Wiskunde Op Maat

Natuurkunde

Kinematica: Basisbegrippen

(Versie 2025/09/04.40)

Inhoudsopgave

2.1 Inleiding kinematica

Kinematica (afkomstig van het Griekse woord $\kappa\iota\nu\eta\mu\alpha$) is het belangrijke onderdeel van de fysica dat de **bewegingen van voorwerpen beschrijft** zonder zich af te vragen wat de oorzaak ervan is. Dat gaat bijvoorbeeld over vallende appels, rollende knikkers of rijdende auto's, maar ook over de beweging van de maan rond de aarde, de aarde rond de zon, moleculen in water of ook in elkaar grijpende tandwieltjes in een mechanisch uurwerk.

Dit hoofdstuk bestudeert de **basisbegrippen** en **basisgrootheden** van de kinematica om in een volgende fase enkele concrete basisbewegingen (rechtlijnige, cirkelvormige, snelle, trage, versnellende en vertragende, enzovoort) te beschrijven.

Kwantitatief behandelt kinematica steeds de vectoriële grootheden **positie**, **snelheid** en **versnelling**, hun verbanden onderling en hun afhankelijk met de scalaire grootheid **tijd**.

Voorbeeld 2.1.1. Als een appel van een boom valt, kan je allerlei vragen stellen over deze valbeweging:

- Hoe ver valt de appel van de boom?
- Hoe lang duurt het voor de appel de grond raakt?
- Hoe snel valt de appel? Is die snelheid altijd dezelfde, of valt een appel altijd maar sneller?
- Als de snelheid van de appel verandert, hoe groot is ze dan bij het begin van de val? En na 1 seconde? En op het moment dat de appel de grond raakt?

We bekommeren ons voorlopig nog niet over de vraag *waarom* een appel naar beneden valt, en bijvoorbeeld niet naar boven. Dat komt later, in het onderdeel *dynamica*, waar we de *krachten* zullen bestuderen die de bewegingen beïnvloeden. Wel, we zullen zien dat krachten eigenlijk alleen maar de *veranderingen van bewegingen* veroorzaken.

Voorbeeld 2.1.2. Als je een krijtje gooit naar het bord, kan je je daarover allerlei vragen stellen:

- Vliegt dat krijtje in een rechte lijn naar het bord? Of eerder in een cirkelbaan? Of misschien een ellips?
- Hoe snel vliegt dat krijtje? Vertraagt het tijden zijn vlucht omdat het kracht verliest, of versnelt het eerder omdat het ook wat naar beneden valt?
- Als de leerkracht het laatste stukje van de baan van het krijtje nauwkeurig heeft geregistreerd, kan hij dan weten welke leerling gegooid heeft?
- Als je uitglijdt en valt net bij het gooien, gaat het krijtje dan ook sneller naar beneden vallen?
- Vliegen lange en korte krijtjes even snel? Vliegen witte en rode krijtjes even snel? Vliegen krijtjes met een scherpe punt sneller?
- Mag je eigenlijk wel met krijtjes gooien?
- Is dit voorbeeld niet erg verouderd in deze tijden van electronische borden? Kan je met stiften gooien? Mag dat? Zal ChatGPT ooit met krijtjes kunnen gooien?
- Als je snel genoeg gooit, en opzettelijk het bord mist, is het dan theoretisch mogelijk om het krijtje in een baan om de aarde te krijgen? Hoe snel zou je moeten gooien?

Sommige van deze vragen worden behandeld in de kinematica, andere in de dynamica. Enkele vragen zijn eigenlijk onzinnig, en uitzonderlijk kan een vraag worden behandeld in de strafstudie. Als een vraag grappig zou zijn, is dat toevallig en irrelevant.

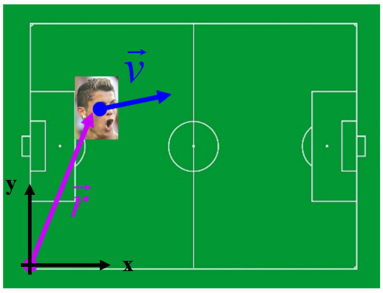
2.2 Het referentiestelsel

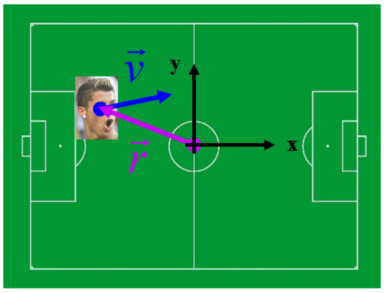
Elk bewegend systeem wordt beschreven ten opzichte van een **referentiestelsel**. Deze omvat een assenstelsel met een oorsprong (= het **referentiepunt**). Binnen dit referentiestelsel worden de kinematische grootheden beschreven, in de eerste plaats vectorieel.

Als je een vogel ziet vliegen kan je deze beweging op verschillende manieren beschrijven: de vogel kan *stijgen* of een *duikvlucht* nemen. De vogel kan *omdraaien* of -indien het een kolibri is- misschien zelfs *blijven hangen*. Om deze bewegingen kwantitatief en nauwkeurig te bespreken kies je een referentiestelsel en coördinaatassen. Op die manier krijgt de vogel een positievector die de positie aangeeft, een snelheidsvector die de snelheid aangeeft, ...

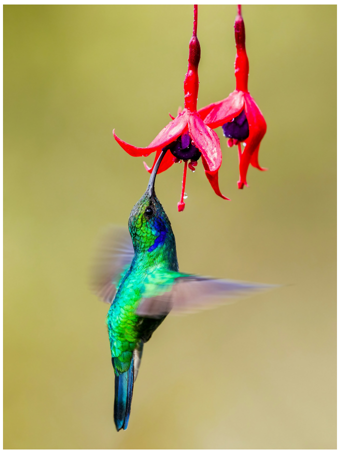
De keuze van het referentiestelsel is altijd relatief. Toch is het erg belangrijk om telkens duidelijk te maken van waaruit een beweging beschreven wordt. Stel je voor dat je nu aan een bureau gedreven aan het studeren bent en je houdt je pen op *ooghoogte*, hoe 'hoog' bevindt je pen zich dan? Meet je dit vanaf je tafelblad, de vloer, het straatniveau, het aantal meters boven de zeespiegel, ...? In welke eenheid meet je dit? Wat is je eenheidsvector en in welke richting kies je de positieve as?

Voor de eenvoud wordt meestal een referentiestelsel gekozen dat voor de 'waarnemer' stilstaat. Hieronder een voorbeeld van een voetbalveld waarop de positie $\vec{r}$ van de voetballer duidelijk verschillend is naargelang het referentiepunt. Voor een toeschouwer in het publiek staan beide referentiestelsels stil, bijgevolg is de snelheid $\vec{v}$ voor beiden dezelfde.





Oefening 2.2.1. De kolibri in onderstaande foto blijft ter plekke in de lucht hangen onder de bloem. Geef twee referentiestelsels waarin deze vogel **niet** stilstaat.



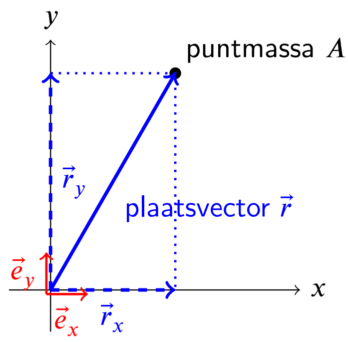
Uitwerking:

- Een referentiestelsel met de kern van de aarde als oorsprong. (De kolibri draait nu rond de as van de aarde...)
- Een referentiestelsel met de zon als middelpunt (De kolibri draait nu ook rond de zon...)

2.3 De positie

Positie en plaatsfunctie

Met behulp van een referentiestelsel kan elke plaats van een puntmassa in de ruimte worden beschreven met een **positie- of plaatsvector**, algemeen genoteerd door $\vec{r}$. Afhankelijk van het aantal dimensies waarin de beweging beschreven wordt heeft deze plaatsvector één, twee of drie componenten volgens de gekozen assen, doorgaans $\vec{x}$, $\vec{y}$ en $\vec{z}$ genaamd. De (scalaire) getalcomponenten van deze vectoren zijn de plaatscoördinaten x,y en z.



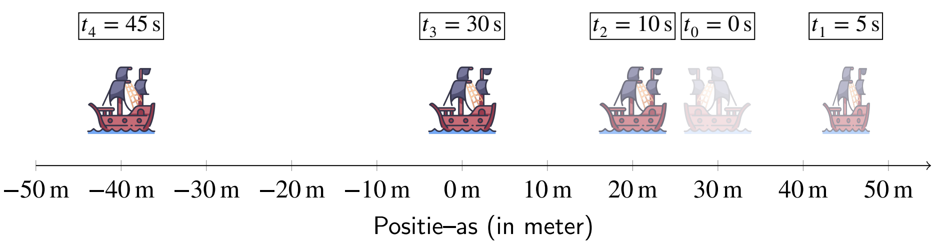
Figuur 1: De plaatsvector $\vec{r}$

Als een puntmassa beweegt, verandert haar plaatsvector $\vec{r}$. De beweging van een puntmassa wordt beschreven door een *functie* die de **plaats** $\vec{r}$ weergeeft in functie van de **tijd**. De **plaatsfunctie** $\vec{r} = \vec{r}(\mathrm{t})$ geeft voor elk tijdstip t de positie $\vec{r}$ waar de puntmassa zich bevindt. In het algemeen is een dergelijke vectorfuncties ingewikkeld om te hanteren, daarom wordt er gewerkt met de tijdsafhankelijke getalcomponenten $x(t)$,$y(t)$ en $z(t)$. Elke coordinaatsfunctie geeft voor elk moment t de coordinaat van de puntmassa volgens een welbepaalde-as. Al deze componentsfuncties samen beschrijven de volledige beweging van de puntmassa. Bij een ééndimensionale bewegingen is er slechts één coordinaats-as nodig om de beweging te beschrijven. Dat is een scalaire grootheid, namelijk de positie op de enige coördinaatas en t is de variabele die symbool staat voor de tijd. [1]

De positie op een welbepaald tijdstip t_1 wordt genoteerd als

$$x_1 = x(t_1)$$

In onderstaande figuur zie je de tocht dat een zeilship aflegde. Op verschillende tijdstippen $t_0, t_1, t_2, \ldots$ wordt weergegeven waar het ship zich bevindt.

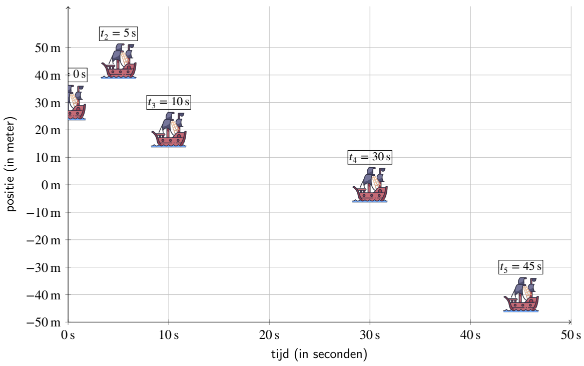


Figuur 2: De positie van de zeilboot voor elke tijd t

[1] In de fysica gebruiken we de wiskunde als 'taal' om de wetmatigheden van de natuur in uit te drukken. Wiskundige variabelen en objecten zoals functies krijgen nu een fysische betekenis. $x(t)$ is dus niets anders dan een functie $f(x)$ of $y(x)$ zoals je die in wiskunde kent. Alleen nemen wij nu niet voor de onafhankelijke variabele het symbool x maar het symbool t omdat deze symbool moet staan voor de tijd. En voor het symbool f gebruiken wij nu het symbool x omdat de beeldwaarden van de functie nu als betekenis een positie op een coördinaatas hebben.

2.3 De positie

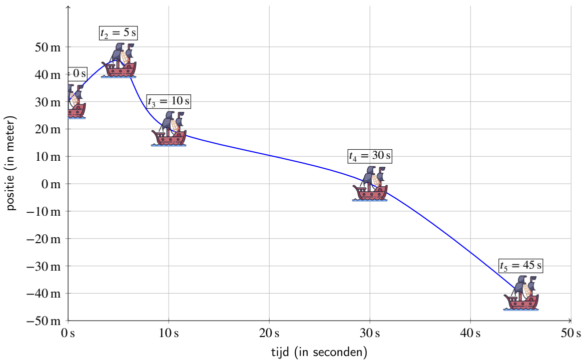
In de natuurkunde is **tijd een dimensie**.[2] In bovenstaande figuur wordt boven elke zeilboot aangegeven op welk tijdstip de boot daar werd waargenomen. Zo bevindt de boot zich op $t_3 = 10\,\text{s}$ op de positie $20\,\text{m}$. De startpositie van de zeilboot x_0 is gelijk aan $30\,\text{m}$ want voor $t_0 = 0\,\text{s}$ geldt $x(0) = 30\,\text{m}$. In plaats van de tijd boven elke zeilboot te noteren, is het ook mogelijk om de tocht op een tijd-as uit te zetten.



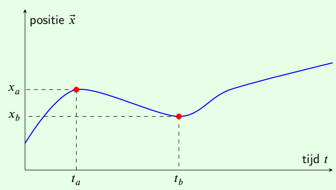
Figuur 3: De positie van de zeilboot met een tijd-as

Er zit **geen** extra informatie in bovenstaande figuur! We hebben enkel de tijdsdimensie uitgezet op een horizontale-as en de positie op de verticale-as. Als je nu ijverig natuurkunde aan het studeren bent, kan je 'de positie' van dit blad papier onderzoeken. Dit blad ligt stil op je bureau en je probeert te begrijpen wat er uitgelegd wordt. Dan verandert de positie volgens de positie-as natuurlijk niet, maar het blad beweegt zich wel voort op de tijd-as. [3]

De positie van de zeilboot is enkel weergegeven voor een aantal specifieke momenten t_0, t_1, t_2, t_3 en t_4. De boot heeft natuurlijk ook op *elk moment hiertussen* een positie . . .



Definitie 2.3.1. De **plaatsfunctie** $\vec{x}(t)$ geeft voor elke moment t de positievector x. In één dimensie is $\vec{x}$ een scalar en is de plaatsfunctie een grafiek waarop horizontaal de tijd wordt weergegeven en verticaal de positie.



[2] Einstaan gaf een beschrijving voor de zwaartekracht in de *4-dimensionale ruimte-tijd*.

[3] Want terwijl je dit aan het lezen bent staat de tijd natuurlijk niet stil...[4]

[4] Je blad beweegt zich -eerder saai- constant voort op de tijdsdimensie. Het is echter mogelijk -in de relativiteitstheorie- om ook op meer interessantere manieren op de tijd-as te bewegen.[5]

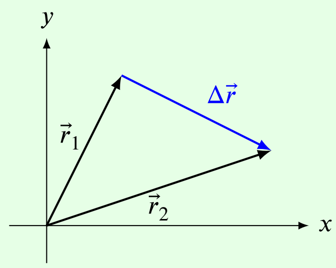
[5] Aangezien je enkel constant op de tijd-as kan voortbewegen, en dus niet terug kan, lijkt het aangewezen om je tijd goed te benutten. Bijvoorbeeld door wat natuurkunde te leren.

2.3 De positie

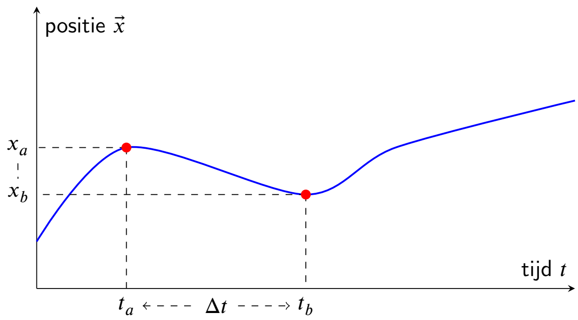
De **verplaatsing** tussen t_1 en t_2 is het verschil in positie tussen de twee tijdstippen t_1 en t_2, genoteerd met een $\Delta\vec{r}$ (Delta, een Griekse hoofdletter D van het Engelse 'displacement' of het Franse 'déplacement').

Definitie 2.3.2. De **verplaatsing** $\Delta\vec{r}$ is het verschil tussen twee posities:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$



Voor ééndimensionale bewegingen is de verplaatsing eenvoudig scalair te berekenen met: $\Delta x = x_{eind} - x_{begin}$. De verplaatsing van de zeilboot tussen de tijdstippen t_0 en t_1 is gelijk aan $\Delta x = x_1 - x_0 = 45\,\text{m} - 30\,\text{m} = 15{,}0\,\text{m}$ en is de verplaatsing tussen de tijdstippen t_2 en t_4 gelijk aan $\Delta x = x_4 - x_2 = -40{,}0\,\text{m} - 20\,\text{m} = -60{,}0\,\text{m}$. Deze laatste verplaatsing is negatief, wat aangeeft dat de zeilboot netto naar achteren is bewogen – tegengesteld aan de zin van de gekozen as. Op de plaatsfunctie kan de verplaatsing eenvoudig afgelezen worden:



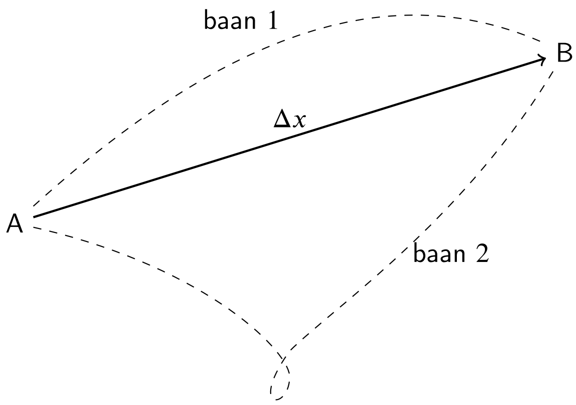
Vlugge Vraag

Bereken de verplaatsing $\Delta x = x_4 - x_1$ van de zeilboot en duidt deze verplaatsing aan op de grafiek.

Let op, de verplaatsing hoeft niet noodzakelijk gelijk te zijn aan de *afgelegde weg* tussen de twee bijbehorende tijdstippen. Als je een rondje hebt gelopen op de atletiekpiste en terug aan start staat is je (netto) verplaatsing nul, maar heb je wel degelijk afstand afgelegd.

Wanneer een voorwerp beweegt, doorloopt het meerdere posities. De verbindingslijn van al deze gepasseerde posities, noemt men de **baan** van de beweging. Een ééndimensionale beweging heeft een rechte baan. Een tweedimensionale is doorgaans krom en kan meerdere vormen hebben (willekeurig, cirkelvormig, paraboolvormig, ellipsvormig,. . .).

2.3 De positie



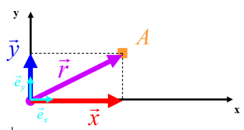
Figuur 4: Verplaatsing en afgelegde weg

Samengevat voor ééndimensionale bewegingen:

	Vectoriële notatie	Scalaire notatie
Positie op moment t:	$\boxed{\vec{x}_t = x(t) \cdot \vec{e}_x = x \cdot \vec{e}_x}$	$\boxed{x(t) = x}$ (kan negatief zijn)
Verplaatsing op het tijdsinterval $\Delta t = t_2 - t_1$:	$\boxed{\Delta\vec{x} = \vec{x}_2 - \vec{x}_1}$ $\Delta x \cdot \vec{e}_x = (x_2 - x_1) \cdot \vec{e}_x = x_2 \cdot \vec{e}_x - x_1 \cdot \vec{e}_x$	$\boxed{\Delta x = x_2 - x_1}$ (kan negatief zijn bij een verplaatsing tegen de zin van de x-as.)
Afgelegde weg op moment t:	/	$s(t)$ kan negatief zijn; zie wiskunde

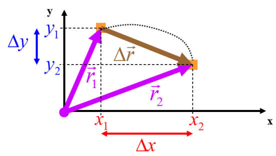
Voor tweedimensionale bewegingen worden de begrippen positie, verplaatsing en afgelegde weg complexer.

➢Positie (plaats) wordt vectorieel beschreven met de plaatsvector $\vec{r}$ of scalair met behulp van de coördinaten x en y. In dat laatste geval is de positie van een voorwerp A = co(A) = (x,y).



Vectoriële notatie & definitie	Scalaire notatie & definitie
$\boxed{\vec{r}(t) = \vec{r} = \vec{x} + \vec{y} = x \cdot \vec{e}_x + y \cdot \vec{e}_y}$	$\boxed{x(t) = x}$ $\boxed{y(t) = y}$ $\boxed{r(t) = r = \sqrt{x^2 + y^2}}$

➢Verplaatsing wordt vectorieel beschreven met de verplaatsingsvector $\Delta\vec{r}$ of scalair met de horizontale verplaatsing Δx, de verticale verplaatsing Δy en de totale verplaatsing Δr.



Vectoriële notatie & definitie	Scalaire notatie & definitie
$\boxed{\begin{aligned}\Delta\vec{r} &= \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (x_2 \cdot \vec{e}_x + y_2 \cdot \vec{e}_y) - (x_1 \cdot \vec{e}_x + y_1 \cdot \vec{e}_y) \\ &= (x_2 - x_1) \cdot \vec{e}_x + (y_2 - y_1) \cdot \vec{e}_y = \Delta x \cdot \vec{e}_x + \Delta y \cdot \vec{e}_y\end{aligned}}$	$\boxed{\Delta x = x_2 - x_1}$ $\boxed{\Delta y = y_2 - y_1}$ $\boxed{\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}$

▪Verwar verplaatsing niet met afgelegde weg!
Verplaatsing = rechtlijnige afstand tussen begin- en eindpunt (= afstand in vogelvlucht)
Afgelegde weg = effectieve afstand die voorwerp heeft afgelegd (meestal langer)
▪Zie ook figuren applet 2D bewegingen op Smartschool

2.4 De snelheid

Een voorwerp in beweging heeft een snelheid. De ervaring leert dat hoe groter de snelheid (in de auto, op je fiets, ...) hoe groter de verplaatsing op een bepaald tijdsinterval. Als je fietst aan $30\,\mathrm{km/h}$, leg je op één uur tijd $30\,\mathrm{km}$ af. Als je wandelt aan $5\,\mathrm{km/h}/$ leg je op één uur tijd slechts $5\,\mathrm{km}$. Met behulp van de plaatsfunctie kan de snelheid van een voorwerp volledig worden bepaald.

Snelheid bij ééndimensionale bewegingen

De tijd nodig voor een bepaalde verplaatsing geeft aanleiding tot de *gemiddelde snelheid*.

Definitie 2.4.1. De gemiddelde snelheid $\overline{v}$ van een voorwerp tussen twee tijdstippen wordt gedefiniëerd als

$$\overline{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

De eenheid van snelheid is meter per seconde $[v] = \mathrm{m/s}$.

In het traject van de zeilboot is de gemiddelde snelheid van de boot tussen de tijdstippen t_1 en t_2 gelijk aan $\overline{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{45\,\mathrm{m} - 30\,\mathrm{m}}{10\,\mathrm{s} - 5\,\mathrm{s}} = \frac{15{,}0\,\mathrm{m}}{5{,}0\,\mathrm{m}} = 3{,}0\,\mathrm{m/s}$. Als de snelheid negatief is betekent dit dat de zeilboot tegen de positieve richting-as bewogen is.

Ogenblikkelijke snelheid bij ééndimensionale bewegingen

De gemiddelde snelheid $\overline{v}$ is enkel gedefinieerd *tussen* twee posities x_1 en x_2. De plaatsfunctie $x(t)$ kent voor elk tijdstip t aan een puntmassa een positie x toe. Op dezelfde manier zou je op elk tijdstip de snelheid willen kennen.

De eenheid van snelheid is $\mathrm{m/s}$, het gaat dus over het aantal meter dat in een bepaald tijdsinterval wordt afgelegd. Op één bepaald moment t, één ogenblik, is er helemaal geen tijdsverloop en bijgevolg kan er ook geen verplaatsing zijn ...! Er is immers geen tijd verstreken om afstand te kunnen afleggen.

Om even over na te denken ...

Als een raket opstijgt vanuit stilstand is de snelheid duidelijk groter dan nul. **Wat is volgens jou de snelheid op het eerste moment dat een opstijgende raket de grond niet meer raakt?**

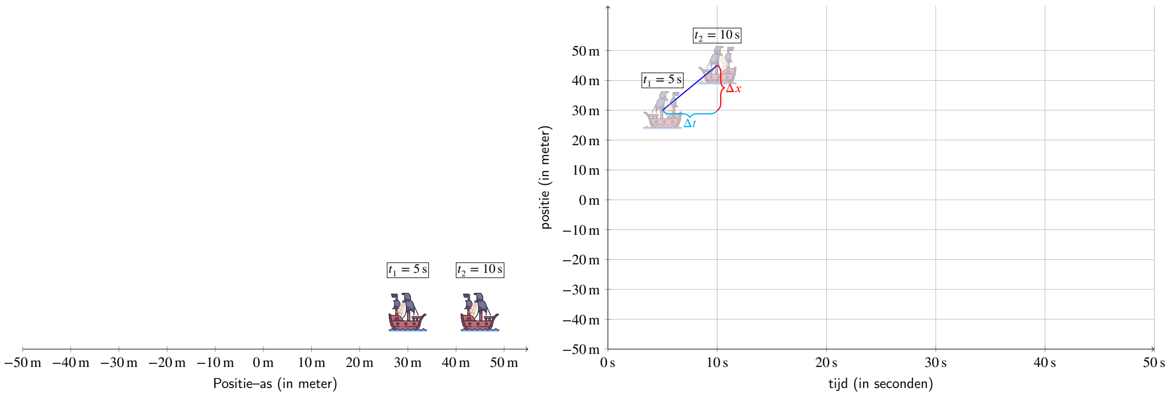
'Ja, maar', ga je zeggen, 'de snelheidsmeter van mijn fiets zegt toch hoe hard ik ga?!' Dat *lijkt* inderdaad een ogenblikkelijke snelheid te zijn maar in werkelijkheid is dat steeds de gemiddelde snelheid over het tijdsinterval dat het sensortje op je wiel nodig heeft om één omwenteling te maken. Je snelheidsmeter berekent dus de gemiddelde snelheid door je wielomtrek[6] te delen door de tijd van één omwenteling. Als je plots remt gaat je snelheid afnemen maar je metertje gaat dit niet ogenblikkelijk kunnen aangeven. Het moet wachten totdat het sensortje weer rond is geweest om de tijd te kennen en zo de snelheidsverandering te kunnen registreren.

Hoe kan dit probleem opgelost worden? Om de ogenblikkelijke snelheid op $t_1 = 5\,\mathrm{s}$ te kennen, lijk het eerste (en misschien wel enige...) idee om te vertrekken van de gemiddelde snelheid tussen t_2 en t_2 die hierboven werd berekend. Deze gemiddelde snelheid kan je beschouwen als een erg ruwe schatting van de snelheid op $t_1 = 5$.

$$\overline{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

[6] Die je hebt moeten ingeven...

2.4 De snelheid

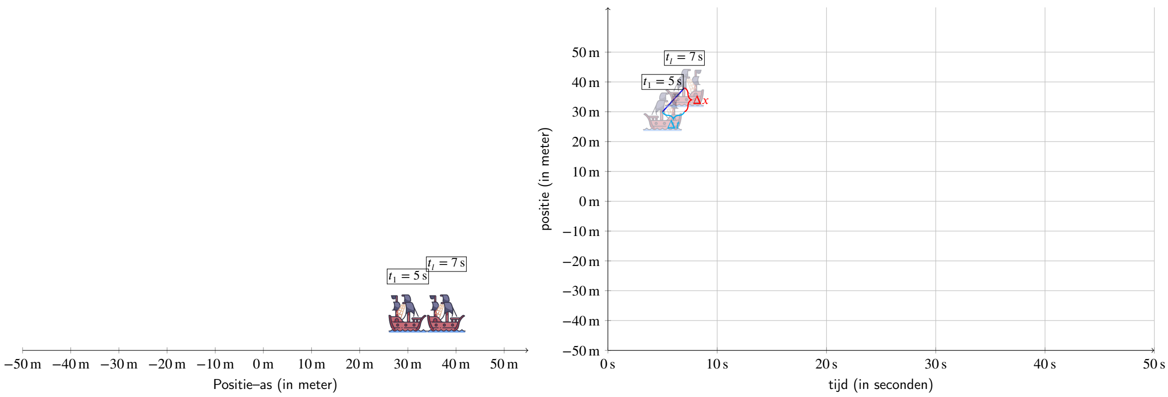


Figuur 5: De positie van de zeilboot voor tijd t_1 en t_2

Indien niet met $t_2 = 10$ de gemiddelde snelheid wordt berekent, maar bijvoorbeeld met $t_l = 8\,\mathrm{s}$, zal deze gemiddelde snelheid beter de ogenblikkelijke snelheid op t_1 benaderen. Eenvoudige berekening levert dat de gemiddelde snelheid tussen $t_1 = 30$ en $t_l = 7$ gegeven wordt door

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_l}{t_2 - t_l} = \frac{38\,\mathrm{m} - 30\,\mathrm{m}}{7\,\mathrm{s} - 5\,\mathrm{s}} = \frac{8{,}0\,\mathrm{m}}{2{,}0\,\mathrm{m}} = 4{,}0\,\mathrm{m/s}$$

Op de plaatsgrafiek schuift de zeilboot in de richting van t_1:

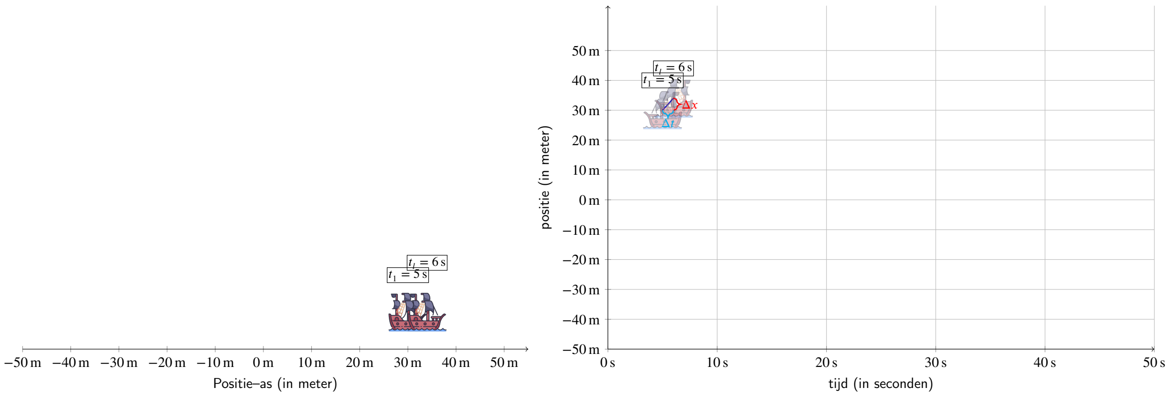


Figuur 6: De positie van de zeilboot voor tijd t_1 en t_l

De gemiddelde snelheid $\bar{v} = \dfrac{x_l - x_1}{t_l - t_1}$ is een *betere* benadering voor de ogenblikkelijke snelheid op t_a. Het is nog steeds een gemiddelde snelheid! De lezer raadde het waarschijnlijk al... Door de gemiddelde snelheid te berekenen voor t_m wordt de benadering voor de gemiddelde snelheid nog beter... Op de grafiek komen de twee schapen erg dicht bij elkaar...

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_m}{t_2 - t_m} = \frac{34\,\mathrm{m} - 30\,\mathrm{m}}{6\,\mathrm{s} - 5\,\mathrm{s}} = \frac{4{,}0\,\mathrm{m}}{1{,}0\,\mathrm{m}} = 4{,}0\,\mathrm{m/s}$$

2.4 De snelheid



Figuur 7: De positie van de zeilboot voor tijd t_1 en t_m

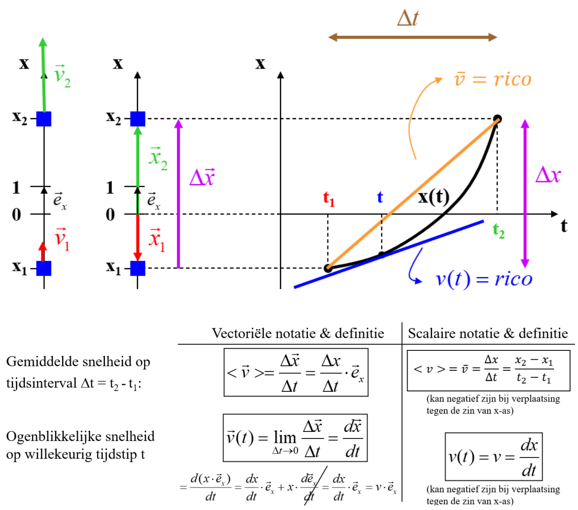
De ogenblikkelijke snelheid wordt dus beter en beter benaderd door het tijdsinterval kleiner en kleiner en kleiner en kleiner. . . te nemen. Echter, hoe kort het tijdsinterval ook is, de snelheid zal veranderen gedurende dat hele kleine tijdsinterval. Daarom, je raadde het misschien al, wordt de ogenblikkelijke snelheid gedefinieerd als de **limiet van de gemiddelde snelheid** over een tijdsinterval waarbij we dat interval naar nul laten gaan.

Definitie 2.4.2. De **ogenblikkelijke snelheid** is de afgeleide van de plaatsfunctie:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \lim_{t \to t_0} \frac{x(t) - x(t_0)}{t - t_0} = \frac{dx}{dt}$$

De notatie met een accent $v(t) = x'(t)$ of $v = x'$ wordt op dezelfde manier als in de wiskunde gebruikt. De functie $v(t)$ geeft op elk moment t de snelheid $v(t)$.

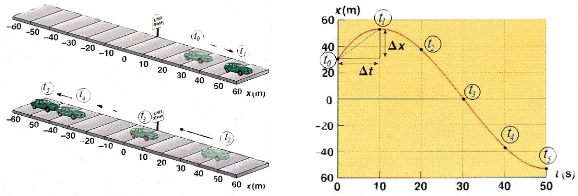
Grafisch kan je de afgeleide terugvinden als de richtingscoöefficiënt van de raaklijn. In een $x - t$ grafiek (de grafiek van de functie $x(t)$, x in functie van t) vind je de snelheid als de richtingscoöefficiënt van de raaklijn in het beschouwde punt.



Opmerking 2.4.1. Het woord 'ogenblikkelijk' mag je weglaten. Wanneer we het over snelheid hebben, bedoelen we vanaf nu steeds ogenblikkelijke snelheid.

Oefening 2.4.1. Hieronder staat opnieuw de plaatsfunctie $x(t)$ van het autotje. Bepaal enkel met de grafiek en zonder te rekenen:

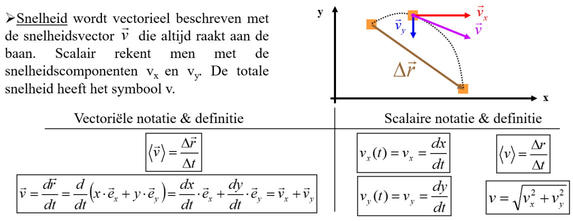
- Waar staat de auto stil?
- Waar heeft de auto een positieve snelheid?
- waar is de snelheid negatief?
- Op welk moment bewoog de auto het snelst?



Figuur 8: Verschillende posities en de grafiek van de plaatsfunctie

Snelheid bij tweedimensionale bewegingen

Bij voorwerpen die in twee dimensies bewegen, splitst men de beweging doorgaans op in loodrechte x- en y-componenten. Daarmee kan men analoge redeneringen en gelijkaardige formules maken zoals in het 1D geval.



2.5 De versnelling

Een voorwerp versnelt of heeft versnelling wanneer de snelheid verandert in de tijd. Een synoniem voor het woord versnelling is acceleratie, dat het symbool $\vec{a}$ van deze grootheid verklaart. Acceleratie is soms handiger om te gebruiken, dat vermijdt verwarring met het begrip snelheid, wat helemaal niet hetzelfde is!

$\vec{v}$ = velocity = vitesse = snelheid

$\vec{a}$ = acceleration = acceleratie = versnelling = snelheids**verandering**

De vector $\vec{a}$ grijpt aan op het versnellend voorwerp en wijst in de zin van de ogenblikkelijke bewegings**verandering**.

Definitie 2.5.1. De gemiddelde versnelling $\vec{a}$ tussen twee tijdstippen wordt gedefiniëerd als

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

De eenheid van versnelling is meter per seconde, per seconde – wat meter per seconde in het kwadraat geeft $[a] = \mathrm{m/s^2}$.

Als de snelheid van een voorwerp wijzigt, dan wijzigt uiteraard ook de snelheidsvector. Afhankelijk van welk kenmerk van de snelheidsvector (en dus ook van de beweging) verandert, maakt men een onderscheid tussen twee verschillende soorten versnellingen:

- Als enkel de *grootte* van de snelheidsvector verandert, spreekt men over een **tangentiële versnelling** $\vec{a}_t$. In dit geval is de versnellingsvector tangentieel of evenwijdig met de snelheidsvector. Dit komt voor bij ééndimensionale bewegingen. Hierbij blijft de richting van de beweging onveranderd.

  vb1 Een verticaal omhoog geworpen steen versnelt tangentieel, de bal gaat eerst trager en trager en na het hoogste punt sneller en sneller. Enkel de grootte van de snelheid verandert. De richting niet, want de bal blijft verticaal bewegen.

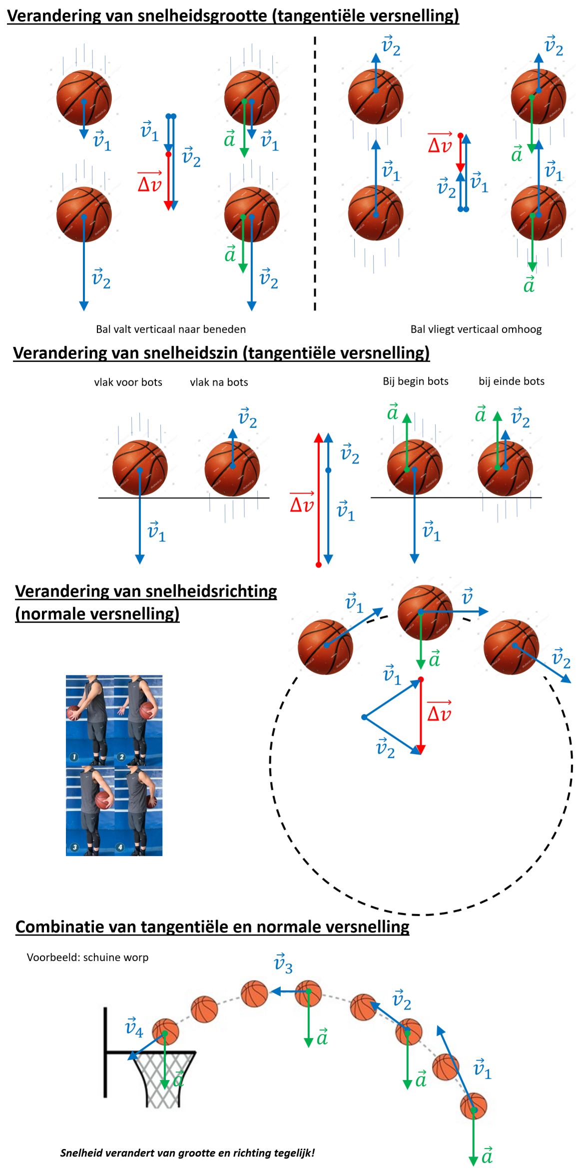
  vb2 Een auto trekt op een rechte weg op met een versnelling van 3 m/s². Dit wil zeggen dat per seconde de grootte van zijn snelheid met 3 m/s verandert (of in dit geval toeneemt).

- Als enkel de *richting* van de snelheidsvector verandert, spreekt men over een **normale versnelling** $\vec{a}_n$. In dit geval staat de versnellingsvector normaal of loodrecht op de snelheidsvector. Dit komt voor bij tweedimensionale cirkelbewegingen waarbij de grootte van de snelheid onveranderd blijft.

- Combinatie van de twee types versnelling is ook mogelijk, bijvoorbeeld bij een schuin geworpen basketbal.

Opmerking 2.5.1. De zin van de snelheidsvector kan nooit plots veranderen omdat snelheid een grootheid is die enkel continu in de tijd kan veranderen. De zin van de snelheidsvector kan enkel wijzigen als de grootte van de snelheidsvector vermindert tot nul om dan nadien de tegengestelde zin uit te wijzen. In dit geval gaat het hier dus eveneens over de tangentiële versnelling.

2.5 De versnelling



In al deze voorbeelden lijkt het alsof de versnellingsvector aan de snelheidsvector "trekt".

Gemiddelde (tangentiële) versnelling bij ééndimensionale bewegingen

Definitie 2.5.2. Bij ééndimensionale bewegingen wordt de gemiddelde versnelling $\overline{a}$ scalair gedefinieerd als

$$\overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Om even over na te denken ...

Kan je uitleggen wat de eenheid meter per seconde, per seconde betekent?

Ogenblikkelijke versnelling bij ééndimensionale bewegingen

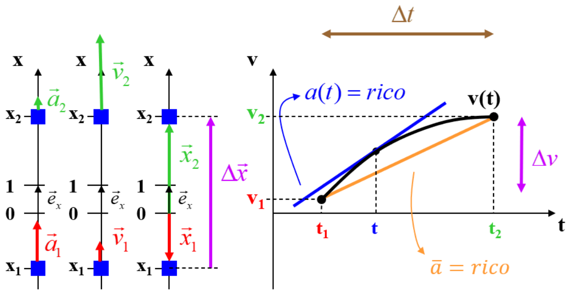
De gemiddelde versnelling $\overline{a}$ geeft de verandering in snelheid *tussen* twee tijdstippen t_1 en t_2. Om de ogenblikkelijke versnelling a op één tijdstip t te bepalen wordt -net zoals bij de ogenblikkelijke snelheid- gebruik gemaakt van de afgeleide.

2.5 De versnelling

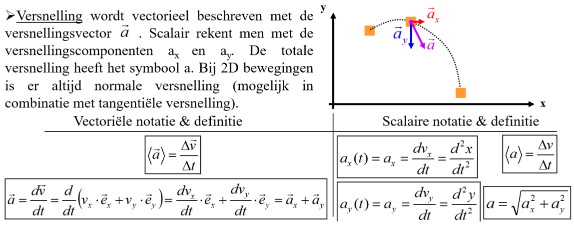
Definitie 2.5.3. De ogenblikkelijke snelheid wordt gedefinieerd als de afgeleide van de snelheidsfunctie $v(t)$:

$$a = \lim_{t \to t_0} \frac{v(t) - v(t_0)}{t - t_0} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

De notatie met een accent $a(t) = v'(t)$ of $a = v'$ wordt op dezelfde manier als in de wiskunde gebruikt. $a(t)$ is een functie die op elk moment de snelheid geeft.



In twee dimensies, kan men de versnelling opsplitsen in loodrechte x- en y-componenten. Daarmee kan men analoge redeneringen en gelijkaardige formules maken zoals in het 1D geval.



Opmerking 2.5.2. Het begrip versnelling in de fysica heeft niet dezelfde betekenis als hoe het begrip in de volksmond wordt gebruikt.

in de volksmond versnelling = vergroten van snelheid
vertraging = verkleinen van de snelheid
bocht maken = richtingsverandering van de snelheid

in de fysica versnelling = verandering van snelheid in eender welk opzicht

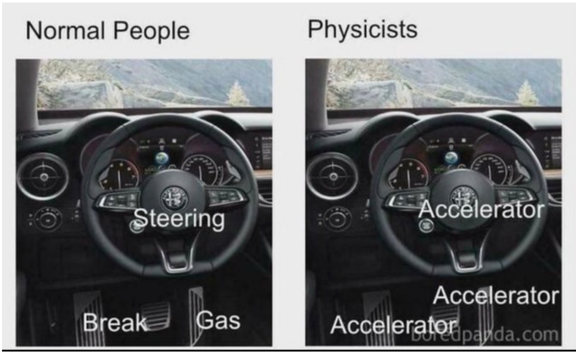
Fysisch zal men dus nooit spreken over een vertraging. Het vergroten of verkleinen van de snelheid moet bij ééndimensionale bewegingen tot uiting komen in de zin van de versnellingsvector ten op zichte van de zin van de snelheidsvector. Men kan dit ook zien aan het teken van de getalcomponent van de versnelling tegenover die van de snelheid. Voor ééndimensionale bewegingen geldt dat als $\vec{v}$ en $\vec{a}$ dezelfde zin hebben (of hun getalcomponenten eenzelfde teken hebben) dat de snelheid (in absolute waarde) vergroot. Bij tegengestelde zin (of teken) is er in absolute waarde een verkleining van de snelheid.

Opmerking 2.5.3. Wagens en fietsen hebben ook versnellingen. Weet dat deze versnellingen nauwelijks iets te maken hebben met het fysisch begrip versnelling. Een auto die in derde versnelling met een constante snelheid van 50 km/h rechtdoor rijdt, versnelt bijvoorbeeld helemaal niet. Zijn versnelling is 0 m/s². Een juistere naam om de standen van de versnellingspook of de ketting weer te geven had eigenlijk "snelheid" geweest omdat de versnelling waarin je rijdt veel meer zegt over welke snelheid je hebt. Kleine versnellingen gebruik je voor kleine snelheden en grote versnellingen

2.5 De versnelling

voor grote snelheden. Onze Franstalige zuiderburen hebben daar een logischere naam voor, namelijk: "vitesse" (= snelheid). Probeer dus de begrippen snelheid en versnelling niet door elkaar te gooien, want ze hebben een heel andere betekenis! Het is alsof je zou zeggen dat positie en snelheid hetzelfde is!

Oefening 2.5.1. Verklaar onderstaande meme.



2.6 Oefeningen kinematica