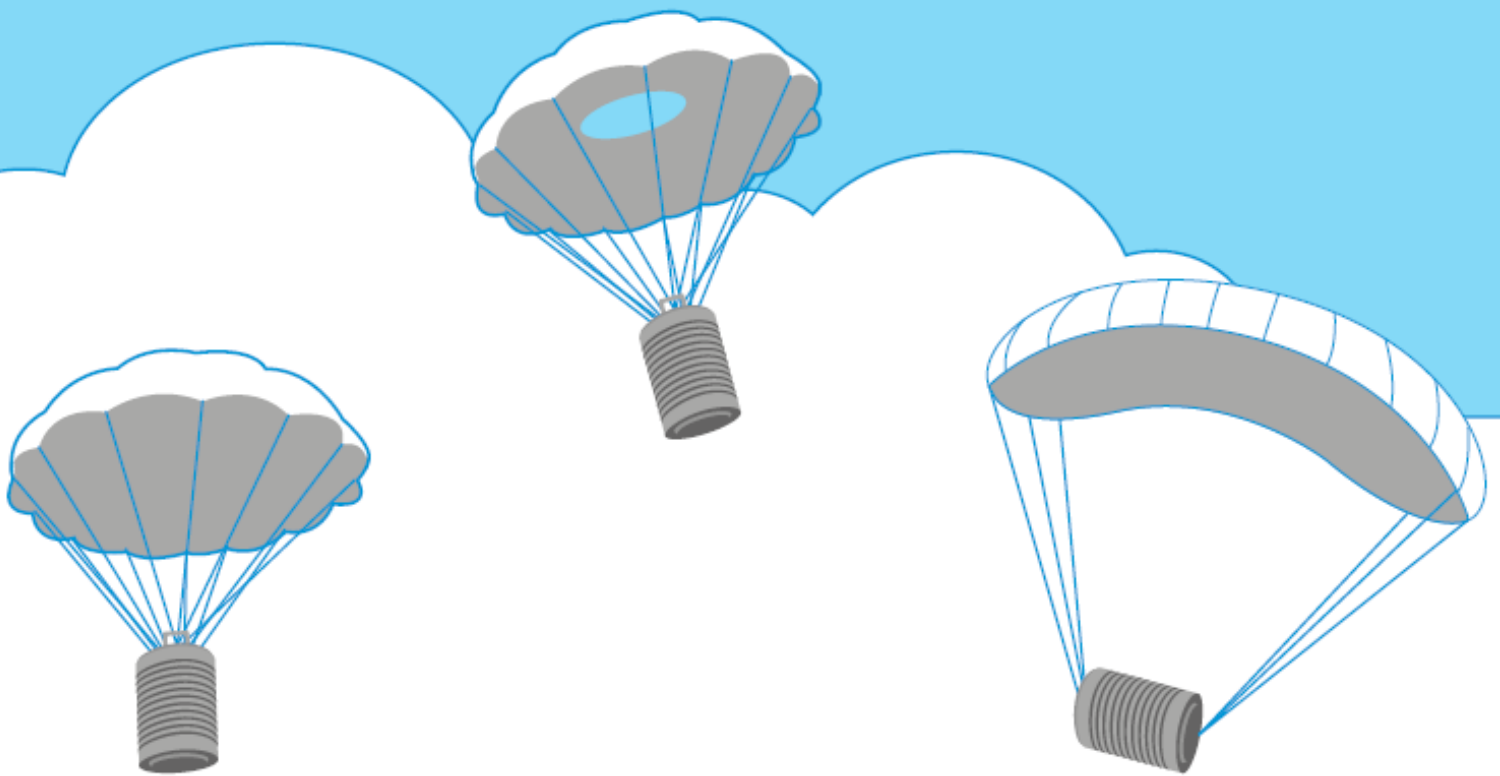


# Ontwerp je parachute

Een gids om je CanSat veilig te landen



- Hoe ga je te werk om een CanSat parachute te bouwen? ●●●●●
- Wat is terminale snelheid en weerstandscoefficiënt? ●●●●●●
- Hoe bepaal je de beste vorm en oppervlakte van je parachute? ●●●



## OVER ESERO BELGIUM

ESERO is een scholenprogramma van de Europese Ruimtevaartorganisatie ESA. Het doel van dit programma is leraren van basisonderwijs en middelbaar onderwijs helpen om het populaire thema ruimtevaart in de klas te brengen, binnen hun lesopdracht. Dit doen we op drie manieren: **lesmateriaal** (online), **lerarenvormingen**, en **STEM projecten voor scholen**. Het aanbod is volledig gratis voor leraren in beroep en leraren in opleiding, en is afgestemd op de eindtermen in het onderwijs. Hedendaagse en inspirerende ruimtevaartmissies vormen de context diverse schoolvakken.

[WWW.ESERO.BE](http://WWW.ESERO.BE)

Nationale coördinator



**KU LEUVEN**

Vlaamse coördinator




UGENT  
VOLKSSTERRENWACHT  
ARMAND PIEN

Frans- en Duitstalige coördinator



**ULB**  
La Sclentothèque

ESA Education beheert en coördineert alle ESERO's in Europa. Elke ESERO bestaat dankzij een cofinanciering van ESA en nationale partners. Het federaal wetenschapsbeleid (BELSPO) is de cofinancierende partner voor ESERO Belgium.



# Ontwerp je parachute

## *Een veilige landing voor ja CanSat*

---

## Kenmerken

**Doelgroep** Leraren tweede en derde graad secundair onderwijs.

**Type** STEM-uitdaging in de klas, onderzoekend leren

**Hoeveel lestijden?** 2 lestijden

**Benodigdheden** De exacte benodigdheden voor het maken van de parachute zijn in dit document beschreven:

- Experiment vrije val: pagina 15
- Parachute bouwen: pagina 19

**Wat de leerlingen gaan leren**

- Het verschil begrijpen tussen gewicht en massa.
- Verschillende soorten parachutes leren kennen en hun ontwerp en bouw bespreken
- Het belang leren kennen van het testen
- De concepten versnelling, valversnelling, terminale snelheid, wrijving, luchtweerstand begrijpen
- Een grafiek maken/weergeven met correcte eenheden en labels.

**Samenvatting** Deze gids geeft een kort overzicht van de verschillende mogelijkheden om een CanSat parachute te ontwerpen, te bouwen en te testen. De leerlingen gaan leren over de achterliggende fysica van parachutes en hun eigen ontwerp, en hoe ze de snelheid van de val kunnen controleren.

# Colofon

**Eerste uitgave** Oktober 2023

**Updates** Mei 2019

**Gebruik** Deze cursus mag gratis gebruikt worden voor educatieve doeleinden. Als je onderdelen eruit kopieert, dan moet dit gebeuren met een verwijzing naar het origineel. De recentste versie van de cursus kan je downloaden op [www.esero.be](http://www.esero.be)

## AUTEURS

**ESA Education** Deze bundel is een vertaling van een cursus van ESA Education, uit de reeks “Teach with Space”, meer bepaald T10: Design your parachute.

**ESERO Belgium** Vertaling en toevoeging van Vlaamse eindtermen, publicatie op [www.esero.be](http://www.esero.be).

**Uw mening is belangrijk** ESERO Belgium werkt altijd aan een betere kwaliteit. Gebruikers van onze cursussen worden aangemoedigd om feedback te geven via de contact gegevens op [www.esero.be](http://www.esero.be). Wanneer uw reactie bijdraagt aan een belangrijke verbetering van de cursus, dan wordt uw naam opgenomen in de auteurslijst (colofon) in de nieuwe online editie. Op die manier helpen gebruikers de andere, toekomstige gebruikers om beter lesmateriaal te krijgen.

# Inhoud

Kenmerken .....	3
Colofon .....	4
Inleiding .....	6
Toelichtingen voor de leraar .....	6
<b>1</b> Vrije val (Terminale snelheid) .....	6
<b>2</b> Parachutes, wat een weerstand!.....	8
<b>3</b> Het belang van de vorm .....	9
<b>4</b> Traag maar gestadig is het winnende concept .....	11
Voor leerlingen: experimenten en werkbladen .....	13
Inleiding .....	13
<b>1</b> Vrije val .....	13
<b>2</b> Parachutes – wat een weerstand!.....	16
<b>3</b> Het belang van oppervlakte en vorm .....	19
<b>4</b> Slow and steady wins the race .....	23
Links .....	27

# Inleiding

Parachutes vormen een essentieel onderdeel van een CanSat missie. Het is vergeeflijk dat ze dikwijls weinig aandacht krijgen, aangezien ze slechts een eenvoudig stuk stof lijken te zijn vergeleken bij de ingewikkelde elektronica van een CanSat. Maar toch is dat een grote vergissing! Zonder een goed ontworpen parachute zal je CanSat misschien niet genoeg tijd hebben om de secundaire missie uit te voeren, of zelfs erger, kan hij gewoon crashen.

In deze cursus zullen we de achterliggende fysica verkennen van een parachute afdaling. We zullen de eerste inzichten verwerven in de keuze van een geschikte parachute. Uiteindelijk zal je met gerust hart je CanSat kunnen lanceren en veilig laten landen.

## Toelichtingen voor de leraar

### ① Vrije val (Terminale snelheid)

Met een experiment gaan de leerlingen de concepten van vrije val en terminale snelheid verkennen. Ze laten daarvoor knikkers vallen in water en in olie. Op die manier leren ze het belang kennen van vloeistoffen in vrije val situaties.

### Experiment

#### 1) Wat is het toegelaten 'gewicht' voor de CanSat?

Het toegelaten gewicht is 2.9 -3.4N.

Een veel voorkomende fout is dat de leerlingen massa en gewicht gaan verwarren en dus gaan antwoorden 300-350 gram.

#### 2) Het experiment met de hamer en veer doet een interessante vraag rijzen: op welke manier zou de lancering en val van de CanSat verschillen als het op de Maan werd uitgevoerd?

Op de Maan is het zwaartekracht effect aanzienlijk minder, zwaartekracht heeft hier slecht 1/6 van de sterkte van de Aarde. Dat betekent dat er veel minder kracht op de raket inwerkt. Als de raket krachtig genoeg is zou het genoeg snelheid bereiken om te ontsnappen van de zwaartekracht van de Maan of het zou in een baan rond de Maan kunnen gaan.

Als de raket toch terug zou vallen naar het oppervlak van de Maan, dan zou deze niet afgeremd worden door de lucht zoals op de Aarde, wat de valsnelheid verhoogd. Deze hogere versnelling compenseert dan een stuk voor de lagere zwaartekracht.

In deze vraag moet je geen gedetailleerde kwantitatieve analyse verwachten, want de vereiste fysica ervoor is te complex. De bedoeling is dat de denkwijze juist zit en dat er een goed begrip is van de verschillen tussen de omstandigheden op Aarde en op de Maan.

**3) Hoe verandert de snelheid van de knikker als die afdaalt in de cilinder?**

Als de gebruikte cilinder hoog genoeg is, dan zouden de leerlingen en terminale snelheid moeten kunnen bepalen. Initieel gaat de knikker versnellen, en daarna zal hij kort en constante valsnelheid hebben totdat hij de bodem raakt.

Ook hier weer is het de bedoeling dat het experiment op kwalitatief niveau wordt uitgevoerd. De leerlingen gaan gewoon de terminale snelheid visueel (eventueel bij benadering) waarnemen tijdens de afdaling.

**4) Welke verandering verwacht je als je de olie vervangt door water? Schrijf je voorspelling op en probeer het dan uit.**

Wanneer ze het met water uitvoeren, zouden de leerlingen een toegenomen afdaalsnelheid moeten waarnemen en een hogere terminale snelheid. Dit komt door lagere wrijving/weerstand krachten door het water in vergelijking met de olie.

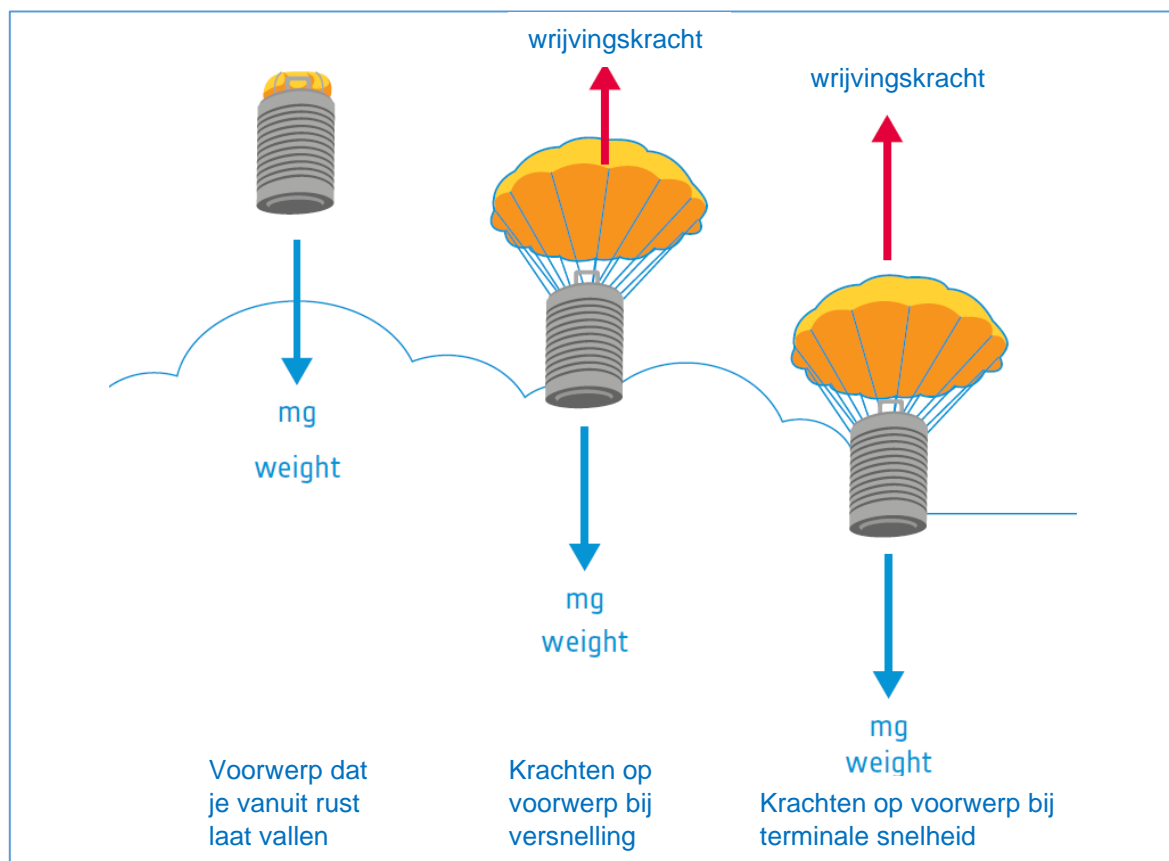


## 2 Parachutes, wat een weerstand!

In deze activiteit krijgen leerlingen inzicht in de achterliggende fysica van parachutes. Ze gaan leren hoe ze de krachten berekenen die inwerken op de parachute en hoe ze de gewenste oppervlakte berekenen van hun parachute. Deze berekening kan je halen uit de tweede wet van Newton en elkaar opheffende krachten bij het bereiken van een evenwicht. We moeten wel duidelijk zijn over de vereenvoudingen die we toevoegen aan deze berekeningen.

### Oefening

- Op de afbeeldingen hieronder: maak gebruik van de inzichten die je opgedaan hebt met het knikker-experiment om de krachten te benoemen die inwerken op de CanSat bij de afdaling. Probeer hun relatieve grootte aan te duiden met de afmetingen van de pijlen.



*De krachten op een CanSat tijdens de afdaling*

- We veronderstellen dat de raket je CanSat zal lanceren naar een hoogte van 1000 meter. Ervan uit gaande dat je de afdaalsnelheid hebt die voorgeschreven is in de CanSat richtlijnen: Hoeveel tijd mag er zitten tussen het vrij laten van je CanSat uit de raket en de landing (verwaarloos hierbij de versnellingsperiode).

Uitgaande van een hoogte van 1000 meter en de toegelaten maximum afdaalsnelheid volgens de CanSat richtlijnen (8 tot 11 m/s), kunnen de leerlingen een reeks van verwachte afdaaltijden berekenen.

Merk op: Voor de eenvoud gaan we de versnellingsperiode verwaarlozen en gaan we er dus van uit dat de volledige 1000 meter afdaling aan dezelfde snelheid gebeurt. Dat is niet helemaal wat er in werkelijkheid gebeurt natuurlijk.

De afdaaltijd  $t$  is de totale afstand gedeeld door de snelheid:

$$T = s/v$$

Bij de maximaal toegelaten snelheid 11m/s is de afdaaltijd minimaal:

$$T_{\min} = 1000\text{m} / 11\text{m/s} = 90 \text{ seconden}$$

Bij de minimaal toegelaten snelheid 8m/s is de afdaaltijd maximaal:

$$T_{\max} = 1000\text{m} / 8\text{m/s} = 125 \text{ seconden}$$

### 3 Het belang van de vorm

In deze activiteit worden de leerlingen ingeleid in de verschillende types van parachutes die gewoonlijk bij CanSat gebruikt worden. De verschillende overwegingen en voordelen en nadelen van de verschillende ontwerpen worden besproken. We voorzien ook linken naar andere bronnen met meer details over de ontwerpen.

#### Oefening

- 1) **Welke factoren in vergelijking 3 (op het leerlingenblad) kan aangepast worden in functie van het gekozen ontwerp van je CanSat?**

Het oppervlak waarop de weerstand werkt kan aangepast worden door de parachute luifel groter of kleiner te maken.

De weerstandscoefficiënt kan veranderd worden door een ander type parachute te gebruiken.

- 2) **Van de weerstandscoefficiënten op tabel 1 van het leerlingenblad: Welke type parachute zal zorgen voor de meest langzame afdaling? En welke voor de snelste?**

Uit vergelijking 3 kan je afleiden dat de weerstandscoefficiënt omgekeerd evenredig is aan de snelheid. Dus bij de hoogste weerstandscoefficiënt krijgen we de laagste afdaalsnelheid. Dat is logisch.

Daarom is de hemisfeervorm van parachute degene die de traagste afdaling geeft, terwijl de parachutes met de vorm van een vlak of een kruis de snelste afdaling geven.

- 3) De kruisvormige parachute is eenvoudiger te maken, maar de afdaling gaat hiermee te snel in vergelijking met de hemisfeer parachute. Wat zou je hieraan kunnen doen?

Door eenvoudig te kijken naar vergelijking 3, kunnen de leerlingen inzien dat de oplossing ligt in het vergroten van de oppervlakte van de parachute (terwijl de vorm behouden blijft).

- 4) Maak oppervlakte A het onderwerp van je vergelijking:

$$\text{Vergelijking 3: } mg - \frac{1}{2} C_D \rho A v^2 = 0$$

↓

$$mg = \frac{1}{2} C_D \rho A v^2$$

↓

$$2mg = C_D \rho A v^2$$

↓

$$A = 2mg / C_D \rho v^2$$

Met deze vergelijking kunnen je leerlingen de oppervlakte (A) berekenen voor een gewenste snelheid (v).

- 5) Met deze vergelijking (A=...) kan je nu alle oppervlaktes berekenen per type parachute, er van uitgaande dat de CanSat massa 350 gram is. Vul de gevonden waarden in een onderstaande tabel. Herinner je dat de toegestane snelheden tussen 8 en 11 m/s moeten liggen.

De leerlingen beantwoorden deze vraag met de vergelijking uit vraag 4. Ze vullen de minimum en maximum snelheden in die toegelaten zijn, om de gewenste oppervlaktes te bepalen.

Table 1			
Parachute type	Drag coefficient	Minimum area (m <sup>2</sup> )	Maximum area (m <sup>2</sup> )
Hemispherical	0.62	0.08	0.14
Cross	0.8	0.06	0.11
Flat, hexagon	0.8	0.06	0.11

Het is belangrijk te beseffen dat we hier nog theoretisch bezig zijn. De leerlingen moeten zeker nog altijd hun parachute testen in het echt om de snelheden van afdaling te observeren en te corrigeren.

- 6) Als je je parachute verandert van vorm, van een kruisvorm naar een hemisfeer, hoe moet dan de oppervlakte veranderen van de parachute om ervoor te zorgen dat de afdaalsnelheid niet verandert?

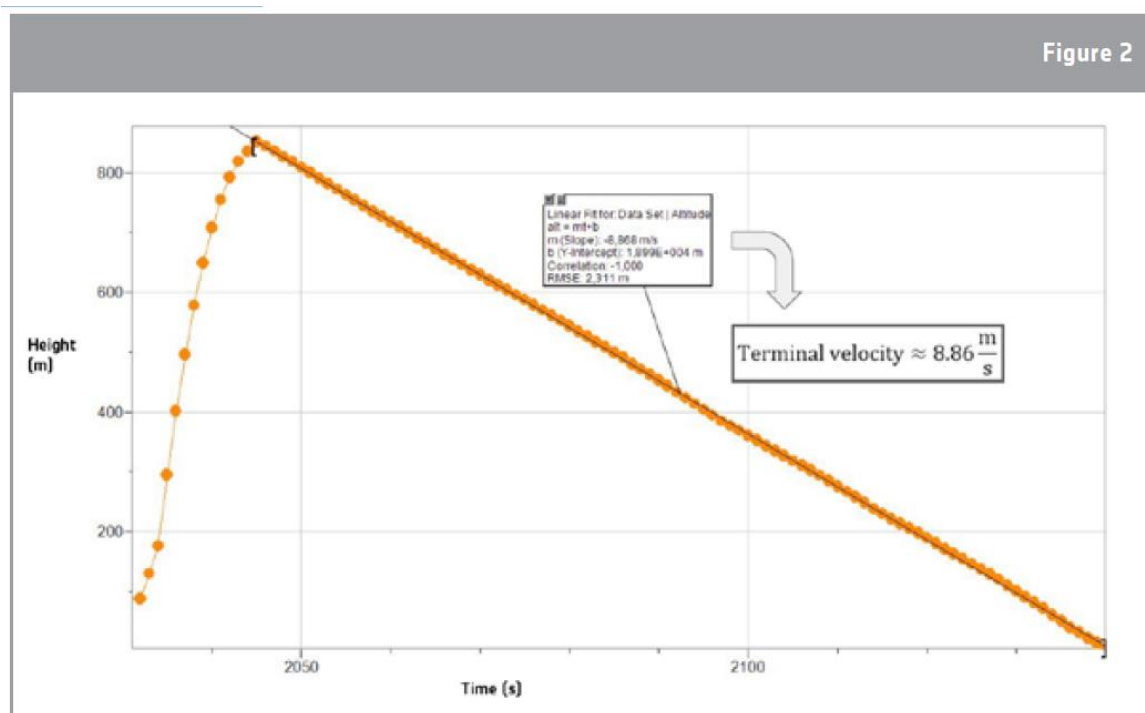
Deze oefening zal je leerlingen diepgaander inzicht geven. Ze zouden moeten in staat zijn om in te zien dat een verandering van kruisvorm naar hemisfeer een verhoging betekent van de weerstandscoëfficiënt. En dat daarom de parachute oppervlakte moet verkleind worden indien je dezelfde afdaalsnelheid wilt behouden. Eventueel kunnen je leerlingen dit inzicht om kwantificeren, en de exacte verkleining van de oppervlakte berekenen.

## 4 Traag maar gestadig is het winnende concept

In deze activiteit worden de leerlingen uitgelegd hoe ze een droptest kunnen uitvoeren met hun parachute. Ze moeten kunnen garanderen dat hun CanSat volledig in regel is met de CanSat richtlijnen.

### Oefening

- 1) Duid aan op deze grafiek hoe je zou verwachten dat de hoogte verandert met de tijd vanaf de lancering tot de landing. We veronderstellen hierbij dat de CanSat stabiel blijft, en er geen horizontale versnellingen ontstaan. Denk hierbij hoe de snelheid zou veranderen, en welk effect dat dit dan heeft op de vorm van de curve.

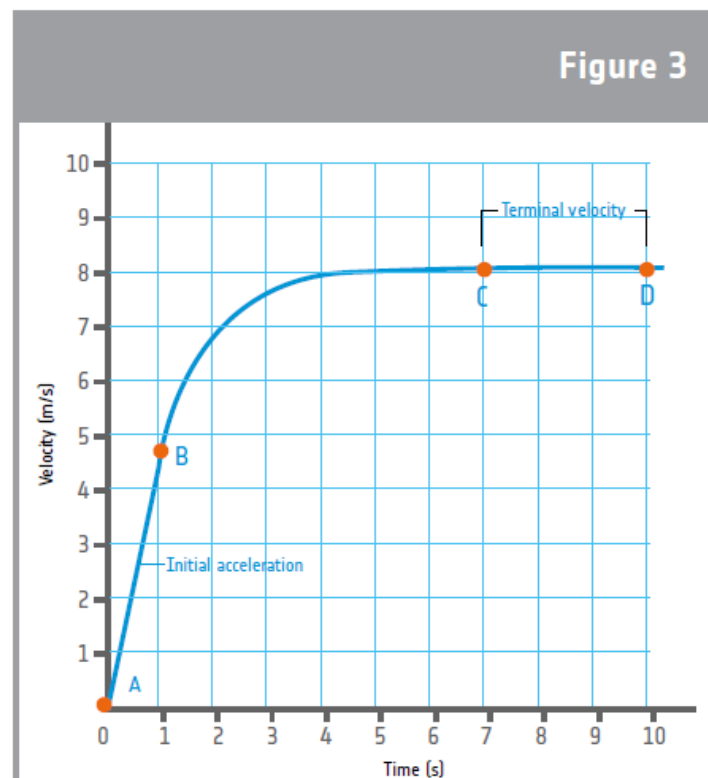


↑ Altitude-Time graph presented at 2018 European CanSat Competition by team AnaCan Skywalker, from Denmark

Het eerste deel van de curve toont de opstijfphase van de raket. Op ongeveer 800 meter hoogte is de CanSat vrijgelaten, en valt hij naar beneden met een ongeveer constante snelheid, de terminale snelheid. Deze snelheid kan je berekenen als de helling van de rechte die de afdaling voorstelt.

- 2) Net zoals we gedaan hebben voor de hoogte, zullen we nu een curve tekenen van de snelheid die verandert met de tijd. Deze keer wordt de opstijfphase er niet bij getoond.  $T = 0$  is hier dus het moment dat de CanSat wordt vrijgelaten uit de raket.

Wanneer de CanSat juist is losgelaten op maximale hoogte, zal hij ene moment van gewichtloosheid hebben. Dan is zowel de snelheid als de versnelling gelijk aan nul. Daarna begint de CanSat te versnellen (A-B) totdat de terminale snelheid wordt bereikt dankzij de parachute. De versnellingsfase is zo klein, dat we die kunnen verwaarlozen bij de berekeningen van de snelheid in de totale afdaling. In de rest van de afdaling (B-C) heeft de CanSat een constante snelheid, met name de terminale snelheid.



↑ Velocity-Time example graph of a CanSat after deployment

# Voor leerlingen: experimenten en werkbladen

## Inleiding

Eens je CanSat gelanceerd is, wordt het belangrijkste een veilige landing. Anders kan de CanSat onherstelbaar beschadigd raken. Het meest voor de hand liggende oplossing hiervoor is het bevestigen van een parachute, een hulpmiddel dat de valsnelheid afremt.

Er is een extra voordeel aan een parachute: Wanneer de CanSat trager afdaalt, is er meer tijd om metingen of beelden te verzamelen.

We gaan onderzoeken hoe een parachute juist werkt en welke overwegingen je moet maken bij het ontwerp ervan.

## 1 Vrije val

Terminale snelheid is één van de belangrijkste concepten die we moeten begrijpen voor we een parachute gaan bouwen. In deze activiteit gaan we een eenvoudig experiment uitvoeren om te begrijpen wat terminale snelheid is.

## Wat omhoog gaat, moet weer omlaag komen

Alles op Aarde wordt naar beneden getrokken vanwege de zwaartekracht, en dit wordt veroorzaakt door de massa van de Aarde. Het gewicht is de kracht dat een voorwerp ondervindt vanwege de zwaartekracht die uitgeoefend wordt op zijn massa:

**Gewicht (Weight) = massa (massa) x zwaartekracht (gravity)**

In het Engels is dat:

Weight = mass x gravity

**W = mg**

Volgens de richtlijnen moet de massa van een CanSat tussen 300 gram en 350 gram liggen. Dit is tussen 0,3 en 0,35 kg.

## Oefening

- 1) Welke minimum en maximum gewichten zijn toegelaten voor de CanSat?

.....

Als een voorwerp naar beneden valt vanwege zwaartekracht, dan zal de snelheid toenemen: het versnelt. Op Aarde is deze versnelling  $9,81 \text{ m/s}^2$ . We beelden ons even in dat we twee voorwerpen van een gebouw gooien in een luchtledige omgeving. Aangezien er door afwezigheid van lucht ('a fluid') geen wrijvingskracht het voorwerp doet afremmen, zullen beide voorwerpen evenveel blijven versnellen. Dit is ook zo als ze compleet verschillende massa's hebben. Dit kan tegen-intuïtief overkomen, aangezien we gewoon zijn op Aarde dat de lucht een wrijvingskracht uitoefent op vallende voorwerpen. Daarom zal in normale omstandigheden een pluimpje trager vallen dan een bal. Maar de essentie hiervan is het medium waar doorheen het voorwerp aan het vallen is. Dit medium kan bijvoorbeeld lucht, olie of vacuüm zijn, en het effect is dan telkens verschillend.

### Wist je ...

... dat astronaut David Scott dit principe heeft gedemonstreerd op de Maan bij de landing van Apollo 15? Hij liet een geologen-hamer en een veer vallen vanaf dezelfde hoogte op het oppervlak van de Maan. Omdat er in essentie geen lucht is op de Maan is er ook geen luchtweerstand. Daarom vielen beide objecten precies even snel. Op de foto hiernaast kan je de hamer en veer zien vallen.



- 2) Het experiment met de hamer en veer doen een interessante vraag rijzen: hoe zou de lancering van de CanSat verschillen als die werd uitgevoerd op de Maan?

.....

.....

.....

.....

.....

## Onderzoek het effect van een vloeistof op vallende voorwerpen

Wat gebeurt er met een voorwerp als het valt in een vloeistof? Laten we een experiment opzetten om dit te antwoorden.

### Experiment

Nodig voor het experiment;

- Een staander om de cilinder verticaal op te hangen

- Een maatcilinder of glazen buis met bodem (hoe langer en breder, hoe beter).
- Olie, glycerol of behanglijm
- Een meetlat
- Knikkers van verschillende afmetingen of metalen balletjes van kogellagers
- Elastieken
- Een stopwatch (apart toestel of op smartphone)
- Een magneet, als je metalen balletjes gebruikt
- Water

Let op: als je cilinder van glas is, kan je best op de bodem iets van rubber of wol leggen, zodat de vallende knikker het glas niet kan breken.

De magneet kan gebruikt worden om de metalen balletjes terug uit de cilinder te halen na de valtest.

## STAPPEN:

### Manueel:

- Maak de opstelling zoals getoond in de figuur.
- Zet de stopwatch aan wanneer je de knikker laat vallen in de cilinder.
- Stop de stopwatch wanneer een vaste afstand is afgelegd. Afhankelijk van de snelheid van de knikker zou het mogelijk moeten zijn om met veelvouden van 5 cm te werken. Je zal mogelijks meerdere keren opnieuw moeten proberen om goeie metingen uit te voeren.
- Bereken de snelheid van de knikker op elke afstandsstreep (telkens 5 cm meer) op basis van je metingen.
- Herhaal het experiment.

### Met een smartphone:

- Maak de opstelling zoals getoond in de figuur.
- Download the Android app 'VidAnalysis Free' of the iPhone app 'Vernier Video Physics' :  
 Android: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vidanalysis.free>  
 iPhone: <https://itunes.apple.com/us/app/vernier-video-physics/id389784247>
- Neem op terwijl je een knikker laat vallen in de cilinder.
- Gebruik de app om de snelheid van de knikker te berekenen op elk punt.
- Herhaal het experiment.

## Oefening

3. Hoe verandert de snelheid van de knikker als het naar beneden beweegt in de cilinder?

.....

.....

4. Wat zou je verwachten als je de olie zou vervangen door water? Beschrijf je voorspelling en probeer het daarna uit.



.....

.....

.....

.....

Anders dan in een vacuüm, zal een vallend object uiteindelijk wel een ‘terminale snelheid’ bereiken. Deze terminale snelheid wordt bereikt wanneer de krachten van weerstand of wrijving even groot geworden zijn als de zwaartekracht die op het voorwerp inwerken.

Een vallend voorwerp in de lucht heeft veel minder contact met de omringende deeltjes dan wanneer het door olie valt. De beweging wordt dus minder afgeremd, dus dan kan het sneller vallen. In de lucht spreken we hier van luchtweerstand. Waarschijnlijk ken je dit woord goed.

De hoeveelheid weerstand bij een val door lucht of vloeistof hangt af van:

- De dichtheid (densiteit) van de vloeistof ( $\rho$ )
- De snelheid van het voorwerp ( $v$ )
- De oppervlakte van het voorwerp (in doorsnede) ( $A$ )
- De weerstandscoefficiënt ( $C_D$ )

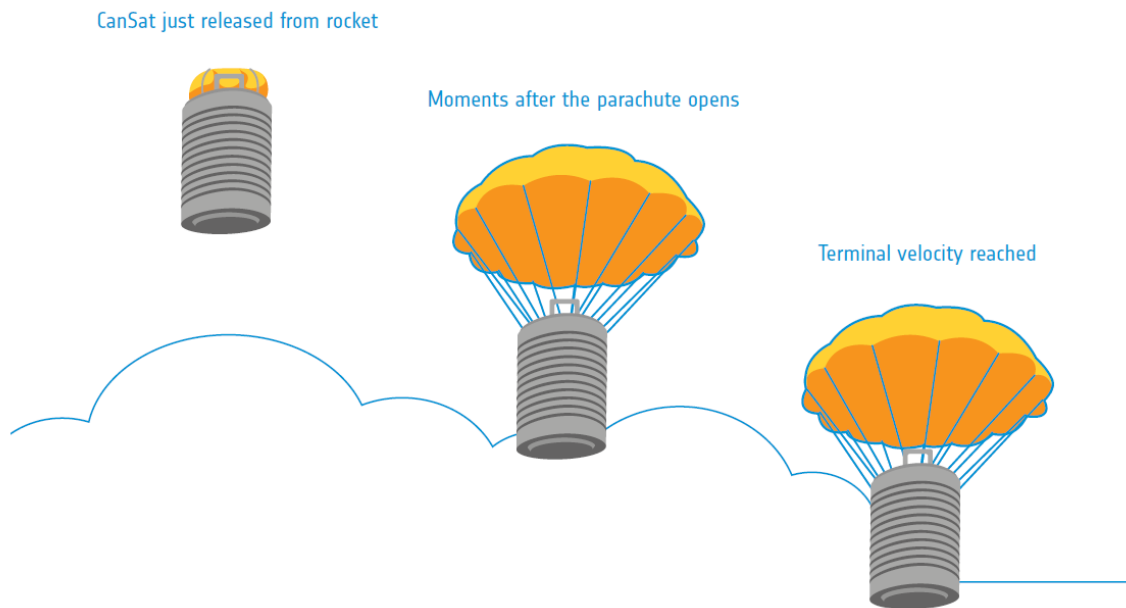
In de volgende oefening gaan we uitzoeken hoe deze variabelen de val van onze CanSat precies beïnvloeden.

## 2 Parachutes – wat een weerstand!

Er zijn manieren om de terminale snelheid te beperken in een vloeistof dat niet erg viskeus is, zoals bijvoorbeeld in lucht. Hiervoor moet je de oppervlakte vergroten die tegen de lucht (vloeistof) botst, en dat kan met een parachute.

### Oefening

Benoem de krachten die op je CanSat inwerken op de tekening hieronder. Maak daarbij gebruik van wat je geleerd hebt in het experiment met de knikkers. Pas de grootte van de pijl aan volgens de grootte van de inwerkende kracht.



### May the force be with your parachute

We zullen nu de krachten overlopen die in dit proces betrokken zijn. De neerwaartse richting (verticaal naar beneden) beschouwen we als de positieve richting van de kracht. De eerste kracht die in ons op komt is het **gewicht** van de CanSat. Deze kracht wijst naar beneden, want het resulteert uit de aantrekkingskracht van de Aarde.

$$F_{\text{zwaartekracht}} = mgz \quad (\text{vergelijking 1})$$

Waarbij

- $m$  = massa van de CanSat (rond de 0.35 kg)
- $g$  = Versnelling vanwege de zwaartekracht =  $9.81 \text{ m/s}^2$

Een kracht in tegengestelde richting zal inwerken op de CanSat tijdens de afdaling vanwege de luchtweerstand op de parachute.

$$F_{\text{weerstand}} = C_D \rho A v^2 \quad (\text{vergelijking 2})$$

Waarbij

- $A$  = Oppervlakte van de luifel van de parachute
- $C_D$  = luchtweerstand die inwerkt op de parachute – afhankelijk van de vorm en geometrie van de parachute. Je vindt hiervan voorbeeldwaarden in de volgende sessie.
- $\rho$  = Plaatselijke dichtheid van de lucht, die we veronderstellen op een constante  $1,225 \text{ kg/m}^3$ .
- $v$  = afdaalsnelheid van de CanSat in m/s.

De tweede wet van Newton zegt nu:

$$F_{\text{netto}} = \Sigma F = ma$$

Merk op:

Tijdens enkele seconden van de val zal deze netto kracht niet nul zijn, want de CanSat is heel kort in versnelling en vertraging. We verwaarlozen dit, want het overgrote deel van de tijd zal de CanSat vallen aan terminale snelheid.

Met deze veronderstelling; als de terminale snelheid wordt bereikt, dan is  $a$  (versnelling)  $= 0 \text{ m/s}^2$ , en dus  $F_{\text{netto}} = 0$ . Dus dan krijgen we:

$$F_{\text{zwaartekracht}} + F_{\text{weerstand}} = 0$$

Dus kunnen we zeggen bij evenwicht van de verticale krachten:

$$mg - \frac{1}{2} C_D \rho A v^2 = 0 \quad (\text{vergelijking 3})$$

Wanneer je bezig bent met het ontwerpen van je parachute, kan je nu deze vergelijking gaan herschrijven, en zo de gewenste oppervlakte bepalen. Vergeet niet dat we hier benaderingen gemaakt hebben. Je moet je parachute natuurlijk wel in het echt gaan uittesten.

#### Wist je dat...

... De Viking ruimtesonde die in 1976 succesvol op Mars geland is was gemaakt op een erg gelijkaardige manier als de CanSat parachute die jullie gaan ontwerpen. De moeilijkheid om op Mars te landen zit in de dunne atmosfeer. Met een atmosfeer die dunner is dan 1% van de Aardse atmosfeer en een supersonische snelheid, was een parachute niet voldoende om een trage en stabiele landing te voorzien. Daarom heeft NASA rem-raketten toegevoegd aan de lander. Dit kunnen jullie helaas niet doen, dus je zal je parachute zelf optimaal moeten ontwerpen.



*De Viking parachute tijdens de testen.*

CanSat Belgium schrijft voor dat je afdaaldsnelheid tussen 8 en 11 meter per seconde moet liggen. Trager is niet toegelaten omdat de CanSat dan buiten het domein kan terecht komen, bijvoorbeeld op de openbare weg. Sneller is ook niet goed, want dan is je landing te hard. De range van 8-11 m/s is in de meeste landen dezelfde.

## Oefening

Veronderstel dat je CanSat gelanceerd wordt met de raket tot 1000 meter hoogte. Bereken de tijdsduur van de afdaling die volgens de richtlijnen toegelaten is. Negeer daarbij de versnellingsperiode in het begin.

.....

.....

.....

.....

### 3 Het belang van oppervlakte en vorm

In deze activiteit gaan we enkele basisbeginselen bekijken van het parachute ontwerp. We bekijken ook de meest voorkomende types van parachutes en hun voor- en nadelen.

#### Het materiaal kiezen

Het zeil en de touwen moeten behoorlijk sterk zijn, want bij het opengaan van de parachute kunnen relatief grote krachten ontstaan. Deze krachten kunnen gemakkelijk het dubbele zijn van de krachten die op je CanSat en parachute werken bij terminale snelheid.

In deze analyse gaan we focussen op de impact op de parachute bij terminale snelheid; Je moet echter begrijpen dat niet alleen de terminale snelheid (gedefinieerd als de verticale snelheid) van belang is.

Verschillende vormen van parachutes hebben verschillende stabiliteit en we moeten ook rekening houden met laterale snelheid. In het algemeen geldt dat er bij meer wrijving of weerstand ook meer instabiliteit is.

Geschikte materialen zijn nylon touwen en ripstop stoffen, wat je kan kopen in doe-het-zelf winkels. Het meest kwetsbare deel zit dikwijls in de bevestigingspunten tussen touwen en parachute of tussen touwen en CanSat. Als je de stof uitsnijdt, dan hou je er best rekening mee dat bepaalde delen moeten omgeplooid worden om ze in een dubbele laag vast te naaien. Gebruik geen visdraad.

#### Choosing the design of your parachute

Let's look at the equation for our CanSat descent:

$$Mg - 1/2C_D \rho Av^2 = 0 \quad (3)$$

#### Oefening

Welke factoren van vergelijking (3) kan je beïnvloeden met je CanSat/parachute ontwerp?

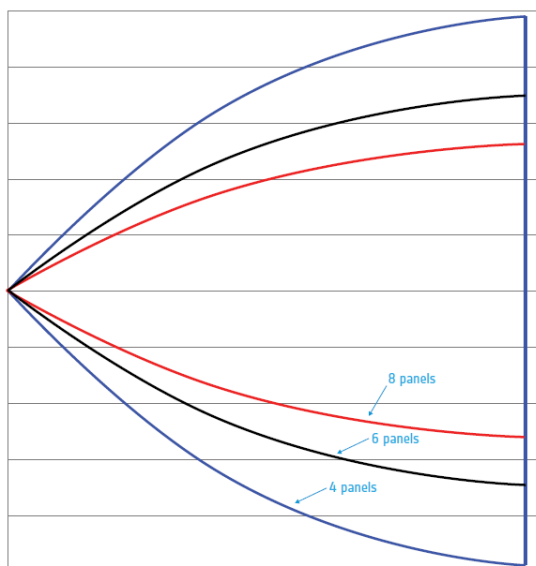
.....

## Parachute vormen

De eenvoudigste parachute vorm is een vlakke cirkel en een bolvorm. Het nadeel van deze ontwerpen is dat ze met lucht gevuld worden en vervolgens opzij kantelen om lucht naar buiten te laten.

Je kan eventueel een 'spill hole' maken om deze parachute te stabiliseren. We gaan kort eens bekijken welke verschillende types je kan kiezen voor je ontwerp.

### Halve bolvorm (hemisfeer)



Het is nogal vanzelfsprekend om te denken aan een halve bolvorm als je gevraagd wordt om een parachute te maken. De stof zal een halve bol vormen wanneer deze met lucht gevuld wordt. Deze vorm wordt gemaakt uit wiggen (Engels: gores). Elke wig wordt aan de volgende genaaid om de halve bolvorm te bekomen. Hoe meer wiggen er gebruikt worden, hoe meer je de bolvorm benadert, maar ook hoe ingewikkelder de productie is. De hoek tussen de twee binnenzijden van de wig wordt kleiner als er meer wiggen zijn. Deze hoek kan je berekenen:

$$\text{Hoek} = 360^\circ/n$$

$$n = \text{aantal wiggen}$$

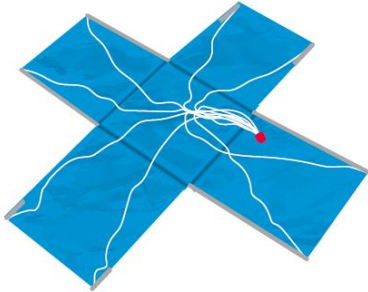
Op de afbeelding hiernaast kan je de Orion module zien die afdaalt aan 3 hemisfere parachutes. De wiggen zijn hier in alternerende kleuren gemaakt. De procedure om een hemisfere parachute te maken is als volgt:

1. teken de vorm van de wiggen op de stof en snijdt ze uit. Zorg voor een extra rand rond de contouren van 2 cm.
2. Naai de randen van de wiggen aan elkaar om de parachute te maken.
3. Naai touwen vast op de parachute zodat die kan bevestigd worden aan de CanSat

Let op: gewoonlijk worden de touwen helemaal over de wiggen vastgemaakt. Dus één touw gaat van de CanSat naar de rand van de parachute, dan over de hele wig heen naar de top van de parachute, dan over de tegenoverliggende wig naar de rand van de

parachute, en dan terug naar de CanSat. Het zijn zo vooral de touwen de kracht van de luchtweerstand opvangen.

### Kruisvorm

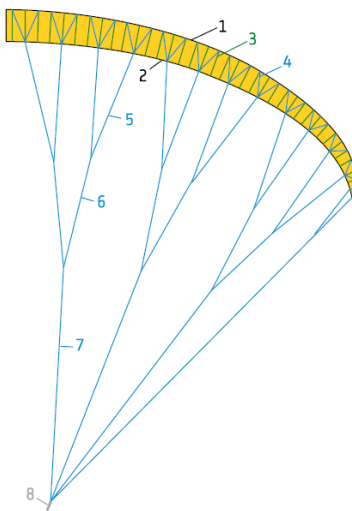


De kruisvorm is eenvoudiger om te naaien dan de hemisfeer. Deze regelmatige vorm kan je ook gemakkelijker tekenen en knippen.

Bekijk hoe men te werk gaat hier;

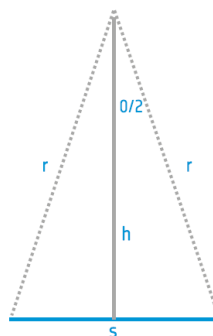
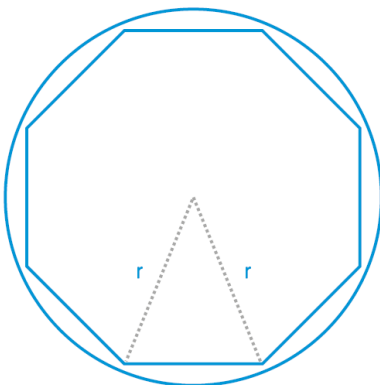
<https://www.nakka-rocketry.net/xchute1.html>

### Paraglider



Een paraglider parachute heeft het voordeel dat je die kan sturen. Het is echter wel wat moeilijker om te maken.

### Vlakke parachute



De meest eenvoudige vormen is een vlakke parachute: een vlakke geometrische figuur zoals een hexagon of octagon. Dit is een samenvoeging van 6 of 8 gelijke driehoeken.

Hieronder zie je voor elke vorm de weerstandcoëfficiënt.

Parachute type	Weerstandcoëfficiënt $C_D$	Opmerking
Hemisfeer	0,62-0,77	Erg algemeen, tijdsintensief om te maken
Kruis	0,60-0,80	Gemakkelijk te maken, populair bij CanSat
Paraglider	0,75-1,10	Ingewikkelder, gestuurde landing mogelijk
Hexagon (vlak)	0,75-0,80	Gemakkelijk te maken, populair bij CanSat

Als je een vlakke parachute wilt maken, heb je nodig:

- Geschikt materiaal – best ripstop stoffen
- Touwen waarmee je de CanSat aan de parachute gaat bevestigen
- Naaigaren om de randen en touwen overal goed vast te naaien

Teken de vormen op de stof en knip ze uit met de nodige marge om om te plooien aan de randen (2 cm).

Knip de touwen op een geschikte lengte en naai ze op de parachute, en je bent klaar voor de test.

## Oefening

Bekijk de weerstandcoëfficiënt hierboven. Welke parachutevorm zal het traagste afdalen? Welke zal het snelst afdalen?

.....

.....

.....

.....

De kruisvorm is gemakkelijk te maken, maar de afdaalsnelheid is te snel vergeleken met de sferische vorm. Wat zou je kunnen doen om dit aan te passen?

.....

.....

.....

.....

## De oppervlakte bepalen

Nu we de minimum en maximum snelheid kennen (8-11 m/s) en de weerstandscoefficienten, kunnen we ook de vereiste oppervlakte van de parachute bepalen.

## Oefening

Maak van A (oppervlakte) het onderwerp van vergelijking 3.

.....

.....

.....

Op basis van deze vergelijking kan je nu de oppervlaktes bepalen die nodig zijn voor de verschillende types parachutes van hierboven. Veronderstel dat je CanSat 350 gram weegt. Vul daarna de cijfers in in de tabel hieronder.

Parachute type	Weerstandscoefficiënt	Minimum oppervlakte	Maximum oppervlakte
Hemisfeer	0,62		
Kruis	0,8		
Paraglider	0,8		
Vlak hexagon	0,8		

Als je parachute verandert van kruisvorm naar hemisfeer, hoe moet je dan de oppervlakte veranderen om de afdaalsnelheid te behouden?

.....

.....

.....

## 4 Slow and steady wins the race

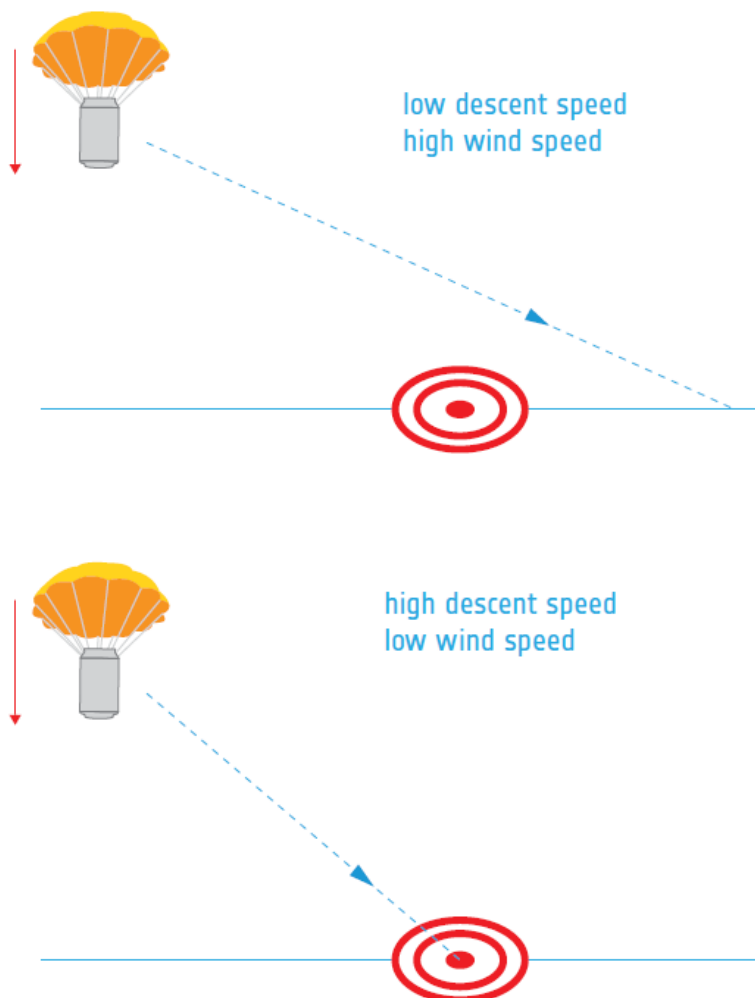
Eens dat je de vorm van de parachute bepaald hebt, is het van groot belang om te testen. De vergelijkingen die je gebruikt hebt kunnen een goede inschatting geven van wat je kan verwachten, maar je moet altijd de realiteit testen. Voorafgaand kan je de afdaling van je CanSat inbeelden en bedenken hoe de krachten die erop werken zullen veranderen met de tijd.



## Wat omhoog gaat moet ook weer neerdalen

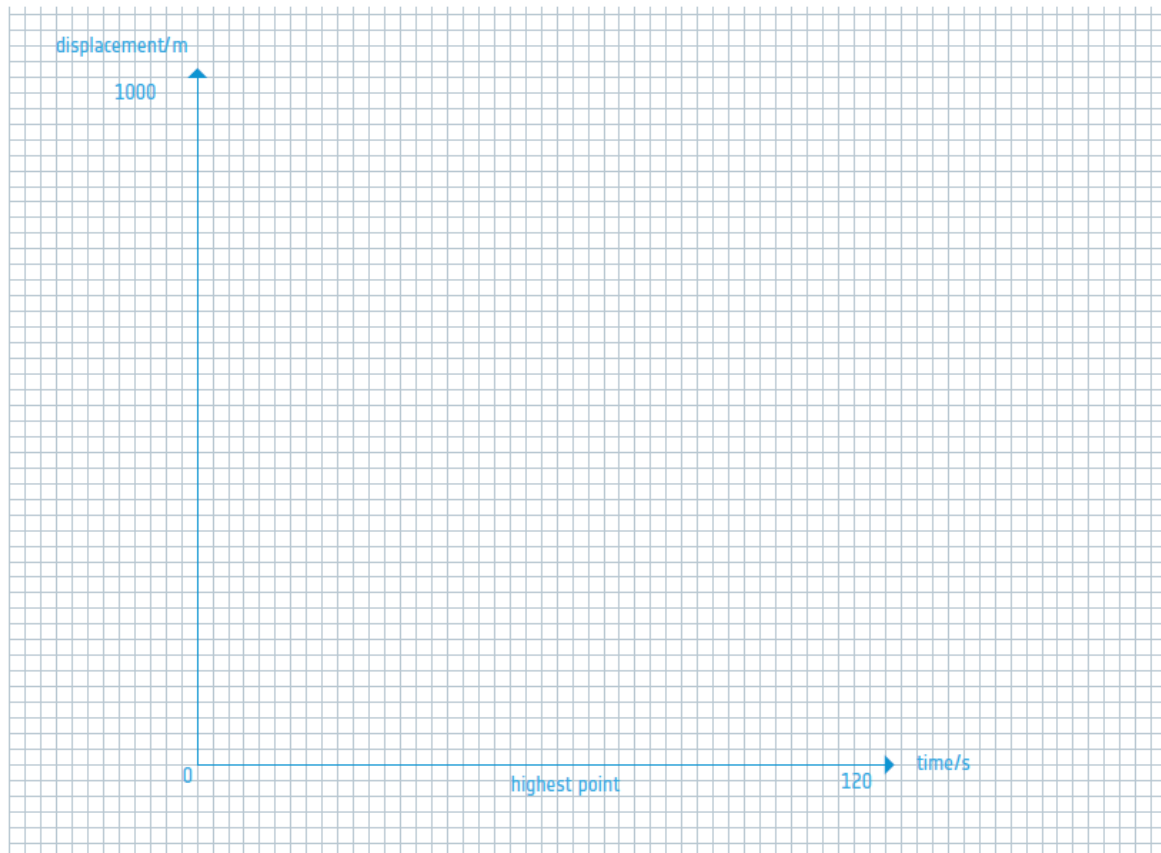
Eerst bedenken we hoe de hoogte en de snelheid van je CanSat gaan veranderen over de hele vlucht. Eventueel kan je ook rekening houden met hoe de wind het traject zal beïnvloeden. De val zelf is verticaal, maar de wind kan de horizontale snelheid veranderen. Sommige parachutes (bijvoorbeeld de kruisvorm) kunnen zelfs zonder wind een vrij hoge laterale snelheid veroorzaken omwille van stabiliteit.

Afhankelijk van de snelheid van afdaling en de windsnelheid kan het dus zijn dat de CanSat ver weg van de lanceerplek gaat landen. Onder meer daarom is de minimale afdaalsnelheid belangrijk. Als je te traag afdaalt, kan het zijn dat de CanSat verloren gaat door af te wijken van het lanceerdomein.



## Oefening

Probeer het verwachte CanSat traject uit te tekenen op de grafiek hieronder van de lancering tot en met de landing. Ga ervan uit dat er geen laterale snelheid bij komt vanwege de wind of stabiliteit. Bedenk hierbij hoe de snelheid in elke fase verandert. We gaan ook uit van een maximale hoogte van de raket van 1000 meter.

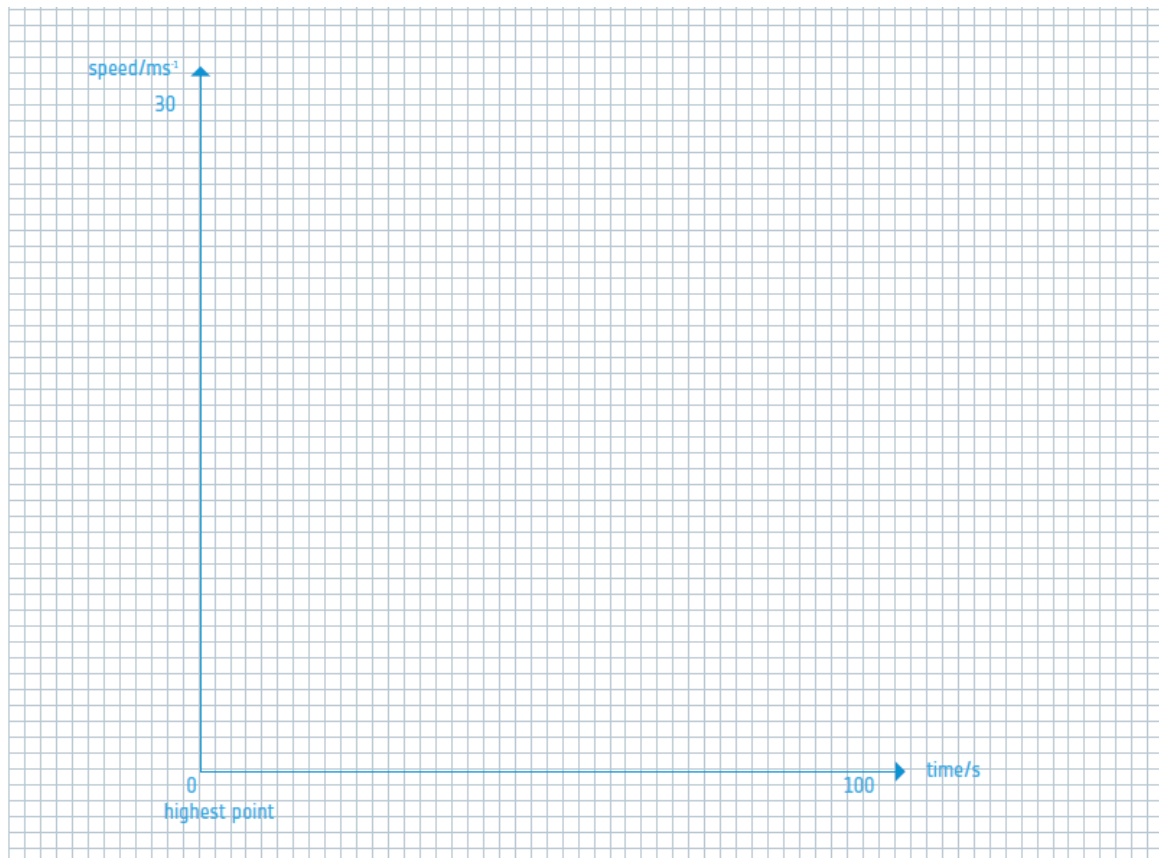


Het belangrijkste deel van het traject voor ons is nu de afdaling, vanaf het hoogste punt tot op de grond, want dat is het deel waar we de parachute nodig hebben.

Nu gaan we terug een grafiek uitzetten op de tijd, maar deze keer voor de snelheid op elk moment, en alleen voor het gedeelte van de afdaling. Het stijgen met de raket laten we buiten beschouwing. In dit geval is  $T_0$  het moment dat de CanSat uit de raket komt.

Bij het tekenen van de curve denk je aan volgende punten:

- Welke snelheid heeft de CanSat wanneer ze uit de raket komt?
- Hoeveel zal de CanSat versnellen naar de Aarde?
- Wat gebeurt er als de parachute open gaat?



## Tijd om te testen?

Nu je goed begrijpt welk gedrag je kan verwachten van de CanSat bij de lancering, moet je gaan testen. Je wilt niet meteen je echte CanSat in gevaar brengen met de eerste testen, dus je doet het eerst met een 'dummy'.

### Veiligheid

Bij het testen zorg je voor een leerkracht die je begeleidt. Je kan je CanSat naar beneden gooien vanaf de tweede of derde verdieping, maar je moet zeker zijn dat de ruimte eronder volledig vrij is van personen of kwetsbare voorwerpen.

Door opeenvolgend te testen en aan te passen moet je het parachute ontwerp verfijnen. Zorg dat je elk aspect van je parachute hebt onderzocht in de testen:

- Het gebruikte materiaal
- De bevestiging van de CanSat aan de parachute
- De oppervlakte van de parachute
- De manier van opvouwen

Zorg ook dat je payload (de CanSat dummy dus) uiteindelijk precies even zwaar is als je echte CanSat.

Als uit de test blijkt dat alles binnen de richtlijnen is, dan is je parachute klaar voor de vlucht !

## Links

De Fruitychutes website geeft meer uitleg over een parachute ontwerpen:

[https://fruitychutes.com/help\\_for\\_parachutes/how\\_to\\_make\\_a\\_parachute.htm](https://fruitychutes.com/help_for_parachutes/how_to_make_a_parachute.htm)

Over het maken van een kruisvormige parachute:

<http://www.nakka-rocketry.net/xchute1.html>

Over de wiskunde van vlakke parachutes:

[https://www.sunward1.com/imagespara/The%20Mathematics%20of%20Parachutes\(Rev 2\).pdf](https://www.sunward1.com/imagespara/The%20Mathematics%20of%20Parachutes(Rev%202).pdf)

Over meerdere types parachutes:

<http://www.hsl.org.au/articles/parachutes.pdf>

Wikipedia achtergrond informatie:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Parachute>