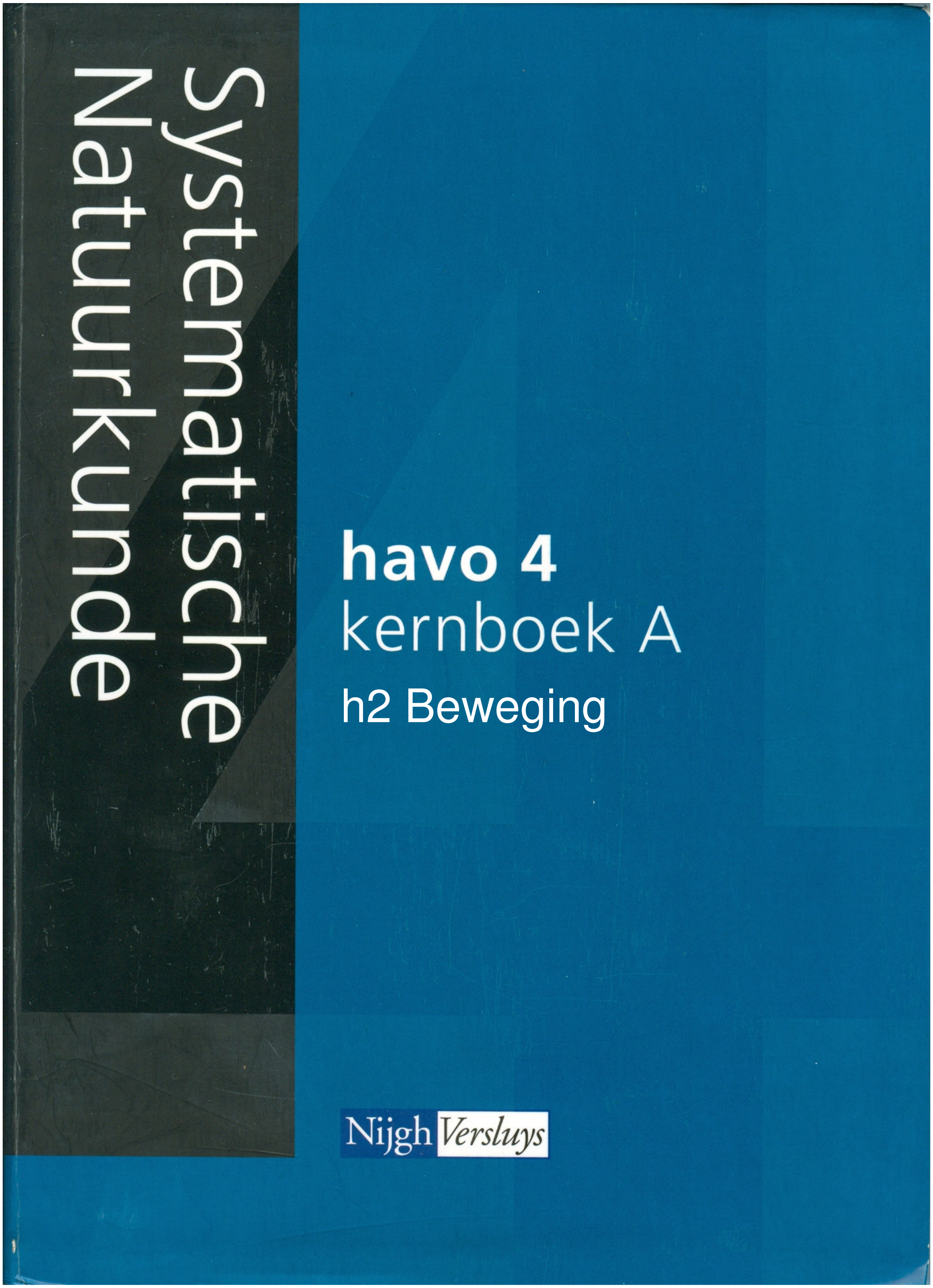

Systematische
Natuurkunde
havo 4
kernboek A
h2 Beweging
Nijgh Versluys

Al het materiaal over het hoofdstuk <u>beweging</u> vind je ook op it's learning!
Inhoud:
1. Wat je uit je hoofd moet leren.
2. Formules die je moet kunnen gebruiken.
3. Theorie en opgaven
4. Uitkomsten van rekenopgaven.

Bij dit boek hoort een Werkboek en een Uitwerkingenboek.

1. Wat je uit je hoofd moet leren:

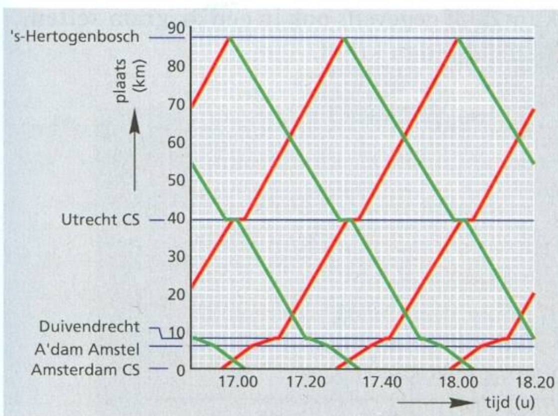
1	**t**	tijd	**s**	seconde
2	**Δt**	(Spreek uit als: delta t) verandering van tijd tijd-verschil	**s**	seconde
3	**s of s(t)**	afstand of verplaatsing	**m**	meter
4	**Δs**	verandering van afstand afstand-verschil	**m**	meter
5	**v**	snelheid	**m/s of ms^{-1}**	meter per seconde
6	**Δv**	verandering van snelheid snelheids-toename snelheids-afname	**m/s of ms^{-1}**	meter per seconde
7	**v_{gem}**	gemiddelde snelheid	**m/s of ms^{-1}**	meter per seconde
8	**a**	versnelling	**m/s^2 of ms^{-2}**	meter per seconde kwadraat
9	**g**	Valversnelling (9,81 m/s^2)	**m/s^2 of ms^{-2}**	meter per seconde kwadraat
10	**a.** De grafiek van een eerste graads functie (bijv. y=2x+3) is een rechte lijn. **b.** De grafiek van een tweede graads functie (bijv. y=3x^2+5) is een parabool.			
11	De richtingscoefficient (r.c.) of steilheid van een grafiek bepaal je met Δy/Δx			
12	Eenparige beweging: **a.** Een beweging met constante snelheid. **b.** De afstand-tijd grafiek is een rechte lijn. **c.** De snelheid-tijd grafiek loopt horizontaal.			
13	Eenparig versnelde beweging: **a.** Een beweging met constante versnelling. **b.** De snelheid verandert gelijkmatig. **c.** De afstand-tijd grafiek is een parabool. **d.** De snelheid-tijd grafiek is een rechte lijn.			
14	De **snelheid** bepaal je uit de afstand-tijd grafiek met de **r.c.**			
15	De **afstand** bepaal je uit de snelheid-tijd grafiek met de **oppervlakte**			

2. Formules uit je BasisBINAS die je moet kunnen gebruiken:

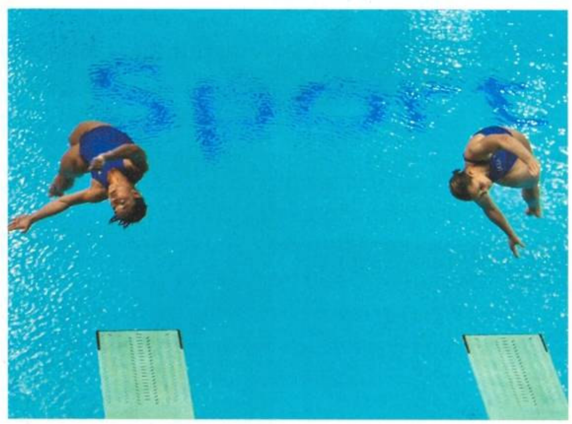
Verplaatsing bij eenparige beweging:	$s(t) = v.t$
verplaatsing bij willekeurige beweging:	$s(t) = v_{gem}.t$
gemiddelde snelheid:	$v_{gem} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$
gemiddelde versnelling:	$a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$
versnelde beweging zonder beginsnelheid:	$s(t) = \dfrac{1}{2} at^2$

Op deze weg is de maximumsnelheid 120 km/h. De snelheid kan op allerlei manieren gecontroleerd worden. Hoe meet men de snelheid? Hoe groot is de onderlinge snelheid tussen de auto's?
Een veilige afstand kun je vaststellen met de twee-secondenregel. Hoe betrouwbaar is die regel?

Het koningsnummer bij de atletiek: de 100 m sprint. Hoe groot is de snelheid van de sprinter na 10 m, na 20 m enz? Wat is de gemiddelde snelheid? Hoe moet de race worden opgebouwd om de beste, dus de kortste tijd te scoren?



Om bewegingen overzichtelijk weer te geven kun je diagrammen maken. Hier zie je de treinen tussen 's-Hertogenbosch en Amsterdam CS weergegeven in een (plaats, tijd)-diagram. Hoeveel treinen rijden er per uur? Hoe groot is hun gemiddelde snelheid? Als je van Amsterdam CS naar 's-Hertogenbosch rijdt, hoeveel treinen kom je dan tegen? Hoe lang sta je stil op Utrecht CS?



Onder invloed van de zwaartekracht vallen deze schoonspringers naar beneden. Met welke snelheid komen zij aan bij het wateroppervlak? Als je van een toren springt, die twee keer zo hoog is, hoeveel keer zo groot is dan de snelheid waarmee je op het water terechtkomt? Waarvan hangt de snelheid waarmee je in het water terechtkomt nog meer af?

2.1 Onderzoek naar bewegingen

Op alle verkeerswegen geldt voor auto's en scooters een maximumsnelheid. De politie heeft als taak te controleren of iedereen zich aan de maximumsnelheid houdt.

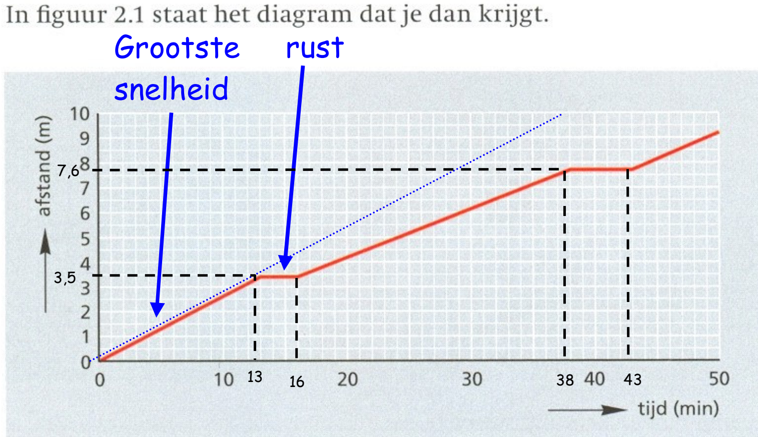
Bij onderzoek naar middelen om de verkeersveiligheid te vergroten zoals veiligheidsgordels, valhelmen en airbags, worden botsingsproeven gedaan. Daarbij is het belangrijk om nauwkeurig vast te leggen hoe de beweging van het voertuig en de passagiers verandert tijdens een botsing. In de sport wordt veel onderzoek gedaan naar bewegingen. Bij sporten zoals wielrennen en atletiek zijn daardoor de records de laatste jaren sterk verbeterd.
In deze paragraaf ga je kijken naar de methoden die worden gebruikt bij het onderzoeken van bewegingen en welke apparaten daarvoor worden gebruikt.

Stel, je maakt iedere dag dezelfde tocht. Je wilt weten hoe de tocht verloopt en hoe hard je gemiddeld fietst. Als je een fietscomputer hebt, kun je dit onderzoeken. Onderweg noteer je, iedere keer als je even stil staat, de tijd en de afstand. Van die gegevens maak je een tabel. In tabel 2.1 staat een voorbeeld. Je kunt deze gegevens ook in een diagram zetten. In figuur 2.1 staat het diagram dat je dan krijgt.

13

tijd (min)	afstand (km)
0	0,0
13	3,4
16	3,4
38	7,7
43	7,7
50	9,2

Tabel 2.1



Figuur 2.1

Het diagram in figuur 2.1 geeft overzichtelijk weer hoe je fietstocht verliep. De grootheden afstand en tijd spelen hierin een belangrijke rol. Het is gebruikelijk om de tijd horizontaal te zetten.

Bij je fietstocht heb je de tijd op de minuut nauwkeurig afgelezen. Bij hardloop-, zwem- en schaatswedstrijden wordt de tijd tot in honderdsten van een seconde gemeten. Veel bewegingen veranderen zo snel dat het noodzakelijk is om op heel veel tijdstippen heel nauwkeurig de tijd en de plaats te bepalen. Alleen dan is het mogelijk om uit de verkregen meetresultaten zinnige conclusies te trekken.

Enkele apparaten die gebruikt worden bij het onderzoek naar bewegingen zijn de stroboscoop, de videocamera in combinatie met de computer en de plaatssensor. Natuurlijk kan vaak ook gewoon een meetlint en een stopwatch gebruikt worden.

Practicum

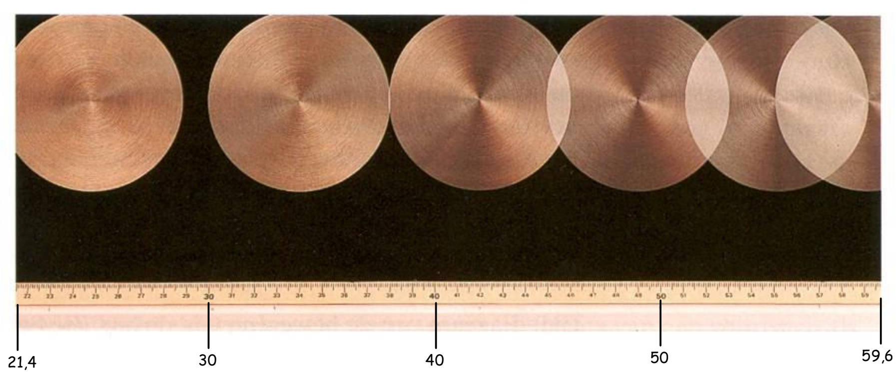
Snelheden van voertuigen
Bedenk een handige manier om met een stopwatch en bijvoorbeeld een meetlint de snelheid van verkeersvoertuigen zoals een fiets, een scooter en een auto te bepalen. Bepaal op een redelijke drukke weg van zoveel mogelijk fietsen, scooters en auto's de snelheid. Ga na of iedereen zich aan de maximumsnelheid houdt.

Stroboscoop en stroboscopische foto

Figuur 2.2

Een stroboscoop (figuur 2.2) is een lamp die in een vast ritme zeer kortdurende lichtflitsen uitzendt. Het aantal flitsen per seconde kun je instellen. Fotografeer je een bewegend voorwerp bij stroboscopische belichting, dan moet de sluiter van het fototoestel open blijven staan. Bij iedere flits wordt dan een beeld van het voorwerp vastgelegd. Zo ontstaat een foto met meerdere beeldjes van het voorwerp. Dit heet een *stroboscopische foto*. In figuur 2.3 staat een stroboscopische foto van een bewegende schijf.

Figuur 2.3



Je ziet dat er ook een liniaal op de foto staat. Dat is nodig om te bepalen hoe groot de afstanden in werkelijkheid zijn. Verder moet bekend zijn hoeveel flitsen per seconde de stroboscoop tijdens het maken van de foto gaf. Zo is te bepalen hoeveel tijd tussen twee beeldjes verstrijkt. Met deze gegevens is het mogelijk meer informatie te krijgen over de beweging van het voorwerp.

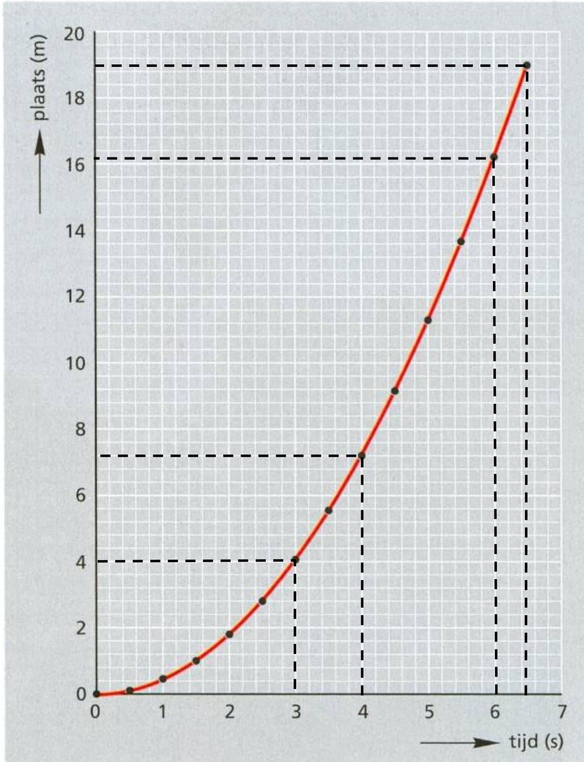
De videocamera in combinatie met de computer (videometen)

Videometen is een meetmethode waarbij je gebruik maakt van een digitale video-opname van het bewegende voorwerp. Een dergelijke opname bestaat uit een flink aantal afzonderlijke beeldjes van het voorwerp. Je laat de computer de digitale video-opname eerst inlezen. Met een speciaal computerprogramma breng je vervolgens elk beeldje afzonderlijk in beeld. Op elk beeldje markeer je dan steeds een bepaald onderdeel van het voorwerp waarvan je de beweging wilt onderzoeken. Als het bewegende voorwerp een auto is, dan markeer je bijvoorbeeld steeds de koplamp. De computer legt dan van elk beeldje twee dingen vast: de plaats van het gemarkeerde punt en het tijdstip van het betreffende beeldje. Met deze opgeslagen gegevens kun je de computer vervolgens van allerlei dingen laten doen. Bijvoorbeeld een (plaats, tijd)-diagram laten maken.

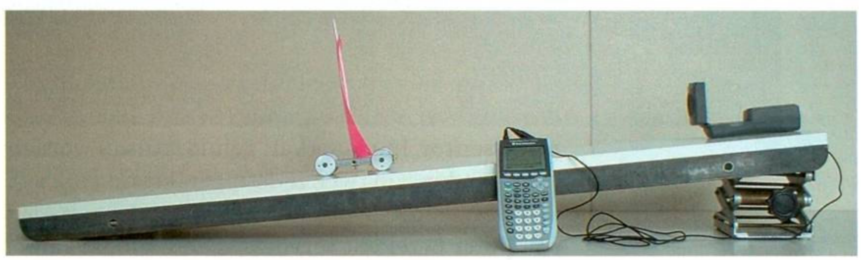
Figuur 2.4

In figuur 2.4 zie je de schermuitvoer van een programma dat voor videometen wordt gebruikt. Je ziet een beeldje van de film. De bus is aan het optrekken. Je ziet ook een aantal stippen in het beeldje staan. Dat zijn de posities die in de vorige beeldjes zijn aangegeven. We noemen dit een *spoor*. Ook zie je een maatlat waarboven de lengte van de bus staat. Om de werkelijke afstanden te kunnen bepalen, moet altijd van minstens één afgebeeld voorwerp de lengte bekend zijn. Het is niet altijd nodig dat in alle beeldjes de positie wordt aangegeven. In dit voorbeeld zijn per seconde slechts 2 beeldjes gebruikt. Het programma maakt vervolgens een (plaats, tijd)-diagram van de beweging van de bus. Zie figuur 2.5.

Figuur 2.5



De ultrasone plaatssensor



Figuur 2.6 De beweging van een karretje dat een helling afrijdt, wordt vastgelegd met een ultrasone plaatssensor. De gegevens worden verwerkt door een grafische rekenmachine.

Met een ultrasone plaatssensor kun je de plaats van een voorwerp een groot aantal keren snel achter elkaar bepalen. Het werkt als volgt. In het apparaat zit een zender van ultrasoon geluid en een ontvanger. De frequentie van ultrasoon geluid is zo hoog dat het menselijk oor het niet kan waarnemen. De zender zendt kortdurende pulsen uit. Zo'n puls verplaatst zich met de geluidssnelheid naar een voorwerp. Dat voorwerp kaatst de ultrasone geluidspuls terug. De ontvanger, die ook in de plaatssensor zit, vangt de teruggekaatste puls weer op. De sensor registreert de tijd die verstreken is en slaat die op. Uit de verstreken tijd en de geluidssnelheid wordt vervolgens de afstand tussen sensor en voorwerp berekend. Enkele tienden van een seconde na de eerste puls wordt er weer een puls uitgezonden en herhaalt zich het proces. Dit proces kan enkele honderden malen herhaald worden. Op die manier is de plaats van een voorwerp als

functie van de tijd vast te leggen. De gegevens kunnen door een grafische rekenmachine of door een computer worden verwerkt. Bijvoorbeeld tot een (plaats, tijd)-diagram.
De tijd tussen het zenden van twee opeenvolgende pulsen mag niet kleiner zijn dan de tijd tussen het zenden van een puls en het opvangen van dezelfde puls. Kun jij bedenken waarom niet?

De lasergun

Figuur 2.7

De politie gebruikt de lasergun bij snelheidscontroles. Zie figuur 2.7. De werking van een lasergun is te vergelijken met die van een ultrasone plaatssensor. In plaats van geluidspulsen worden pulsen infrarode straling uitgezonden. Op twee tijdstippen kort na elkaar, enkele tienden van een seconde, wordt de plaats van het voertuig vastgelegd. De ingebouwde computer berekent vervolgens de snelheid van het voertuig. Het tijdsverschil tussen vertrek en aankomst van een puls is veel kleiner dan bij het gebruik van ultrasoon geluid. Infrarode straling plant zich met de snelheid van het licht voort. De lichtsnelheid is veel groter dan de geluidssnelheid. De snelheid van geluid in lucht bij 20 °C is $3{,}43 \cdot 10^2$ m/s, die van infrarode straling is $3{,}00 \cdot 10^8$ m/s.

De radar

Radar is de afkorting van 'Radio Detection And Ranging' (opsporing en plaatsbepaling met radiogolven). Op de werking ervan gaan we hier niet in. Een radar zendt pulsen *elektromagnetische straling* uit. Licht, infrarode straling en radiogolven zijn allemaal elektromagnetische straling. Ook de radar wordt gebruikt om van auto's de snelheid te bepalen. De kast met de radar erin, de flitspaal, wordt langs de weg geplaatst. Zie figuur 2.8. Automobilisten die te hard rijden, worden gefotografeerd en krijgen een bekeuring.

Figuur 2.8

Vragen

1 Schrijf de natuurkundige grootheden op die bij een beweging belangrijk zijn.

2 a Beschrijf hoe je een stroboscopische foto van een bewegend voorwerp maakt.
  b Welke gegevens heb je nodig hebt om de snelheid van het voorwerp te bepalen?

3 Beschrijf de werking van een ultrasone plaatssensor.

4 Beschrijf hoe de hieronder genoemde apparaten gebruikt kunnen worden om informatie over de beweging van een voorwerp te krijgen.
  a videocamera
  b lasergun

5 Wat is de betekenis van het spoor bij een videometing?

6 Geef een belangrijk voordeel van het gebruik van de computer bij videometen.

Opgaven

7 a Hoe kun je in figuur 2.4 zien dat de bus steeds sneller gaat?
b Hoe kun je dat aan de (plaats, tijd)-grafiek in figuur 2.5 zien?

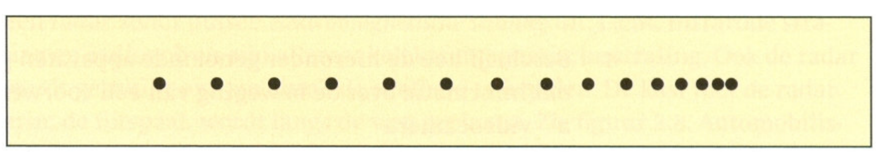
8 In tabel 2.1 zie je de tabel van de afstand tegen de tijd van de beweging van een fietser. In figuur 2.1 staat het diagram dat erbij hoort.
a De fietser stopt onderweg twee keer. Hoe zie je dit aan de grafiek in figuur 2.1?
b Bepaal zonder berekening met behulp van de grafiek in figuur 2.1 tussen welke tijdstippen de fietser het hoogste tempo aanhoudt.
c Controleer je antwoord op vraag 8b met behulp van een berekening.

9 In figuur 2.3 zie je een stroboscopische foto. De schijf is zes keer afgebeeld. De stroboscoop geeft 25 flitsen per seconde.
a Bepaal hoeveel tijd er zit tussen het eerste en het laatste beeldje.
Het gedeelte van de meetlat dat op de foto staat, begint bij 21,5 cm en eindigt bij 59,7 cm.
b Bepaal zo nauwkeurig mogelijk de afstand die de schijf tussen de eerste en vierde flits aflegt.

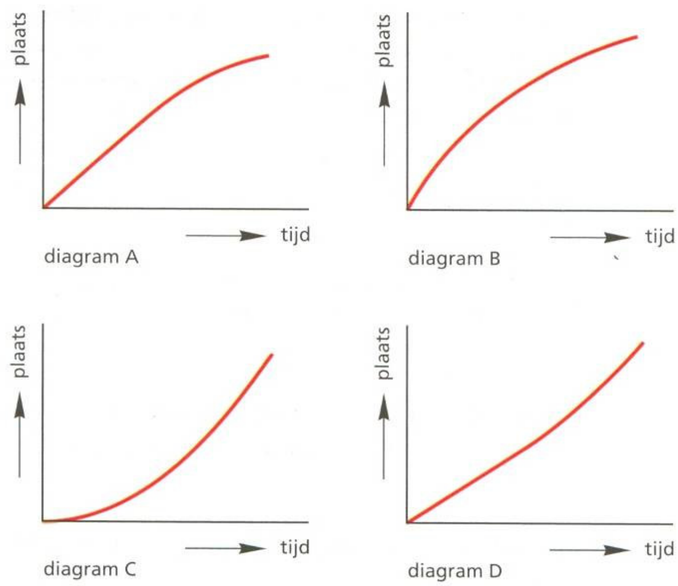
10 Met behulp van een digitale fotocamera die de mogelijkheid heeft om videofilmpjes te maken, worden korte filmpjes van een draaiende witte schijf gemaakt. De camera maakt 30 beeldjes per seconde. Op de schijf zit op 20 cm van het draaipunt een zwarte stip. Beredeneer hoe de zwarte stip op het videofilmpje lijkt te bewegen als het aantal omwentelingen per seconde dat de schijf maakt, gelijk is aan:
a 30
b 60
c 15
d 31
e 29

11 In figuur 2.9 zie je het een spoor van de beweging van een auto. De auto beweegt van links naar rechts. Het spoor is gemaakt met behulp van een videometing. In figuur 2.10 staan vier (plaats, tijd)-diagrammen. Welk diagram hoort bij deze videometing? Licht je antwoord toe.

Figuur 2.9



Figuur 2.10a t/m d



12 Een ultrasone plaatssensor staat op enige afstand van een voorwerp. De temperatuur van de lucht is 20 °C. Het tijdsverschil tussen het moment van uitzenden en ontvangen van een puls bedraagt $6{,}81 \cdot 10^{-3}$ s.

a Bereken de afstand tussen de plaatssensor en het voorwerp.

Een lasergun wordt op een auto gericht. De afstand tussen de lasergun en de auto is 40 m.

b Bereken hoeveel tijd er zit tussen het uitzenden en het weer opvangen van een infrarood puls door de lasergun.

2.2 Eenparige beweging

Op veel autowegen wordt trajectcontrole toegepast. Zie figuur 2.11. Bij trajectcontrole wordt over een afstand van enkele kilometers de *gemiddelde snelheid* van alle passerende auto's bepaald.

Figuur 2.11 Op veel autowegen wordt trajectcontrole toegepast.

Symbolen leren:

t = tijd
Δ = (delta) = verschil
Δt = tijdverschil
s = afstand
Δs = verplaatsing
v = snelheid
v_{gem} = gemiddelde snelheid

Aan het begin van het traject maakt een infraroodcamera een foto van het kenteken van de auto. Het tijdstip waarop de auto passeert, wordt vastgelegd. De foto wordt in het geheugen van een computer opgeslagen. Aan het eind van het traject wordt weer bepaald op welk tijdstip de auto passeert. De computer gaat aan het rekenen en bepaalt vervolgens uit de afstand en de tijd, de gemiddelde snelheid van de auto. Als deze gemiddelde snelheid te hoog is, wordt de foto van het kenteken verzonden naar het Centraal Justitieel Incasso Bureau. De eigenaar van de betreffende auto krijgt vervolgens een bekeuring thuis gestuurd.
Wat hebben de grootheden afstand, tijd, snelheid en gemiddelde snelheid met elkaar te maken? Dat ga je in deze paragraaf onderzoeken.

De eenparig rechtlijnige beweging

In figuur 2.12 zie je een beeldje van een videofilm. Het filmpje is gemaakt met een digitale fotocamera. De camera maakt 10 beeldjes per seconde. De lengte van de auto is in het beeldje af te lezen. Deze lengte is gebruikt om de werkelijke afstanden te kunnen bepalen. De plaatsen van de voorkant van de auto in de voorafgaande beeldjes, zijn met stippen aangegeven. Duidelijk is te zien dat de afstand tussen de stippen gelijk blijft.

tijd (s)	plaats (m)
0,00	0,0
0,10	0,7
0,20	1,4
0,30	2,1
0,40	2,8
0,50	3,5
0,60	4,2
0,70	4,9
0,80	5,6
0,90	6,3

Tabel 2.2

In tabel 2.2 van de plaats tegen tijd van beweging van deze auto. De waarden in deze tabel zijn berekend met behulp van een computerprogramma dat voor het videometen is gebruikt. Om er achter te komen of de snelheid van deze auto verandert, wordt voor een aantal tijdsintervallen de gemiddelde snelheid bepaald. De afstand waarover een voertuig zich in een bepaalde tijd verplaatst, wordt in de natuurkunde aangeduid met *verplaatsing*. Voor de gemiddelde snelheid geldt dan:

$$\text{gemiddelde snelheid} = \frac{\text{verplaatsing}}{\text{benodigde tijd}}$$

$\boxed{v_{gem} = \Delta s/\Delta t}$

Deze formule wordt ook wel met symbolen geschreven. Het symbool voor snelheid is *v* van het Latijnse velocitas dat snelheid betekent. Het symbool

Vb: Tussen 10 en 12 uur loopt de km-teller op van 2000 naar 2040 km. Bereken de gemiddelde snelheid.
$v_{gem} = \Delta s/\Delta t = 40km/2h = 20\ km/h$

voor tijd is t en het symbool voor een tijdsinterval is Δt. Het symbool Δ is de Griekse hoofdletter D en spreek je uit als delta. Het symbool Δ wordt in de natuurkunde gebruikt om een verandering aan te geven. Het symbool voor plaats is **s** en het symbool voor de verplaatsing in een tijdsinterval is Δ**s**.

Daarmee wordt de formule dus:

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

Voor de verplaatsing geldt dan:

$$\Delta s = v_{gem} \cdot \Delta t \quad \text{waarin } \Delta s = s \quad - s \quad \text{en } \Delta t = t \quad - t$$

We bepalen nu een aantal malen voor verschillende tijdsintervallen de gemiddelde snelheid van de auto. We geven daarbij aan om welk tijdsinterval het gaat.
De gemiddelde snelheid berekenen we met:

$$v_{gem}(t_{begin} \Rightarrow t_{eind}) = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_{eind} - s_{begin}}{t_{eind} - t_{begin}}$$

Voor de derde en vijfde stip geldt:

$$v_{gem}(0{,}20 \Rightarrow 0{,}40) = \frac{(2{,}8-1{,}4)}{(0{,}40-0{,}20)} = 7{,}0 \text{ m/s}$$

Voor de vijfde en zevende stip geldt:

$$v_{gem}(0{,}40 \Rightarrow 0{,}60) = \frac{(4{,}2-2{,}8)}{(0{,}60-0{,}40)} = 7{,}0 \text{ m/s}$$

Voor de zevende en tiende geldt:

$$v_{gem}(0{,}60 \Rightarrow 0{,}90) = \frac{(6{,}3-4{,}2)}{(0{,}90-0{,}60)} = 7{,}0 \text{ m/s}$$

Je ziet dat de gemiddelde snelheid van de auto niet verandert en dus niet afhangt van het gekozen tijdsinterval. Omdat de beweging van de auto niet verandert, kunnen we hier spreken van de *snelheid* van de auto. De auto voert een beweging langs een rechte lijn uit en de snelheid van de auto is constant. Dit noem je een *eenparig rechtlijnige beweging*.

Het (plaats, tijd)-diagram

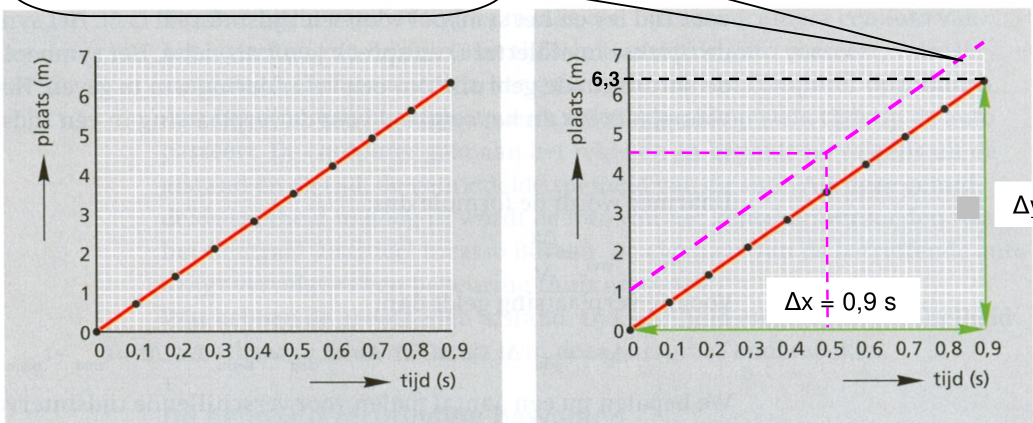
In figuur 2.13a is het (plaats, tijd)-diagram of (x,t)-diagram van de beweging van de auto weergegeven. Het assenstelsel is zo gekozen dat $x(0) = 0$ m. De (plaats, tijd)-grafiek is daardoor een schuin oplopende rechte die in de oorsprong begint. De steilheid van deze rechte is de snelheid van de auto. Het functievoorschrift dat bij deze grafiek hoort is:

$$s(t) = v.t$$

Vb: Je rijdt 0,9 s lang met 7 m/s. Bereken de afstand.
s(t) = v.t = 7 . 0.9 = 6.3 m

Snelheid = steilheid = Δy/ Δx =
(4,5 – 1)m/0,5s = 3,5m/0,5s =7 m/s
Beide lijnen lopen even steil.
De snelheid is hetzelfde!

Figuur 2.13a en 2.13b



De steilheid bepaal je uit de verhouding van p en q. Zie figuur 2.13b.
Na aflezen krijg je dan:

$$\text{steilheid} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{p}{q} = \frac{6,3}{0,90} = 7,0 \text{ m/s}$$

Snelheid = steilheid of r.c.

Practicum

Het (plaats, tijd)-diagram van een wandelaar

In speelgoed winkels kun je sieraden kopen met knipperende LED's. Ook zijn in fietswinkels setjes te koop met knipperende LED's. In plaats van een stroboscopische foto kun je ook een foto maken van een wandelaar die een knipperende LED draagt en met constante snelheid loopt. Op de foto moet ook een voorwerp komen te staan waarvan de lengte bekend is. De foto moet gemaakt worden in een ruimte met weinig licht. Het beste is een digitale fotocamera te gebruiken. De sluitertijd moet enkele seconden zijn. Verder moet je nog een manier verzinnen om te bepalen hoeveel flitsjes per seconde de gebruikte LED geeft. Heb je een digitale foto gemaakt, dan kun je, als je de foto overgezet hebt naar de computer, de positie van de beeldjes op de foto opmeten met behulp van een tekenprogramma. Verwerk de gegevens in een (plaats, tijd)-diagram en bepaal de snelheid van de wandelaar.

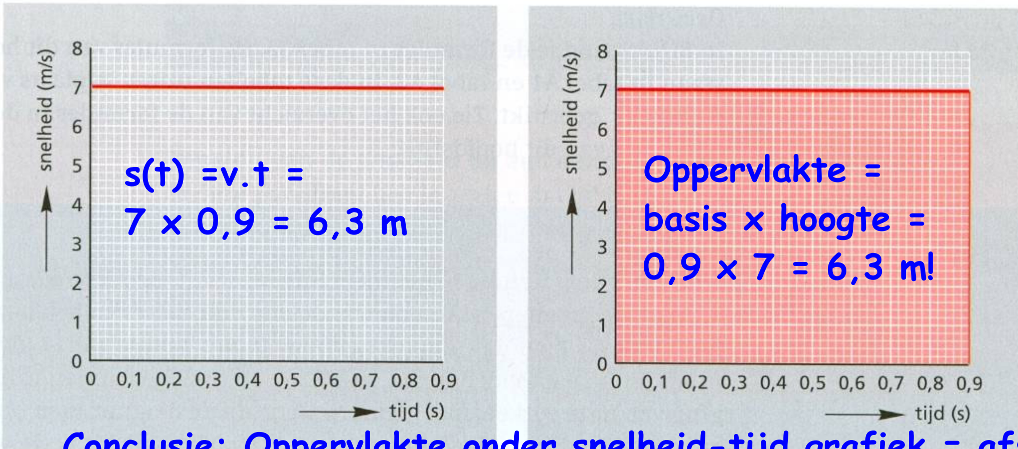
Het (snelheid, tijd)-diagram

In figuur 2.14a is het (snelheid, tijd)-diagram van de auto uit figuur 2.12 weergegeven. Omdat de snelheid niet verandert, is de grafiek van de snelheid tegen de tijd een rechte evenwijdig aan de tijdsas. In figuur 2.14b is het diagram nog eens weergegeven. In dit diagram is de oppervlakte onder de (snelheid, tijd)-grafiek gearceerd. Het is een rechthoek. Voor de oppervlakte van deze rechthoek geldt:

$$\text{oppervlakte} = \text{lengte} \times \text{hoogte} = 0,90 \times 7,0 = 6,3 \text{ m}$$

Op $t = 0,90$ s is de $\Delta \mathbf{s} = \mathbf{s}(0,90) - \mathbf{s}(0) = 6,3$ m. Zie tabel 2.2. De verplaatsing is dus gelijk aan de oppervlakte onder de (snelheid, tijd)-grafiek. Het op deze wijze bepalen van de verplaatsing noemen we de *oppervlaktemethode*.

Figuur 2.14a en 2.14b



Conclusie: Oppervlakte onder snelheid-tijd grafiek = afstand!

ONTHOUD:

Van kilometer per uur naar meter per seconde

In het dagelijkse leven wordt vaak de snelheid gegeven in de eenheid kilometer per uur (km/h). Bij het vak natuurkunde gebruik je altijd meter per seconde (m/s). Het is verstandig om de omrekening van kilometer per uur naar meter per seconde uit je hoofd te leren.

$$1\ \text{km/h} = \frac{1000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = \frac{1}{3{,}6}\ \text{m/s} = 0{,}278\ \text{m/s}$$

dus: 54 km/h = 54.000m/3600s = 15 m/s

Samenvatting

– De *gemiddelde snelheid* bereken je met:

$$\text{gemiddelde snelheid} = \frac{\text{verplaatsing}}{\text{benodigde tijd}}$$

In formulevorm:

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

– Een *eenparig rechtlijnige beweging* is een beweging in een rechte lijn met constante snelheid.
Als $s(0) = 0$ m is de (plaats, tijd)-grafiek of (x,t)-grafiek een schuin oplopende rechte lijn die in de oorsprong begint. De steilheid van deze lijn geeft de snelheid. Het functievoorschrift ervan is:

s(t) = v.t
s(t) is de afstand in m
v is de snelheid in m/s
t is de tijd in s

– Bij een *eenparig rechtlijnige beweging* is de (snelheid,tijd)-grafiek of (v,t)-grafiek een rechte lijn evenwijdig aan de tijdas. De oppervlakte onder de (v,t)-grafiek is gelijk aan de verplaatsing.

Opmerking
In BINAS vind je de formules in tabel 35. De formules van dit hoofdstuk staan in tabel A1 en tabel A3. In deze tabellen wordt in plaats van Δx vaak de letter s gebruikt. Zie ook het overzicht van de formules in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk.

Practicum

Videometen
Maak met een digitale fotocamera (of videocamera) korte filmpjes van verkeersdeelnemers zoals een wandelaar, een fietser en een auto. Zet deze filmpjes over naar de computer en maak, met behulp van een computerprogramma voor videometen, de (plaats, tijd)-diagrammen van de beweging van deze verkeersdeelnemers. Gebruik de diagrammen om na te gaan welke verkeersdeelnemers met constante snelheid bewegen.
Bepaal van deze verkeersdeelnemers de snelheid.

Vragen

13 Wat is een eenparige beweging?

14 Een voorwerp beweegt eenparig langs een rechte lijn. Je maakt een foto waarbij het bewegende voorwerp stroboscopisch wordt belicht.
Wat valt je dan op aan de beeldjes op de foto?

15 Waarom kun je bij een eenparige beweging spreken van de snelheid in plaats van de gemiddelde snelheid?

16 a Hoe kun je in een (plaats, tijd)-diagram zien dat een beweging eenparig is?
b Hoe zie je in het (plaats, tijd)-diagram of er sprake is van een hoge of een lage snelheid?

17 Schets in een (snelheid, tijd)-diagram de grafiek van een eenparige beweging.

18 Wat is de betekenis van de oppervlakte onder de grafiek tussen 0,20 s en 0,50 s in het (snelheid, tijd)-diagram van figuur 2.14a?

19 Hoe bepaal je de steilheid van een (plaats, tijd)-grafiek van een eenparige beweging?

20 Geef de formule voor de plaats bij een eenparige beweging.

21 Hoe reken je kilometers per uur in meters per seconde om?

22 Wat wordt bedoeld met het symbool Δ?

Opgaven

Grafische rekenmachine

Bepalen van de snelheid bij een eenparig rechtlijnige beweging.
In deze paragraaf heb je gezien dat bij bewegingen de gegevens over plaats en snelheid vaak in diagrammen uitgezet worden. Dat kan ook met behulp van de grafische rekenmachine (GR). In opgave 1 van paragraaf 3.6 van het hulpboek laten we zien, hoe je de grafische rekenmachine kunt gebruiken om de resultaten van metingen aan een eenparig rechtlijnige beweging te verwerken.

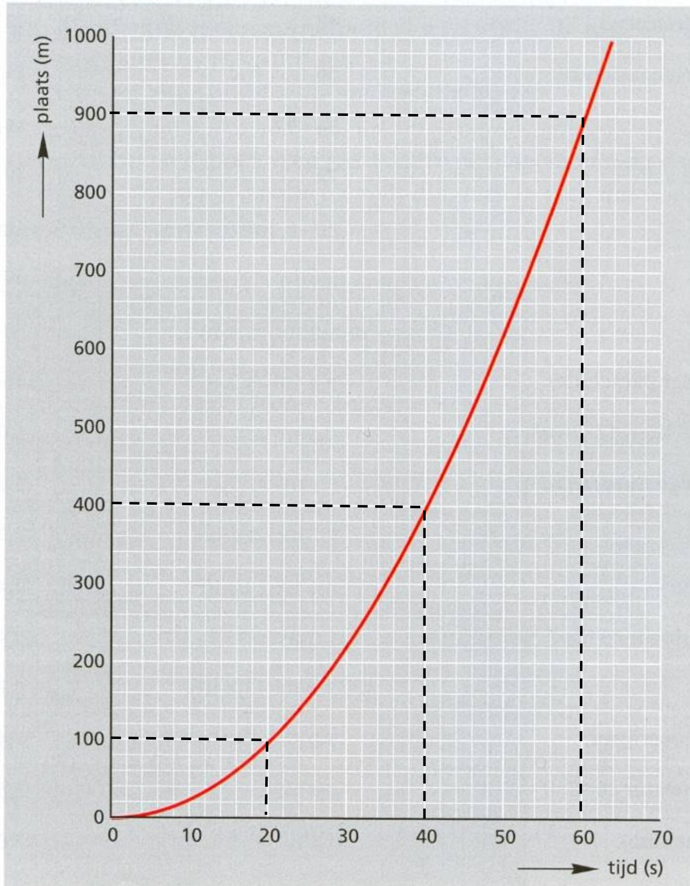
23 Op 1 augustus 2004 lukte het Ellen van der Horst om met een gestroomlijnde ligfiets in 1,0 uur 68,97 km af te leggen. Bereken haar gemiddelde snelheid in m/s.

24 Een Franse hogesnelheidstrein vertrekt van een station. In figuur 2.15 zie je het (plaats, tijd)-diagram van de eerste kilometer van de rit.

a Bepaal de gemiddelde snelheid tussen $t = 0$ s en $t = 20$ s in m/s.

b Bepaal de gemiddelde snelheid tussen $t = 40$ s en $t = 60$ s in m/s.

Figuur 2.15



25a.
$s(t)=v.t$
$1 = 100.t$
$t = 1/100 =$
$= \underline{0{,}01\ h}$
$= 0{,}01 \cdot 3600$
$= \underline{36\ s}$

25 Op de Zeelandbrug wordt trajectcontrole toegepast. Over een afstand van 5,0 km wordt de gemiddelde snelheid van alle auto's bepaald. Een auto rijdt de eerste 1,0 km met een constante snelheid van 100 km/h en de volgende 4,0 km met een constante snelheid van 80 km/h.
a Bereken hoeveel tijd de auto nodig heeft voor de eerste 1,0 km.
b Bereken hoeveel tijd de auto nodig heeft voor de volgende 4,0 km.
c Bereken welke gemiddelde snelheid in km/h de computer registreert.

26 Tabel 2.3 geeft een overzicht van snelheden van mensen, dieren, voorwerpen etc.
a Bereken hoeveel seconde licht nodig heeft voor de afstand die de snelste trein van Europa (TGV) in 12 uur aflegt.

omschrijving	snelheid (km/h)	snelheid (m/s)
slak	0,010 – 0,47	0,0028 – 0,013
schildpad	0,21 – 0,47	0,058 – 0,13
mens (fietsend)	12 – 25	3,3 – 6,9
mens (wandelend)	3 – 5	1 – 1,5
dolfijn	36 – 72	10 – 20
de snelste mens (rennend)	43	12
de snelste mens (schaatsend)	50	14
konijn	54 – 72	15 – 20
het snelste paard	72	20
auto op snelweg	$80 - 1{,}2 \cdot 10^2$	22 – 33
de snelste vogel	$2{,}9 \cdot 10^2$	80
tennisbal	$1{,}8 \cdot 10^2 - 2{,}5 \cdot 10^2$	50 – 70
parachutist(zonder parachute)	$2{,}0 \cdot 10^2 - 2{,}7 \cdot 10^2$	56 – 76
race auto (BMW 6 liter, 12 cilinder)	$3{,}6 \cdot 10^2$	$1{,}0 \cdot 10^2$
de snelste trein van Europa (TGV)	$5{,}1 \cdot 10^2$	$1{,}4 \cdot 10^2$
kogel	$7{,}7 \cdot 10^2 - 5{,}4 \cdot 10^3$	$2{,}0 \cdot 10^2 - 1{,}5 \cdot 10^3$
verkeersvliegtuig	$8{,}6 \cdot 10^2 - 9{,}4 \cdot 10^2$	$2{,}4 \cdot 10^2 - 2{,}6 \cdot 10^2$
geluidssnelheid (lucht 20 °C)	$1{,}2 \cdot 10^3$	$3{,}4 \cdot 10^2$
straaljager	$3{,}3 \cdot 10^3 - 3{,}5 \cdot 10^3$	$9{,}2 \cdot 10^2 - 9{,}8 \cdot 10^2$
spaceshuttle (bij opstijgen)	$5{,}0 \cdot 10^3$	$1{,}4 \cdot 10^3$
geluidssnelheid (water 20 °C)	$5{,}4 \cdot 10^3$	$1{,}5 \cdot 10^3$
lichtsnelheid (vacuüm)	$1{,}1 \cdot 10^9$	$3{,}0 \cdot 10^8$

Tabel 2.3

b Bereken hoe lang het zonlicht er over doet om de aarde te bereiken. Aanwijzing: Zoek in BINAS op (met behulp van het register achterin) hoe groot de afstand van de aarde tot de zon is.

Een verkeersvliegtuig doet over de afstand New York-Amsterdam 6 uur en 15 minuten. Het vliegt met de hoogste snelheid die voor een verkeersvliegtuig in tabel 2.3 is gegeven.

c Bereken hoeveel dagen een cruiseschip over deze afstand doet als het constant met 18 knopen kan blijven varen. 1 knoop = 1,85 km/h.

d Bereken hoeveel dagen een wandelaar over deze afstand doet. Neem weer de hoogste waarde die in de tabel staat.

27 Tijdens een onweer constateer je een tijdsverschil van 6,0 s tussen het zien van een bliksem en het hierna horen van de donder.

a Zie tabel 2.3. Verklaar het tijdsverschil tussen de lichtflits en de donder.

b Bereken hoever het onweer van je vandaan is. Verwaarloos de tijd die het licht nodig heeft voor deze afstand.

28 Fietsend leg je een bepaalde afstand af in 30 minuten. De eerste helft van die tijd rijd je met een snelheid van 25 km/h, de rest van die tijd met een snelheid van 15 km/h.

a Bereken de totale afstand die je aflegt.

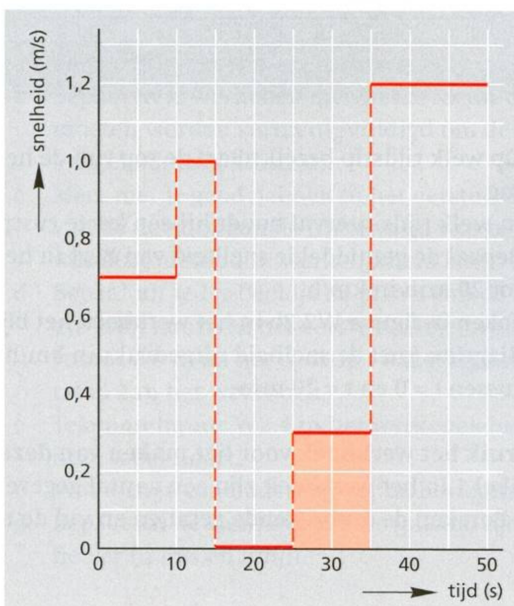
b Bereken je gemiddelde snelheid in km/h.

Een klasgenoot legt op de fiets dezelfde afstand af. Hij rijdt de eerste helft van die afstand met een snelheid van 25 km/h, de rest van die afstand met een snelheid van 15 km/h.

c Bereken zijn gemiddelde snelheid in km/h.

29 **Gebruik het werkboek voor het beantwoorden van vraag d van deze opgave.**
In figuur 2.16 is een (snelheid, tijd)-diagram te zien dat hoort bij een rechtlijnige beweging.

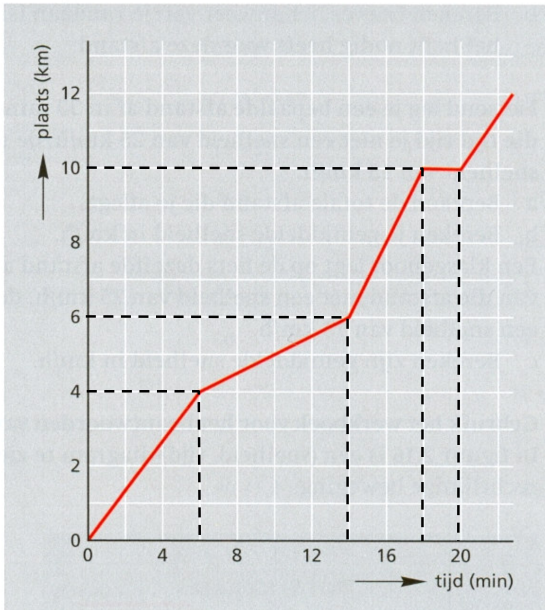
Figuur 2.16



a Waarom is een dergelijk verloop van de snelheid in werkelijkheid niet mogelijk?
b Welke betekenis heeft de oppervlakte van de donkere rechthoek?
c Bepaal de afstand die in 50 s is afgelegd.
d Teken in het werkboek in figuur W2.1b het bijbehorende (plaats, tijd)-diagram.

30 **Gebruik het werkboek voor het beantwoorden van vraag d van deze opgave.**
Op zijn racefiets beweegt Bert zich zwoegend voort over een lange, rechte weg. Deze weg voert hem over een heuvel. In figuur 2.17 zie je een diagram waarin (voor een klein gedeelte van de rit) de plaats is uitgezet als functie van de tijd.

Figuur 2.17

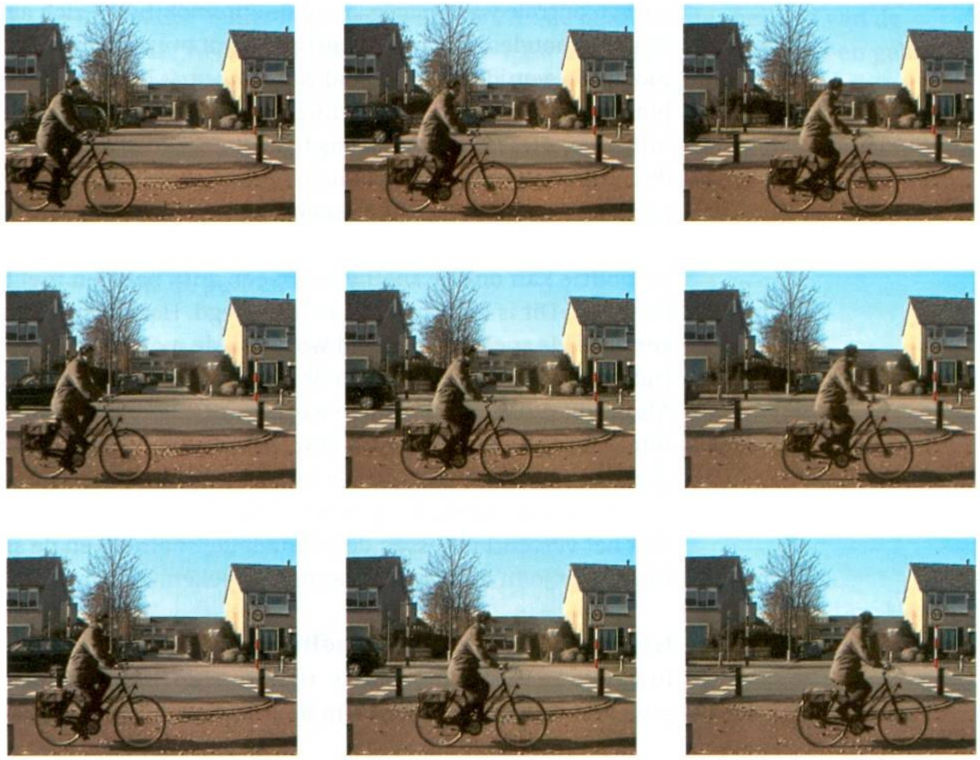


a Op welk tijdstip bereikt Bert de top van de heuvel? Licht je antwoord toe.
b In welk tijdsinterval houdt hij een korte rustpauze?
c Bepaal de gemiddelde snelheid van Bert in het tijdsinterval van 0 min tot 20 min in km/h.
d Teken in figuur W2.2b in het werkboek het bijbehorend (snelheid, tijd)-diagram (met de snelheid uitgedrukt in km/h) voor het tijdsinterval tussen $t = 0$ en $t = 20$ min.

31 **Gebruik het werkboek voor het maken van deze opgave.**
In tabel 1 in het werkboek zijn een aantal gegevens opgenomen over een reis. Bereken de ontbrekende getallen en vul de tabel verder in.

32 **Gebruik het werkboek voor het beantwoorden van de vragen b t/m g van deze opgave.**
In figuur 2.18 zie je 9 beeldjes van een videofilmpje van een fietser. Het filmpje is gemaakt met een digitale videocamera. De videocamera maakt 25 beeldjes per seconde. De afstand tussen de voor- en achteras van de fiets is 115 cm.

Figuur 2.18



Beeldje 1, 2 en 3 — Beeldje 4, 5 en 6 — Beeldje 7, 8 en 9

a Bepaal hoeveel tijd er zit tussen het eerste en laatste beeldje.
b Bepaal in je werkboek met welke factor de afstanden in de beeldjes moeten worden vermenigvuldigd om de werkelijke afstanden te krijgen (de schaalfactor).
c Meet met je geodriehoek in het eerste beeldje de afstand van de vooras van de fiets tot aan de linkerrand van het eerste beeldje op. Bereken wat deze afstand in werkelijkheid is.
d Bepaal uit ieder beeldje de plaats van de vooras van de fiets en de tijd die erbij hoort. In het eerste beeldje neem je voor de plaats x van de vooras 0,0 m en het tijdstip t dat erbij hoort 0,0 s. Zet je resultaten in tabel 2 in het werkboek.
e Teken in figuur W2.4 in het werkboek het (plaats, tijd)-diagram dat bij deze tabel hoort.
f Wat kun je concluderen over de beweging van de fiets?
g Bepaal uit de steilheid van de (plaats, tijd)-grafiek de snelheid van de fietser in m/s en km/h.

2.3 Snelheid op een tijdstip

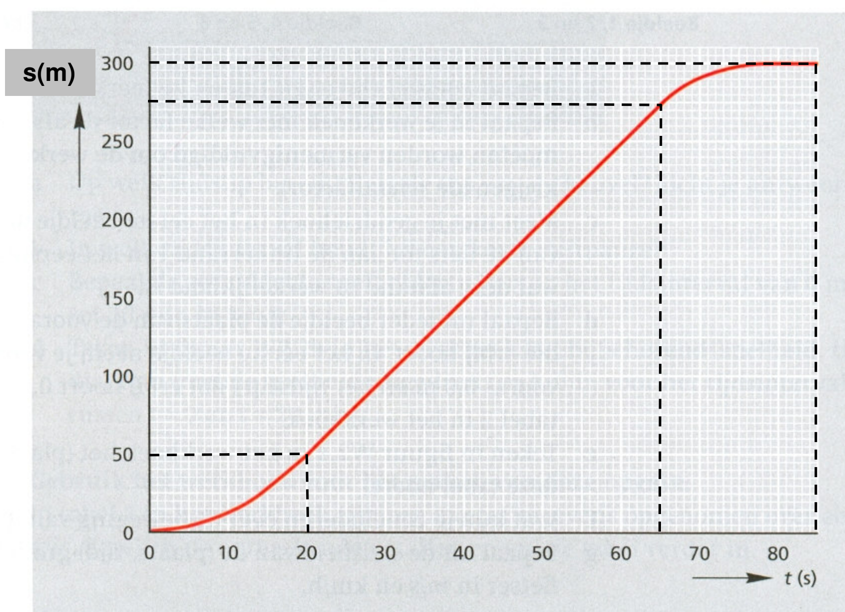
In paragraaf 2.1 is besproken hoe op sommige wegen met behulp van trajectcontrole werd nagegaan of de automobilisten zich aan de maximumsnelheid houden. Bij trajectcontrole wordt over een afstand van enkele kilometers de gemiddelde snelheid van alle auto's bepaald. Als een automobilist binnen het meettraject plotseling afremt, zal zijn gemiddelde snelheid lager uitkomen. Het is dan zelfs mogelijk dat daardoor vermeden kan worden dat de computer een te hoge snelheid registreert. Natuurlijk is het wel heel gevaarlijk om op een drukke snelweg plotseling langzamer te gaan rijden.

De politie kan ook de snelheid van een auto bepalen met behulp van een lasergun. Dit is in paragraaf 2.1 uitgelegd. Het tijdsinterval waarover de gemiddelde snelheid bepaald wordt bij de meting met een lasergun is de tijd tussen het uitzenden van de eerste meetpuls en de volgende meetpuls. Als er vijf pulsen per seconde worden uitgezonden, gaat het over een tijdsinterval van 0,20 s. Normaal gesproken verandert de snelheid van een voertuig in zo'n korte tijd niet of nauwelijks. De lasergun bepaalt bij benadering de snelheid op een tijdstip.
Wat het verschil is tussen de gemiddelde snelheid en de snelheid op een tijdstip ga je in deze paragraaf onderzoeken.

Nogmaals gemiddelde snelheid

In figuur 2.19 staat het (plaats, tijd)-diagram of (x,t)-diagram van de beweging van een fietser die op zijn fiets stapt en 300 m verderop een brief gaat

Figuur 2.19



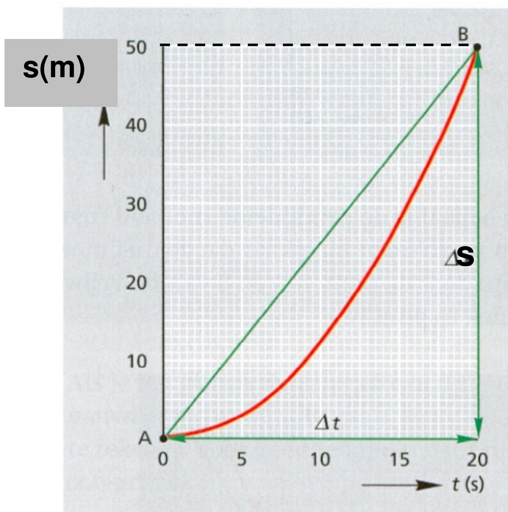
posten. Je kunt zien dat de snelheid van de fietser verandert. De grafiek is geen rechte lijn. In het begin gaat de grafiek steeds steiler lopen. Dit geeft aan dat de snelheid toeneemt. In de eerste 10 seconde legt hij maar ongeveer 12 m af en in de 10 s daarna al ongeveer 38 m. Dan fietst hij enige tijd met constante snelheid. De snelheid is dan 5,0 m/s (ga dit na!). Op 25 m afstand van de brievenbus remt hij af en 10 s later staat hij stil.

Stel dat je met behulp van figuur 2.19 de gemiddelde snelheid van de fietser in de eerste 20 s bepaalt. Je leest dan de plaats bij 20 s af en gebruikt dit om de gemiddelde snelheid te berekenen. Er geldt:

$$v_{\text{gem}}(0\ \text{s} \Rightarrow 20\ \text{s}) = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{50}{20} = 2{,}5\ \text{m/s}$$

In figuur 2.20 is een gedeelte van figuur 2.19 vergroot weergegeven.
De berekende gemiddelde snelheid is de steilheid van de rechte getrokken door de punten A en B.

Figuur 2.20



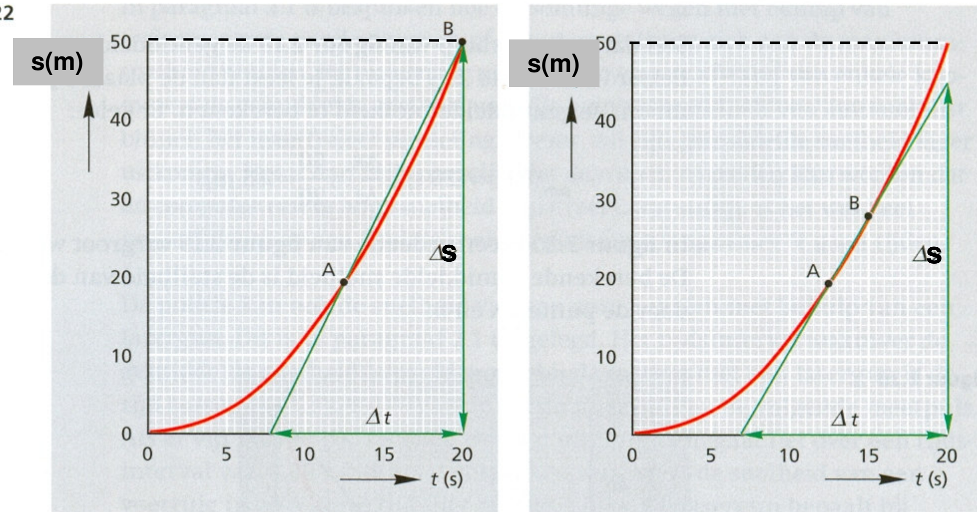
Snelheid op een tijdstip

Je hebt zojuist de *gemiddelde snelheid* van de fietser bepaald in de eerste 20 s van de rit. Maar hoe verloopt nu precies de snelheid van moment tot moment? Of: is het mogelijk met behulp van het (plaats, tijd)-diagram de *snelheid op een tijdstip* te bepalen?

Stel dat je wilt weten hoe groot de snelheid van de fietser is op het tijdstip $t = 12{,}5$ s. Je zou dan de gemiddelde snelheid kunnen bepalen in het tijdsinterval van 12,5 s tot 20 s. Zie figuur 2.21. De berekende gemiddelde snelheid is gelijk aan de steilheid van de rechte getrokken door de punten A en B in figuur 2.21.
Nu is te verwachten dat deze gemiddelde snelheid duidelijk groter zal zijn dan de snelheid op het tijdstip 12,5 s, want tot aan het tijdstip 20 s blijft de snelheid toenemen.

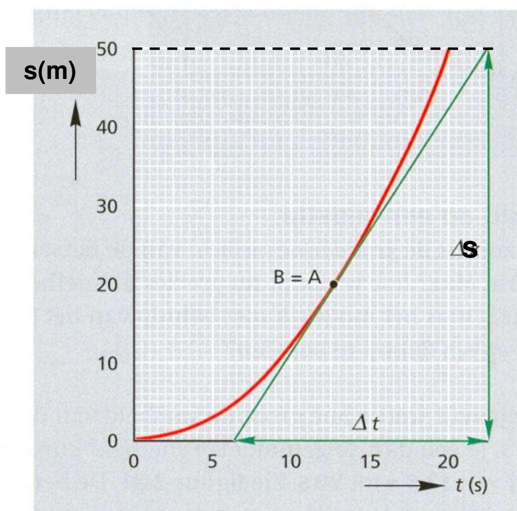
Je bepaalt daarom de gemiddelde snelheid tussen 12,5 s en 15 s. Zie figuur 2.22. Deze gemiddelde snelheid is gelijk aan de steilheid van de rechte getrokken door de punten A en B in figuur 2.22. Het verschil tussen deze gemiddelde snelheid en de snelheid op het tijdstip $t = 12{,}5$ s zal nu kleiner zijn dan in vorige voorbeeld.

Figuur 2.21 en 2.22



Vervolgens bepaal je de gemiddelde snelheid tussen 12,5 s en 12,6 s. Punt A en B komen nu zo dicht bij elkaar dat ze niet meer afzonderlijk zijn af te lezen. De lijn door de punten A en B valt nu vrijwel samen met de raaklijn aan de grafiek in punt A.

Figuur 2.23



De snelheid op het tijdstip $t = 12{,}5$ s is dus te vinden door de steilheid te bepalen van de raaklijn aan de (s,t)-grafiek op $t = 12{,}5$ s. Zie figuur 2.23.

Conclusie

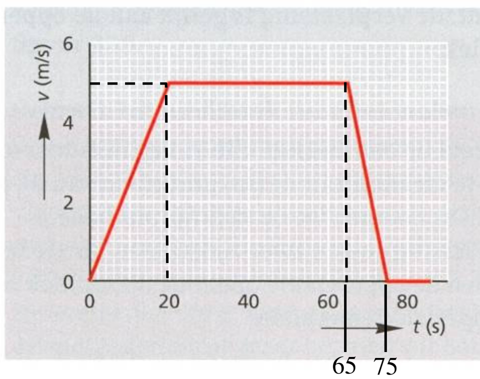
De snelheid op een tijdstip kun je bepalen door (op de juiste plaats) een raaklijn te trekken aan de (*s*,*t*)-grafiek en van de raaklijn de steilheid te bepalen. We noemen dit de *raaklijnmethode*.

Om de steilheid van de raaklijn zo nauwkeurig mogelijk te bepalen, neem je de 'steilheidsdriehoek' zo groot mogelijk. In figuur 2.23 is dit ook gedaan. Ga nu zelf na dat op tijdstip $t = 12{,}5$ s de snelheid van de fietser 3,2 m/s is.

Van (plaats, tijd)-diagram naar (snelheid, tijd)-diagram

Is een (plaats, tijd)-diagram gegeven, dan kun je met de raaklijnmethode een (snelheid, tijd)-diagram maken. Zie figuur 2.24. In deze figuur staat het (*v*,*t*)-diagram van de fietser zoals dit met de raaklijnmethode is afgeleid uit het (*x*,*t*)-diagram in figuur 2.20. Deze methode is wel tijdrovend als je het nauwkeurig wilt doen. Je moet een vrij groot aantal raaklijnen trekken en van al die raaklijnen de steilheid bepalen.

Figuur 2.24

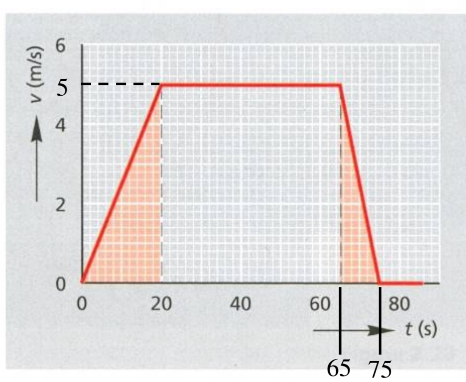


Als je het *globale verloop* van een (*v*,*t*)-grafiek wilt weten, hoef je niet zo nauwkeurig te werk te gaan. Het globale verloop van een (*v*,*t*)-grafiek is al te tekenen door goed te kijken naar het veranderen van de steilheid van de (*x*,*t*)-grafiek.

Van (snelheid, tijd)-diagram naar verplaatsing

Bij een eenparig rechtlijnige beweging is de verplaatsing gelijk aan oppervlakte onder de (*v*,*t*)-grafiek. We zullen nu nagaan of dit ook geldt voor de beweging van de fietser. Bij deze beweging verandert namelijk de snelheid.

Figuur 2.25



In figuur 2.25 zie je het (v,t)-diagram van de fietser opnieuw. De oppervlakte is in drie stukken opgedeeld. Twee driehoeken en een rechthoek. Het bepalen van de oppervlakte gaat als volgt:
Oppervlakte van de linkerdriehoek

$$\tfrac{1}{2} \times 20 \times 5{,}0 = 50 \text{ m}$$

Oppervlakte van de rechthoek

$$45 \times 5{,}0 = 225 \text{ m}$$

Oppervlakte van de rechterdriehoek

$$\tfrac{1}{2} \times 10 \times 5{,}0 = 25 \text{ m}$$

De totale oppervlakte is

$$50 + 225 + 25 = 300 \text{ m}$$

Dit is gelijk aan de verplaatsing in hetzelfde tijdsinterval. Dus ook hier geldt: de verplaatsing is gelijk aan de oppervlakte onder de (v,t)-grafiek.

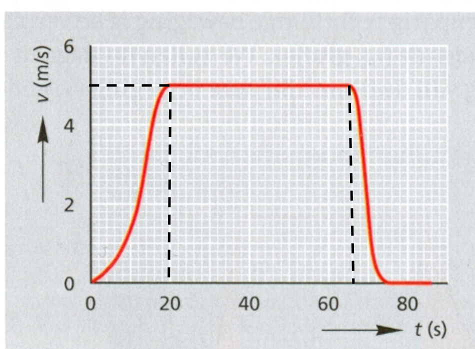
ONTHOUD:

Samenvatting

- De snelheid op een tijdstip kun je bepalen door (op de juiste plaats) een raaklijn te trekken aan de (x,t) grafiek en van de raaklijn de steilheid te bepalen. Dit noemen we de raaklijnmethode.
- De verplaatsing tussen twee tijdstippen kun je bepalen door tussen deze tijdstippen de oppervlakte onder de (v,t)-grafiek te bepalen. Dit noemen we de oppervlaktemethode.

Opmerking
In werkelijkheid zal de snelheid van de fietser niet zo regelmatig toe- en afnemen zoals in figuur 2.24 is weergegeven. Een betere benadering van het snelheidsverloop zie je in figuur 2.26. Toch geldt hier nog steeds: de verplaatsing is gelijk aan de oppervlakte onder de (v,t)-grafiek.

Figuur 2.26



Vragen

33 a Hoe kun je aan een grafiek in een (plaats, tijd)-diagram zien dat de snelheid toeneemt?
b Hoe zie je dat de snelheid nul is?

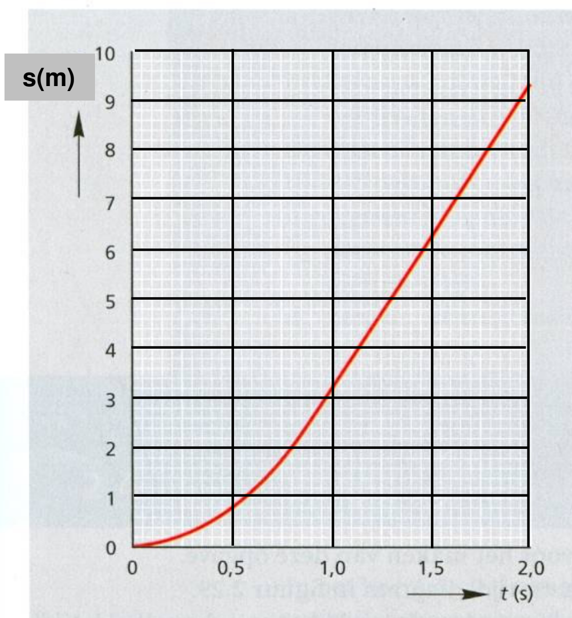
34 Hoe kun je de snelheid op een bepaald tijdstip bepalen met behulp van een (plaats, tijd)-diagram?

35 Hoe kun je met behulp van een gegeven (snelheid, tijd)-diagram een (plaats, tijd)-diagram maken?

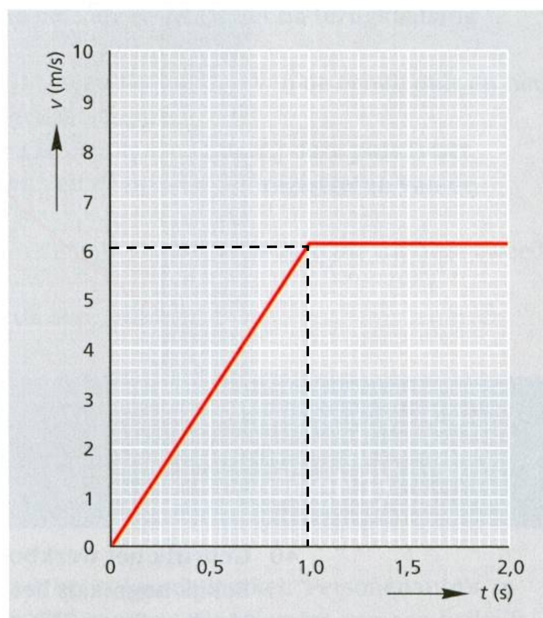
Opgaven

36 Bepaal de gemiddelde snelheid tussen 60 s en 80 s voor de beweging van figuur 2.19.

37 **Gebruik het werkboek voor het maken van deze opgave.**
Een hardloper wordt gefilmd tijdens de eerste twee seconde na de start. Het videofilmpje wordt vervolgens geanalyseerd met een programma voor videometen. Hiermee wordt het (**s**,*t*)-diagram van de beweging van de sprinter gemaakt. Zie figuur 2.27. Het programma bepaalt vervolgens het verloop van de (*v*,*t*)-grafiek. Zie figuur 2.28.
De snelheden die je kunt aflezen in het (*v*,*t*)-diagram moeten kloppen met de snelheden die je kunt bepalen uit het (**s**,*t*)-diagram met behulp van de raaklijnmethode.



Figuur 2.27



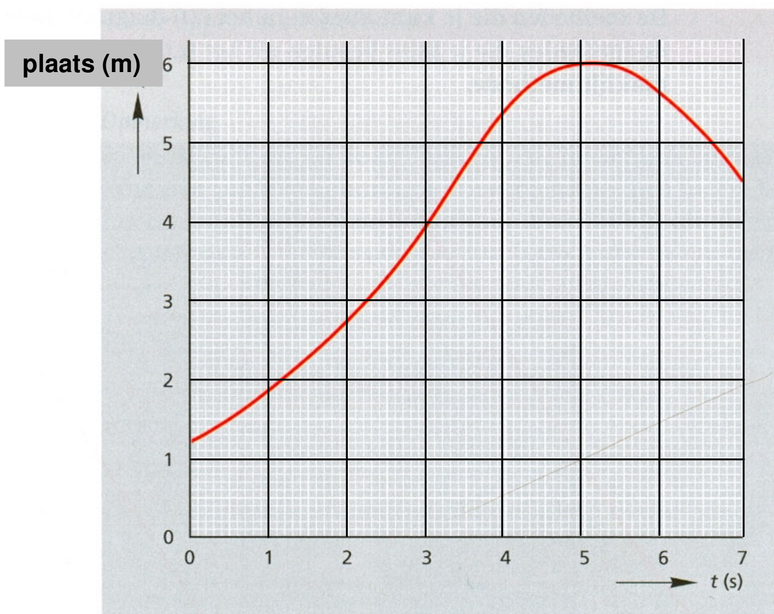
Figuur 2.28

a Controleer dat voor de tijdstippen $t = 0{,}50$ s en $t = 1{,}50$ s.
De verplaatsing die je kunt bepalen uit het (s,t)-diagram moet natuurlijk ook kloppen met de verplaatsing die je met de oppervlaktemethode kunt bepalen uit het (v,t)-diagram.
b Controleer dat voor het tijdsinterval [0,50 s; 1,50s].

38 **Gebruik het werkboek voor het maken van deze opgave.**
Mercedes oefent de 100 m sprint. Na de start is haar verplaatsing in 1,8 s gelijk aan 8,0 m. Vervolgens doet ze over de resterende 92 m nog eens 10,4 s. Haar snelheid is dan constant. Na het passeren van de finish loopt ze nog 20 m uit in 4,5 s.
a Bereken haar constante topsnelheid.
b Schets in figuur W2.7a in het werkboek het (plaats, tijd)-diagram van de hele beweging.
c Maak in figuur W2.7b ook het bijbehorende (snelheid, tijd)-diagram.

39 **Gebruik het werkboek voor het maken van deze opgave.**
Bepaal aan de hand van het (plaats, tijd)-diagram in figuur 2.29:
a $x(0)$;
b $v(0)$;
c de gemiddelde snelheid in het tijdsinterval [2,0 s; 4,0 s];
d het tijdstip waarop de snelheid nul is;
e het tijdstip waarop de snelheid maximaal is;
f hoe groot die maximale snelheid is.

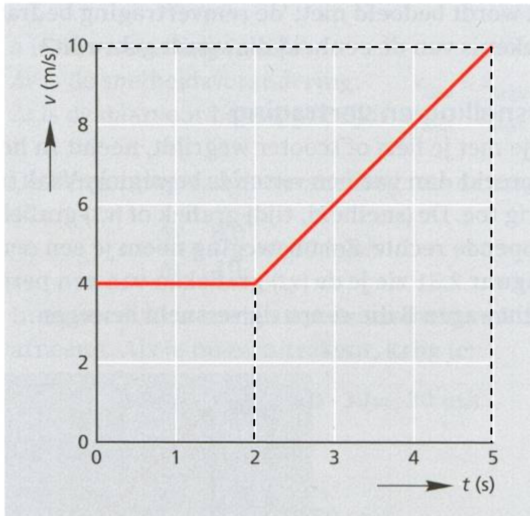
Figuur 2.29



40 **Gebruik het werkboek voor het maken van deze opgave.**
Bekijk nogmaals het (plaats, tijd)-diagram in figuur 2.29.
Maak in figuur W2.8b in het werkboek een bijbehorend (snelheid, tijd)-diagram. Een globale weergave van het snelheidsverloop is voldoende.

41 **Gebruik het werkboek voor het maken van deze opgave.**
In figuur 2.30 zie je een (snelheid, tijd)-diagram.

Figuur 2.30



a Bepaal de verplaatsing in het tijdsinterval [0 s; 5,0 s].
b Maak in figuur W2.9b in het werkboek een bijbehorend (plaats, tijd)-diagram.

42 De politie gebruikt de lasergun bij snelheidscontroles. In paragraaf 2.1 is de werking ervan uitgelegd. Een politieagent richt vanuit een rijdende politieauto een lasergun op de achterkant van een auto die met grote snelheid passeert. Als de lasergun de eerste puls uitzendt, is de auto 60 m voor de politieauto. De snelheid van de politieauto is 80 km/h.
a Welke weg heeft de eerste puls afgelegd als het na terugkaatsing geregistreerd wordt?
b Bereken hoeveel tijd er zit tussen het zenden van de eerste puls en het registreren van de teruggekaatste puls.
De volgende puls wordt 0,20 s later uitgezonden. Bij deze puls is het tijdverschil tussen het zenden van de puls en het registreren van de teruggekaatste puls $4{,}5 \cdot 10^{-7}$ s.
c Bereken de afstand tussen de politieauto en de auto die uit deze tweede meting volgt.
d Bereken de snelheid van de auto in km/h.

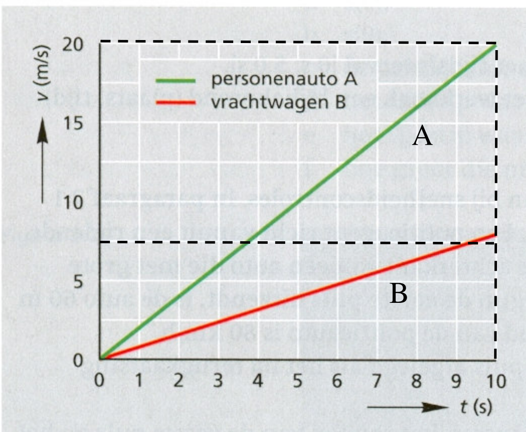
2.4 Eenparig versnelde beweging (deel 1)

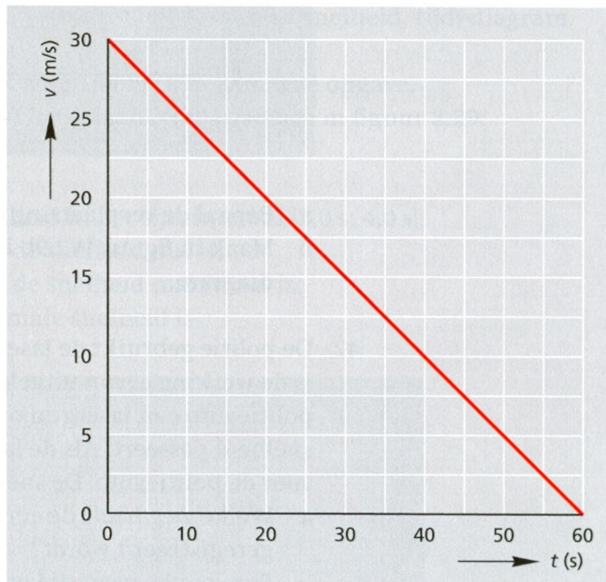
In het Voertuigreglement staat het volgende artikel: ‘Personenauto’s, in gebruik genomen na 30 juni 1967, moeten zijn voorzien van een bedrijfsrem waarvan de remvertraging op een droge of nagenoeg droge en ongeveer horizontaal liggende weg ten minste 5,2 m/s² bedraagt, bij een pedaalkracht van niet meer dan 500 N.'

Wat wordt bedoeld met: 'de remvertraging bedraagt 5,2 m/s²' en wat is de betekenis van de eenheid die wordt gebruikt?

Versnelling en vertraging

Als je met je fiets of scooter wegrijdt, neemt in het begin je snelheid toe. Je spreekt dan van een *versnelde* beweging. Vaak neemt de snelheid gelijkmatig toe. De (snelheid, tijd)-grafiek of (v,t)-grafiek is dan een schuin oplopende rechte. Zo'n beweging noem je een *eenparig versnelde* beweging. In figuur 2.31 zie je de (v,t)-grafieken van een personenauto A en een vrachtwagen B die eenparig versneld bewegen.





Figuur 2.31 en 2.32

Als een voertuig afremt, neemt de snelheid ervan af. Je spreekt dan van een *vertraagde* beweging. Als de snelheid gelijkmatig afneemt, noem je het een *eenparig vertraagde* beweging. In figuur 2.32 is het (v,t)-diagram afgebeeld van een trein die eenparig vertraagd beweegt.

Versnelling

Kijk eens naar de rechten A en B in figuur 2.31. A loopt steiler dan B. De snelheid van de personenauto neemt sterker toe dan die van de vrachtwagen. Om aan te geven hoe sterk de snelheid verandert met de tijd, voeren we een nieuw begrip in: de *versnelling*. Het symbool voor versnelling is a (van acceleratie, een ander woord voor versnelling).

De snelheid van de personenauto A neemt in 10 s met 20 m/s toe. Dat betekent dat de toename per seconde 2,0 m/s is. We zeggen nu: de versnelling is (2,0 meter per seconde) per seconde. Dit is te schrijven als: 2,0 meter per seconde kwadraat. Afgekort: 2,0 m/s² of 2,0 ms⁻².

Voor een eenparig versnelde beweging geldt:

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

- a is de versnelling in m/s²
- Δv is de snelheidsverandering: $v_{eind} - v_{begin}$ in m/s.
- Δt is de daarvoor benodigde tijd: $t_{eind} - t_{begin}$ in s.

De berekening van de versnelling van de vrachtwagen B verloopt als volgt:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{8{,}0}{10} = 0{,}80 \text{ m/s}^2$$

In figuur 2.32 is te zien dat de snelheid van de trein in 60 s met 30 m/s afneemt. Als je nu Δv uitrekent, krijg je:

$$\Delta v = v_{eind} - v_{begin} = 0 - 30 = -30 \text{ m/s}$$

De versnelling wordt dan:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-30}{60} = -0{,}50 \text{ m/s}^2$$

Omdat de snelheid nu afneemt is de versnelling *negatief*. Je kunt ook zeggen: 'De *vertraging* is 0,50 m/s²'.

De (v,t)-grafieken in figuur 2.31 zijn schuin oplopende rechten die in de oorsprong beginnen.

ONTHOUD:

Samenvatting

- Een eenparig versnelde(vertraagde) rechtlijnige beweging is een beweging langs een rechte lijn met een constante versnelling(vertraging).
- De versnelling geeft aan met welke bedrag de snelheid iedere seconde toeneemt.
  De versnelling is te berekenen met de formule
  $$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
  - a is de versnelling in m/s².
  - Δv is de snelheidsverandering; $\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$ in m/s.
  - Δt is de daarvoor benodigde tijd; $\Delta t = t_{eind} - t_{begin}$ in s.

  Voor de versnelling a wordt de eenheid m/s² gebruikt, daarom moet je voor de snelheid v de eenheid m/s en voor de tijd t de eenheid s gebruiken.
- De steilheid van de (v,t)-grafiek is de versnelling.

Vragen

43 a Wat verstaan we onder versnelling?
b Geef het symbool voor versnelling.
c Geef de eenheid van versnelling.

44 a Wat is een eenparig versnelde beweging?
b Wat verstaan we onder een eenparig vertraagde beweging?
c Met welke formule kun je bij een eenparig versnelde beweging de snelheidsverandering berekenen?
d In welke eenheden moet je de grootheden in die formule uitdrukken?
e Met welke formule kun je bij een eenparig versnelde beweging de snelheid op een bepaald tijdstip berekenen, als de beweging vanuit stilstand start?

45 a Hoe kun je in een (snelheid, tijd)-diagram zien dat de snelheid constant is?
b Hoe kun je in een (snelheid, tijd)-diagram zien dat de versnelling constant is?
c Hoe zie je in zo'n diagram dat een beweging eenparig vertraagd is?
d Welke betekenis heeft de steilheid van de grafiek in een (snelheid, tijd)-diagram?

Opgaven

46 Bereken de versnelling als de snelheid in 5,0 seconden toeneemt van 10 m/s tot 18 m/s.

47 Een fietser heeft een snelheid van 15 km/h. Hij vertraagt gedurende 3,0 seconden met 0,80 m/s^2. Bereken de snelheid na die 3,0 seconden in km/h.

48 In figuur 2.33 zie je het (v,t)-diagram van een optrekkende auto. Bepaal uit het diagram de versnelling van de auto.

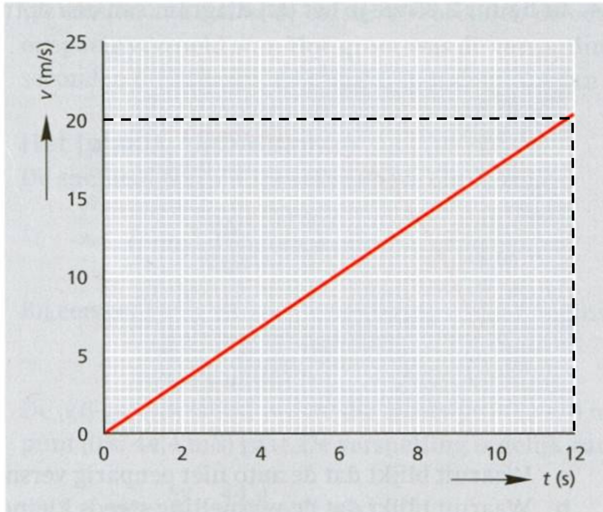
49 In figuur 2.34 zie je het (v,t)-diagram van een auto die remt. Bepaal uit het diagram de vertraging van de auto.

50 Een raceauto bereikt in 8,0 s een snelheid van 100 km/h. Bereken de versnelling.

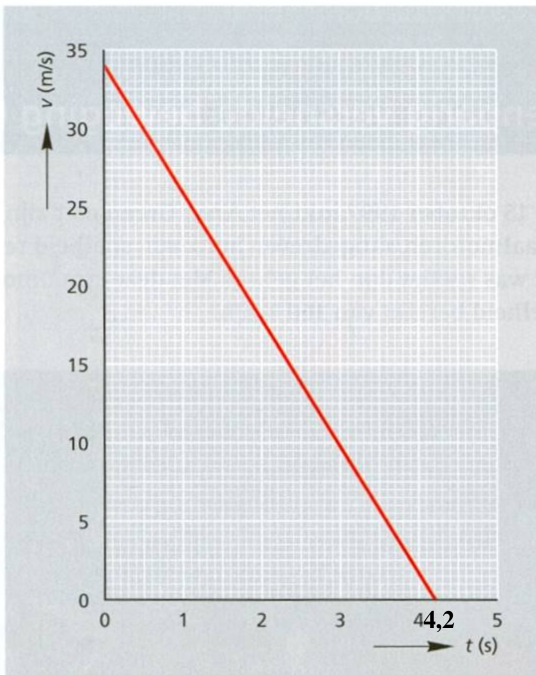
51 Een Spaceshuttle kan maximaal een versnelling van 30 m/s^2 bereiken. Bereken in hoeveel tijd een Spaceshuttle met deze maximale versnelling een snelheid kan bereiken van 8,0 km/s.

52 In de inleiding van deze paragraaf staat dat op een droge weg een auto moet kunnen remmen met een remvertraging van minimaal 5,2 m/s^2. Een auto die met een snelheid van 120 km/h rijdt, remt met deze vertraging. Bereken na hoeveel tijd de auto stil staat.

Figuur 2.33



Figuur 2.34



53 **Gebruik het werkboek bij het beantwoorden van de vragen b en c van de opgave.**

Een automobilist rijdt met een snelheid van 54 km/h. Door gedurende 4,0 s eenparig versneld te rijden, wordt de snelheid verhoogd tot 90 km/h.

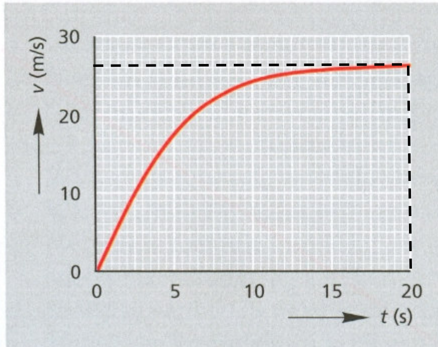
a Bereken de versnelling (in m/s²).

b Teken in figuur W2.10 in het werkboek het (*v*,*t*)-diagram van de beweging van de auto in het tijdsinterval van 0 s tot 4,0 s.

c Bepaal met behulp van het (*v*,*t*)-diagram de gemiddelde snelheid in die 4,0 s.

54 In figuur 2.35 zie je het (v,t)-diagram van een optrekkende auto.

Figuur 2.35



a Waaruit blijkt dat de auto niet eenparig versneld beweegt?
b Waaruit blijkt dat de versnelling steeds kleiner wordt?

2.5 Eenparig versnelde beweging (deel 2)

Op 15 oktober 1997 lukt het Andy Green met zijn, door twee Rolls Royce straalmotoren aangedreven auto, een snelheid te bereiken van 1228 km/h. Dit was sneller dan het geluid! Met deze straalmotoren werd in 4,0 s een snelheid bereikt van 160 km/h.

Figuur 2.36 De snelste auto werd voortgedreven door straalmotoren.

We nemen aan dat in de eerste 4,0 seconden de beweging van de auto eenparig versneld was. Hoe groot was de versnelling in de eerste 4,0 seconden en hoe ziet het (plaats, tijd)-diagram van de eerste 4,0 s er uit?

Het (plaats, tijd)-diagram

De snelheid op t = 4,0 s rekenen we om in m/s

$$v(4,0) = \frac{160}{3,6} = 44,4 \text{ m/s}$$

Bij een eenparig versnelde beweging zonder beginsnelheid geldt

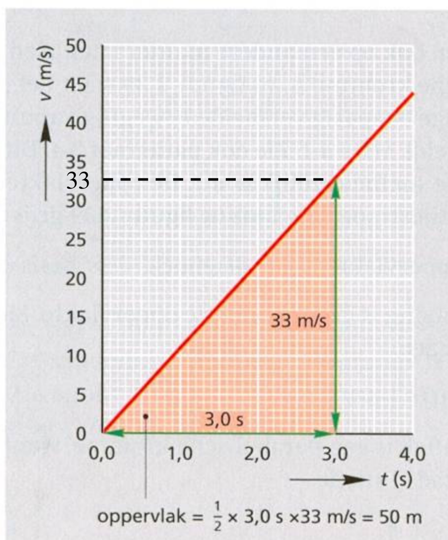
$$v(t) = a \cdot t$$

De (*v*,*t*)-grafiek is een rechte die in het punt (0 s; 0 m/s) begint en door het punt (0 s; 44,4 m/s) gaat. De versnelling is gelijk aan

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{44,4}{4,0} = 11 \text{ m/s}^2$$

In figuur 2.37 is de oppervlakte van de donkere driehoek de verplaatsing tussen $t = 0$ s en $t = 3,0$ s. De snelheid op $t = 3,0$ s kun je berekenen met de formule $a\Delta v/\Delta t$ of aflezen in figuur 2.37.

Figuur 2.37



Er geldt

$$v(3,0) = 11 \cdot 3,0 = 33 \text{ m/s}$$

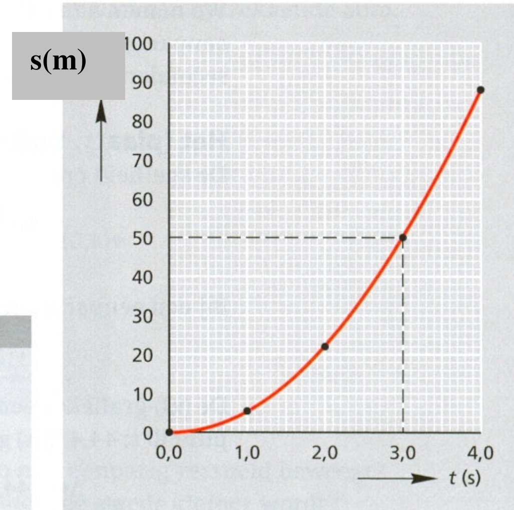
Voor de verplaatsing tussen $t = 0$ s en $t = 3,0$ s geldt dan

$$\Delta s = \tfrac{1}{2} \times \text{ basis} \times \text{ hoogte} = \tfrac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 33 = 50 \text{ m}$$

We nemen $s(0) = 0$ m, dus hieruit volgt voor de plaats

$$s(3,0) = 50 \text{ m}$$

Figuur 2.38



Tabel 2.4

t (s)	v (m/s)	**s** (m)
0,0	0,0	0,0
1,0	11	5,5
2,0	22	22
3,0	33	50
4,0	44	88

Je bepaalt vervolgens op deze manier op nog meer tijdstippen de plaats. In tabel 2.4 staat de tabel die je dan krijgt. In figuur 2.38 staat het (**s**,t)-diagram dat bij deze tabel hoort. Je ziet dat de (**s**,t)-grafiek een parabolische kromme is.

We kunnen ook op een andere manier laten zien dat de (x,t)-grafiek een parabolische kromme is. In figuur 2.39 staat het (v,t)-diagram van een willekeurige eenparig versnelde beweging vanuit stilstand. Voor de snelheid geldt $v(t) = a \cdot t$. Zie ook paragraaf 2.4. Dit betekent dat op het tijdstip t de snelheid gelijk is $a \cdot t$. De oppervlakte onder de (v,t)-grafiek tussen de tijdstippen 0 en t is in figuur 2.39 grijs weergegeven. Er geldt:

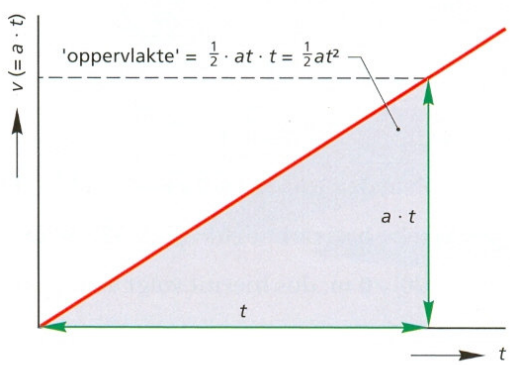
$$\text{oppervlakte grijze driehoek} = \tfrac{1}{2} \times \text{basis} \times \text{hoogte} = \tfrac{1}{2} \cdot t \cdot (at) = \tfrac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

De verplaatsing is gelijk aan deze oppervlakte. Met $x(0) = 0$ m volgt hieruit voor de plaats:

$$s(t) = \frac{1}{2}at^2$$

De (**s**,t)-grafiek is een parabolische kromme, want het is de grafiek van een tweedegraads functie.

Figuur 2.39



ONTHOUD:

Samenvatting

Voor een eenparig versnelde beweging vanuit stilstand en $x(0) = 0$ m geldt het volgende.

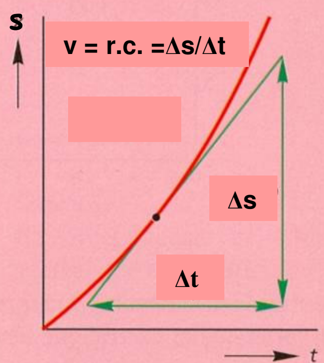
- De formules die je kunt gebruiken zijn:

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

$$\mathbf{s}(t) = \tfrac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

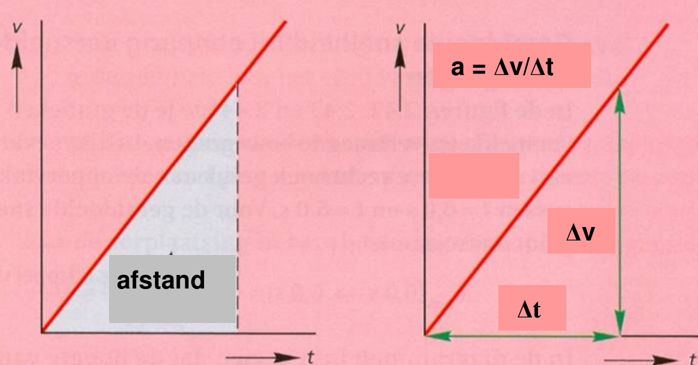
  - v is de snelheid in m/s.
  - a is de versnelling in m/s².
  - **s** is de plaats in m.
  - t is de tijd in s.
- De (**s**,t)-grafiek is een parabolische kromme. De snelheid v op een tijdstip kun je bepalen door (op de juiste plaats) een raaklijn te trekken aan de (**s**,t) grafiek en van de raaklijn de steilheid te bepalen. Zie figuur 2.40a.

Figuur 2.40a

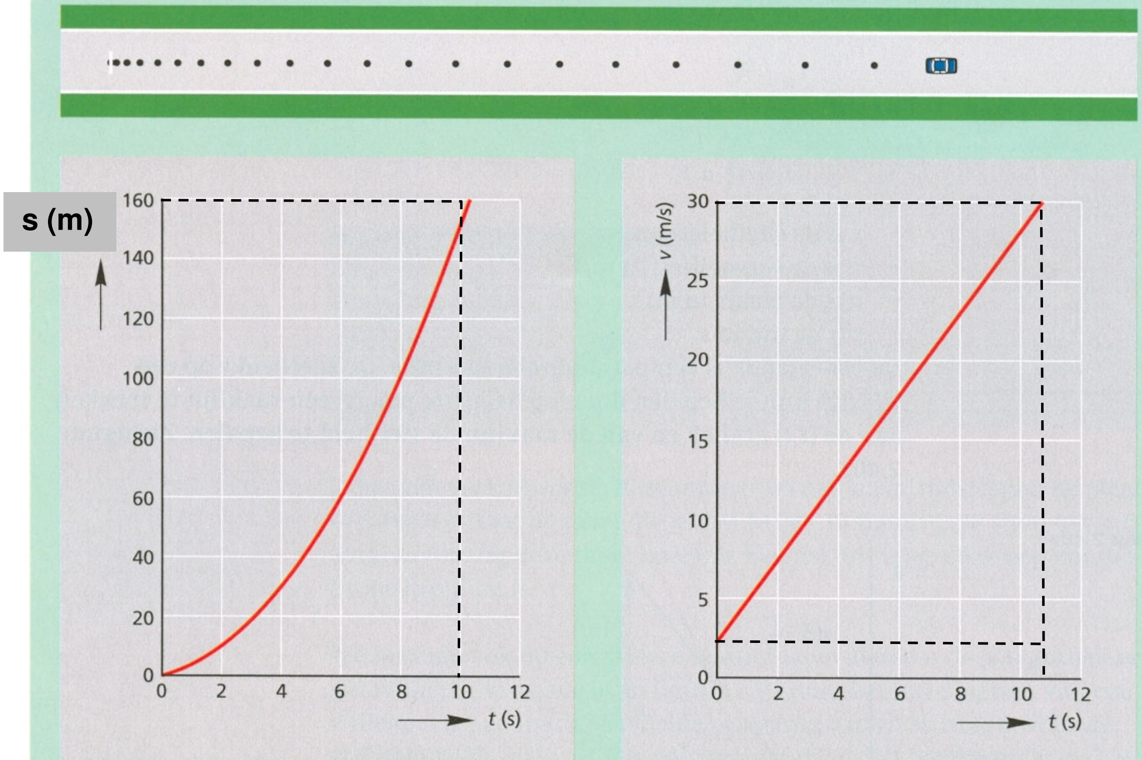


- De (v,t)-grafiek is een schuin oplopende rechte die in de oorsprong begint. De oppervlakte onder de (v,t)-grafiek is gelijk aan de verplaatsing Δx. Zie figuur 2.40b. De steilheid van de (v,t)-grafiek is gelijk aan de versnelling a. Zie figuur 2.40c.

Figuur 2.40b en 2.40c



Applet **Versnellen en vertragen**



Figuur 2.41 Met deze applet kun je simulaties uitvoeren van rechtlijnige bewegingen. Eenparige en eenparig versnelde of vertraagde bewegingen.
Je ziet de bewegingen van een auto die steeds een spoor achterlaat.
Verder worden door de applet het bijbehorende (plaats, tijd)-diagram en het (snelheid, tijd)-diagram van deze bewegingen weergegeven.
De applet staat op www.sysnat.nl. De opdrachten bij deze applet zijn te vinden in het werkboek.

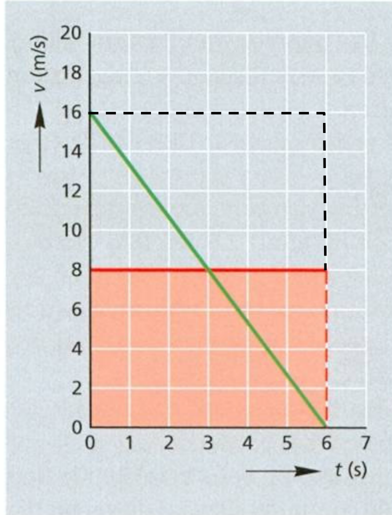
Gemiddelde snelheid bij eenparig versnelde en vertraagde bewegingen

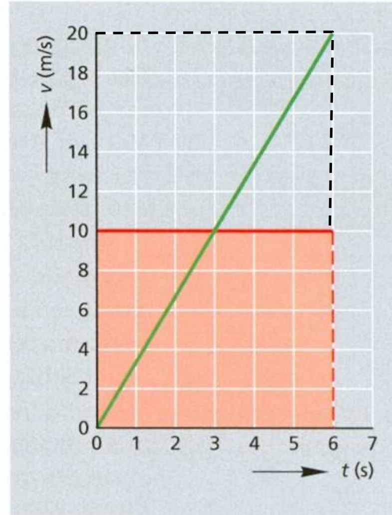
In de figuren 2.42, 2.43 en 2.44 zie je de grafieken van enkele eenparig versnelde en vertraagde bewegingen. In alle gevallen is de oppervlakte van de donkere rechthoek gelijk aan de oppervlakte onder de (v,t)-grafiek tussen $t = 0{,}0$ s en $t = 6{,}0$ s. Voor de gemiddelde snelheid in het tijdsinterval geldt daarom:

$$v_{gem}(0{,}0\text{ s} \Rightarrow 6{,}0\text{ s}) = \frac{\text{verplaatsing}}{\text{tijd}} = \frac{\text{oppervlakte rechthoek}}{6{,}0\text{ s}}$$

In de diagrammen kun je zien dat de hoogte van de rechthoek steeds gelijk is aan de snelheid op $t = 3{,}0$ s. Dit betekent dat de gemiddelde snelheid tussen $t = 0$ s en $t = 6{,}0$ s even groot is als de snelheid op $t = 3{,}0$ s. Dit tijdstip ligt precies in het midden van het tijdsinterval.

Figuur 2.42 en 2.43

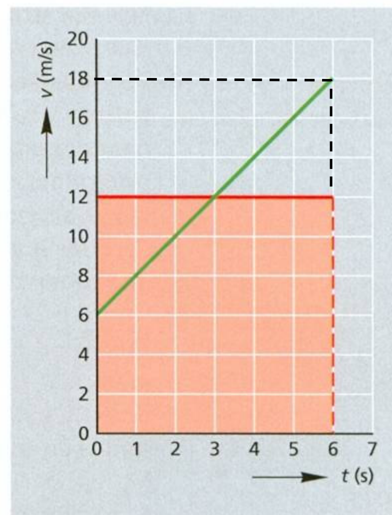




De snelheid op $t = 3{,}0$ s kun je berekenen met:

$$v(3{,}0) = \frac{v(0{,}0) + v(6{,}0)}{2}$$

Ga dit na.



Figuur 2.44

ONTHOUD:

Bij een eenparige versnelde of vertraagde beweging is de gemiddelde snelheid in een tijdsinterval gelijk aan de snelheid in het midden van het tijdsinterval. De gemiddelde snelheid kun je daarom berekenen met:

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

- v_{begin} is de snelheid aan het begin van het tijdsinterval.
- v_{eind} is de snelheid aan het eind van het tijdsinterval.

Let op! Het op deze manier bepalen van de gemiddelde snelheid mag alleen bij een *eenparig versnelde* of *eenparig vertraagde* beweging.

Practicum

Methoden voor het bepalen van de versnelling

Het bepalen van de versnelling of vertraging kan op verschillende manieren gebeuren:

1 Met een afstandssensor zoals de CBR van TI en je grafische rekenmachine.
Bepaal de versnelling van een karretje dat van een helling afrijdt. In paragraaf 2.1 staat in figuur 2.6 een foto van de opstelling die je kunt gebruiken. De sensor werkt tussen 0,50 m en 2,0 m goed. Bij de CBR wordt een programma geleverd waarmee de door de CBR aangeleverde gegevens geanalyseerd kunnen worden. Voer de proef uit voor verschillende hellingshoeken.

2 Met een videocamera of een digitale fotocamera die filmpjes kan maken met minstens 10 beeldjes per seconde.
Maak een videofilmpje van een optrekkende fiets, scooter of auto. Zet het filmpje over op de computer. Bepaal de versnelling van het voertuig met behulp van een programma voor videometen.

3 Met een stroboscoop en een digitale of analoge fotocamera.
Hoe je een stroboscopische foto kunt maken, is in paragraaf 2.1 beschreven. Maak een stroboscopische foto van bijvoorbeeld een bal die van een helling afrolt. Als je een digitale foto maakt, kun je de foto overzetten naar de computer en de positie van de beeldjes met behulp van een tekenprogramma bepalen. Als je de digitale foto op deze manier wilt verwerken is het handig om, tijdens het maken van de foto, de camera onder dezelfde hoek te zetten als de helling. Op de foto is dan het spoor van de bal horizontaal.

Hint voor de proeven 1, 2 en 3

Maak zelf een (x,t)-diagram of laat dit door het computerprogramma doen. Bekijk de vorm van dat diagram. Als de vorm parabolisch is, dan kun je de versnelling bepalen $x(t)=\frac{1}{2}\cdot a\cdot t^2$ Je moet dan wel meten vanaf het tijdstip dat het voorwerp in beweging komt.
Je kunt ook een (v,t)-diagram maken of laten maken. Als de vorm daarvan een rechte is, kun je de versnelling bepalen met $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ of uit de steilheid van de (v,t)-grafiek.

Vragen

55 Geef de formule voor de snelheid en de formule voor de plaats voor een eenparig versnelde beweging vanuit stilstand.

56 Leg uit waarom je bij een eenparig versnelde beweging niet de formule $s(t)=v\cdot t$ mag gebruiken.

57 Hoe kun je aan de formule voor de plaats van een eenparig versnelde beweging zien dat de (x,t)-grafiek een parabolische kromme is?

58 a Hoe kun je met behulp van het (plaats, tijd)-diagram van een eenparig versnelde beweging de snelheid op een tijdstip bepalen?

b Hoe kun je met behulp van een (snelheid, tijd)-diagram de verplaatsing op een tijdstip bepalen?

Opgaven

59 Een auto versnelt eenparig en bereikt in 8,9 s een snelheid van 100 km/h.

a Bereken de versnelling.

b Bereken de verplaatsing van de auto in deze 8,9 s.

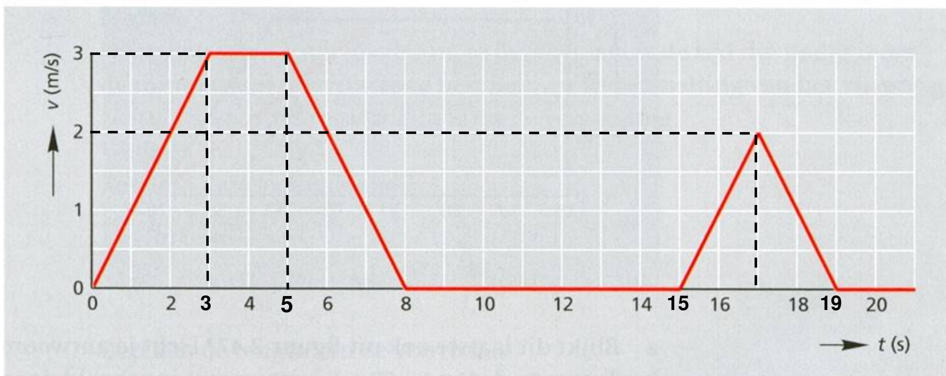
60 Een hogesnelheidstrein kan versnellen met een versnelling van 0,40 m/s². Bereken welke afstand een hogesnelheidstrein nodig heeft om met deze versnelling een snelheid van 300 km/h te bereiken.

Bij het maken van de volgende opgaven heb je de formule $\mathbf{s}(t)=\frac{1}{2}\cdot a\cdot t^2$ *nodig. Bij een aantal opgaven kun je werken met de 'oppervlakte methode'.*

61 In paragraaf 2.4 staat in figuur 2.32 het (*v*,*t*)-diagram van een trein die afremt. De remafstand is de verplaatsing van het voertuig tijdens het remmen. Bepaal de remafstand van deze trein.

62 In figuur 2.45 zie je een (*v*,*t*)-diagram van een lift.

Figuur 2.45



a Gedurende welke tijdsintervallen was de beweging van de lift eenparig versneld en gedurende welke tijdsintervallen eenparig vertraagd?

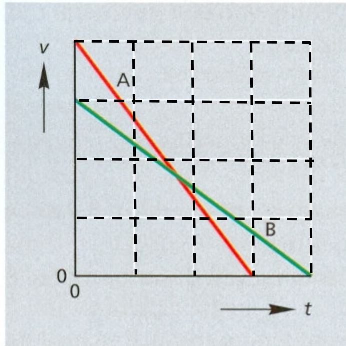
b Waaruit blijkt meteen dat de versnelling in het tijdsinterval [0 s; 3,0 s] even groot is als de vertraging in het tijdsinterval [5,0 s; 8,0 s]?

c Hoe is te verklaren dat de lift na het tijdstip $t = 15$ s niet zijn maximale snelheid van 3,0 m/s heeft kunnen bereiken?

d Bepaal de verplaatsing van de lift in het tijdsinterval [0 s; 20 s].

63 In figuur 2.46 zie je de (v,t)-grafieken van twee remmende auto's, A en B.

Figuur 2.46



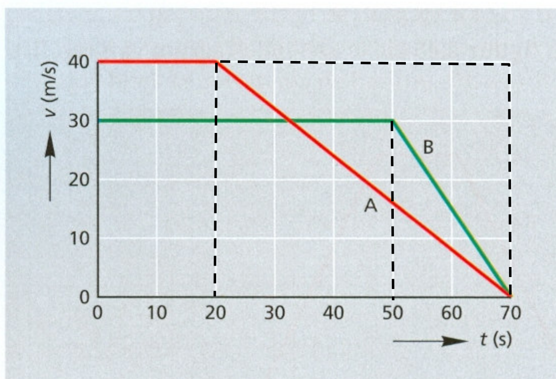
a Bepaal de verhouding van de remvertragingen.

De remafstand is de verplaatsing van het voertuig tijdens het remmen.

b Bepaal de verhouding van de remafstanden.

64 In figuur 2.47 zijn de (*v*,*t*)-grafieken te zien van twee motorrijders, A en B, die in dezelfde richting over een rechte weg rijden. Op $t = 0$ s wordt de een juist ingehaald door de ander.

Figuur 2.47



a Blijkt dit laatste ook uit figuur 2.47? Licht je antwoord toe.

b Toon aan dat op $t = 70$ s A juist weer is ingehaald door B.

c Waaruit blijkt dat A is ingehaald door B en dus niet B door A? Voer twee argumenten aan.

65 Een auto heeft vaak een kreukelzone en een kooiconstructie. De kreukelzone mag bij een botsing 'verkreukelen'. De kooi waarin zich de passagiers bevinden, moet intact blijven. Dit heeft tot gevolg dat tijdens een botsing de remvertraging van de kooi geringer is dan zonder kreukelzone. Dit verhoogt de veiligheid.

Tijdens een proef laat men een auto met een snelheid van 50 km/h tegen een betonnen wand aanrijden. De botsing duurt 0,030 s. De auto heeft een kreukelzone. We nemen aan dat de auto tijdens de botsing eenparig vertraagd wordt. Bereken over welke afstand de kreukelzone ingedrukt wordt.

2.6 Het gebruik van formules en diagrammen

In deze paragraaf staan drie voorbeelden waarin gebruik gemaakt wordt van de formules die je in de vorige paragrafen hebt leren kennen.
In het eerste voorbeeld: 'De start van een vliegtuig', berekenen we hoe lang een startbaan moet zijn.
In het tweede voorbeeld: 'Het fotografisch bepalen van versnelling', laten we zien hoe je door het analyseren van een digitale foto waarop een voorwerp met een knipperende LED (Light Emitting Diode) staat, de versnelling kunt bepalen.
In het derde voorbeeld: 'De twee-secondenregel', gaan we rekenen aan een regel die de bestuurder van een voertuig kan gebruiken om de veilige afstand tot zijn voorligger te bepalen.

Voorbeeld 1 De start van een vliegtuig

De 'take-off speed' van een Boeiing 737 met een bepaalde lading is 80 m/s. Dit is de snelheid die het vliegtuig minimaal moet hebben om te kunnen opstijgen. We veronderstellen dat deze snelheid wordt bereikt door eenparig te versnellen met een versnelling van 1,6 m/s². We berekenen de minimale lengte van de startbaan.

Methode 1 Overzicht **SPA: Geg.: v = 50 m/s, a = 1,6 m/s², Gevr.: s(t)**
De lengte van de startbaan kun je berekenen uit de tijd die nodig is om de minimale eindsnelheid te bereiken en de versnelling van het vliegtuig. De tijd volgt uit de eindsnelheid en de versnelling.
Werkpad
Bereken de benodigde tijd
De tijd bereken je met

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{80}{1{,}6} = 50\ \text{s}$$

Bereken de lengte van de startbaan
Het vliegtuig vertrekt vanuit stilstand. Stel $x(0) = 0$ m. De lengte van de startbaan is dan

$$\mathbf{s}(t) = \tfrac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \tfrac{1}{2} \cdot 1{,}6 \cdot 50^2 = 2{,}0 \cdot 10^3\ \text{m} = 2{,}0\ \text{km}$$

Methode 2 Overzicht
De lengte van de startbaan kun je berekenen uit de tijd die nodig is om de minimale eindsnelheid te bereiken en de gemiddelde snelheid van het vliegtuig. De gemiddelde snelheid volgt uit de beginsnelheid en de eindsnelheid. De tijd volgt uit de eindsnelheid en de versnelling.
Werkpad
Bereken de benodigde tijd

De tijd bereken je met

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{80}{1{,}6} = 50\ \text{s}$$

Bereken de gemiddelde snelheid

Voor de gemiddelde snelheid geldt

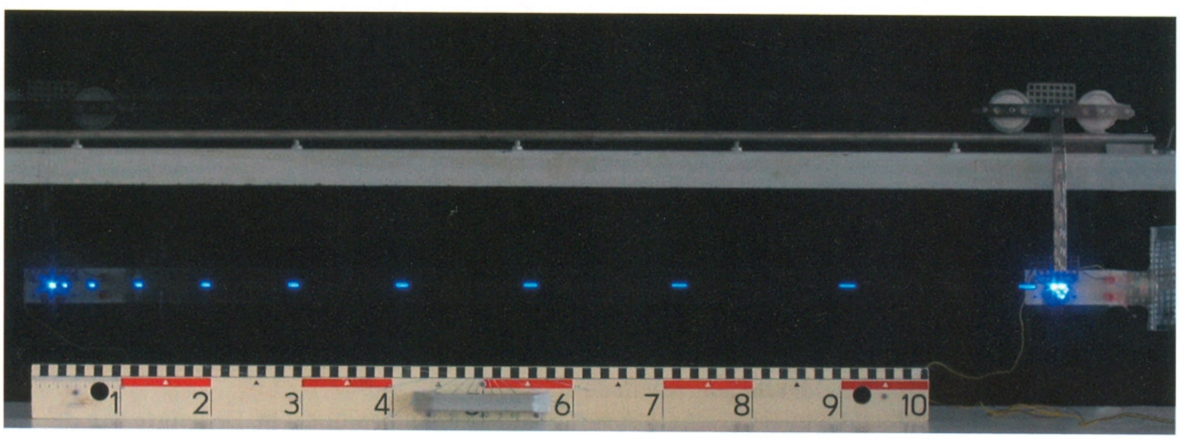
$$v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2} = \frac{80+0}{2} = 40\ \text{m/s}$$

Bereken de lengte van de startbaan

$$\mathbf{s(t) = v_{gem}.t = 40\ .\ 50 = 2{,}0.10^3\ m = 2{,}0\ km}$$

Voorbeeld 2 Het fotografisch bepalen van een versnelling

Van een karretje dat wordt aangedreven door een propeller, wordt met behulp van een digitale fotocamera een tijdopname gemaakt. Zie figuur 2.48. Omdat het karretje beweegt en zelf geen licht geeft, is het tijdens de beweging niet te zien. Het karretje beweegt eenparig versneld van links naar rechts. Op het karretje zit een LED (Light Emitting Diode). De LED geeft 5,0 lichtpulsjes per seconde. De blauwe streepjes op de foto zijn ontstaan door de lichtpulsjes van de LED. Met behulp van de foto gaan we de versnelling van het karretje bepalen.



Figuur 2.48

We zetten de foto over op de computer en gebruiken voor het bepalen van de afstanden een eenvoudig tekenprogramma. Dit programma geeft de positie van de 'tekenpen' in pixels (de puntjes waaruit de digitale foto bestaat). De afstanden in pixels tussen het begin van twee opeenvolgende streepjes staan in de tweede kolom van tabel 2.5.

Werkpad

Stap 1 Bepaal de schaal van de foto

De schaal van de foto wordt bepaald met behulp van de liniaal. De liniaal heeft in werkelijkheid een lengte van 1,0 m. De lengte van de liniaal op de foto is 1205 pixels. Alle afstanden in pixels moeten daarom met

$\dfrac{1}{1205} = 8{,}299 \cdot 10^{-4}$ vermenigvuldigd worden om de werkelijke afstanden in meter te krijgen. De werkelijke afstanden staan in de derde kolom van tabel 2.5.

Stap 2 Bepaal de duur van een tijdsinterval

Het tijdverschil tussen het begin van twee opvolgende streepjes is gelijk aan $\dfrac{1}{50} = 0{,}20$ s.

Stap 3 Bepaal de gemiddelde snelheid in een tijdsinterval

Voor de gemiddelde snelheid in een tijdsinterval geldt dan

$$v_{\text{gem}} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \text{ met } \Delta t = 0{,}20 \text{ s}$$

De zo berekende waarden voor de gemiddelde snelheid staan in de vierde kolom van tabel 2.5.

Tabel 2.5

Δt (s)	Δs(pixels)	Δs(m)	v_{gem} (m/s)
0,00-0,20	36	0,030	0,150
0,20-0,40	63	0,052	0,260
0,40-0,60	89	0,074	0,370
0.60-0,80	116	0,096	0,480
0,80-1,00	144	0,120	0,600
1,00-1,20	172	0,143	0,715
1,20-1,40	199	0,165	0,825
1,40-1,60	226	0,188	0,940

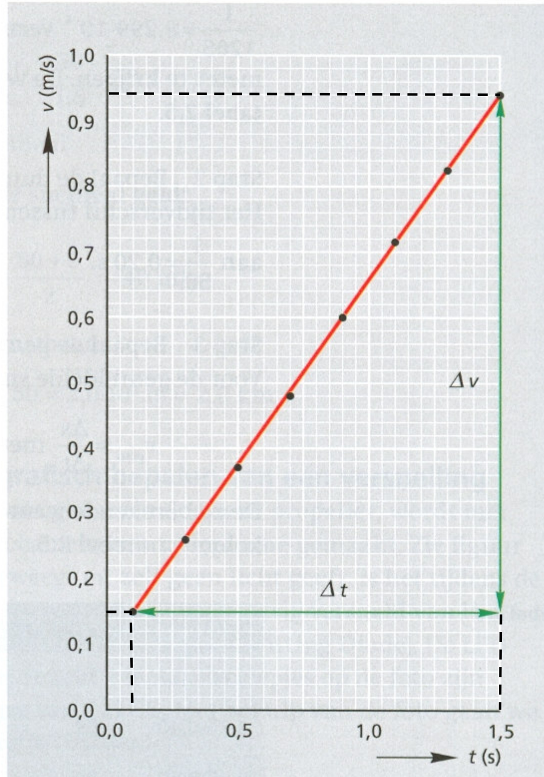
Stap 4 Bepaal de versnelling

Bij een eenparige versnelde beweging is de gemiddelde snelheid in een tijdsinterval gelijk aan de snelheid in het midden van het tijdsinterval. Zie paragraaf 2.5. Als de beweging niet eenparig versneld is, dan is dit in de meeste gevallen een goede benadering. Het begin van het eerste gemeten tijdsinterval stellen we gelijk aan $t = 0$ s. Door dit toe te passen krijgen we een tabel zoals in tabel 2.6 is weergegeven. Van deze tabel maak je een diagram. Zie figuur 2.49. De (v,t)-grafiek blijkt een rechte lijn te zijn. De aanname dat de beweging eenparig versneld was, klopte dus.

De versnelling bepaal je dan uit de steilheid van de rechte in het (v,t)-diagram:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0{,}940 - 0{,}150}{1{,}50 - 0{,}10} = 0{,}56 \text{ m/s}^2$$

Figuur 2.49



Tabel 2.6

t (s)	v (m/s)
0,10	0,150
0,30	0,260
0,50	0,370
0,70	0,480
0,90	0,600
1,10	0,715
1,30	0,825
1,50	0,940

Reactietijd, reactieafstand, remtijd, remafstand en stopafstand

Voordat we gaan rekenen met een voorbeeld waarop de twee-secondenregel van toepassing is, bepreken we eerst de grootheden: reactietijd, reactieafstand, remtijd, remafstand en stopafstand.

Een auto voert een noodstop uit. In figuur 2.50 is het (v,t)-diagram weergegeven. Het tijdstip $t = 0$ s is het moment dat de bestuurder het obstakel waarneemt. Op $t = 0{,}80$ s worden de remmen in werking gesteld en begint de snelheid gelijkmatig af te nemen. De beweging van de auto is dan eenparig vertraagd. Na 3,0 s remmen staat de auto stil.

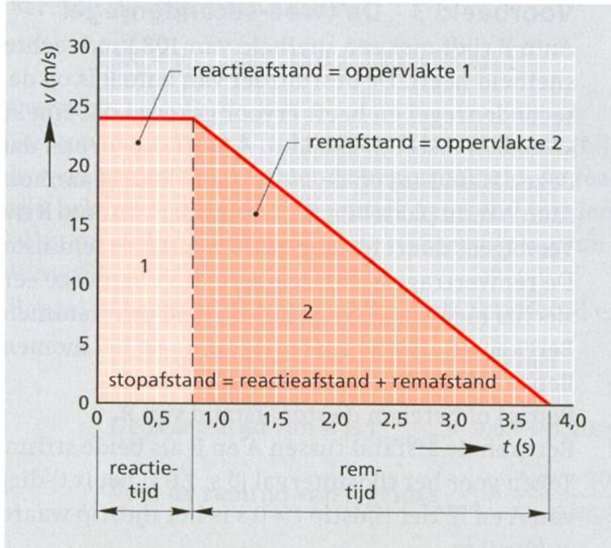
De *reactietijd* is de tijd die verloopt tussen het doen van de waarneming en het actief worden van de remmen. In deze tijd beweegt de auto met constante snelheid. De reactietijd is hier 0,80 s.
De *reactieafstand* is de afstand waarop de auto zich in de reactietijd verplaatst. In figuur 2.50 is de reactieafstand de oppervlakte onder de (v,t)-grafiek tussen 0 en 0,80 s. De reactieafstand is:

$$0{,}80 \times 24 = 19 \text{ m}$$

De *remtijd* is de tijd dat de auto aan het remmen is. De remtijd is hier 3,0 s.
De *remafstand* is de afstand waarover de auto zich verplaatst tijdens het remmen. In figuur 2.50 is de remafstand de oppervlakte onder de (v,t)-grafiek tussen 0,80 en 3,8 s. De remafstand is:

$$\tfrac{1}{2} \times 3{,}0 \times 24 = 36 \text{ m}$$

Figuur 2.50



De *stopafstand* is de totale afstand waarover de auto zich verplaatst vanaf het moment dat het obstakel wordt waargenomen. De stopafstand is dus gelijk aan de som van remafstand en reactieafstand. De stopafstand is hier:

$$19+36=55 \text{ m}$$

Opmerking
De stopafstand wordt in de praktijk vaak de remweg genoemd.

Figuur 2.65 Vooral in een file is het van belang dat iedereen voldoende afstand houdt. Anders is de kans op een kettingbotsing groot.

De twee-secondenregel
De twee-secondenregel zegt: 'Wanneer de auto voor je een vast punt passeert zoals een verkeersbord, begin je te tellen. Wanneer je er na 2 seconden zelf voorbij rijdt, heb je een veilige afstand tot je voorligger. 2 seconden kun je bijvoorbeeld tellen door 'een-en-twintig, twee-en-twintig' uit te spreken.'

B → 108 km/h   A → 108 km/h

Voorbeeld 3 De twee-secondenregel

Auto B rijdt met een snelheid van 108 km/h achter auto A die dezelfde snelheid heeft. De bestuurder van auto B is op de hoogte van de twee-secondenregel en heeft ervoor gezorgd dat zijn auto precies op 'twee seconden afstand' van auto A blijft. Neem aan dat de bestuurder van B deze afstand tot op de meter nauwkeurig aanhoudt.
Auto A remt plotseling. De bestuurder van auto B trapt 0,60 s daarna op de rem. Vervolgens duurt het nog 0,20 s voordat de reminstallatie de remmen activeert. De remvertraging van A is 8,00 m/s². Vanwege een grote lading kan B slechts met een vertraging van 5,50 m/s² remmen.

a Bereken de afstand tussen de auto's op het moment dat A begint te remmen.
b Bepaal of bereken de remafstand van A.
c Bepaal of bereken de stopafstand van B.
d Bereken de afstand tussen A en B als beide stilstaan.
e Teken voor het tijdsinterval [0 s; 7,0 s] het (x,t)-diagram van de beweging van A en B. Het tijdstip $t = 0$ s is het tijdstip waarop A begint te remmen en $s_B(0) = 0$ m.

a *Overzicht*
De afstand die moet worden aangehouden is gelijk aan de verplaatsing in twee seconden.
Werkpad
Bereken de snelheid van B in m/s

$$v_B = \frac{108}{3,6} = 30,0 \text{ m/s}$$

Bereken de afstand tussen de auto's

Omdat de bestuurder van auto B zich precies aan de twee-secondenregel houdt, is de afstand tussen de auto's op het moment van remmen

$$s_{BA} = v_B \cdot t = 30,0 \times 2,0 = 60 \text{ m}$$

b *Overzicht*
De remafstand kun je berekenen uit de remtijd van A en de gemiddelde snelheid van A tijdens het remmen. De gemiddelde snelheid volgt uit de beginsnelheid en de eindsnelheid van A. De remtijd volgt uit de beginsnelheid en de remvertraging van A.
Werkpad

Bereken de remtijd van A
De remvertraging of negatieve versnelling van A is 8,00 m/s²
Er geldt

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow t_{\text{rem,A}} = \frac{\Delta v}{a} = \frac{v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}}}{a} = \frac{-30,0}{-8,00} = 3,75 \text{ s}$$

Bereken de gemiddelde snelheid van A tijdens het remmen

Omdat de beweging eenparig vertraagd is, geldt

$$v_{\text{gem,A}} = \frac{v_{\text{begin}} + v_{\text{eind}}}{2} = \frac{30,0 + 0}{2} = 15,0 \text{ s}$$

Bereken de remafstand van A

$$\Delta s_A = v_{gem,A} \cdot t = 15{,}0 \times 3{,}75 = 56 \text{ m}$$

c *Overzicht*
De stopafstand van B is de oppervlakte onder de (v,t)-grafiek van de beweging van B. Als verder de beginsnelheid, de reactietijd en de remtijd bekend zijn kan de (v,t)-grafiek getekend worden. De remtijd van B volgt uit de beginsnelheid en de remvertraging van B.
Werkpad
Bepaal of bereken de beginsnelheid, de reactietijd en de remtijd van B

De beginsnelheid van B is $v_B = 30{,}0$ m/s

De reactietijd van B is $t_{reactie,B} = 0{,}60 + 0{,}20 = 0{,}80$ s

Voor de remtijd van B geldt $t_{rem,B} = \dfrac{\Delta v}{a} = \dfrac{-30{,}0}{-5{,}50} = 5{,}45$ s

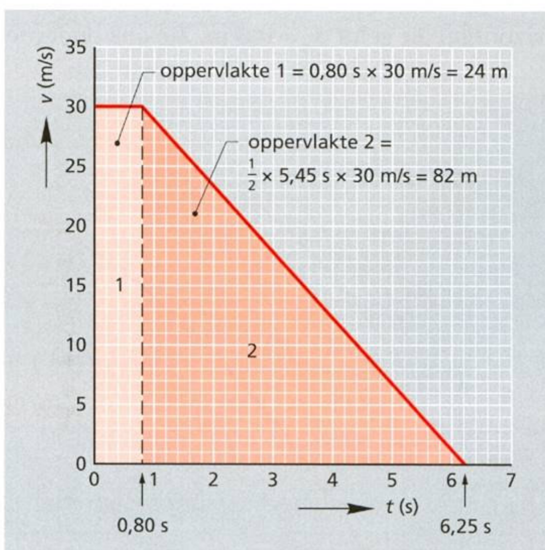
Teken het (v,t)-diagram van de beweging van B
Met behulp van deze gegevens kun je het (v,t)-diagram van de beweging van B tekenen. Zie figuur 2.52.

In de (v,t)-grafiek is $t = 0$ s het tijdstip waarop A begint te remmen.
De stopafstand van B is de oppervlakte onder de (v,t)-grafiek.
Bepaal uit het diagram de stopafstand van B

stopafstand B = reactieafstand B + remafstand B = oppervlakte 1 + oppervlakte 2

stopafstand B = $[0{,}80 \times 30{,}0] + [\frac{1}{2} \times 5{,}45 \times 30{,}0] = 24 + 82 = 106$ m

Figuur 2.52



d *Overzicht*
De afstand tussen A en B kun je berekenen uit de plaats van A en de plaats van B als beide stilstaan. Neem $s_B(0) = 0$ m, waarbij $t = 0$ s het tijdstip is waarop A begint te remmen. De plaats van A volgt dan uit de afstand tussen A en B op het moment dat A begint te remmen en de remafstand van A. De plaats van B volgt uit de stopafstand van B.

Werkpad
We nemen voor het tijdstip $t = 0$ s het tijdstip waarop A begint te remmen
$s_B(0) = 0$ m
Bereken de plaats van A als A stilstaat

Zie de antwoorden op de vragen a en b
$s_A = 60 + 56 = 116$ m

Bepaal de plaats van B als B stilstaat

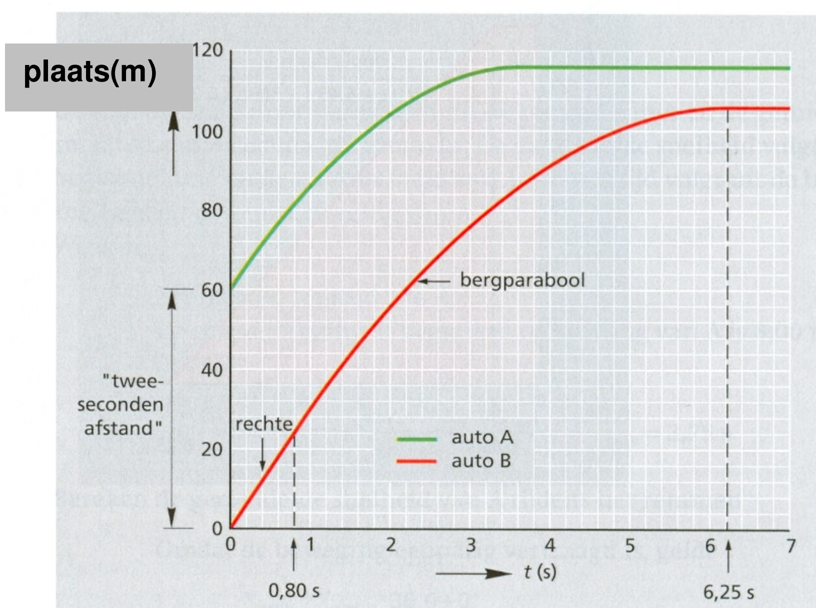
Zie het antwoord op vraag c
$s_B = 106$ m

Bereken de afstand tussen A en B als ze beiden stilstaan

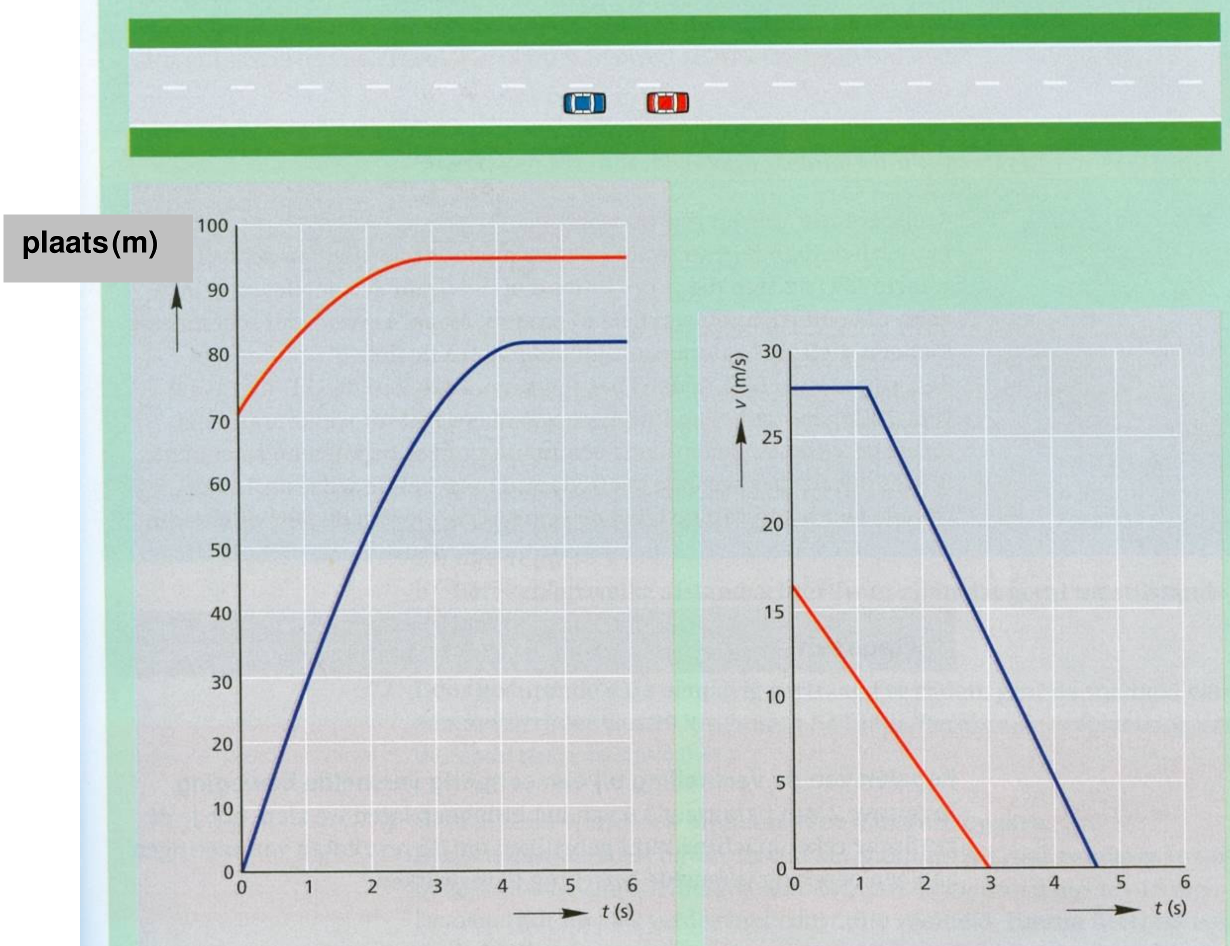
$\Delta s_{BA} = 116 - 106 = 10$ m
B komt dus op een afstand van 10 m van A tot stilstand.

e *Overzicht*
In figuur 2.53 zijn de (s,t)-grafieken van de beweging van beide auto's weergegeven.
Het tijdstip $t = 0$ s is het tijdstip waarop A begint te remmen en $s_B(0) = 0$ m.
(x,t)-grafiek van A
Op $t = 0$ s geldt: $s_A = 60$ m. Tot $t = 3{,}75$ s neemt de snelheid van A af.
De steilheid van de grafiek wordt kleiner. De grafiek is een bergparabool.
Na 3,75 s staat A stil en loopt de grafiek horizontaal. Er geldt $s_A = 116$ m.
Zie ook onderdeel a en b.
(x,t)-grafiek van B
In de eerste 0,80 s geldt: is de snelheid van B constant en de grafiek een rechte. Op $t = 0{,}80$ s geldt: $s_B = 24$ m. Zie figuur 2.53. Daarna neemt de snelheid van B af. De steilheid van de grafiek wordt kleiner. De grafiek is een bergparabool. Na $0{,}80 + 5{,}45 = 6{,}25$ s staat B stil en loopt de grafiek horizontaal. Er geldt $s_B = 106$ m. Zie ook onderdeel c.

Figuur 2.53



Applet — **De twee-secondenregel**



Figuur 2.54 Met deze applet kun je onderzoeken in welke situaties de twee-secondenregel gebruikt kan worden om de veilige afstand tot de voorligger te bepalen. Je ziet een tweebaansweg waarover twee auto's rijden en je ziet van beide auto's het (plaats, tijd)-diagram en het (snelheid, tijd)-diagram. De applet staat op www.sysnat.nl. De opdrachten bij deze applet zijn te vinden in het werkboek.

Practicum — **Stopafstand**

Laat bij verschillende beginsnelheden een fiets of scooter remmen. Zorg ervoor dat er steeds even hard geremd wordt. Bedenk zelf een manier hiervoor. Het materiaal dat je verder mag gebruiken is een stopwatch, een meetlint en pionnen. Bepaal het verband tussen de beginsnelheid en de stopafstand.

Practicum

Videometen en remvertraging
Maak een videofilmpje van een remmende fiets of scooter. Zet het filmpje over op de computer en laat het programma voor videometen een (v,t)-diagram van de beweging maken. Bepaal de remvertraging uit de (v,t)-grafiek.

Practicum

Knipperende LED en remvertraging
In de rijwielhandel zijn setjes te koop met een voorlicht en achterlicht waarin LED's zitten die je op 'knipperstand' kunt zetten. Bevestig zo'n voor- of achterlicht op een fiets of scooter. Maak 's avonds bij schemering met een digitale camera een tijdopname van de fiets of scooter met de knipperende LED, tijdens het remmen. Vaak kan de LED met twee verschillende snelheden knipperen. Probeer zelf uit welke stand het meest geschikt is. Bedenk ook een manier om te bepalen hoeveel lichtflitsjes de LED per seconde geeft. Bepaal op dezelfde wijze als in het tweede voorbeeld van de tekst de remvertraging van de fiets of scooter.

Opgaven

ONTHOUD:

SPA: Systematische probleem Aanpak:
Schrijf met symbolen op wat er is gegeven en wat er wordt gevraagd (opg. 66):
Geg: s(t) = 20 m, t = 4,0 s. Gevr.: v
Opl.: Rintje versnelt dus $s(t) = ½at^2$ en $a = \Delta v/\Delta t$.
$20 = ½.a.\ 4^2 \rightarrow 20 = 8\ a \rightarrow a = 2,5$
$a = \Delta v/\Delta t \rightarrow 2,5 = \Delta v/4 \rightarrow v = 10$ m/s

66 Rintje schaatst de eerste 20 m van een sprint in 4,0 s. Zijn beweging is eenparig versneld. Bereken de snelheid die hij na 4,0 s heeft.

67 Een antilope haalt een snelheid van 72 km/h. Na de start heeft de antilope 100 m nodig om deze topsnelheid te bereiken. Bereken de versnelling.

68 Op het moment dat een Boeiing 737 aan de landing begint, is zijn snelheid 216 km/h. Bij die snelheid heeft het vliegtuig een landingsbaan nodig met een lengte van 1,8 km. Het vliegtuig landt eenparig versneld. Bereken hoe groot de vertraging tijdens het landen minstens moet zijn.

69 De kreukelzone van een auto is zo gemaakt dat bij een botsing met een snelheid van 90 km/h de vertraging nooit groter wordt dan 300 m/s². Voor de berekening mag je aannemen dat de auto tijdens de botsing eenparig vertraagd. Bereken hoeveel meter de kreukelzone minimaal ingedrukt moet kunnen worden.

70 Kevin rijdt op zijn brommer met 40 km/h. Plots steekt een hond de weg over. Binnen 0,60 s reageert Kevin en remt dan af met een vertraging van 4,0 m/s². Bereken binnen welke afstand Kevin tot stilstand komt.

71 Twan rijdt met zijn brommer 40 km/h. Op tijdstip $t = 0$ begint hij te remmen met een remvertraging van 4,0 m/s². Op een afstand van 30 m achter Twan rijdt Nicole met dezelfde snelheid. Nicole reageert pas na 0,80 s op het remmen van Twan. Zij remt dan ook met een remvertraging van 4,0 m/s².

a Bereken op welke afstand achter Twan zij tot stilstand komt.

Het wordt gevaarlijker als Nicole slechts met een remvertraging van 3,0 m/s² remt.

b Bereken op welke afstand achter Twan zij in dat geval tot stilstand komt.

72 Door gedurende 4,0 s eenparig vertraagd te rijden, gaat de snelheid van een motorrijder van 90 km/h naar 54 km/h. Bereken de verplaatsing van de motorrijder in die 4,0 s.

73 **Gebruik het werkboek bij het maken van deze opgave.**
Een wielrenner staat boven op een berghelling. Hij rijdt eenparig versneld bergafwaarts. Zijn snelheid neemt dan in 12 s toe van 0 m/s tot 15 m/s. Daarna rijdt hij 18 s verder met constante snelheid. Hierna fietst hij een steile helling bergopwaarts, waardoor zijn snelheid in 20 s eenparig vertraagd afneemt van 15 m/s tot 0 m/s.

a Teken in figuur W2.11a het (snelheid, tijd)-diagram.

b Teken in figuur W2.11b het (plaats, tijd)-diagram.

c Teken in figuur W2.11c het (versnelling, tijd)-diagram.

74 **Gebruik het werkboek bij het maken van deze opgave.**
Op tijdstip $t = 0$ s rijdt een auto weg. Op dat moment passeert een motorrijder de auto. De motorrijder rijdt met een constante snelheid van 70 km/h. De auto blijft eerst 9,0 s versnellen met een constante versnelling van 3,0 m/s² en gaat daarna met constante snelheid verder.

a Maak in figuur W2.12 in het werkboek het (plaats, tijd)-diagram van de beweging van de motorrijder voor het tijdsinterval [0s; 30 s]. Neem **s**(0) = 0 m.

b Teken in dezelfde figuur het (plaats, tijd)-diagram van de auto.

Op een bepaald moment passeert de auto de motorrijder weer.

c Bepaal met behulp van de figuur de plaats van de auto op het moment dat de auto de motorrijder weer passeert.

2.7 Vrije val

Figuur 2.55 Joseph Kittinger die op 31 km hoogte uit de gondel van de luchtballon springt

Op 16 augustus 1960 bereikte Joseph Kittinger, kapitein bij de Amerikaanse luchtmacht, met zijn luchtballon een hoogte van 31,3 km. Op deze hoogte is de luchtdruk ongeveer 1 procent van de luchtdruk op zeeniveau. Omdat hij in een open gondel zat, droeg hij een drukpak om zich tegen de lage temperatuur en de luchtdruk te beschermen. Zijn pak begon echter te lekken en hij moest zo snel mogelijk naar beneden. Met zijn uitrusting die zijn gewicht bijna verdubbelde sprong hij uit de gondel en begon zo een snelle afdaling. Tot een hoogte van 27,4 km bleef hij versnellen. Hij beweerde later dat de grootste snelheid die hij tijdens zijn val registreerde, bijna duizend kilometer per uur was. Op 5,3 km hoogte opende hij zijn tweede parachute. Zijn landing verliep zonder problemen.
Hij had drie records gebroken: nog nooit was iemand met een ballon zo hoog geweest, nog nooit had iemand een vrije val uitgevoerd die zo lang duurde en nog nooit had iemand tijdens een vrije val zo'n hoge snelheid bereikt.

Als je deze tekst leest, kun je je een aantal dingen afvragen. Er wordt gesproken over een 'vrije val'. Wat wordt daarmee bedoeld en hoe verandert de snelheid tijdens zo'n vrije val? Kan de snelheid bij een vrije val werkelijk zo hoog worden?

Figuur 2.56

Uit ervaring weet je dat de valbeweging niet voor alle voorwerpen op dezelfde manier verloopt. Een steen gaat recht omlaag, een losgeraakt boomblad dwarrelt omlaag. Regendruppels blijken tijdens de val grotendeels met een constante snelheid te bewegen.
De volgende proef sluit hierbij aan. In een ongeveer 1 m lange, glazen buis doe je een knikker, een stukje kurk en een donzen veertje. Zie figuur 2.56. Keer je de buis snel om, dan blijkt de knikker iets eerder beneden te zijn dan het stukje kurk. Het veertje doet er duidelijk veel langer over.

Dit resultaat mag je *niet* verklaren door te zeggen: 'De aarde trekt harder aan zware voorwerpen dan aan lichte; dus zware voorwerpen gaan sneller'(!). Pomp je namelijk de lucht uit de buis weg en keer je hem dan snel om, dan zie je de voorwerpen (ook het veertje) gelijktijdig beneden aankomen. Blijkbaar veroorzaakt de aanwezigheid van lucht de verschillen in de valbeweging van voorwerpen. Elk vallend voorwerp ondervindt wrijving van de omringende lucht. Je noemt dit ook wel luchtweerstand.

Hoe groot de invloed van de luchtweerstand tijdens de val is, hangt af van de vorm en de afmetingen en van het voorwerp. Verder neemt bij toenemende valsnelheid ook de luchtweerstand toe. Als we spreken over een *vrije val* bedoelen we een valbeweging waarbij de luchtweerstand zo goed mogelijk is uitgeschakeld.

ONTHOUD:

Samenvatting

- De vrije val is een valbeweging waarbij de invloed van de luchtweerstand is te verwaarlozen.
- De vrije val verloopt voor alle voorwerpen (ongeacht hun zwaarte, vorm en afmetingen) op dezelfde manier.

Bij een vrije val is de versnelling g = 9.81 m/s^2

Nader onderzoek van de vrije val

In figuur 2.57 zie je een getekende kopie van een stroboscopische foto van de beweging van een vallend kogeltje. Tijdens het maken van de foto gaf de stroboscoop 25 flitsen per seconde, De tijd tussen twee flitsen is dan:

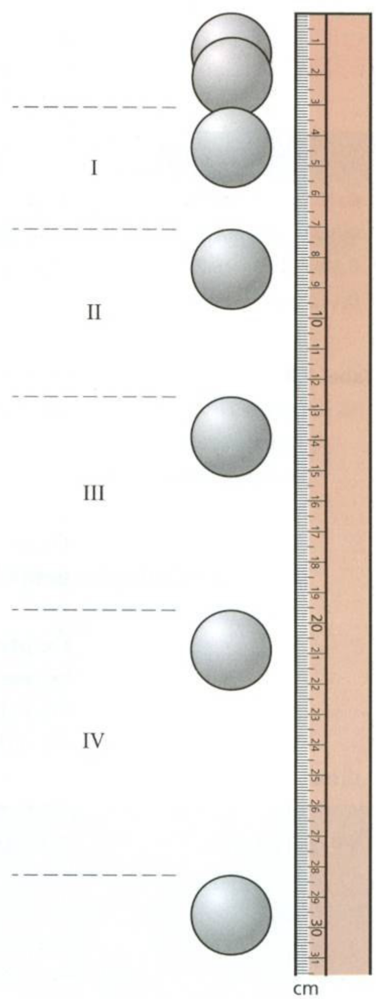
$\frac{1}{25} = 0{,}040$ s

De stroboscopische foto kun je volgens dezelfde methode onderzoeken als de foto van het karretje met de LED van het tweede voorbeeld in paragraaf 2.6. Eerst meet je de afstanden I t/m IV op. De resultaten staan vermeld in de derde kolom van tabel 2.7. Δy is de verandering van hoogte.

Verder blijkt 30,0 cm op de afgebeelde liniaal overeen te komen met 11,5 cm op het papier. Dus in werkelijkheid zijn alle afstanden een factor $\frac{30{,}0}{11{,}5} = 2{,}609$ groter. Deze afstanden staan in de vierde kolom van tabel 2.7.

Deel vervolgens elke afstand door 0,040 s. De zo berekende gemiddelde snelheid staat in de vijfde kolom van de tabel 2.7.

Net als in voorbeeld 2 van paragraaf 2.6 nemen we aan dat de gemiddelde snelheid in een tijdsinterval een goede benadering is voor de snelheid in het midden van het tijdsinterval. Het begin van het eerste gemeten tijdsinterval stellen we gelijk aan $t = 0$ s. Zo krijgen we dan tabel 2.8. In figuur 2.58 staat het diagram dat bij deze tabel hoort. De (v,t)-grafiek blijkt een rechte lijn te zijn.



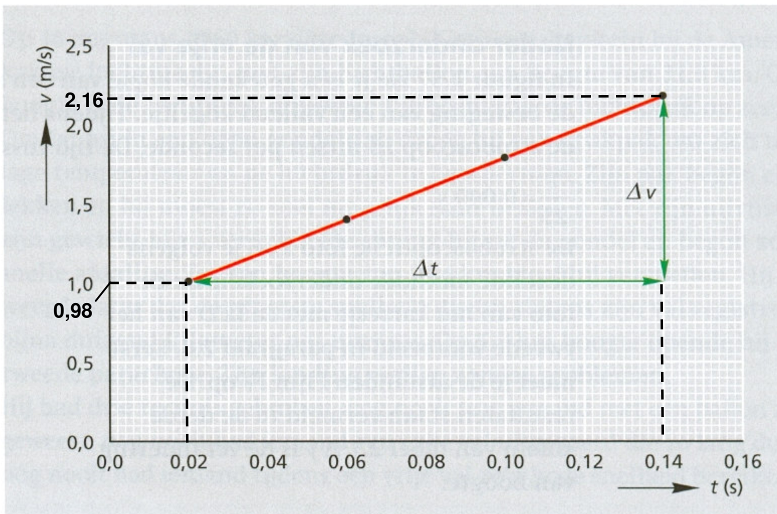
Figuur 2.57

Tabel 2.7

meting	Δt (s)	Δs(cm) op foto	Δs(cm) echt	v_{gem} (m/s)
I	0,000-0,040	1,50	3,92	0,98
II	0,040-0,080	2,11	5,49	1,37
III	0,080-0,120	2,71	7,06	1,77
IV	0,120-0,160	3,31	8,63	2,16

Conclusie: De valbeweging van het kogeltje is een eenparig versnelde beweging.

Figuur 2.58



t (s)	v (m/s)
0,020	0,98
0,060	1,37
0,100	1,77
0,140	2,16

Tabel 2.8

De versnelling bepalen we uit de steilheid van de rechte in het (v,t)-diagram. Er geldt:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2{,}16 - 0{,}98}{0{,}140 - 0{,}020} = 9{,}83 \text{ m/s}^2$$

Deze versnelling noemen we de *valversnelling*. De valversnelling is dus gelijk aan 9,83 m/s².

De proef met de 'valbuis'en de stroboscopische foto van het vallende balletje bevestigen de valwetten, die voor het eerst door Galileï zijn geformuleerd:

- De vrije val is een eenparig versnelde beweging.
- De valversnelling is voor alle voorwerpen even groot.

Practicum

De valversnelling
Maak met een videocamera of een digitale fotocamera die filmpjes kan maken met minstens 20 beeldjes per seconde, een filmpje van de val van een golfbal of tennisbal. Verwerk het filmpje met behulp van een programma voor videometen en bepaal de valversnelling.

Opmerking

- Voor het symbool voor de valversnelling wordt de letter g gebruikt en dus niet a. De g komt van het woord gravitatie.
- Nauwkeurige metingen hebben aangetoond dat op aarde de valversnelling niet overal even groot is. Op de evenaar geldt: $g = 9{,}78$ m/s², in ons land: $g = 9{,}81$ m/s² en aan de polen: $g = 9{,}83$ m/s².
  De valversnelling blijkt af te nemen met toenemende hoogte boven het aardoppervlak.
- Op andere planeten heeft de valversnelling een andere waarde. Bijvoorbeeld op Mars is de valversnelling 3,7 m/s² en op de maan 1,6 m/s²

Samenvatting:
- **Een val is een eenparig versnelde beweging.**
- **De valversnelling noemen we g.**
  Deze is in Nederland 9,81 m/s²
- **Voor de afstand geldt dus $s(t) = \frac{1}{2}at^2$ of $s(t) = \frac{1}{2}gt^2$**
- **Voor de versnelling geldt** $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ **of** $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Voorbeeld

Joseph Kittinger (zie het begin van deze paragraaf) beweerde een snelheid bereikt te hebben van bijna duizend kilometer per uur. Hij heeft dan 31,3 – 27,4 = 3,9 km afgelegd. Is het mogelijk dat hij binnen deze afgelegde weg zo'n hoge snelheid heeft bereikt?

Overzicht

Op een hoogte van 30 km is de luchtdruk ongeveer 1 procent van de luchtdruk op zeeniveau. We nemen daarom aan dat de luchtweerstand te verwaarlozen is. We houden rekening met feit dat de valversnelling op grote hoogte afneemt. Op ongeveer 30 km hoogte is de valversnelling 9,71 m/s².

Werkpad

Bereken met behulp van de formules van de valbeweging de snelheid

$$s(t) = \tfrac{1}{2}\cdot g\cdot t^2 \Rightarrow 3{,}9.10^3 = \tfrac{1}{2}\cdot 9{,}71\cdot t^2 \Rightarrow t = 28 \text{ s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow 9{,}71 = \frac{\Delta v}{28} \Rightarrow v = 9{,}71\cdot 28 = 2{,}7\cdot 10^2 \text{ m/s}$$

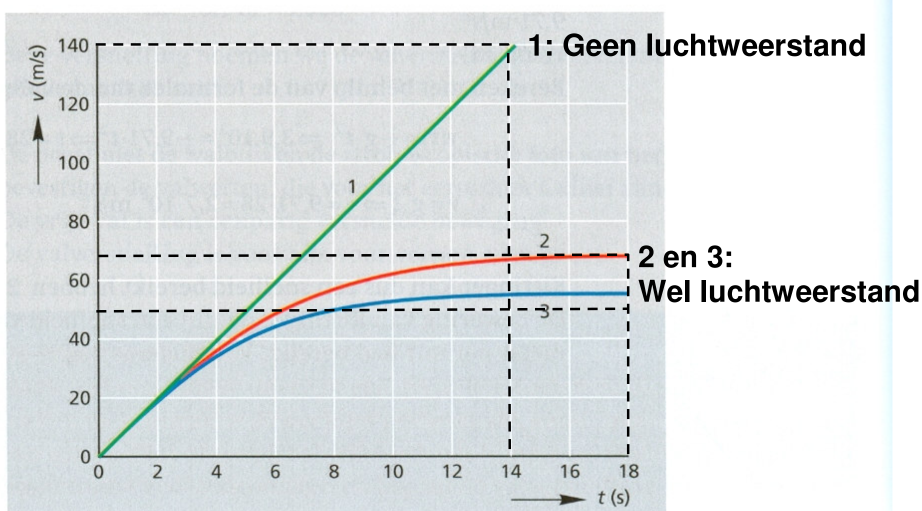
Kittinger kan dus een snelheid bereikt hebben $2{,}7\cdot 10^2 \times 3{,}6 = 9{,}7\cdot 10^2$ km/h. De bewering van Kittinger dat hij een snelheid van bijna duizend kilometer per uur had bereikt, kan dus waar zijn.

Valbeweging met luchtweerstand

Figuur 2.59

Wanneer een voorwerp vrij valt, is het (v,t)-diagram een rechte met een steilheid van 9,8 m/s². Zie rechte 1 in figuur 2.60. Overigens gaat het hier wel over een denkbeeldige val, want een vrije val kan alleen in vacuüm plaatsvinden.
Skydiving is een sport waarbij men met een parachute bij zich op grote hoogte uit een vliegtuig springt en daarna zo lang mogelijk wacht met het openen van de parachute. In figuur 2.59 zie je een foto van een groep 'skydivers'. In figuur 2.60 staan ook de (v,t)-grafieken van de valbeweging van twee *skydivers*, grafiek 2 en grafiek 3. Aan de (v,t)-grafieken is te zien dat na enige tijd de snelheid van de skydivers niet meer toeneemt.

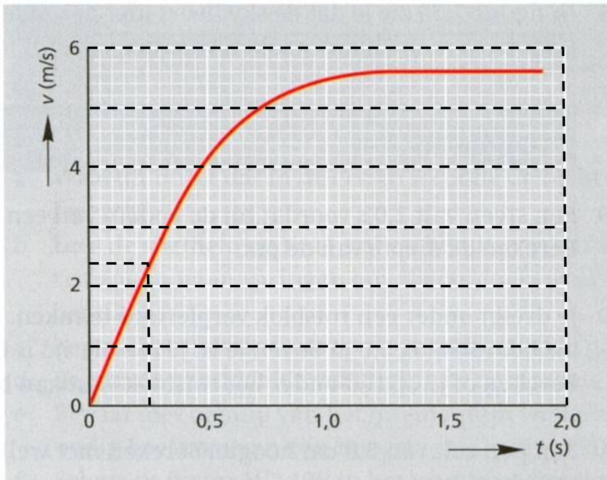
Figuur 2.60



Elk voorwerp dat over een voldoende grote afstand valt, krijgt een snelheid die niet meer toeneemt. De luchtweerstand is daar de oorzaak van. Men noemt die constante snelheid de *eindsnelheid*. De eindsnelheid die een voorwerp tijdens een valbeweging kan bereiken, hangt af van de zwaarte, de vorm en de afmetingen van het voorwerp. Lichte, kleine voorwerpen worden het meest door de luchtwrijving beïnvloed en hebben daardoor de kleinste eindsnelheid.

In figuur 2.61 zie je het (v,t)-diagram van een vallende regendruppel. Regendruppels bereiken al na korte tijd hun eindsnelheid. De eindsnelheid van de regendruppel is veel lager dan die van een skydiver.

Figuur 2.61



Snelheid – tijd grafiek voor een vallende regendruppel

Practicum

Val met luchtwrijving

De invloed van de luchtwrijving bij een valbeweging hangt af van de oppervlakte van het voorwerp loodrecht op de richting van de snelheid. Met ballonnen die door gewichtjes zijn verzwaard is dit op een eenvoudige wijze te onderzoeken. Een ballon met een diameter van enkele tientallen centimeters en verzwaard met een gewichtje van 10 gram bereikt als gevolg van de luchtwrijving al na enkele tientallen centimeters zijn eindsnelheid.
Laat ballonnen die verschillende diameters hebben en verzwaard zijn met steeds hetzelfde gewicht een valbeweging uitvoeren. Bepaal steeds de eindsnelheid met behulp van videometen.
Voor bolvormige ballonnen geldt:

$$A = \tfrac{1}{4}\pi d^2$$

- A is de oppervlakte loodrecht op de richting van de snelheid.
- d is de diameter.

Bepaal het verband tussen de eindsnelheid en de oppervlakte van de ballon loodrecht op de richting van de snelheid.

Vragen

75 Wat verstaan we onder een vrije val en wat is het typische kenmerk daarvan?

76 a Hoe groot is de valversnelling in Nederland?
b Waarvan hangt de grootte van de valversnelling af?

77 Geef voor de valbeweging:
a de formule voor de verplaatsing vanaf het hoogste punt;
b de formule voor de snelheid.

78 In figuur 2.59 zie je dat de skydivers niet dezelfde eindsnelheid bereiken. Geef twee mogelijke oorzaken voor het verschil.

Opgaven

79 Een steen valt 2,0 s voordat hij de bodem van een diepe put bereikt. Bereken de diepte van de put.

80 Je dreigt onder een rotsblok verpletterd te raken. Een ander waarschuwt je als het rotsblok 3,0 m boven je is. Je reactietijd is 0,30 s.
Bereken of je op tijd onder het rotsblok vandaan bent.

81 Een pen valt van 5,0 cm hoogte. Bereken met welke snelheid de pen de tafel bereikt.

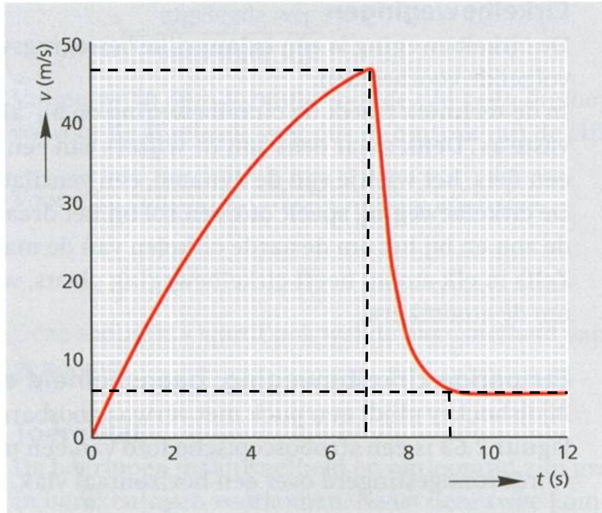
82 Na het record van Joseph Kittinger hebben andere skydivers geprobeerd zijn record te verbeteren. Er zijn pogingen gedaan om snelheden boven de 300 m/s te bereiken.
Om niet te veel last van de luchtweerstand te krijgen, moet de skydiver deze snelheid al op 27 km hoogte bereikt hebben. Hierboven kan de luchtweerstand verwaarloosd worden.
Een skydiver springt uit de gondel van een luchtballon en bereikt op 27 km hoogte een snelheid van 300 m/s. Bereken vanaf welke hoogte hij sprong. Neem voor de valversnelling 9,71 m/s^2.

83 Zou op de planeet Mars een steentje worden losgelaten op 15,6 m hoogte, dan treft het de grond met een snelheid van 10,8 m/s. Bereken hoe groot de valversnelling op Mars is.

84 Om te begrijpen hoe ernstig een verkeersongeluk is, moet je het volgende experiment in gedachten uitvoeren. Een bromfietser botst met een snelheid van 40 km/h tegen een boom.
Bereken van welke hoogte je moet vallen om dezelfde snelheid te krijgen.

85 **Gebruik het werkboek bij het maken van deze opgave.**
In figuur 2.62 zie het (v,t)-diagram van een parachutespringer tijdens zijn val.

Figuur 2.62



Snelheid – tijd grafiek van een parachutist.

a Waaruit blijkt dat in de eerste seconde de luchtweerstand te verwaarlozen is?

b Lees de snelheid op t =11 s af en bereken vanaf welk hoogte de parachutist zou moeten springen om zonder luchtweerstand deze snelheid te bereiken.

c Bepaal het tijdstip waarop de parachute open gaat.

d Bepaal de gemiddelde vertraging in de zevende seconde.

e Bepaal met behulp van het (v,t)-diagram welke afstand de parachutist nodig heeft om van zijn hoogste snelheid tot 20 m/s af te remmen.

f Schets in figuur W2.13b in het werkboek het (hoogte, tijd)-diagram. Ga ervan uit dat op t =12 s de parachutist de grond raakt. Op de verticale as waar de hoogte moet staan, hoef je geen schaalverdeling aan te brengen.

------------------------------------- Einde hoofdstuk 2-------------------------------------

Antwoorden van rekenopgaven:

8 b tussen 0 en 13 min
9 a 0,20 s
b 24,1 cm
11 A
12 a 1,2 m
b $2{,}7 \cdot 10^{-7}$ s
23 19 m/s
24 a 5,0 m/s
b 25 m/s
25 a 36 s
b $1{,}8 \cdot 10^{2}$ s
c 83 km/h
26 a $2{,}0 \cdot 10^{-3}$ s
b $5{,}0 \cdot 10^{2}$ s (8,3 min)
c 7,4 d
d 49 d
27 b 2,0 km
28 a 10 km
b 20 km/h
c 19 km/h
29 c 33 m
30 a 14 min
b 18 – 20 min
c 30 km/h
31 7,62 uren; 7,42 km/h; 6,0 km
7338 km; 10,74 uren;
683 km/h
32 a 0,32 s
b 68
c 136 cm
g 17 km/h
36 2, 5 m/s
38 a 8,8 m/s
39 a 1,3 m
b 0,5 m/s
c 1,3 m/s
d 5,1 s
e [3,0 s; 3,5 s]
f 1,5 m/s
41 a 29 m
42 b $4{,}0 \cdot 10^{-7}$ s
d 130 km/h
46 1,6 m/s²
47 6,4 km/h
48 1,7 m/s²
49 8,0 m/s²
50 3,5 m/s²
51 $2{,}7 \cdot 10^{2}$ s
52 6,4 s
53 a 2,5 m/s²
c 20 m/s
59 a 3,1 m/s²
b $1{,}2 \cdot 10^{2}$ m
60 8,7 km
61 $9{,}0 \cdot 10^{2}$ m
62 d 19 m
63 a 16 : 9 = 1,77
b 1 : 1 = 1
65 0,21 m
66 10 m/s
67 2,0 m/s²
68 1,0 m/s²
69 1,0 m
70 22 m
71 a 21 m
b 16 m
72 80 m
74 c $3{,}1 \cdot 10^{2}$ m
79 20 m
80 ja
81 0,99 m/s
82 32 km
83 3,7 m/s²
84 6,3 m
85 b 1,4 m
c 7,1 s
d 3,2 m/s²
e 20 m