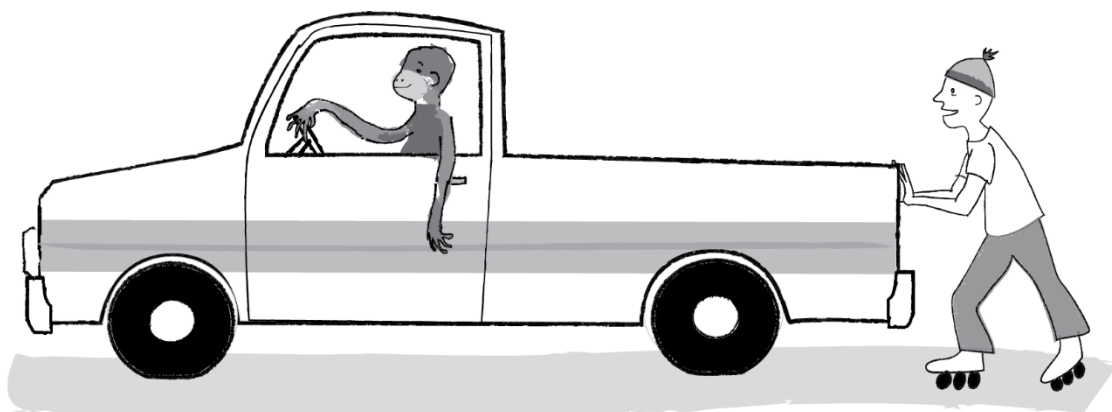


# Werkboek

## Model van kracht en beweging

This lesson is currently only available in Dutch.

Preliminary version

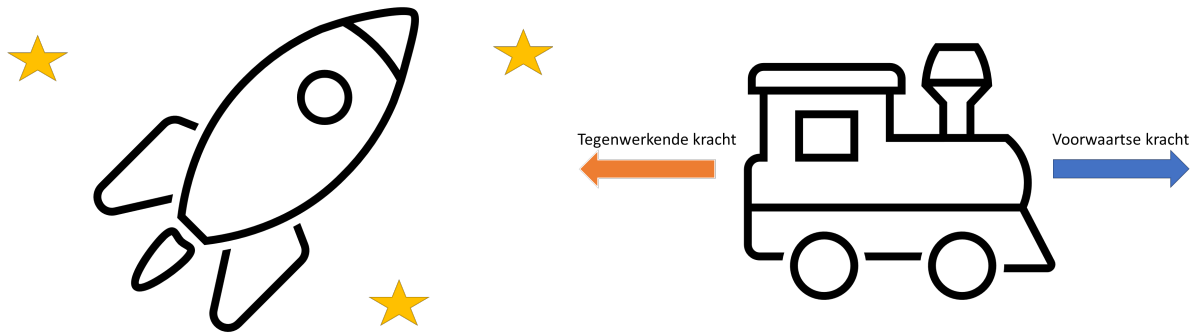


### 1. Inleiding

In deze les leer je eerst over de relatie tussen de grootheden netto kracht, versnelling, en snelheid. In het tweede deel van de les leer je hoe de zwaartekracht en luchtweerstand samen de netto kracht bepalen van een voorwerp in (val)beweging en hoe snelheid en luchtweerstand samenhangen. Je leert over de relatie tussen deze grootheden aan de hand van het maken van een model in Dynalearn.

### 2. Kracht, versnelling en snelheid

**De eerste wet van Newton** luidt: zolang er **netto** geen resulterende kracht op een voorwerp werkt, zal het altijd met een constante snelheid blijven bewegen (deze snelheid kan ook 0 m/s zijn). Vaak wordt deze wet uitgelegd door als voorbeeld een ruimteschip te gebruiken (Figuur 1). Ver in de ruimte werken er geen krachten op het ruimteschip. Als het ruimteschip even kort zijn motor aanzet om te versnellen en dan uitzet dan zal de snelheid vervolgens constant blijven. Er is immer niets wat het ruimteschip tegenhoudt maar ook niets meer wat het harder laat gaan want de motor staat uit. Hetzelfde geldt echter voor alle voorwerpen in beweging op aarde. De trein in Figuur 1 heeft ook een **netto** kracht van 0 want de voorwaartse kracht en de tegenwerkende kracht zijn even groot. Als de trein al in beweging is dan zal de snelheid ook constant blijven.



Figuur 1. Een raket en een trein met een netto kracht van nul

**De tweede wet van Newton** luidt: de versnelling ( $a$ ) van een voorwerp is **positief evenredig** met de resulterende kracht ( $F_{res}$ ): als de ene toeneemt (*afneemt*) dan neemt de andere ook toe (*af*). De vergelijking in Figuur 2 geeft deze evenredigheid weer.

$$versnelling(a) = \frac{\text{netto kracht } (F_{res})}{\text{massa } (m)}$$

Figuur 2. De tweede wet van Newton

Uit deze vergelijking blijkt dat als de netto kracht nul is de versnelling ook nul is. De snelheid is dan dus **constant** want er is geen versnelling (of vertraging). We zeggen ook wel dat de versnelling van een voorwerp **proportioneel** is tot de netto kracht. In deze les gaan we uit van voorwerpen waarvan de massa ( $m$ ) niet verandert tijdens de beweging.

### 3. Dynalearn opstarten


Je gaat nu een start maken met het model in Dynalearn.


1. **Log in** op Dynalearn.
2. **Klik** op , verander de naam naar "Kracht en beweging" en **klik** op .
3. Hoe ga je verder aan de slag? **Volg** gewoon de stappen in dit werkboek. Let op! Je kan geen stappen overslaan. Vraag om hulp als je er bij een bepaalde stap niet uitkomt. De video-functie  in Dynalearn laat zien hoe modelonderdelen gemaakt kunnen worden. In de **kaders** staat een korte uitleg van de modelonderdelen. Zet een vinkje  door het nummer van een stap die je hebt uitgevoerd. Zo hou je bij waar je bent gebleven.





## 4. Netto kracht en versnelling

1. Lees Kader 1.



### Kader 1. Entiteit en grootheid.

Een entiteit  is meestal een fysiek ding (bijv. auto, mens) in een systeem.

Een grootheid  is meetbare eigenschap van een entiteit (bijv. temperatuur, lengte).



2. Maak de entiteit "Voorwerp" (zie  -> .
3. Maak de grootheid "Netto kracht (Fres)" van de entiteit "Voorwerp" (zie  -> .
4. Maak de grootheid "Versnelling (a)" van de entiteit "Voorwerp".
5. Lees Kader 2.



### Kader 2. Verandering van een grootheid.

Een grootheid  kan veranderen. Dit wordt aangegeven met . Het delta symbool ( $\delta$ ) is het wiskundige teken voor verandering (ook wel de afgeleide). Het pijltje omlaag ( $\nabla$ ) is een afname, de nul ( $\emptyset$ ) is constant en de het pijltje omhoog ( $\blacktriangle$ ) is een toename.

6. Lees Kader 3.

### Kader 3. Een proportioneel verband



Bij een proportioneel verband veroorzaakt **een verandering** van de grootheid die de **oorzaak** is **een verandering** bij de grootheid die het **gevolg** is. In Dynalearn worden **positieve** en **negatieve proportionele** verbanden tussen grootheden aangegeven respectievelijk een  en een .

7. Het verband tussen "Netto kracht (Fres)" en "Versnelling (a)" is **proportioneel** (zie ook Figuur 2). Maak dit verband (zie  -> ). Let op de juiste richting van de pijl (oorzaak -> gevolg)..
8. Lees Kader 4.

### Kader 4. Wat is een exogene invloed.



Als je wilt dat een grootheid gedurende de gehele simulatie afneemt, stabiel blijft of toeneemt, dan moet je een invloed van buitenaf (een exogene invloed) aan de grootheid toevoegen.

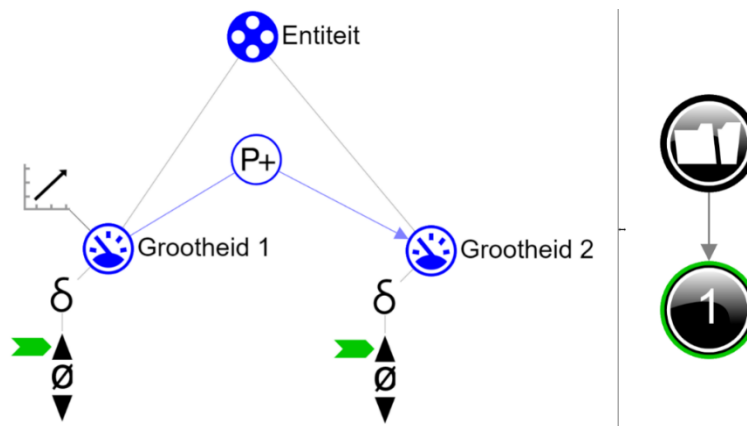
9. Stel in als beginwaarde:



- i. **Maak** een **dalende** exogene invloed (zie  -> ) voor “Netto kracht (Fres)”. Er is namelijk niet vastgelegd door welke krachten de “Netto kracht (Fres)” wordt bepaald.


10. Lees Kader 5.

**Kader 5.** De uitkomst van een simulatie aflezen.

Na het starten van een simulatie (met ) verschijnt aan de rechterkant een venster waarin de mogelijke toestanden van het systeem worden aangegeven. Er is in dit **voorbeeld** één mogelijke toestand .



Je kan de toestand aanklikken om de uitkomst te bekijken. De toestand krijgt dan een groene rand. In het model worden de verandering voor deze toestand aangegeven met een groene pijl . In het model valt af te lezen dat in toestand  Grootheid 1 toeneemt (door een exogene invloed van het type **stijgend**) en dat daardoor Grootheid 2 ook toeneemt.




11. **Start** de simulatie . **Onderzoek** ook wat er gebeurt als de “Netto kracht (Fres)” constant is of afneemt. **Verander** hiervoor de exogene invloed naar het type **gelijk** en **stijgend**. Beschrijf hieronder wat de oorzaak-gevolg relaties zijn die plaatsvinden (streep foute antwoorden door):

- a. Als de netto kracht afneemt dan zal de versnelling *afnemen/gelijk blijven/toenemen*  
 b. Als de netto kracht gelijk blijft dan zal de versnelling *afnemen/gelijk blijven/toenemen*  
 c. Als de netto kracht toeneemt dan zal de versnelling *afnemen/gelijk blijven/toenemen*



## 5. Correspondentie tussen netto kracht en versnelling

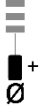
1. Lees Kader 6.

**Kader 6.** Waardenbereik.

Een nieuw gemaakte grootheid  heeft nog geen waardenbereik. Door het toevoegen van een waardenbereik kan je aangeven welke **waarden** een grootheid kan aannemen. Een waardenbereik bestaat uit punten () en intervallen (). Een puntwaarde is slechts één waarde. Bijvoorbeeld een *kookpunt*. Een speciaal punt is het nulpunt, hiervoor is een apart

symbool ( $\emptyset$ ) in Dynalearn. Een interval is een verzameling van waarden. De vloeibare fase van een stof is een voorbeeld van een interval. Bij water bevat het interval 'vloeibaar' alle waarden **tussen** 0 °C en 100 °C. De waarden 0 °C en 100 °C zijn resp. het 'smeltpunt' en het 'kookpunt' waartussen het interval 'vloeibaar' zich bevindt.

2. **Maak** een waardenbereik (zie  -> ) voor de grootheden "Netto kracht (Fres)" en "Versnelling (a)" met een nulpunt ( $\emptyset$ ) en daarboven een interval (+). Het ziet er dan als volgt uit:







**\*Let op! Versnelling kan ook een negatieve richting hebben. In het model laten we dit buiten beschouwing.**

Volgens de tweede wet van Newton (zie Figuur 2) geldt:

- Als er geen netto kracht is ( $\emptyset$ ) dan is er geen versnelling ( $\emptyset$ ).
- Als er een netto kracht is (+) dan is er een versnelling (+)

In het huidige model is nog **niet** vastgelegd dat bovengenoemde waarden van netto kracht en versnelling altijd samen voorkomen. Dat blijkt uit de volgende simulatie.

3. **Stel in** als beginwaarden (zie  -> ):
- "Netto kracht (Fres)" is positief (+)   $\emptyset$  . Dit is de **waarde** van de grootheid.
  - "Versnelling (a)" is positief (+)   $\emptyset$  . Dit is de **waarde** van de grootheid
  - De exogene invloed voor "Netto kracht (Fres)" is van het type **dalend**. "Netto kracht (Fres)" neemt dus af. Dit is de **verandering** van de grootheid.





4. **Start** de simulatie. Welke eindtoestand is volgens de tweede wet van Newton **niet** mogelijk?

Eindtoestand:

5. **Lees** Kader 7.

### Kader 7. Correspondentie

In een systeem kan het voorkomen dat bepaalde waarden van **verschillende** grootheden alleen maar samen kunnen voorkomen. In het model kan je **tussen deze waarden een correspondentie** maken. Het kan ook voorkomen dat **alle** waarden van een waardenbereik van een grootheid overeenkomen met de waarden van een waardenbereik van een andere grootheid. Je kan dan **een correspondentie maken tussen het waardenbereik** (dus i.p.v. tussen de individuele waarden) van beide grootheden.



6. **Maak** een correspondentie van het type **gericht** (zie  -> ) tussen het waardenbereik van "Netto kracht (Fres)" en "Versnelling (a)".
7. Je kan het model geordend en overzichtelijk houden door gebruik te maken van een aantal knoppen onderaan het scherm. **Klik** op  om alles netjes uit te lijnen. **Klik** op  om je model passend op het scherm te maken. Gebruik deze knoppen regelmatig.

8. **Stel in als beginwaarden:**
- laat staan zoals bij de vorige simulatie.
9. **Start de simulatie.** Hoeveel toestanden zijn er nu mogelijk?




Aantal toestanden:

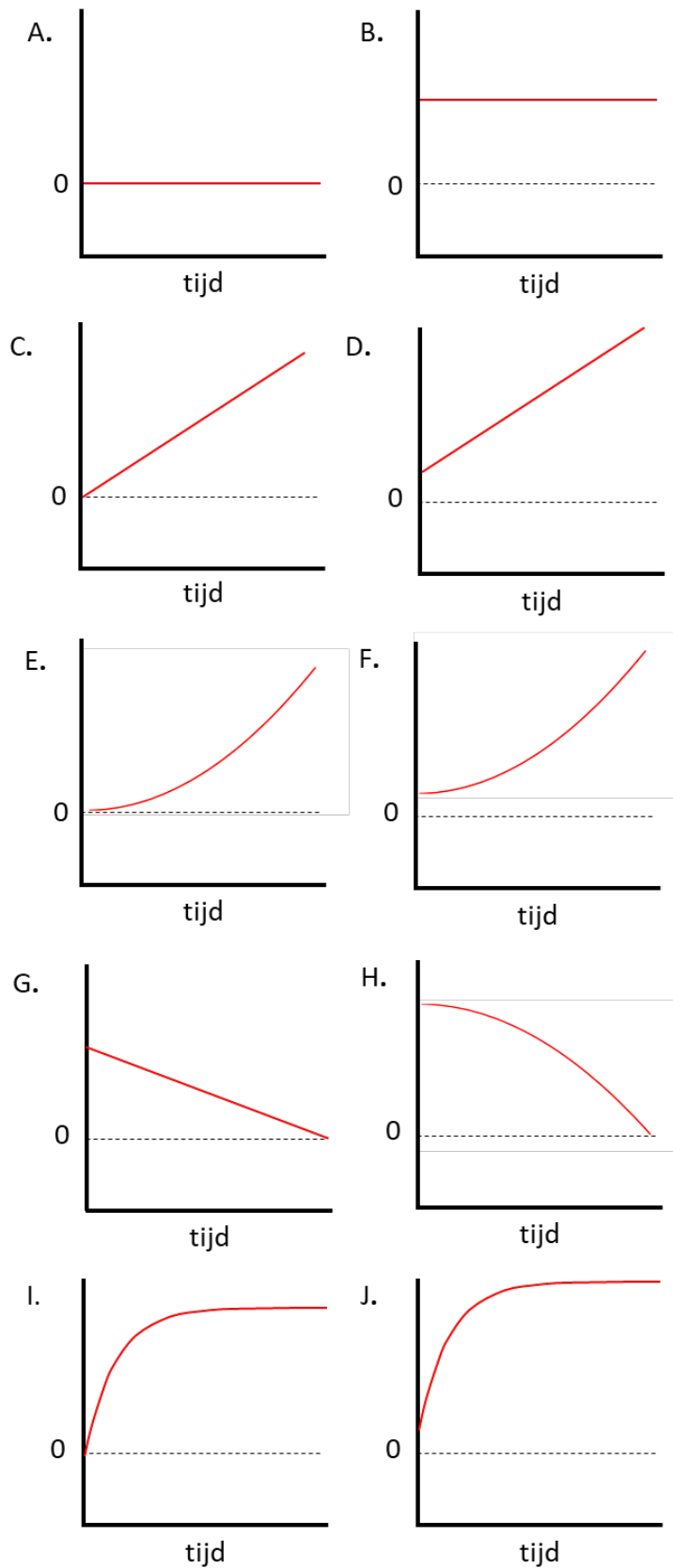
10. **Lees** Kader 8.

**Kader 8.** Beginwaarden.

Als beginwaarden **niet** (goed) zijn ingesteld dan verschijnt na het starten van de simulatie een uitroepteken . Als je daarop klikt dan verschijnt er een vraag, bijvoorbeeld 'Beginwaarde grootheid verwijderen?'.  
Klik op de nummers, bijvoorbeeld , om te zien waar iets niet (goed) ingesteld is.

11. **Verwijder** de overbodige beginwaarde.
12. In Figuur 3 staan een aantal grafieken (A t/m J) die van toepassing kunnen zijn op de verandering van een bepaalde grootheid bij de gegeven beginsituatie. Onderzoek wat er gebeurt met de netto kracht en de versnelling bij onderstaande beginwaarden **met behulp van simulaties** van het model. Kies steeds de grafiek die het beste past.

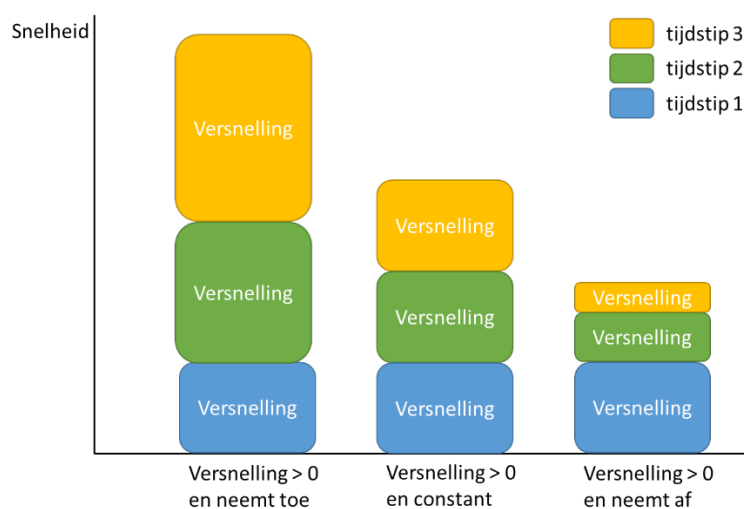
1. **Stel beginwaarden in:** De netto kracht is positief (+)   en blijft constant . **Start** de simulatie.
- De grafiek die het beste past bij de netto kracht op het voorwerp is:
  - De grafiek die het beste past bij de versnelling van het voorwerp is:
2. **Stel beginwaarden in:** De netto kracht is nul (0) en blijft constant. **Start** de simulatie.
- De grafiek die het beste past bij de netto kracht op het voorwerp is:
  - De grafiek die het beste past bij de versnelling van het voorwerp is:
3. **Stel beginwaarden in:** De netto kracht is nul (0) en blijft lineair toenemen. **Start** de simulatie.
- De grafiek die het beste past bij de netto kracht op het voorwerp is:
  - De grafiek die het beste past bij de versnelling van het voorwerp is:



Figuur 3. Grafieken. Op de x-as staat de tijd. Op de y-as kan je, afhankelijk van de vraag, de grootheden: netto kracht, versnelling, snelheid of afstand plaatsen.  
 A en B = constant, C en D = stijgend lineair, E en F = exponentieel, G = dalend lineair, H = toenemende daling, I en J = afnemende stijging

## 6. Het verband tussen versnelling en snelheid

Je hebt net geleerd dat het verband tussen kracht en versnelling **proportioneel** is. Het verband tussen versnelling en **snelheid** ( $v$ ) is **niet** proportioneel. Immers, ook als de versnelling constant is of afneemt (maar groter is dan 0) dan zal de snelheid toenemen. In onderstaande figuur is dit weergegeven voor 3 situaties. Uit de figuur kan je concluderen dat de snelheid altijd zal toenemen zolang de versnelling positief is. In de **middelste** situatie is de versnelling constant waardoor de snelheid met een constante hoeveelheid zal **toenemen**. Dit noemen we een **eenparig versnelde beweging**. In de linker en rechter situatie is er sprake van een **niet-eenparig versnelde beweging**. In de linker situatie neemt versnelling toe waardoor de snelheid **steeds sneller** toeneemt. In de rechtersituatie neemt de versnelling af (maar blijft groter dan 0) waardoor de snelheid **steeds langzamer** toeneemt. Dat een afnemende versnelling nog steeds voor een toename van de snelheid zorgt wordt vaak lastig gevonden. De snelheid van een voorwerp neemt echter **alleen af** als de versnelling **negatief** is doordat de netto kracht in de richting van de beweging **negatief** is.



Figuur 3. Het verband tussen versnelling en snelheid. De gekleurde rechthoeken geven de versnelling weer op 3 opeenvolgende tijdstippen.





1. **Maak** de grootheid “Snelheid ( $v$ )” bij de entiteit “Voorwerp”.
2. **Lees** Kader 8.




### **Kader 8.** Een verband van het type invloed.

Sommige grootheden in een systeem zijn processen. Een proces is een grootheid die **per tijdseenheid** (bijv. per seconde, per jaar) iets aan het systeem toevoegt of weghaalt. Eenvoudige voorbeelden van processen die iets **toevoegen** zijn: (i) water uit een kraan dat instroomt (L/s) in een bad en (ii) een oven die een bepaald vermogen (J/s) levert om een gerecht te verwarmen. De uitstroom (L/s) van water via het afvoerputje is een voorbeeld van een proces dat iets uit het systeem **weghaalt**.

Het verband tussen een proces en een andere grootheid noemen we in Dynalearn een **invloed** ( $I+$  of  $I-$ ). Bij dit type verband is **de waarde** van het proces bepalend voor **de verandering** van de grootheid waarop een invloed wordt uitgeoefend.



- Het verband tussen "Versnelling ( $a$ )" en "Snelheid ( $v$ )" is dus **niet proportioneel** maar van het type **invloed**. Versnelling is namelijk een proces ( $m/s^2$ ). **Maak** dit verband (zie  -> ).
- Maak** een waardenbereik voor de grootheid "Snelheid ( $v$ )" met een nulpunt ( $\emptyset$ ) en daarboven een interval (+).
- Klik** op  om alles netjes uit te lijnen. **Klik** op  om je model passend op het scherm te maken.
- Onderzoek wat er gebeurt met de versnelling en snelheid bij onderstaande beginsituaties met behulp van simulaties. Kies steeds de grafiek (Figuur 3: A t/m J) die het beste past en bepaal of de snelheid in de eindtoestand eenparig of niet-eenparig is (streep foute antwoord weg).

- Stel beginwaarden in:** De netto kracht op het voorwerp is nul ( $0$ )   $\emptyset^+$  en is constant , het voorwerp heeft een positieve beginsnelheid ( $+$ )   $\emptyset^+$ . **Start** de simulatie.
  - De grafiek die het beste past bij de versnelling op het voorwerp is:
  - De grafiek die het beste past bij de snelheid van het voorwerp is:
  - In de eindtoestand is de snelheid *eenparig/niet-eenparig*.
- Stel beginwaarden in:** De netto kracht op het voorwerp is nul ( $0$ ) en neemt lineair toe, het voorwerp heeft geen beginsnelheid ( $0$ ). **Start** de simulatie.
  - De grafiek die het beste past bij de versnelling op het voorwerp is:
  - De grafiek die het beste past bij de snelheid van het voorwerp is:
  - In de eindtoestand is de snelheid *eenparig/niet-eenparig*.
- Stel beginwaarden in:** De netto kracht op het voorwerp is positief ( $+$ ) en is constant, het voorwerp heeft geen beginsnelheid ( $0$ ). **Start** de simulatie.
  - De grafiek die het beste past bij de versnelling op het voorwerp is:
  - De grafiek die het beste past bij de snelheid van het voorwerp is:
  - In de eindtoestand is de snelheid *eenparig/niet-eenparig*.

## 7. Afstand

Een voorwerp met snelheid zal een afstand ( $s$ ) afleggen.

- Maak** de grootheid "Afstand ( $s$ )" bij de entiteit "Voorwerp".
- Het verband tussen "Snelheid ( $v$ )" en "Afstand ( $s$ )" is **niet proportioneel** maar van het type **invloed**. Snelheid is namelijk een proces ( $m/s$ ). **Maak** dit verband.
- Maak** een waardenbereik voor de grootheid "Afstand ( $s$ )" met een nulpunt ( $\emptyset$ ) en daarboven een interval (+).
- Onderzoek wat er gebeurt met de snelheid en afstand bij onderstaande beginsituaties met behulp van simulaties van het model. Kies steeds de grafiek (Figuur 3: A t/m J) die het beste past.

1. **Stel de beginwaarden in:** De netto kracht op het voorwerp is nul ( $0$ )  $\rightarrow \emptyset$  en is constant  $\rightarrow \emptyset$ , het voorwerp heeft een positieve beginsnelheid ( $+$ )  $\rightarrow \emptyset$  en de afgelegde afstand is nul ( $0$ )  $\rightarrow \emptyset$ . **Start** de simulatie.
- a. De figuur die het beste past bij de snelheid van het voorwerp is:  
b. De figuur die het beste past bij de afstand van het voorwerp is:
2. **Stel de beginwaarden in:** De netto kracht op het voorwerp is positief ( $+$ ) en is constant, het voorwerp heeft geen beginsnelheid ( $0$ ) en de afgelegde afstand is nul ( $0$ ). **Start** de simulatie.
- a. De figuur die het beste past bij de snelheid van het voorwerp is:  
b. De figuur die het beste past bij de afstand van het voorwerp is:
3. **Stel de beginwaarden in:** De netto kracht is positief ( $+$ ) en neemt lineair af, het voorwerp heeft een beginsnelheid ( $+$ ) en de afgelegde afstand is nul ( $0$ ). **Start** de simulatie.
- a. De figuur die het beste past bij de snelheid van het voorwerp is:  
b. De figuur die het beste past bij de afstand van het voorwerp staat niet in Figuur 3. Maak de zin kloppend (streep foute antwoorden weg):  
In het begin zal de afstand [kies uit:] *eenparig/niet-eenparig* [kies uit:] *afnemen/gelijk blijven/toenemen*. Ten slotte zal de afstand [kies uit:] *eenparig/niet-eenparig* [kies uit:] *afnemen/gelijk blijven/toenemen*.

## 8. Extra opdracht: Vallend voorwerp, zwaartekracht en luchtwrijving



Als een voorwerp valt dan bepalen twee krachten de netto kracht: de zwaartekracht ( $F_g$ ) en de luchtwrijving ( $F_w$ ). De luchtwrijving wordt veroorzaakt door de botsing tussen het voorwerp en de deeltjes in de lucht (dus stikstof, zuurstof, etc.).

1. **Maak** de grootheden "Zwaartekracht ( $F_g$ )" en "Luchtwrijving ( $F_w$ )" van de entiteit "Voorwerp".
2. **Maak** een waardenbereik voor de grootheden "Zwaartekracht ( $F_g$ )" en "Luchtwrijving ( $F_w$ )" met een nulpunt ( $\emptyset$ ) en daarboven een interval ( $+$ ).
3. **Maak** het juiste type verband tussen "Zwaartekracht ( $F_g$ )" en "Netto kracht ( $F_{res}$ )". Tip: Een ruimteschip dat steeds dichterbij de aarde komt zal steeds meer zwaartekracht ondervinden en de netto kracht op het schip zal toenemen.
4. **Maak** het juiste type verband tussen "Luchtwrijving ( $F_w$ )" en "Netto kracht ( $F_{res}$ )". Tip: De luchtwrijving die een vallend voorwerp ondervindt heeft het tegenovergestelde effect van de zwaartekracht: des te meer luchtwrijving des te kleiner de netto kracht.
5. **Maak** het juiste type verband tussen "Snelheid ( $v$ )" en "Luchtwrijving ( $F_w$ )". Tip: Des te meer snelheid een voorwerp heeft des te meer luchtwrijving deze ondervindt. Bij een constante snelheid is de luchtwrijving ook constant.

De laatste stap is om in het model aan te geven dat:

$$\text{netto kracht}(F_{res}) = \text{zwaartekracht}(F_g) - \text{luchtwrijving}(F_w)$$


Let op: we stellen hier dus dat zwaartekracht, ondanks dat deze omlaag gericht is, een positieve kracht is.

6. **Maak** de calculus (zie  -> 

$$\text{"Zwaartekracht (Fg)" - "Luchtwrijving (Fw)" = "Netto kracht (Fres)"}$$

7. **Klik** op  om alles netjes uit te lijnen. **Klik** op  om je model passend op het scherm te maken.

8. **Stel in** als beginwaarden (we gaan uit van een situatie waarin een voorwerp wordt losgelaten van een bepaalde hoogte):

- i. **Verwijder** de exogene invloed  bij grootheid "Netto kracht (Fres)".
- ii. "Zwaartekracht (Fg)" is positief (+) en constant (met een exogene invloed). Binnen de atmosfeer van de aarde kunnen we de zwaartekracht als constant beschouwen.
- iii. "Snelheid (v)" is nul (0)
- iv. "Luchtwrijving (Fw)" is nul (0).

9. **Start** de simulatie. Maak onderstaande zinnen kloppend (streep foute antwoorden door).

#### **Toestand 1**

De netto kracht in toestand 1 is *0/+* omdat de *zwaartekracht/luchtwrijving* groter is dan de *zwaartekracht/luchtwrijving*. De netto kracht neemt af omdat de luchtwrijving *afneemt/gelijk blijft/toeneemt* en de zwaartekracht *afneemt/gelijk blijft/toeneemt*. Omdat de netto kracht afneemt zal de versnelling *afnemen/gelijk blijven/toenemen*. De snelheid neemt *af/blijft gelijk/neemt toe* omdat de versnelling *afneemt/gelijk blijft/toeneemt/nul is/positief is*. Omdat de snelheid *afneemt/gelijk blijft/toeneemt/nul is/positief is* zal de luchtwrijving *afnemen/gelijk blijven/toenemen*.

#### **Toestand 2**

In toestand 2 is de luchtwrijving *0/+* en deze *neemt af/blijft gelijk/neemt toe*. De netto kracht is *0/+* omdat de zwaartekracht *kleiner/gelijk is/groter* is *dan/aan* de luchtwrijving. De versnelling neemt af maar is positief waardoor de snelheid *afneemt/gelijk blijft/toeneemt*. Dit heeft als gevolg dat de luchtwrijving *afneemt/gelijk blijft/toeneemt*.

#### **Toestand 3**

Omdat de snelheid toeneemt zal de afstand *afnemen/gelijk blijven/toenemen*.

#### **Toestand 4 (eindtoestand)**

In toestand 3 is de netto kracht *0/+* omdat de zwaartekracht *kleiner/gelijk/groter* is *aan/dan* de luchtwrijving. De versnelling is *0/+* omdat de netto kracht *0/+* is. Omdat de versnelling *0/+* is zal de snelheid *afnemen/gelijk blijven/toenemen*. Omdat de snelheid proportioneel is aan de luchtwrijving zal laatstgenoemde *afnemen/gelijk blijven/toenemen*.

De figuur die het beste past bij de snelheid van het voorwerp gedurende de val is:

#### **Conclusie:**

**Van een voorwerp dat valt zal de versnelling *toenemen/afnemen* en de snelheid *afnemen/toenemen* totdat de luchtwrijving *kleiner/gelijk is/groter* is ten opzichte van de zwaartekracht. De snelheid van het vallende voorwerp *neemt dan af/is dan constant/neemt dan toe*.**