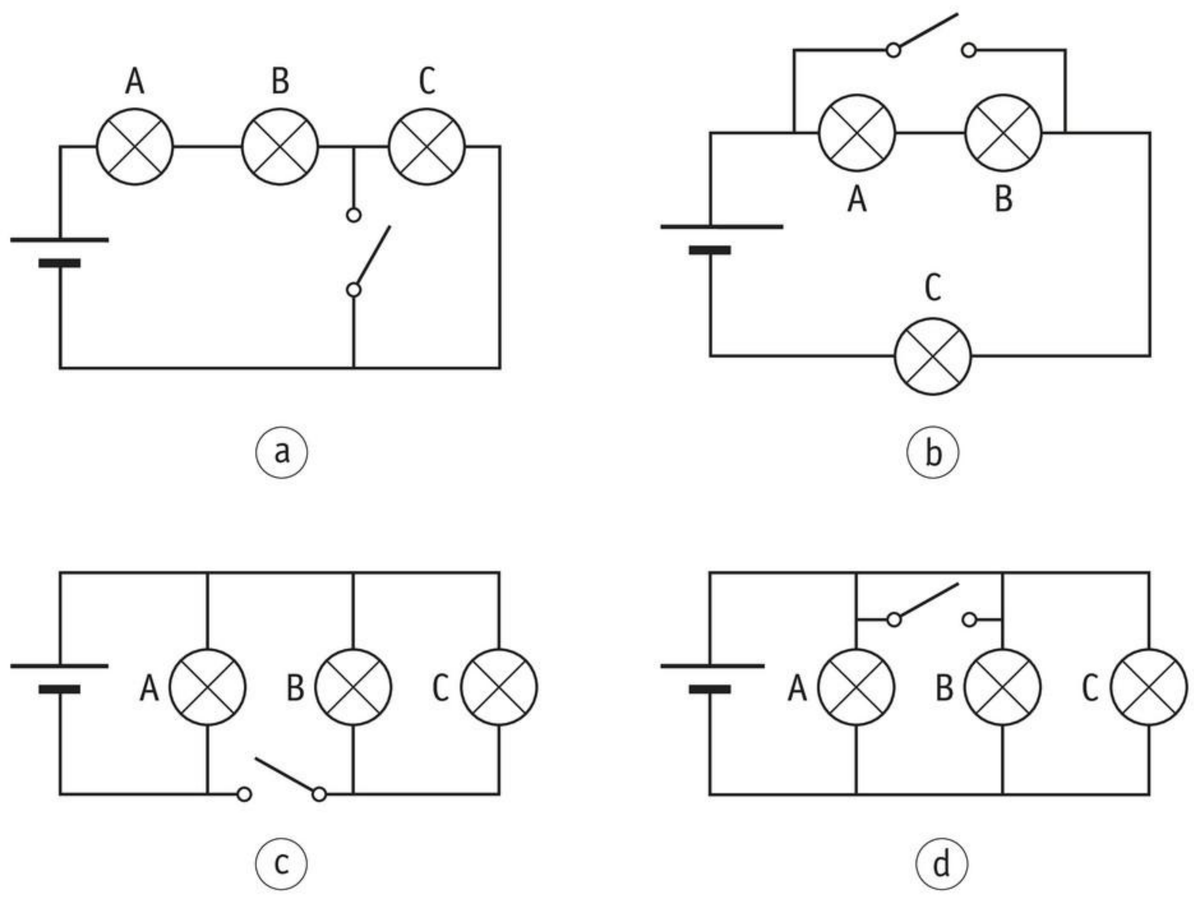
b Leg uit of de staalwol meer of minder zal gaan gloeien.



figuur 30 Bolletje staalwol.

47 Geleiding van lampjes

Bekijk de schakelingen in figuur 31.
Beredeneer voor elk van de situaties welke lampjes er zwak of fel branden wanneer de schakelaar open is en wanneer de schakelaar wordt gesloten.



figuur 31 Vier schakelingen met een schakelaar.

48 Schakeling opbouwen

Je hebt een set van de volgende weerstanden: $R_1 = 5{,}0\ \Omega$, $R_2 = 10{,}0\ \Omega$ en $R_3 = 50{,}0\ \Omega$.

a Bereken de totale weerstand als je de weerstanden allemaal in serie schakelt.

b Bereken de totale weerstand als je de weerstanden allemaal parallel aan elkaar schakelt.

Je schakelt R_2 en R_3 parallel aan elkaar. Daarna schakel je R_1 in serie met beide.

c Beredeneer hoe groot de totale weerstand is:

A minder dan $5{,}0\ \Omega$

B tussen de $5{,}0\ \Omega$ en $15{,}0\ \Omega$

C tussen de 15,0 en $50{,}0\ \Omega$

D meer dan $50{,}0\ \Omega$

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

49 Draden combineren

Je hebt een aantal identieke stukken stroomdraad. Elk stuk draad heeft een weerstand R. Je sluit n van deze draden in serie aan.

a Beredeneer met behulp van de formule voor de weerstand van een draad hoe groot de weerstand van deze n draden samen is. Druk je antwoord uit in R en n.

Je sluit n van deze draden vervolgens parallel aan.

b Beredeneer hoe groot de weerstand van deze draden samen is. Druk je antwoord weer uit in R en n.

c Ga na dat je antwoorden op opdrachten a en b overeenkomen met de formules voor weerstanden in serie en parallel.

50 Weerstand veranderen

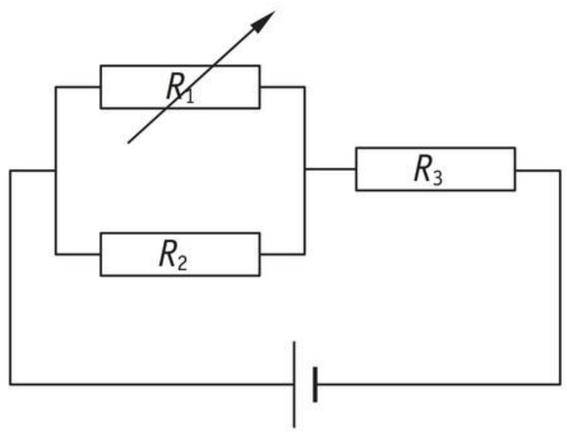
Drie weerstanden zijn opgenomen in de schakeling zoals weergegeven in figuur 32.

a Zoek in *BiNaS* op wat de betekenis is van het symbool van een weerstand met een pijl erdoorheen.

Van weerstand R_1 wordt de weerstandswaarde groter gemaakt.

b Leg uit wat er gebeurt met de stroomsterkten I_2 en I_3 door de weerstanden R_2 en R_3.

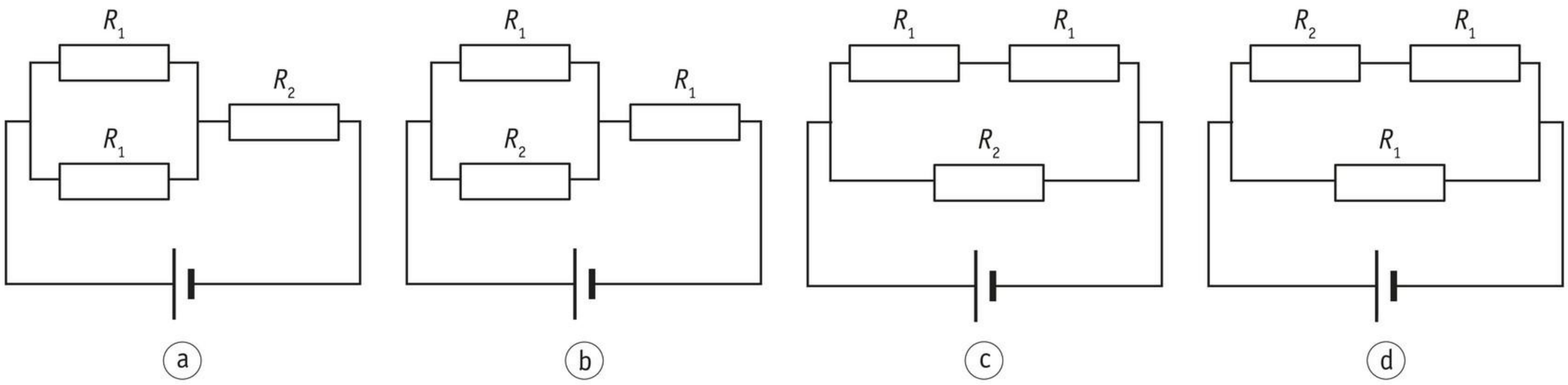
naar: Nationale Natuurkunde Olympiade, eerste ronde 2003



figuur 32 Schakeling met drie weerstanden.

51 Grootste vermogen

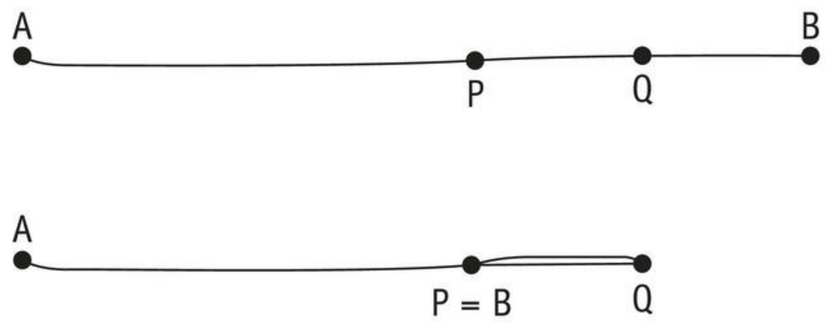
Bekijk de schakelingen in figuur 33. Weerstand R_2 heeft een twee keer zo grote weerstandswaarde als weerstand R_1. De spanning van de bron is in alle gevallen gelijk.
Beredeneer in welke van de schakelingen het (elektrisch) vermogen het grootst is.



figuur 33 Vier schakelingen.

★ 52 Dubbelklappen

Een homogene metalen draad AB met een lengte van 1,20 m heeft een elektrische weerstand van 5,0 Ω (figuur 34). P is een willekeurig op de draad gelegen punt. Q ligt precies tussen de punten P en B in. De draad wordt nu gedeeltelijk dubbelgeslagen, waarbij B met P in contact wordt gebracht. De weerstand tussen A en Q blijkt nu 4,0 Ω te zijn.



figuur 34 Een draad die wordt dubbelgeslagen.

a Teken het schakelschema voor de dubbelgeslagen draad.

b Noem de weerstand tussen punten A en P R_{AP}. Druk de weerstand van een enkele draad tussen P en Q uit in de totale weerstand van de draad en R_{AP}.

c Druk de weerstand van de dubbelgeslagen draad uit in R_{AP} en de totale weerstand van de draad.

d Bereken hoe groot de weerstand R_{AP} is.

e Bereken de afstand tussen de punten A en P.

naar: Nationale Natuurkunde Olympiade, eerste ronde 2003

6 SPECIALE COMPONENTEN

Leerdoelen

4.6.1 Je kunt de eigenschappen benoemen van een PTC, NTC, LDR, diode en led.
4.6.2 Je kunt uitleggen hoe een PTC, NTC, LDR, diode en led in een elektrische schakeling worden toegepast.

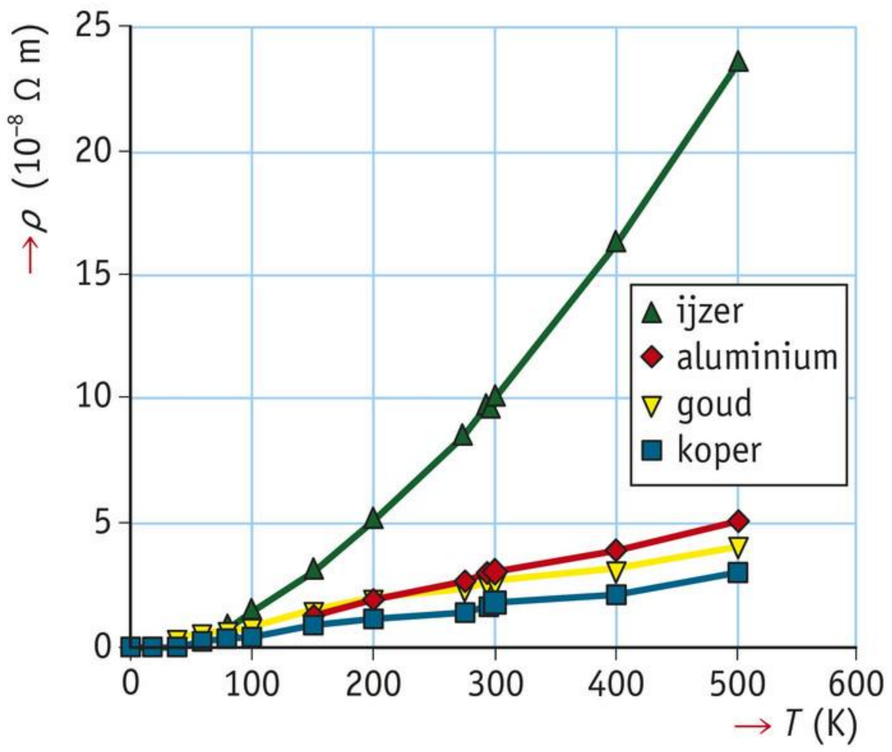
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	4.6.1	4.6.2	4.1.2*	4.5.4*	V2.5*
Onthouden	53				
Begrijpen		54			
Toepassen	60b	55, 56, 57bc	57a, 58a	58c	60a
Analyseren		58b, 59, 60c, 61			

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf of is een algemeen leerdoel.

Niet alleen metalen geleiden elektrische stroom. Op halfgeleidende materialen is een hele industrie gebaseerd. Chips in bijvoorbeeld telefoons en computers zijn de belangrijkste toepassing. Er worden ook temperatuur- en lichtsensoren van halfgeleiders gemaakt.

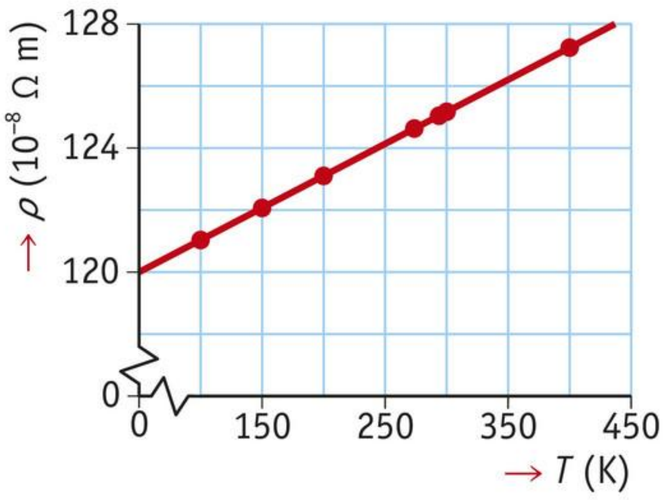
METALEN

Als je een spanning aanlegt tussen twee uiteinden van een metaaldraad, gaan de geleidingselektronen bewegen. Doordat de elektronen tussen de trillende atomen van het metaalrooster en onzuiverheden door moeten, heeft een metaaldraad een weerstand. Als de temperatuur hoger wordt, trillen de atomen heviger. Er is dan een grotere kans dat een elektron wordt gehinderd. In het algemeen wordt de weerstand hoger als de temperatuur toeneemt. Een draad gemaakt van zo'n metaal noem je een **PTC**, een element met Positieve Temperatuur Coëfficiënt. Elke gewone metaaldraad vertoont dit gedrag. Dat zie je terug in het diagram van figuur 35 waarin de soortelijke weerstand van verschillende metalen is uitgezet tegen de temperatuur.



figuur 35 Soortelijke weerstand van verschillende metalen uitgezet tegen de temperatuur.

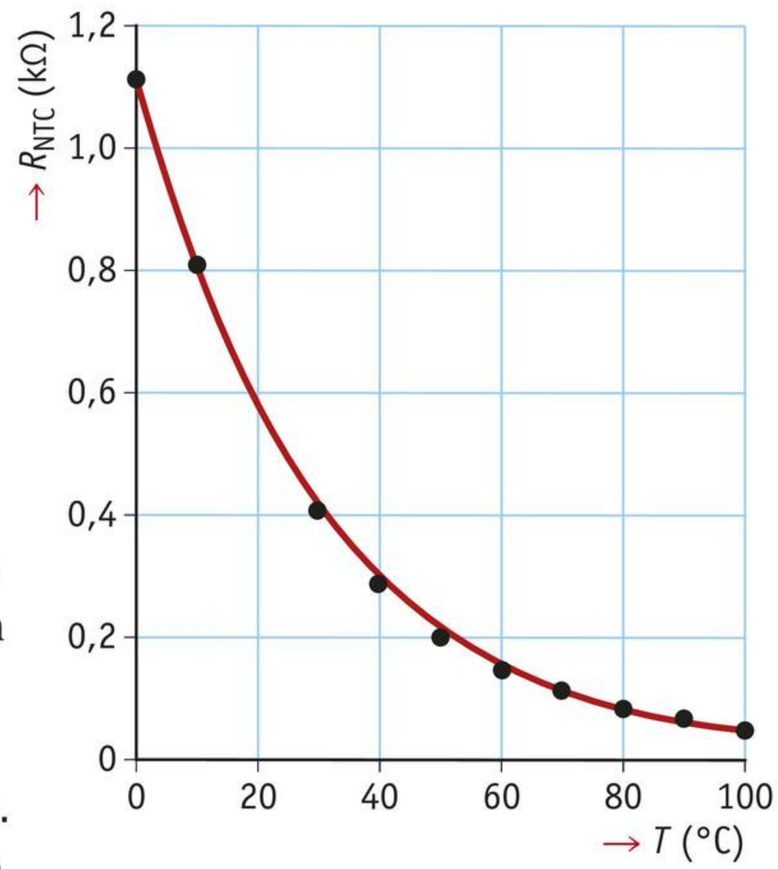
Soms is het niet wenselijk dat de weerstand van een materiaal verandert met de temperatuur. Sommige legeringen van metalen hebben een soortelijke weerstand die veel minder van de temperatuur afhangt. Een voorbeeld is nichroom, een legering van nikkel, ijzer en chroom (figuur 36).



figuur 36 Soortelijke weerstand van nichroom, een chroom-nikkellegering, bij verschillende temperaturen.

HALFGELEIDERS

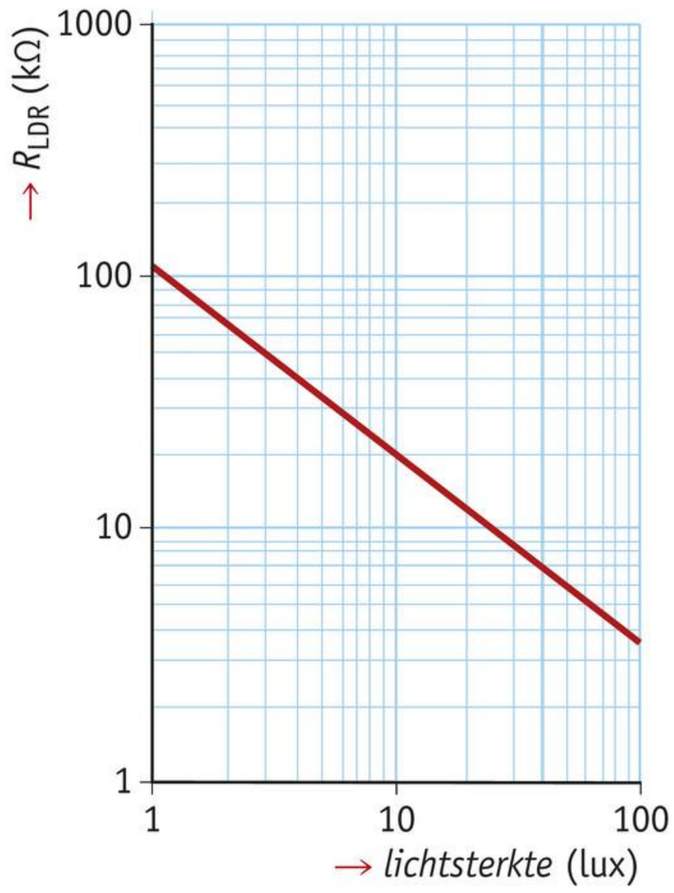
Halfgeleiders zijn eigenlijk isolatoren. Als het heel koud is, blijven de elektronen bij hun eigen atoom. Er zijn dan geen geleidingselektronen. Maar de elektronen zitten niet heel erg vast, een klein beetje energie is genoeg om ze los te maken en er geleidingselektronen van te maken. Als de temperatuur hoger wordt, komen er meer elektronen los. Die dragen bij aan de geleiding.
Ook voor halfgeleiders geldt dat elektronen bij een hogere temperatuur moeilijker door het rooster van steeds heviger trillende atomen kunnen komen. De weerstand neemt toe als de temperatuur toeneemt. Maar dit effect wordt tenietgedaan door het toenemende aantal geleidingselektronen bij een hogere temperatuur. Al met al neemt de weerstand van een halfgeleider sterk *af* als de temperatuur toeneemt (figuur 37).
Een halfgeleider is een **NTC**, een materiaal met een Negatieve Temperatuur Coëfficiënt.
Ook de energie van licht kan in halfgeleiders extra elektronen vrijmaken. De weerstand van zo'n materiaal neemt af als je er licht op laat vallen (figuur 38). Een **LDR**, een *Light Dependent Resistor*, ofwel lichtgevoelige weerstand, is dus een stukje halfgeleidend materiaal.



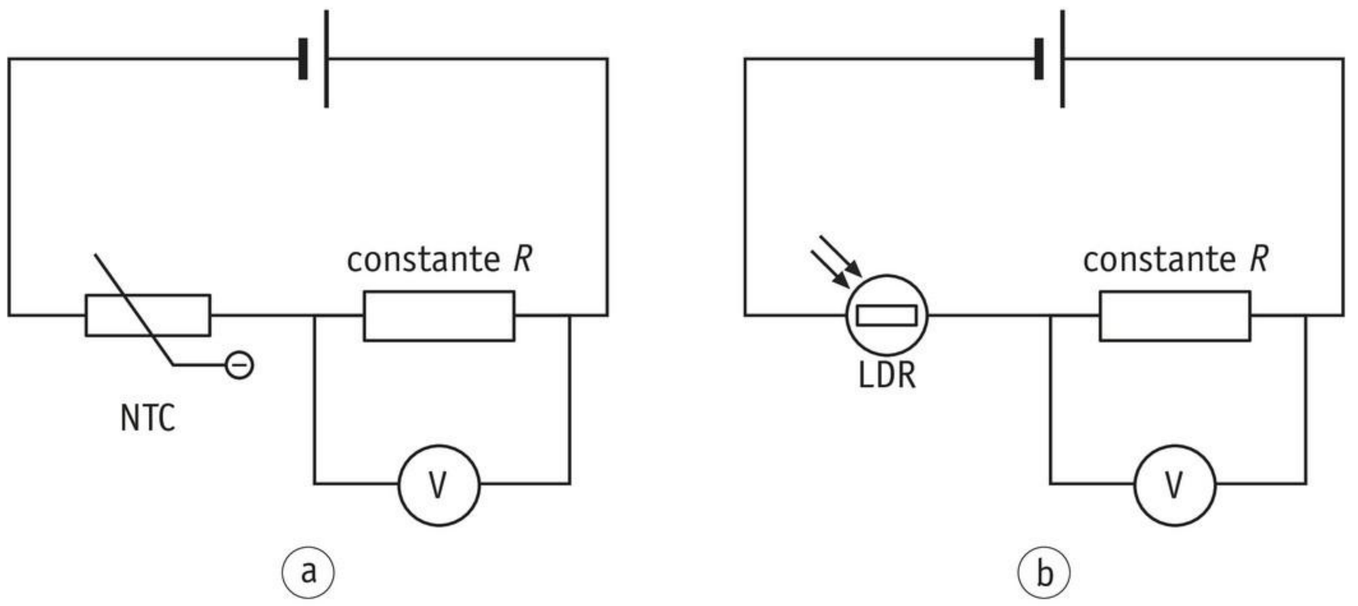
figuur 37 Grafiek van R_{NTC} tegen de temperatuur.

TOEPASSING VAN EEN NTC EN LDR

In veel apparaten wordt de temperatuur gemeten en in een computergeheugen opgeslagen zonder dat iemand voortdurend op een thermometer kijkt en de gegevens intikt. Denk maar aan een weerstation of een couveuse.
In deze apparaten wordt een NTC gebruikt om een temperatuurregistratie om te zetten in een elektrische spanning (figuur 39a). Elektrische spanningen vormen het signaal dat naar de computer gaat.
Op dezelfde manier maken lichtsensoren gebruik van een LDR om de lichtsterkte om te zetten in een elektrische spanning. Zulke sensoren zorgen er bijvoorbeeld voor dat het licht in een lokaal automatisch wordt gedimd als er genoeg licht van buiten komt. Zo'n sensor bestaat uit een serieschakeling van een LDR of NTC en een gewone weerstand (figuur 39b).



figuur 38 Weerstand van een LDR als functie van de lichtintensiteit.



figuur 39 Temperatuursensor (a) en lichtsensor (b). In een lichtsensor wordt een LDR in plaats van een NTC gebruikt.

Over de hele schakeling wordt een constante spanning van bijvoorbeeld 5,0 V gezet. Er loopt een kleine stroom. De spanning over de vaste weerstand heeft een bepaalde waarde. Als de lichtsterkte toeneemt, dan neemt de weerstand van de LDR af. De andere weerstand blijft gelijk. De totale weerstand neemt dus af. Omdat de totale spanning gelijk blijft, neemt de stroomsterkte toe. De spanning over de vaste weerstand is gelijk aan $U = I \cdot R$. Deze neemt toe. Dit is de waarde die de sensor afgeeft. Hoe hoger de lichtsterkte, hoe hoger deze waarde. Zo wordt de totale spanning van 5,0 V anders verdeeld als de lichtsterkte verandert.

Voorbeeldopdracht 8

Een lichtsensor maakt gebruik van de schakeling uit figuur 39b. De karakteristiek van de LDR is weergegeven in figuur 38. De spanning van de bron is 5,0 V. De serieweerstand heeft een weerstand van 20 kΩ.

a Toon aan dat bij een lichtsterkte van 10 lux de sensorspanning gelijk is aan 2,5 V.

De lichtsterkte verandert en de sensorspanning wordt 3,7 V.

b Bepaal met behulp van figuur 38 de nieuwe lichtsterkte.

a In figuur 38 kun je aflezen dat bij een lichtsterkte van 10 lux de LDR een weerstand van 20 kΩ heeft en dus gelijk is aan de serieweerstand. De bronspanning van 5,0 V wordt dus gelijkelijk verdeeld over de LDR en de serieweerstand. Die is dus 2,5 V.

b **Gegevens**

$R = 20\ \text{k}\Omega = 20 \cdot 10^3\ \Omega$

$U = 3{,}7\ \text{V}$

Formules

$U = I \cdot R \rightarrow I = \frac{U}{R}$ en $R = \frac{U}{I}$

$U_{tot} = U_1 + U_2$

$I_{tot} = I_1 = I_2$

Uitwerking

De stroom door de LDR is: $I_{LDR} = I_{serie} = \frac{U}{R} = \frac{3{,}7}{20 \cdot 10^3} = 1{,}85 \cdot 10^{-4}\ \text{A}$

De spanning over de LDR is:

$U_{LDR} = U_{tot} - U_{serie} = 5{,}0 - 3{,}7 = 1{,}3\ \text{V}$

De weerstand van de LDR is dan:

$R_{LDR} = \frac{U}{I} = \frac{1{,}3}{1{,}85 \cdot 10^{-4}} = 7{,}0 \cdot 10^3\ \Omega = 7{,}0\ \text{k}\Omega$

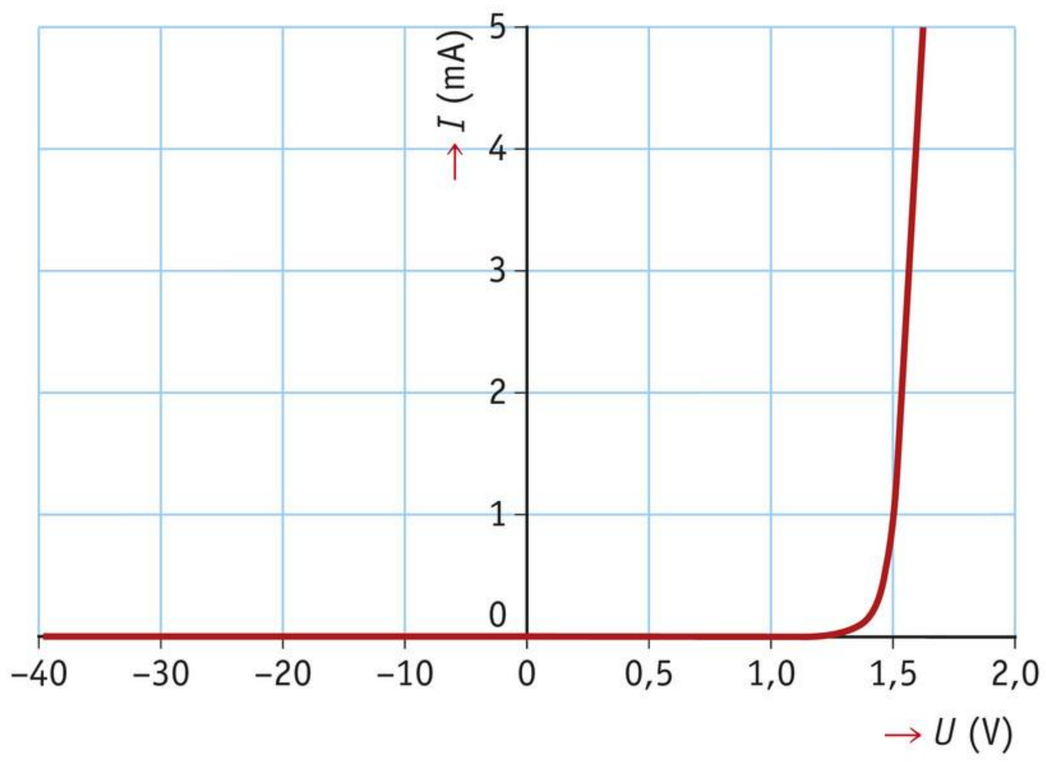
In figuur 38 kun je aflezen dat bij deze weerstand een lichtsterkte van 40 lux hoort.

DIODE EN LED

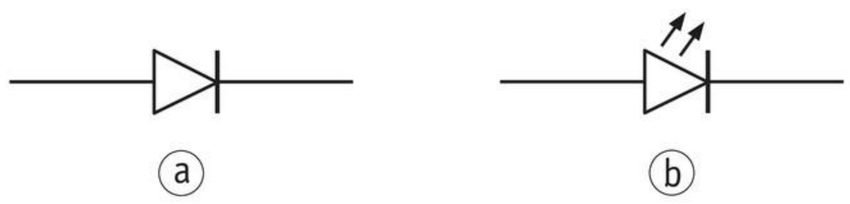
Hoe goed een halfgeleider geleidt, kan worden beïnvloed door kleine hoeveelheden andere stoffen door het materiaal te mengen. Als het hoofdbestanddeel bijvoorbeeld silicium is, dan verlaagt een minieme hoeveelheid fosfor de weerstand enorm. Deze manipuleerbaarheid van halfgeleiders zorgt ervoor dat er veel toepassingen van zijn. Op het principe van die manipuleerbaarheid is de hele chipindustrie gebaseerd.

De **diode** is een belangrijk voorbeeld van een bijzondere halfgeleidercomponent. In een diode zijn twee verschillende stukjes halfgeleider op elkaar geplakt. Het resultaat is dat de diode in één richting wel stroom doorlaat en in de andere richting niet. De twee richtingen noem je de doorlaatrichting en de sperrichting. Het 'di' in diode betekent 'twee': deze component heeft twee kanten en gedraagt zich verschillend in de twee mogelijke richtingen waarin een stroom kan lopen. Dit gedrag komt ook tot uiting in het (*I*,*U*)-diagram van een diode (figuur 40).

Het symbool voor diode kun je lezen als een pijltje (figuur 41a). In de richting van de pijl laat de diode de stroom (van plus naar min) door, tegen de pijl in niet. Dioden die licht geven als er stroom doorheen gaat heten **leds** (*light emitting diode*; figuur 41b).



figuur 40 (*I*,*U*)-diagram van een diode.



figuur 41 Het symbool voor een diode (a) en een led (b).

Onthoud

- Gewone metalen zijn PTC-weerstanden: ze hebben een Positieve Temperatuur Coëfficiënt, de weerstand wordt groter als de temperatuur stijgt.
- Halfgeleidende materialen werken als een NTC: ze hebben een Negatieve Temperatuur Coëfficiënt, de weerstand daalt als de temperatuur stijgt.
- Halfgeleidende materialen kunnen dienen als LDR: *Light Dependent Resistor*. De weerstand daalt als er licht op valt.
- Met twee verschillende stukjes halfgeleider kun je een diode maken: een component die in één richting stroom doorlaat en in de andere richting niet.
- Een led is een diode die licht geeft als er een stroom door loopt.

OPDRACHTEN ▸ Basis

53 Speciale componenten

In deze paragraaf zijn verschillende componenten omschreven. Hieronder volgt een beschrijving. Geef voor elk de naam van de bijbehorende component.

a Als de temperatuur toeneemt, dan neemt de weerstand van deze component ook toe.

b Als de temperatuur toeneemt, dan neemt de weerstand van deze component *af*.

c Als de lichtsterkte toeneemt, dan neemt de weerstand van deze component *af*.

d Deze component laat alleen stroom door in één richting.

e Deze component geeft licht als er stroom in één richting door loopt.

54 Toepassingen van speciale componenten

Noem bij elk van de volgende toepassingen de juiste component. Kies uit *diode*, *led*, *LDR*, *PTC*, *NTC*.

a Deze component kun je gebruiken om gelijkstroom te maken.

b Zit in smartphones waarbij de lichtsterkte van het scherm zich aanpast aan de omgeving.

c Zit in een luidspreker om overbelasting (oververhitting) te voorkomen.

d Zit in de thermostaat van een centrale verwarming.

e Deze component maakt energiezuinige verlichting mogelijk.

55 Lichtsensor

De volgende opdrachten gaan over de lichtsensor van voorbeeldopdracht 8. De serieweerstand wordt vervangen door een serieweerstand van 100 kΩ.

a Bepaal welke spanning er over de serieweerstand staat bij een lichtsterkte van 10 lux.

b Bepaal de lichtsterkte als de sensorspanning 3,7 V bedraagt.

56 Lichtsterkte

De volgende opdrachten gaan over de lichtsensor van voorbeeldopdracht 8.

a Bepaal welke spanning er over de serieweerstand staat bij een lichtsterkte van 30 lux.

b Bepaal de lichtsterkte als de sensorspanning 4,2 V bedraagt.

De schakeling uit voorbeeldopdracht 8 kun je ook gebruiken voor een temperatuursensor. Stel dat je in zo'n temperatuursensor een PTC in plaats van een NTC gebruikt. Je moet dan nog steeds gebruikmaken van een serieweerstand, maar nu moet je de sensorspanning meten over de PTC in plaats van de serieweerstand.

c Leg dit uit met behulp van de eigenschappen van een PTC.

Test de basis met TEST JEZELF

OPDRACHTEN ▸ Eindniveau

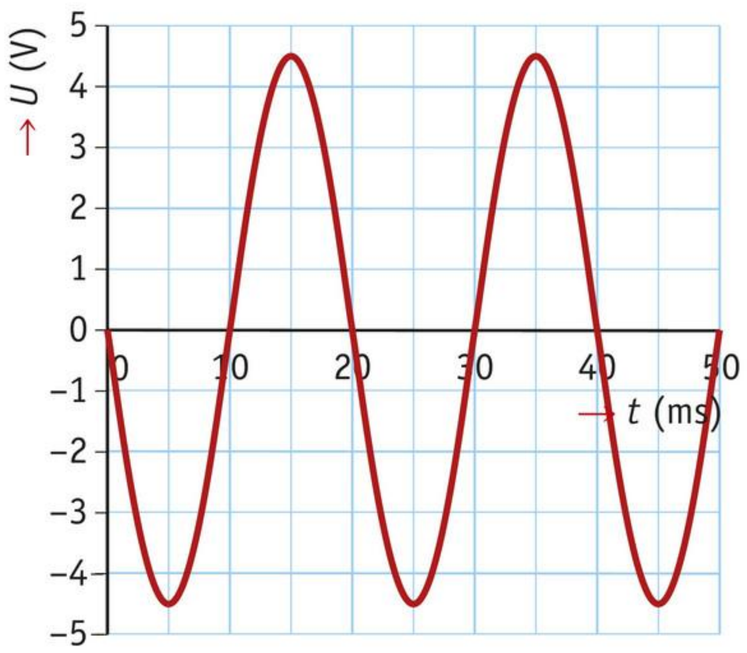
57 Diode in serieschakeling

Je schakelt een diode in serie met een weerstand van 100 Ω. Over de serieschakeling zet je een wisselspanning met een amplitude van 4,5 V en een frequentie van 50 Hz (figuur 42). Als er een stroom door de diode loopt, is de spanning over de diode gelijk aan 1,5 V. Je meet de spanning over de weerstand.

a Teken het schakelschema.

b Teken de grafiek van de gemeten spanning over de weerstand tegen de tijd. Laat t lopen van 0 tot 50 ms.

c Teken de grafiek van de stroomsterkte I tegen de tijd t.

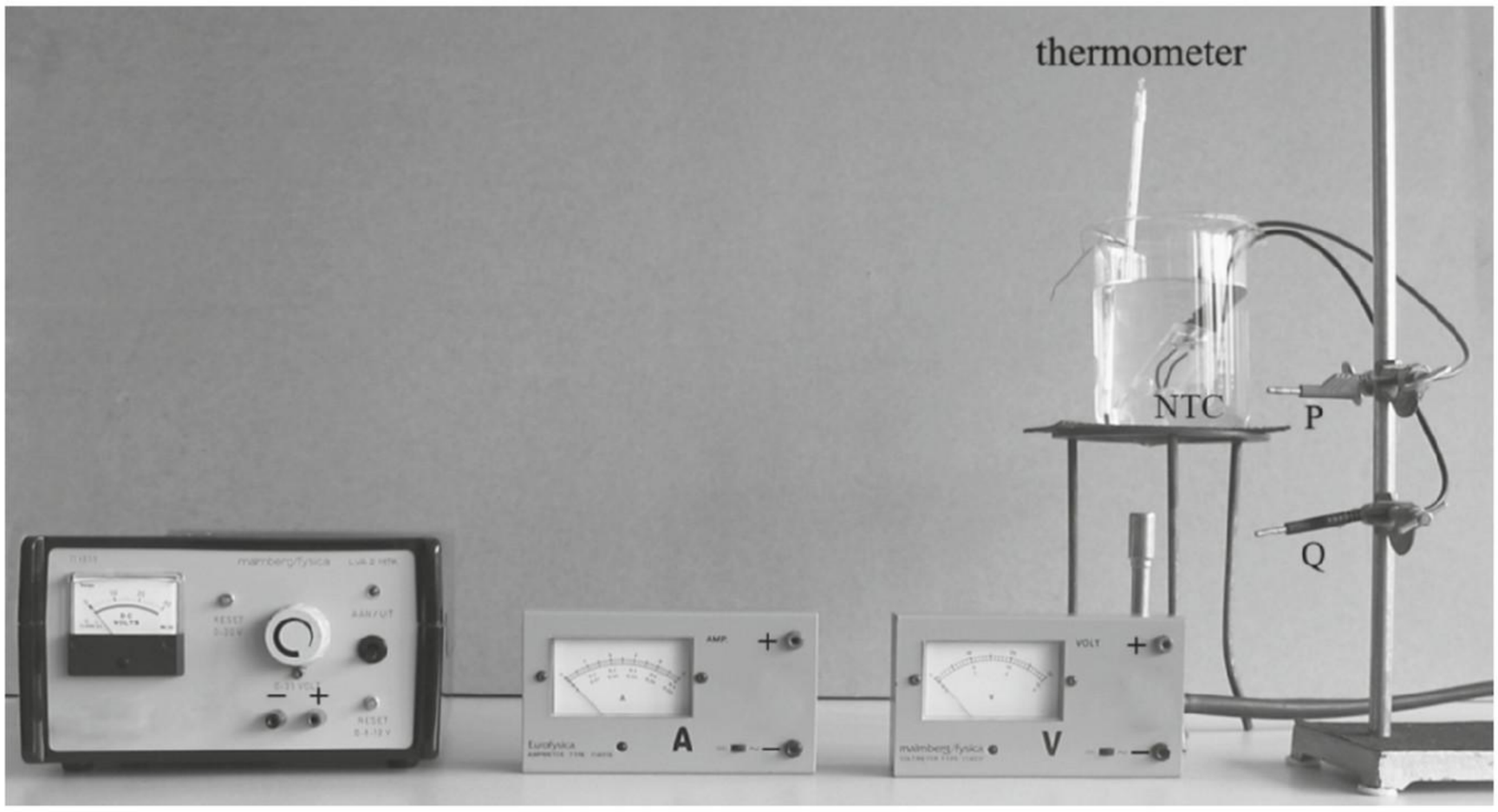


figuur 42 Wisselspanning met een amplitude van 4,5 V en een frequentie van 50 Hz.

58 Temperatuursensor

Piërre en Diane maken tijdens een practicum een waarschuwingssysteem waarbij een led gaat branden als de temperatuur 20 °C of hoger is (figuur 43). Op de practicumtafel staan de volgende spullen klaar:

- een driepoot met brander en een glas gevuld met water en ijs
- een NTC en een thermometer die zich in het water bevinden
- een regelbare spanningsbron, een spannings- en een stroommeter



figuur 43 Opstelling van het experiment van Piërre en Diane.

Zij willen eerst een grafiek maken van de weerstand van de NTC tegen de temperatuur. Daarvoor moeten ze nog een aantal elektrische verbindingen in de practicumopstelling van figuur 43 maken. P en Q zijn de aansluitpunten van de NTC.

a Teken de figuur schematisch na en teken de draden die nodig zijn om de metingen voor deze grafiek te kunnen uitvoeren.

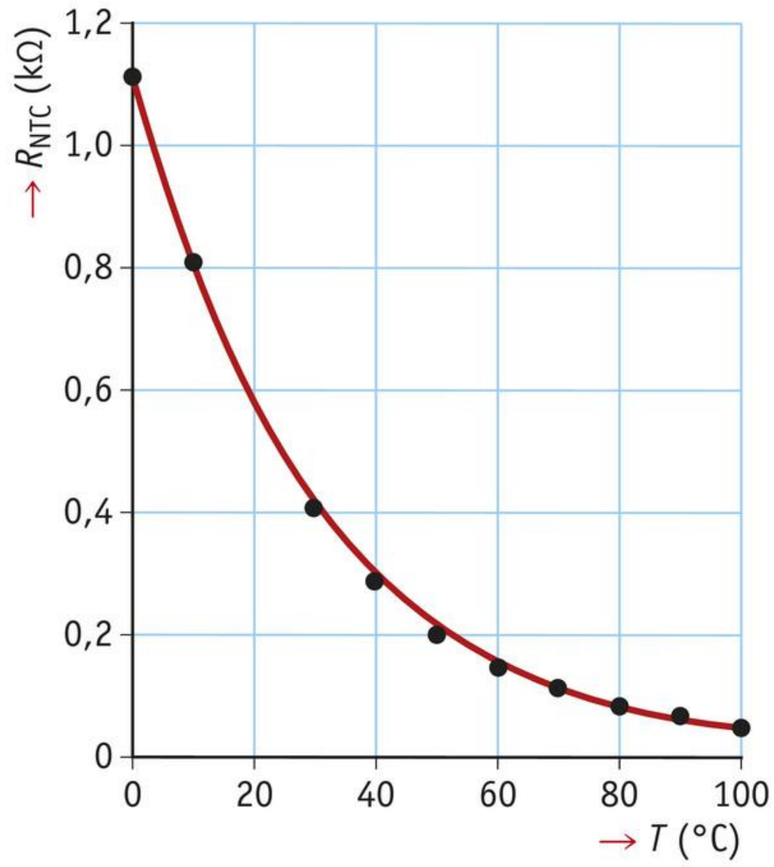
In figuur 44 zie je de grafiek die Diane en Piërre hebben gemaakt. Voor het waarschuwingssysteem beschikken zij verder nog over een variabele weerstand en een led. In figuur 45 staat het (I,U)-diagram van de led. De led geeft licht als er een stroom van ten minste 1,0 mA door gaat. Diane en Piërre bouwen de schakeling van figuur 46.

b Leg aan de hand van figuur 44, 45 en 46 uit dat de led niet brandt bij een lage temperatuur en wel bij een hoge temperatuur.

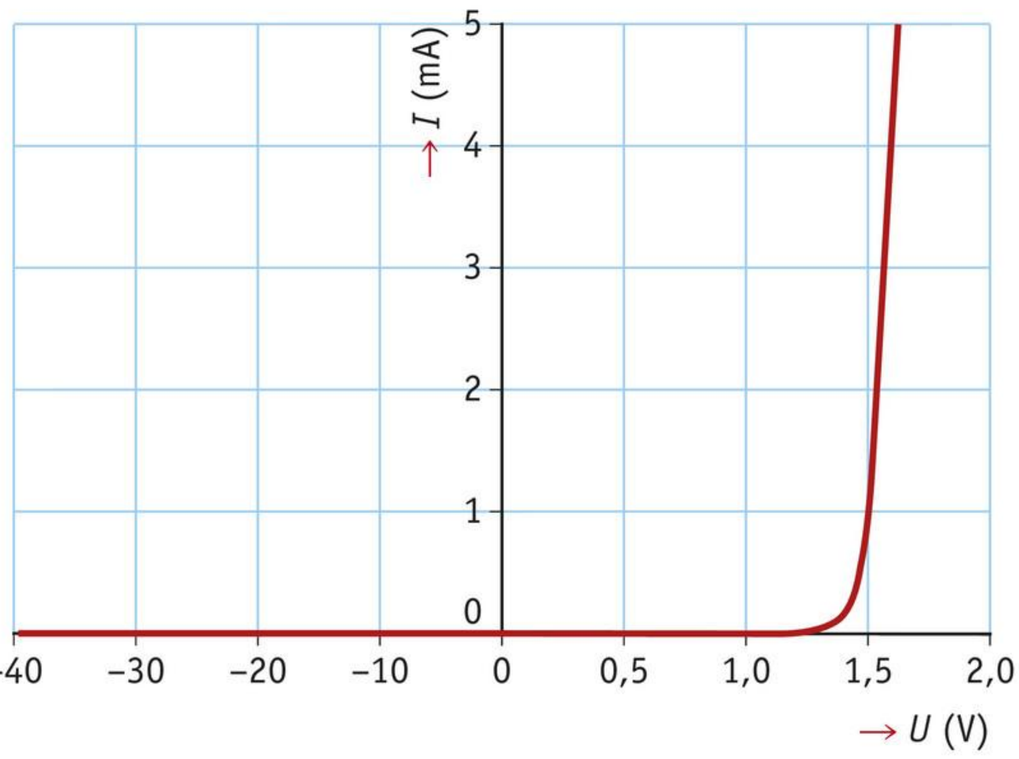
De variabele weerstand wordt zo ingesteld dat de led licht geeft bij een temperatuur van 20 °C en hoger. De spanning van de spanningsbron is 5,0 V.

c Bepaal de waarde waarop de variabele weerstand wordt ingesteld.

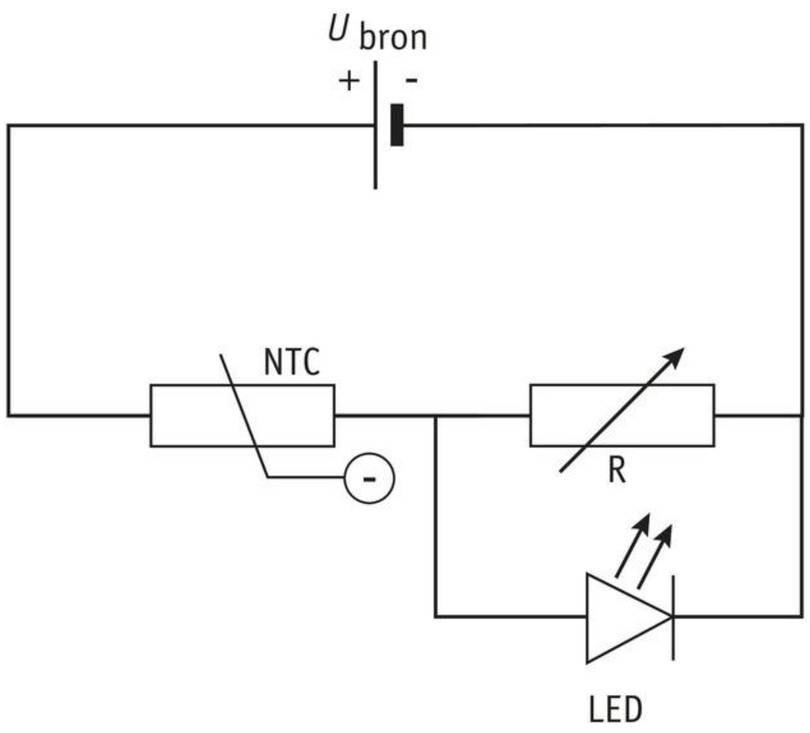
bron: examen 2010-II



figuur 44 Grafiek van R_{NTC} tegen de temperatuur.



figuur 45 (I,U)-diagram van de led.



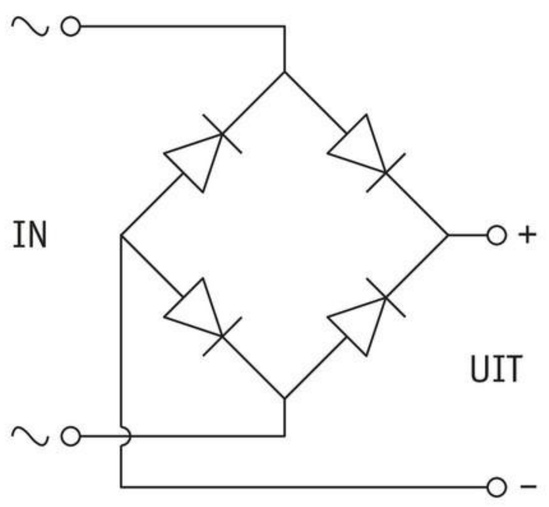
figuur 46 Schakeling voor het waarschuwingssysteem.

59 Graetzschakeling

Soms heb je een wisselspanningsbron en is het nodig die wisselspanning om te zetten in een gelijkspanning. Hiervoor wordt gebruikgemaakt van een graetzschakeling (figuur 47). Over de contactpunten links in figuur 47 (IN) staat een wisselspanning. Het bovenste contactpunt rechts (UIT) is altijd positief, het onderste altijd negatief. Wanneer je over deze contactpunten bijvoorbeeld een weerstand zou aansluiten, dan zou de stroom dus altijd in dezelfde richting lopen.

a Leg met behulp van de werking van de diode uit dat dit inderdaad het geval is.

b Leg uit dat er over de uitgang van de graetzschakeling geen *gelijk*spanning staat.



figuur 47 Een schakeling met vier dioden.

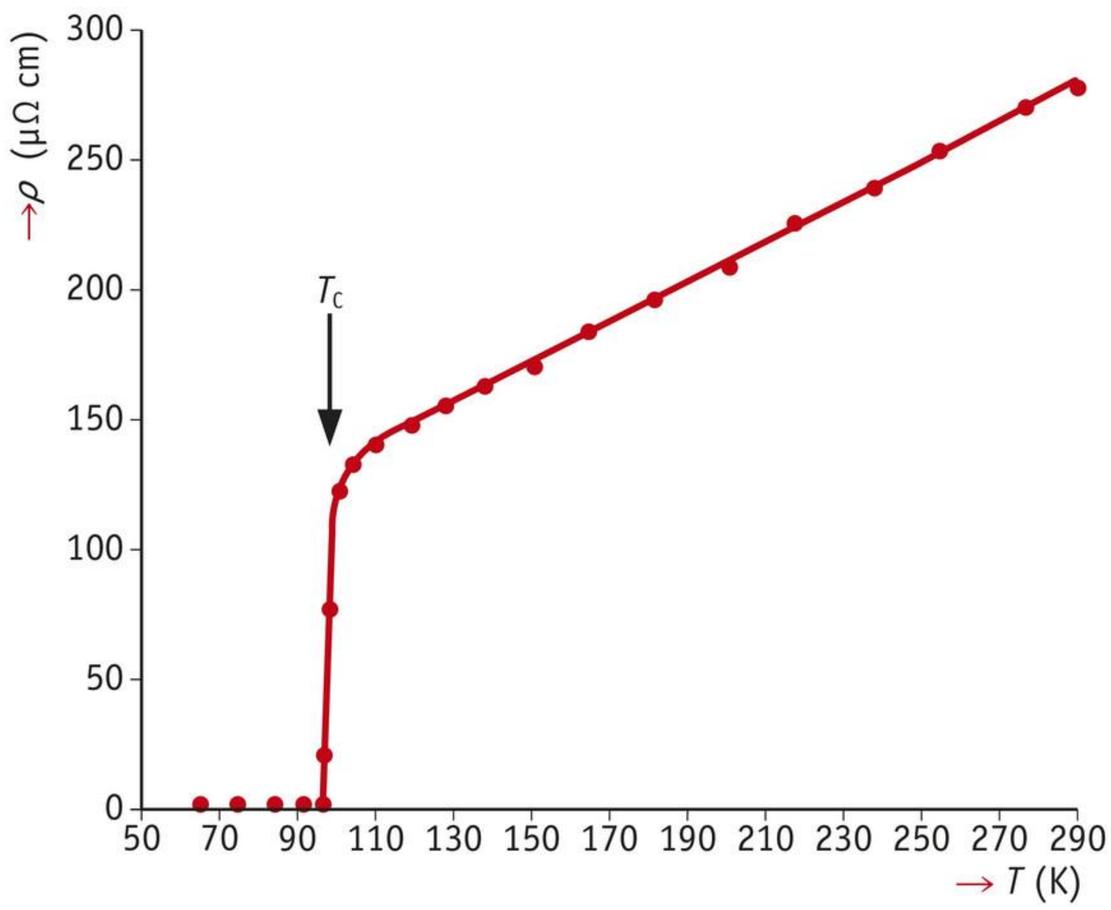
P 60 Supergeleider

Supergeleidende materialen worden veel gebruikt in medische wetenschappelijke apparatuur waarin grote elektrische stromen nodig zijn, of waarmee je zwakke magnetische velden moet meten. Deze materialen verliezen hun weerstand onder een bepaalde temperatuur. Deze temperatuur wordt vaak aangeduid met de kritische temperatuur T_C.
In figuur 48 zie je de soortelijke weerstand uitgezet als functie van de temperatuur.

a Lees af bij welke temperatuur dit materiaal supergeleidend wordt. Reken deze temperatuur om naar graden Celsius.

b Leg met behulp van figuur 48 uit met welke speciale component je deze supergeleider boven de kritische temperatuur kunt vergelijken.

c Noem een voordeel en een nadeel van een supergeleidend materiaal boven een gewoon metaal.



figuur 48 Soortelijke warmte als functie van de temperatuur voor een supergeleider.

★ 61 Ontwerp een buitenlamp

Teken een schakelschema dat ervoor zorgt dat een lamp automatisch aangaat als het donker wordt. Let erop dat het systeem niet concludeert dat het toch nog licht is door het licht van de lamp, want daardoor zou het licht ongecontroleerd gaan knipperen. Geef een uitleg bij je tekening.

AFSLUITING

In dit hoofdstuk heb je geleerd hoe elektrische stroom en spanning zich in schakelingen gedragen en hoe je daarmee schakelingen kunt maken met een bepaald doel. Maak de eindopdrachten en bereid je voor op de toets.

Eindopdrachten

62 Weerstanden in waterkoker

Een waterkoker kun je zien als drie in serie geschakelde weerstanden: een nichromen verwarmingselement dat met twee koperen stroomdraden op het stopcontact is aangesloten. De totale weerstand van de waterkoker is gelijk aan 23 Ω.

a Teken schematisch de drie weerstanden van de waterkoker.

b Beredeneer welke van de drie weerstanden de grootste weerstand heeft.

c Bereken de weerstand van de twee stroomdraden. Schat daartoe eerst de diameter en de lengte van de stroomdraden.

d Controleer met behulp van je antwoord op opdracht c dat het vermogen van de stroomdraden veel kleiner is dan van het verwarmingselement.

P 63 Data binnenhalen

Als je internet gebruikt op je telefoon, heb je te maken met meerdere elektrische systemen: in de telefoon zelf en in het datacenter waar de zoekgegevens worden verwerkt. De systemen in het datacenter moeten sterk worden gekoeld, want in de verbindingen ontstaat veel warmte (figuur 49).

a Leg uit of zo'n datacenter bestaat uit veel parallelle schakelingen of uit veel schakelingen in serie. Baseer je antwoord op de geproduceerde hoeveelheid warmte.

Er wordt gewerkt aan verbindingen gebaseerd op grafeen, een nieuw materiaal. Als dat lukt, heb je bij dezelfde stroomsterkte veel minder warmte.

b Leg uit of de soortelijke weerstand van dit materiaal groot of klein zal zijn.



figuur 49 Enorme koelinstallaties zijn nodig om datacenters op normale temperatuur te houden.

In de kou is het lastig je touchscreen te bedienen, want dat werkt niet met gewone handschoenen. Renée bedenkt dat het nuttig is als de telefoon warmte afgeeft als het buiten koud is. Ze wil de telefoon een temperatuursensor geven en een verwarmingselement. De temperatuursensor bestaat uit een oplaadbare batterij van 7,4 V, aangesloten op een NTC die in serie staat met een gewone weerstand van 10 Ω.

c Leg uit dat over de NTC een grotere spanning staat als het koud is dan als het warm is.

Bij een bepaalde temperatuur loopt er een stroom van 0,10 A door de schakeling.

d Bereken de weerstand die de NTC op dat moment heeft.

Renée bestelt meerdere accupacks. Op elk accupack staat de volgende informatie: 3,7 V 300 mAh (zie figuur 50). Met deze accupacks wil Renée een oplaadbare batterij maken van 1,2 Ah en een spanning van 7,4 V.

e Leg uit hoeveel accupacks Renée moet bestellen. Teken daarvoor het schakelschema van de accupacks, zodat aan de eisen wordt voldaan.



figuur 50 Accupack.

Bij een bepaalde stand van het verwarmingselement is de batterij na 2,0 h leeg.

f Bereken het vermogen dat de batterij levert.

P 64 Hoogspanningslijn

De langste hoogspanningslijn in Nederland ligt tussen Zwolle (Overijssel) en Meeden (Groningen) en heeft een lengte van 107 km. Het gemiddelde vermogen van deze lijn is 2630 MW bij een spanning van 380 kV. De lijn bestaat uit vier kabels die van Zwolle naar Meeden lopen en vier kabels die teruglopen van Meeden naar Zwolle. Deze kabels hebben weerstand.

a Bereken de gemiddelde stroomsterkte in elk van de kabels van deze lijn.

De kabels zijn gemaakt van aluminium en hebben een diameter van 12 cm.

b Bereken de weerstand van een van de kabels.

c Bereken welk percentage van het geleverde vermogen in de kabels verloren gaat aan warmte.

Stel dat het vermogen dat de hoogspanningslijn Zwolle-Meeden levert wordt opgewekt door zonnepanelen in het noorden van Marokko en via eenzelfde hoogspanningslijn naar Nederland wordt getransporteerd over een afstand van $3{,}0 \cdot 10^3$ kilometer.

d Leg uit hoe groot nu het procentuele verlies wordt.

65 Ontwerpeisen

Bij elektrische voertuigen die op rails rijden, is er een stroomkring van de bovenleiding, door de motor, naar de rails. Soms werken er twee treinen op één spanningsbron.

a Noteer vier eisen waaraan het materiaal van de bovenleiding van een tram of trein moet voldoen.

b Teken het schakelschema met één spanningsbron en twee vertrekkende treinen.

c Geef in je schema aan op welk punt de draad van de bovenleiding heet kan worden.

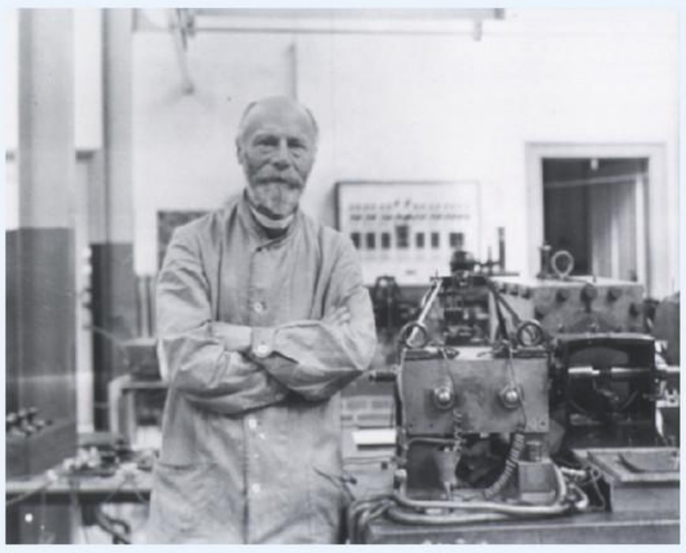
d Bedenk drie oplossingen om deze oververhitting te voorkomen.

Treinen in Nederland werken op een spanning van 1,5 kV. Ze hebben de mogelijkheid om op de motor te remmen. Hierbij wekken ze elektrische energie op die wordt teruggeleverd aan de bovenleiding. De trein wordt dan een spanningsbron. Een voorop liggende trein kan hiervan gebruikmaken.

e Pas je schakelschema van opdracht b aan zodat de trein het dichtst bij de bron afremt.

P 66 Willem Einthoven

Willem Einthoven was een Nederlandse arts en onderzoeker (figuur 51). In 1924 kreeg hij de Nobelprijs voor Fysiologie of Geneeskunde, omdat hij een slim meetinstrument had ontworpen voor onderzoek aan het hart. Hij wist dat het hart elektrische spanningspulsjes maakt en dat die aan de buitenkant van het lichaam ook leiden tot kleine elektrische spanningen. Die zijn echter in de orde van millivolts. Bovendien variëren de spanningen snel. De metingen die daaraan in zijn tijd konden worden gedaan, waren zeer onnauwkeurig.



figuur 51 Willem Einthoven.

Einthovens nieuwe 'cardiograaf' was veel nauwkeuriger. Wat hij nodig had, was een heel dun en flexibel geleidend draadje. Als daar stroompjes door lopen en je houdt het draadje in een magneetveld, dan wordt er een kracht op uitgeoefend die afhangt van de grootte van de stroom. Daardoor voert het draadje een beweging uit die met behulp van een microscoop zichtbaar is te maken.

Einthoven had een slimme manier bedacht om flexibele geleidende draadjes te maken. Hij bevestigde een druppel vloeibaar glas aan een pijl. Door de pijl met een boog weg te schieten, kreeg hij een lange glasdraad van 2 µm dik. Daar nam hij een klein stukje van en daar dampte hij een laagje zilver of goud op.

a Leg uit waarom Einthoven als geleidende materialen voor zilver en goud koos.

b Noem twee ontwerpeisen waaraan het draadje van Einthoven moest voldoen.

Ga ervan uit dat het laagje zilver op een glasdraadje 0,5 µm dik is. De diameter van de glaskern is 2,0 µm. Het draadje heeft een lengte van 2,5 cm.

c Bereken de weerstand van deze zilverdraad met niet-geleidende glaskern.

d Bereken de grootte van de stroompjes die door de draad lopen als de grootte van de spanningen rond 1 mV ligt.

Tegenwoordig maken onderzoekers gebruik van materialen die supergeleidend zijn: ze hebben onder een bepaalde temperatuur helemaal geen elektrische weerstand meer. Ze maken van deze materialen een supergeleidend lusje waardoor een kleine stroom loopt. Dat lusje brengen ze buiten het lichaam in de buurt van bijvoorbeeld de hersenen. Als in de hersenen een kleine spanning ontstaat, dan wekt deze spanning in dit lusje een extra stroom op. Hierdoor verliest het materiaal z'n supergeleidende eigenschappen. De onderzoekers meten de spanning over een deel van het lusje.

e Leg uit hoe de onderzoekers hiermee zeer kleine spanningen in het lichaam kunnen meten.

BEREID JE VOOR OP DE TOETS

BOEK

- ☐ Neem 'Onthoud' door.
- ☐ Maak de eindopdrachten.
- ☐ Maak de opdrachten die je lastig vond nog een keer.
- ☐ Bestudeer de voorbeeldopdrachten.

BEREID JE ONLINE VOOR OP DE TOETS

ONLINE

- ☐ Test de basis met Test jezelf.
- ☐ Oefen de begrippen met Flitskaarten.
- ☐ Maak de oefentoets.



WERKEN

ZONNEPANELEN VOOR IN DE RUIMTE

Rob van Hassel is Business Director Solar Arrays bij Airbus Netherlands. Hij studeerde in de jaren tachtig Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek in Delft en ging daarna aan de slag bij Fokker Vliegtuigen. “En daar zit ik nu nog.”

Vanaf het moment dat Fokker midden jaren negentig ophield te bestaan, opereerden Van Hassel en collega’s onder verschillende vlaggen en sinds 2006 onder die van Airbus. Hij heeft altijd gewerkt aan zonnepanelen voor gebruik in de ruimtevaart. Eerst werkte hij als vliegtuigbouwkundig ingenieur met een structurele, mechanische invalshoek. Daarna maakte hij kennis met de elektrische en thermische aspecten. Vervolgens werkte hij als systeemingenieur, waarbij hij verantwoordelijk werd voor het hele systeem waarin de zonnepanelen moeten functioneren. Daarna maakte hij de overstap naar de verkoop. Na dertien jaar kreeg hij een leidinggevende functie, waarna hij weer terugkeerde naar de verkoop, maar nu met strategische componenten. In overleg met de ingenieurs zet hij ontwikkelpaden uit om in de toekomst de juiste producten aan de klanten te kunnen verkopen. “Die ontwikkeltrajecten zijn lang en complex. Als we nu verkeerde keuzen maken, dan zitten we over vijf jaar fout en staan we met lege handen.”

Lees het volledige interview uit het *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* online.

PRACTICA

ONLINE

Bij dit hoofdstuk horen practica, onderzoeken en ontwerpopdrachten. Deze staan online.

PRACTICA

De practica kun je zelfstandig uitvoeren of onder begeleiding van je docent.

PRACTICUM 1 De weerstand van niet-aangesloten apparaten
Is de weerstand van een apparaat die je bepaalt door het meten van de weerstand tussen de pennen van de stekker gelijk aan de weerstand die je berekent met het vermelde vermogen?

PRACTICUM 2 Het materiaal van een metalen draad bepalen
Van welk materiaal is een gegeven metalen draad gemaakt?

PRACTICUM 3 De vervangingsweerstand van serie- en parallelschakelingen
Hoe hangt de totale weerstand af van de manier waarop weerstanden zijn geschakeld (in serie of parallel)?

ONDERZOEKEN, ONTWERPEN EN MODELLEREN

OPEN ONDERZOEK De weerstand van potloodstrepen
Een potloodstreep geleidt elektrische stroom. Zou de theorie over weerstand die is opgesteld voor stroomdraden ook werken voor dunne, smalle laagjes grafiet?

ANTWOORDEN

Hier vind je de numerieke antwoorden op de vragen in het boek. De volledige uitwerkingen staan in het uitwerkingenboek.

1 BEWEGINGEN BESCHRIJVEN

2 **b** 5 m
c −5 m
5 10,4 km
6 **a** 20 ms
11 **a** 9,0 m/s
b 4,7 m/s
d 12,8 m/s
13 **b** 0,083 m/s
c 0,80 m/s
15 **a** 9,0 m/s
b 7,5 m/s
18 **a** $2{,}3 \cdot 10^{-6}$ s
c $1{,}2 \cdot 10^{2}$ m
h 140 km/h
20 **b** 97 km/h
c 87 km/h
24 **c** $-3{,}9$ m s^{-1}
27 **a** $5 \cdot 10^{1}$ m^2
b 6 m
c $5 \cdot 10^{1}$ m^2
d 44,0 m^2
31 **b** 8,3 m s^{-1}
32 **b** $3 \cdot 10^{1}$ m^2
36 **a** $-0{,}25$ m s^{-2}
b 2,5 s
37 **b** $a_1 = 5{,}0$ m s^{-2}
$a_2 = 0{,}0$ m s^{-2}
$a_3 = -20$ m s^{-2}
38 **b** $-0{,}21$ m s^{-2}
39 **a** 4,9 m s^{-1}
b 2,5 m s^{-1}
41 **a** 14 m s^{-1}
b $-0{,}67$ m s^{-2}
44 **b** $-4{,}5 \cdot 10^{2}$ m s^{-2}
48 **a** 2,9 m
b 20 m
c 99 m
49 **a** 1,6 m
b 0,88 m
c 1,8 m s^{-1}
50 **c** 20 m
51 **a** 25 m
b 1,5 m s^{-1}
e 0,70 m s^{-1}
53 **a** 6,8 m
55 **b** 862 m
58 **a** $4 \cdot 10^{2}$ m
d $1{,}6 \cdot 10^{2}$ m
59 **a** 22 m
61 0,95 m s^{-2}
63 **b** 10,00 km h^{-1}
64 **b** 40 km
e 40 km
f $-5{,}6$ m s^{-1}
66 **f** 1,7 m s^{-2}
h 11 m s^{-1}

2 KRACHT EN BEWEGING

3 **a** $-5{,}6 \cdot 10^{4}$ N
b $1{,}9 \cdot 10^{6}$ N
4 **b** $2 \cdot 10^{1}$ N
5 **b** $6{,}0 \cdot 10^{-5}$ N
6 50 s
7 **a** $-4{,}5 \cdot 10^{3}$ N
b 40 m
c 60 m
d 59 km h^{-1}
8 $3{,}8 \cdot 10^{2}$ N
12 **a** 32 kN
14 $4{,}5 \cdot 10^{4}$ N; 90°
15 330 N
16 50 N
17 **a** 192 N
b 174 N
c 144 N
19 **c** $0{,}40 \cdot 10^{-3}$ kg (= 0,40 g)
22 **a** $1{,}3 \cdot 10^{2}$ N
b $1{,}3 \cdot 10^{2}$ N
23 5,6 MN
27 **b** $F_{z,}\perp = 3{,}8 \cdot 10^{2}$ N
$F_{z,}\parallel = 0{,}82 \cdot 10^{2}$ N
30 **a** 386 N
34 **c** 0,51
35 **a** 1,1
b $7{,}4 \cdot 10^{4}$ N m^{-1}
36 **a** $2{,}7 \cdot 10^{7}$ N
b $3{,}3 \cdot 10^{6}$ N
37 **b** $1 \cdot 10^{2}$ N
39 18°
40 **c** 13 m s^{-1}
41 **c** $3 \cdot 10^{-7}$ N m^{-1}
42 12 kg
49 **c** $3 \cdot 10^{1}$ N s^2 m^{-2}
53 **c** 2 N
d 0,9 N
54 **a** $-5{,}3$ m s^{-2}
b 1,3 N
55 **a** $3{,}3 \cdot 10^{2}$ N
56 **a** 0,14 m s^{-2}
57 **a** 190 N
b 185 N
c 10,2 kg

3 ENERGIEOMZETTINGEN

2 **a** 1,6 N m
b 9,8 N m
3 **b** $1{,}7 \cdot 10^{4}$ N m
d $-2{,}0 \cdot 10^{3}$ N m
5 **a** 49 N m
b $6{,}8 \cdot 10^{6}$ N m
6 **a** $1{,}90 \cdot 10^{8}$ N m
b $15{,}1 \cdot 10^{3}$ kg
7 **a** 17 N
b 98 N m
8 **a** $1{,}0 \cdot 10^{3}$ N m
12 **a** 13 m s^{-1}
13 **a** 11 kN
b $6{,}1 \cdot 10^{2}$ m
c $-1{,}4 \cdot 10^{5}$ N
14 **b** 14 m s^{-1}
c 28 m s^{-1}
15 **a** $7{,}9 \cdot 10^{3}$ N
b 49 m
17 4,0 m s^{-1}
18 6,1 kN

19 $6{,}0 \cdot 10^{2}$ m

23 **a** 1,0 N m
b 4,0 N m
c 3,0 N m

24 **a** $6{,}0 \cdot 10^{2}$ N m^{-1}
b $1{,}1 \cdot 10^{2}$ N m

25 **a** $1{,}0 \cdot 10^{-2}$ N m
b $3{,}0 \cdot 10^{-2}$ N m

26 $1{,}7 \cdot 10^{2}$ N m

27 226 N m

28 **a** 44 N m

29 **a** $1{,}7 \cdot 10^{5}$ N

30 **a** 0,069 N m
b −0,0068 N m
c 0,062 N m
d 0,065 N m

31 **a** $6{,}0 \cdot 10^{-2}$ N m
b 0,24 N m

33 **a** 32 J
b 5,2 m
c 16 m s^{-1}

34 **a** 4,0 m s^{-1}

35 **b** 5,6 m
c 34 m

36 **a** 2,9 J
b 5,4 m s^{-1}

37 **a** 4,1 m s^{-1}
b 14 m s^{-1}

40 20 m s^{-1}

41 **d** 1,12 keer

42 $7{,}5 \cdot 10^{5}$ J

43 $2{,}7 \cdot 10^{3}$ A

44 5,4 km

45 **a** $33 \cdot 10^{6}$ J
b $44 \cdot 10^{6}$ J

46 6,8 s

47 **a** $1{,}68 \cdot 10^{7}$ J kg^{-1}
b 1,72 km

48 **a** 5,4 A

49 **a** 43,3 L
b $1{,}30 \cdot 10^{3}$ L

50 **a** $3{,}1 \cdot 10^{12}$ J
b 445 km

52 **a** 1,18 MJ
b $1{,}0 \cdot 10^{6}$ N

53 **a** 90%
b 10 J
c 76%
d 0,60 N
e 69%

55 **a** 41%
b 29 MJ

56 **a** 1,1 °C

57 67%

58 **a** $8{,}3 \cdot 10^{6}$ J

60 **b** 12,4 W
c $8{,}1 \cdot 10^{5}$ J

61 **b** $1{,}07 \cdot 10^{3}$ W

62 **b** 85%
c $1{,}9 \cdot 10^{2}$ J

63 **a** 97 W

64 **a** 9,4 m s^{-1}
b $0{,}5 \cdot 10^{2}$ W

65 **a** $300 \cdot 10^{6}$ J
b $5{,}0 \cdot 10^{6}$ W
c $5{,}6 \cdot 10^{6}$ W

68 **a** 1,6 kN
b 0,23
c 38%

70 **d** 23 km h^{-1}
f 64%

71 **b** 7,0 cm
c $5{,}0 \cdot 10^{2}$ N m^{-1}
d 0,63 N m

72 **a** $4 \cdot 10^{2}$ J
c $1 \cdot 10^{11}$ s
d $3 \cdot 10^{3}$ m^{3}

73 **c** 58%
d $1{,}6 \cdot 10^{2}$ m s^{-1}

74 **b** 9,1%
c 2 km h^{-1}
e 14 m

4 ELEKTRISCHE SYSTEMEN

3 **a** 15 C
b $1{,}4 \cdot 10^{2}$ J
c 2,3 W

4 **a** 0,473 kWh
b $1{,}70 \cdot 10^{6}$ J

5 **a** 3,91 A
b $4{,}7 \cdot 10^{2}$ C
c $1{,}1 \cdot 10^{5}$ J

6 **b** 0,15 kWh

7 **b** $1{,}1 \cdot 10^{2}$ kWh
d $9{,}0 \cdot 10^{1}$ kWh

8 **a** $2{,}4 \cdot 10^{-6}$ kWh
b 10 h
c 63%

9 **a** 6,6 J

10 **a** 0,50 ms
b 33 MV
c $0{,}99 \cdot 10^{12}$ W
d $4{,}3 \cdot 10^{9}$ A

13 **a** 3,4 Ω
b 0,66 W

16 **a** 53 Ω

17 **a** $2{,}0 \cdot 10^{2}$ W
c 2,4 min

18 **b** $3{,}6 \cdot 10^{2}$ keer zo groot

20 **a** $1{,}9 \cdot 10^{-5}$ A

21 **a** $3{,}0 \cdot 10^{-6}$ A

24 **a** 0,042 Ω
b 0,010 Ω

25 $2{,}0 \cdot 10^{-4}$ m (= 0,20 mm)

26 5,4 m

27 **b** 0,10 Ω
c $2{,}6 \cdot 10^{-3}$ m (= 2,6 mm)
d 7,4 m

28 **a** $4{,}5 \cdot 10^{-7}$ Ω m

31 1,1 mm

32 **a** 23 Ω
c 21 m

34 **a** 10,0 A
d 1,4 kW

35 **b** 22,8 V

37 **a** 2,0 A
b 1,5 A
c 1,3 A
d 1,3 A
e 1,2 A

38 **a** U_1 = 17 V
U_2 = 20 V
U_3 = 20 V
I_1 = 1,7 A
I_2 = 1,0 A
I_3 = 0,67 A
b 37 V

40 R_4, R_5 en R_6 = 1,0 A
R_2 = 3,0 A
R_1 en R_3 = 4,0 A

41 $2 \cdot 10^{10}$ s (= 620 jaar)

43 121,6 Ω

45 **a** twee in serie: R_{tot} = 20 Ω
drie in serie: R_{tot} = 30 Ω
n in serie: $R_{tot} = n \cdot 10$ Ω
b twee parallel = 5,0 Ω
drie parallel = 3,3 Ω
n parallel = $\frac{10}{n}$ Ω

48 **a** 65,0 Ω
b 3,1 Ω

52 **d** 3,7 Ω

e 0,88 m

55 **a** 4,2 V

b 5 lux

56 **a** 3,4 V

b 90 lux

58 **c** $3{,}0 \cdot 10^2$ Ω

62 **c** ongeveer 0,03 Ω

63 **d** 64 Ω

f 4,4 W

64 **a** $1{,}73 \cdot 10^3$ A

b 0,26 Ω

c 0,12%

66 **c** 0,1 μA

REGISTER

A

aardlekschakelaar 218
afgelegde weg s 13
analogie 56
arbeid W 132

B

basisgrootheden 31

C

chemische energie E_{ch} 162
computermodel 109

D

diode 235

E

eenheid 30
eenparig versnelde of vertraagde beweging 40
eenparige rechtlijnige beweging 21
eerste wet van Newton 79
elektrisch vermogen P 196
elektrische energie E_{el} 162
elementaire lading 209
extrapoleren 24

G

geleider 209
gemiddelde snelheid v_{gem} 21
gemiddelde versnelling a_{gem} 40
gesloten systeem 154
grondeenheden 31
grootheid 30

I

interpoleren 24
ionen 209
isolator 210
iteratief proces 111
itereren 111

K

kinetische energie E_k 154
kop-staartmethode 86
kortsluiting 205

L

LDR 233
led 235
luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ 103

M

mechanische energie 154
modelleercyclus 57
modelregels 111

N

normaalkracht F_N 100
NTC 233
nuttige energie E_{nuttig} 170

O

ohmse weerstand 204
ontbinden van een kracht 92

P

parallellogrammethode 86
parallelschakeling 216
plaats x 12
potentiële energie 154
PTC 232

R

raaklijn 22
rekenstap 111
rendement η 170
resultante 85
resulterende kracht F_{res} 79
rolweerstandskracht 102

S

scalaire grootheden 84
schatting 61
schuifwrijvingskracht $F_{w,s}$ 102
serieschakeling 216
significant cijfer 32
snelheid op een bepaald moment $v(t)$ 22
snelheid 20
soortelijke weerstand ρ 210
spanning U 195
spanningsbron 195
spanningsdeling 217
stapgrootte 110
startwaarden 111
stookwaarde r 126
stopvoorwaarde 112
stralingsenergie 168
stroomdeling 216
stroomsterkte I 194

T

traagheid 78
trendlijn 23
tweede wet van Newton 79

V

valversnelling g 43
vectorgrootheid 84
veerenergie E_v 154
veerunster 101
vermogen P 174
verplaatsing Δx 12
versnelling a 40
vervangingsweerstand 224
verwarmingselement 210
vrij elektron 209
vrije val 43

W

warmte Q 168
weerstand R 202
wet van behoud van energie 154
wet van Hooke 101
wetenschappelijke notatie 35

Z

zekering 218
zwaarte-energie E_z 154

COLOFON

ONTWERP BINNENWERK

Kimmic concept & design

ONTWERP OMSLAG

Kimmic concept & design

OPMAAK

Crius Group

AUTEURS

Hans van Bemmel
Lodewijk Koopman
Eva Struick

EINDREDACTIE

Claud Biemans, frontlinie.nl

BEELDRESEARCH

BenU International Picture Service, Amsterdam
Roel Kooister Verbeeldingskracht, Amsterdam (omslagbeeld, hoofdstukopeningsbeelden)

FOTO'S EN ILLUSTRATIES

© 2008-2024 CERN: pag. 191 (3); 123RF, joseelias: pag. 214 (12); ANP / AP Photo, Andrew A. Nelles: pag. 182; ANP / Science Photo Library, Drs A. Yazdani & D.J. Hornbaker: pag. 209 (8); ANP / Science Photo Library, Martyn F. Chillmaid: pag. 13 (3), 175; ANP / Science Photo Library, Susumu Nishinaga: pag. 102 (29); ANP / Science Photo Library, US National Library of Medicine: pag. 242; ANP, Berlinda van Dam: pag. 128 (b); ANP, Henry Nicholls / AFP: pag. 188-189; ANP, Koen van Weel: pag. 9 (2); ANP, Luuk van der Lee: pag. 152 (14); ANP, Vincent Jannink: pag. 70; Cito / CvTE (natuurkunde examen VWO 2021, 3e tijdvak): pag. 121 (42-44), 122 (45); Edwin Verbaal / Verbaal Visuele Communicatie, Nijmegen: pag. 9 (1), 15, 18, 19 (10), 21 (12), 23 (16, 17), 24, 25 (20), 26, 38, 44, 46, 47, 53 (42), 54 (43), 55 (45), 57, 65, 66, 85 (3a), 96 (20), 114, 115, 116 (38), 117, 122 (46), 123, 133, 134; Erik Eshuis Infographics, Groningen: pag. 13 (4), 14 (6), 19 (9), 20, 21 (13), 22 (14, 15), 25 (19), 27, 28, 34, 36, 43 (27, 28), 45 (31-33), 48, 49, 50, 51, 52, 53 (41), 54 (44), 55 (46), 58, 69, 77 (1), 82 (2), 85 (5), 86 (6, 7), 87 (8, 9), 88, 89, 90, 91 (13, 14), 93, 94, 95, 96 (19), 97 (22, 23), 98, 100 (25a, 25b), 101 (26, 27), 104 (31), 107, 111, 113, 116 (37), 119, 121 (41), 128 (1), 129, 130, 145, 146, 147, 148 (8), 151 (12, 13), 152 (15a), 160, 168, 180, 184, 185, 190 (1), 195 (1), 196, 197, 205 (6b), 209 (7), 211, 214 (11), 215, 216, 221 (19, 20), 222 (21, 22), 223, 224, 225 (25-27), 226, 227, 230 (32, 33), 231, 232 (35, 36), 233 (37-39), 235 (40, 41), 237 (42), 238 (44-46), 239 (47, 48); Getty Images, Pablo Blazquez Dominguez: pag. 164; Getty Images, Phil Walter / Staf: pag. 72-73; Getty Images, Silverwell Films: pag. 67; Getty Images, Westend61: pag. 6-7; Imageselect / Alamy Stock Photo, John Stillwell / PA Images: pag. 158; Imageselect / Alamy Stock Photo, PCN Photography: pag. 139; Imageselect / All Canada Photos, Barrett&MacKay Photo: pag. 85 (4a); Imageselect / Imago, Rolf Kosecki: pag. 14 (5); Imageselect / Science Source, Ted Kinsman: pag. 43 (29); Instituut-Lorentz, Universiteit Leiden: pag. 96 (21); iStockphoto / Getty Images, Hispanolistic: pag. 186; Marieke de Boer: pag. 244; Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: pag. 102 (28); Shutterstock, ABCDstock: pag. 190 (b); Shutterstock, AVC Photo Studio: pag. 75 (3); Shutterstock, B Calkins: pag. 228; Shutterstock, Bert e Boer: pag. 124; Shutterstock, Diego Barbieri: pag. 144; Shutterstock, Everett Collection: pag. 75 (2); Shutterstock, Evgeny_V: pag. 126-127; Shutterstock, Hsyn20: pag. 205 (6a); Shutterstock, Ilin Sergey: pag. 159; Shutterstock, Jaren Jai Wicklund: pag. 82 (1); Shutterstock, maratr: pag. 92; Shutterstock, McCarthy's PhotoWorks: pag. 167; Shutterstock, NavinTar: pag. 161; Shutterstock, New Africa: pag. 153;

Shutterstock, Petr Bonek: pag. 74 (1); Shutterstock, Piyorot.s: pag. 190 (2); Shutterstock, Reshetnikov_art: pag. 8; Shutterstock, Roman Zaiets: pag. 77 (2); Shutterstock, Schippers: pag. 104 (30); Shutterstock, Take Photo: pag. 74 (b); Shutterstock, Timothy OLeary: pag. 195 (2); Shutterstock, Tomasz Trojanowski: pag. 148 (9); Shutterstock, Viktor Chursin: pag. 218; Shutterstock, vimpro: pag. 241; Shutterstock, WaitForLight: pag. 240; Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam: pag. 10, 11, 100 (25c), 131, 152 (15b), 156, 193 (1, 2), 210, 217, 220; Stichting Cito / CvTE (natuurkunde examen VWO 2010, 2e tijdvak): pag. 237 (43); Westenergie AG (foto 2014): pag. 191 (4).

Omslag: Getty Images / koiguo

ISBN 978 94 020 8496 2
Release 3.0, tweede oplage

MALMBERG

MIX
Papier | Ondersteunt verantwoord bosbeheer
FSC® C172387
FSC www.fsc.org

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

© Malmberg, 's-Hertogenbosch

Ondanks vele inspanningen is het de uitgever misschien niet gelukt alle rechthebbenden te achterhalen. Wie denkt rechthebbende te zijn, kan zich wenden tot de uitgever.

Eindredactie
Claud Biemans, Frontlinie

Auteurs
Hans van Bemmel
Lodewijk Koopman
Eva Struick

Nova voor de bovenbouw vwo/gymnasium bestaat uit vier boeken. Een boek voor klas 4, een voor klas 5 en een voor klas 6. Daarnaast is er een apart boek voor de keuzeonderwerpen en vaardigheden.

▼



▲

Keuze & Vaardigheden: bij natuurkunde kies je twee keuzeonderwerpen uit vier. Alle keuzeonderwerpen staan in dit boek, net als een beschrijving van de belangrijkste vaardigheden. Handig als naslagwerk: bewaar dit boek dus goed.

MAX

Je mag dit boek houden. Handig als naslagwerk.

Je mag in dit boek schrijven en aantekeningen maken.

Je hebt ook toegang tot de online leeromgeving.

Release 3.0

MIX
Papier | Ondersteunt verantwoord bosbeheer
FSC® C172387
www.fsc.org

ISBN 978 94 020 8496 2

606240-02

MALMBERG