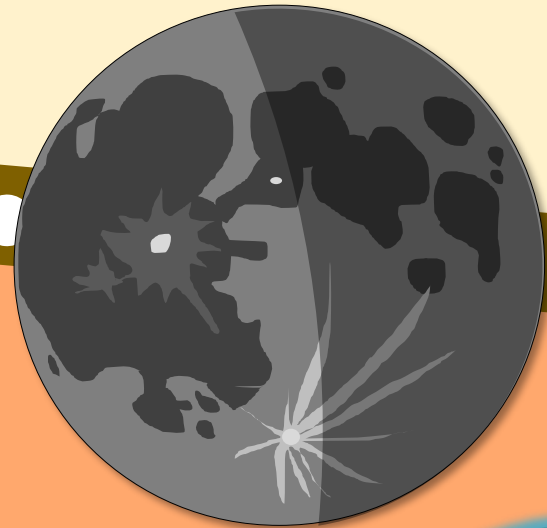


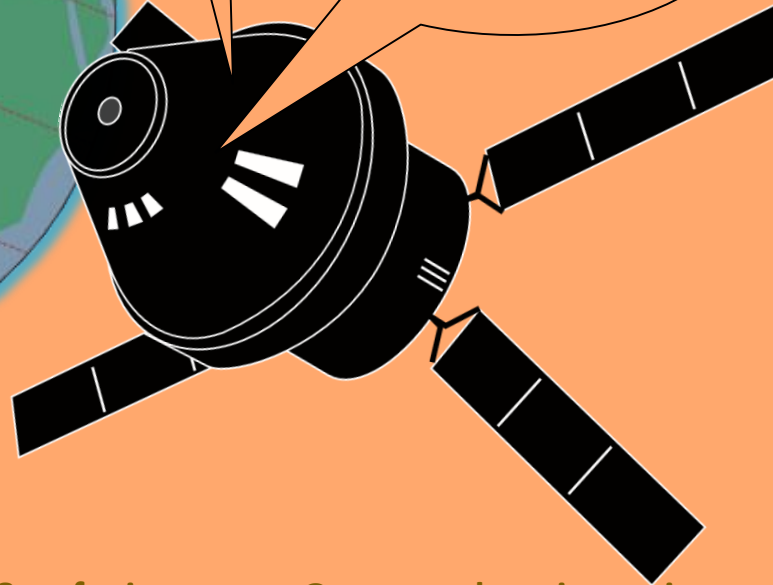
# Op **SCHOOLREIS** naar **de Maan**

## Lerarengids



Astronauten  
leven op de  
Maan in 2030

De huidige generatie  
schoolkinderen  
levert de eerste  
Marsreiziger



2° + 3° gr. lager onderwijs

Experimenten & oefeningen

Geen voorkennis vereist

Zonnestelsel - Planeten en manen – Atmosfeer - Broeikaseffect – Klimaat - Water  
CO<sub>2</sub> – Zuurstof - Damp – Vloeistof – ijs – Zwaartekracht – Gewicht & massa  
Evenwicht - Versnellen & vertragen – Ruimtepak – Raketten – Waterzuivering



# Op schoolreis ... naar de Maan !

*Lerarencursus*

## Cursus kenmerken

<b>Doelgroep</b>	9-12 jaar (tweede en derde graad lager onderwijs)
<b>Type</b>	Lessenreeks met leerling experimenten. In een context van ruimtereizen naar de Maan of Mars.
<b>Lestijden</b>	Volledige cursus: 12 tot 14 lessen.
<b>Lokaal</b>	Een gewoon klaslokaal volstaat.
<b>Benodigheden</b>	Gewoon huis-, tuin- en keukenmateriaal. In detail aangegeven per lesthema.
<b>Wat de leerlingen onder meer gaan leren?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algemene kennis over het zonnestelsel, planeten, en manen – vooral Mars en de Maan.</li> <li>• Algemene kennis de atmosfeer, het klimaat op de Aarde</li> <li>• Kennis over luchtdruk.</li> <li>• Kennis over atmosferen.</li> <li>• Het broeikas effect begrijpen.</li> <li>• Drie aggregatie toestanden van water: ijs, vloeistof, damp.</li> <li>• Zuurstof, CO<sub>2</sub>, water.</li> <li>• Wat is zwaartekracht?</li> <li>• Gewicht versus massa.</li> <li>• Waarvoor dient een raket?</li> </ul>
<b>Welke vaardigheden leren de leerlingen?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berekeningen maken.</li> <li>• Een experiment correct opstellen en uitvoeren.</li> <li>• Resultaten rapporteren en interpreteren.</li> <li>• Communiceren over je werk.</li> <li>• In groep werken.</li> </ul>
<b>Samenvatting</b>	<p>Wist je dat ESA en NASA een bewoonde maanbasis plannen vóór 2030?</p> <p>Deze cursus leidt je leerlingen door een denkbeeldige reis naar de Maan. Ze komen meerdere moeilijkheden tegen die ze één voor één proberen oplossen. Hiervoor worden klasexperimentjes en klasoefeningen aangeboden (onderzoekend leren). Op deze manier leren ze over verschillende algemene onderwerpen die ook van belang zijn voor ons leven op Aarde.</p>



Soms gaat de oefening ook over reizen naar Mars, de eerstvolgende bestemming van de ruimtereizende mens.

De leraar hoeft **geen voorkennis** te hebben **over de ruimte of ruimtevaart** om deze cursus te geven.

## COLOFON

**Uitgave** Oktober 2018

**Laatste aanpassing** 28 mei 2019

**Beschikbaarheid en gebruiksrechten**

- Deze cursus kan gratis gebruikt worden voor educatieve doeleinden. Als je onderdelen eruit kopieert, dan moet dit gebeuren met een verwijzing naar het origineel.
- De cursus kan je downloaden op [www.armandpien.be](http://www.armandpien.be).

**AUTEURS**

**UGENT Volkssterrenwacht  
Armand Pien**

- Concept en inhoud.
- Klasexperimenten kunnen worden aangeboden in de Sterrenwacht bij klasbezoeken en lerarendagen.
- Cursus opgemaakt door Pieter Mestdagh.

**ESERO Nederland**

- Meerdere klasexperimenten zijn gebaseerd op de Nederlandstalige lespakketten van ESERO NL : [www.ruimtevaartindeklas.nl](http://www.ruimtevaartindeklas.nl)

**Artesis-Plantijn  
Hogeschool Antwerpen**

- Via een Europees studentenproject van AP Hogeschool Antwerpen wordt een bijhorende digitale app ontwikkeld: "Kids in Space". Meer info op [www.armandpien.be](http://www.armandpien.be).

**Uw mening telt !**

De UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien werkt altijd aan een betere kwaliteit. Gebruikers van onze cursussen worden aangemoedigd om feedback te geven (contact gegevens op [www.armandpien.be](http://www.armandpien.be)). Wanneer uw feedback 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

<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
Doelstellingen van deze cursus .....	5
Reizen in de ruimte: wat is er mogelijk? .....	6
<b>ONS ZONNESTELSEL</b>	<b>10</b>
<b>1 Planeten en manen</b> .....	<b>10</b>
Inleiding .....	10
Wat zijn planeten? .....	10
De planeten van ons zonnestelsel.....	11
<i>Oefening: Een schaalmodel van de planeten</i> .....	13
Wat is een maan? .....	16
<b>VERTREK NAAR DE MAAN</b>	<b>18</b>
<b>2 Afstanden</b> .....	<b>18</b>
<i>Oefening: Visualiseer het Aarde-Maan systeem</i> .....	19
<b>3 Ontsnappen van de Aarde</b> .....	<b>25</b>
<i>Experiment: De valbeweging testen</i> .....	26
Waarvoor dient een raket? .....	33
<b>AANKOMST OP DE MAAN</b>	<b>37</b>
<b>4 En dan nu ... een veilige landing</b> .....	<b>37</b>
Inleiding .....	37
<i>Experiment: Veilig landen op Aarde</i> .....	39
<b>OVERLEVEN OP DE MAAN</b>	<b>48</b>
<b>5 Water en voedsel</b> .....	<b>48</b>
Is er water op de Maan? .....	48
<i>Experiment: Water koken zonder warmte</i> .....	52
Is er water op Mars? .....	58
<i>Experiment: Hoe zijn de greppels op Mars gevormd?</i> .....	64
Water voor Maanreizigers .....	68
<i>Experiment: Waterzuivering</i> .....	69
<b>6 Het weer</b> .....	<b>75</b>
Temperatuur en broeikas effect .....	75
<i>Oefening: De afmetingen van onze atmosfeer</i> .....	79
<i>Experiment: Atmosfeer in een fles</i> .....	80
Seizoenen .....	86
<i>Experiment: Seizoenen op Aarde</i> .....	75
Straling en micrometeorieten .....	98
<i>Experiment: Ruimtepak: bescherming tegen micrometeorieten</i> .....	101



<b>7</b>	<b>Ademen</b> .....	<b>108</b>
	De lucht op Aarde: inleiding .....	108
	Welke stoffen zitten er in de lucht op Aarde? .....	109
	<i>Demonstratie: De lucht die we ademen bevat 1/5 zuurstof</i> .....	112
	Ademen op de Maan en op Mars .....	116
	<i>Experiment: Zuurstof make uit water</i> .....	117
	Van waar komt de zuurstof op Aarde? .....	121
<b>8</b>	<b>Zwaartekracht</b> .....	<b>123</b>
	Wat doet zwaartekracht precies? .....	123
	Gewicht, massa en gewichtloosheid .....	125
	<i>Oefening: rekenen met gewicht en massa</i> .....	130
	G-krachten .....	134
<b>BRONMATERIAAL</b>		<b>139</b>

# INLEIDING

## Doelstellingen van deze cursus

### Een hulpmiddel om te leren over de Aarde, de Maan, Mars, en de ruimte.

Leraren van lager onderwijs hebben de opdracht om hun leerlingen te onderwijzen over **de Aarde, de Maan, de Zon en het Zonnestelsel**. Dit is zeker niet eenvoudig, vooral omdat in de lerarenopleiding slechts een beperkte wetenschappelijke achtergrond wordt meegegeven aan de studenten.

Deze cursus voor lager onderwijs introduceert enkele basisbegrippen en –principes over de Aarde, de Maan, en Mars in een **wetenschappelijk correcte, maar zeer toegankelijke manier**. Deze kenmerken maken de cursus gebruiksvriendelijk:

- De lesonderwerpen zijn opgenomen in de **context van een reis naar de Maan**. De Maan is een bestemming voor bemande ruimtereizen in de jaren 2020-2030. Bij sommige onderwerpen komt Mars erbij als extra toekomstige bestemming.
- De achtergrondinformatie en de klasoefeningen zijn rijk geïllustreerd met **afbeeldingen**.
- De meeste onderwerpen worden verrijkt met een **activerende werkvorm**: klasexperimenten of klasoefeningen.
- Volgens de planning wordt deze cursus in het najaar van 2019 aangevuld met een educatieve **Augmented Reality app** voor Android. Het is een interactieve app die de leraar kan gebruiken in de les.

Om te reizen naar de Maan, dienen we kennis te maken met de ruimere omgeving. De cursus start met een inleiding over het zonnestelsel en het Aarde-Maan systeem. Zo starten de kinderen hun denkbeeldige reis zonder grote misverstanden.

### Kosteloze ondersteuning voor het onderwijs

Eén van de doelstellingen van de UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien is om **leraren te ondersteunen** bij het **gebruik van de ruimte en ruimtevaart** in hun les.

Ben je een leraar en ondervind je moeilijkheden bij het gebruik van onze cursus? Aarzel niet om **contact** op te nemen via [info@armandpien.be](mailto:info@armandpien.be) of telefoon +32 9 264 36 74. We proberen je maximaal te helpen.

## Reizen in de ruimte?

### Wat is er mogelijk?

Tegenwoordig (2018) is de mensheid **niet** in staat om **naar Mars** of gelijk welke andere planeet dan de Aarde te reizen. De huidige technieken laten niet toe dat we zulke lange reizen in de ruimte overleven.

Maar naar de **Maan** reizen is momenteel **perfect haalbaar**. Zulke bemande reizen naar de Maan zullen weliswaar complex zijn en erg duur. Maar ze worden gepland in de nabije toekomst.

In de jaren 1969-1972 zijn Amerikaanse astronauten op het Maanoppervlak geland. De volgende keer zal men een **ruimtestation rond de Maan** installeren (het zogenaamde LOP-G), en vervolgens een **vaste basis op de Maan** bouwen. Dit laat toe dat astronauten maandenlang op en rond de Maan kunnen verblijven. In de onderstaande tabel staan de **belangrijkste praktische uitdagingen** voor het reizen naar de Maan en naar Mars.

Uitdaging	Reis naar de Maan	Reis naar Mars
	Oplossing	Oplossing
<b>Voedsel</b>	Opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Voedsel wordt voortdurend aangevuld met voorraad vanaf de Aarde.</li> </ul>	Niet opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• We moeten leren om ons voedsel te kweken in een ruimteschip en in een (ondergrondse) Marsbasis.</li> </ul>
<b>Water</b>	Opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Water wordt voortdurend aangevuld met voorraad vanaf de Aarde.</li> </ul>	Niet opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• We moeten leren om ons water 100% te recyclen in een ruimteschip en in een Marsbasis.</li> </ul>
<b>Zuurstof</b>	Opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Water wordt voortdurend aangevuld met voorraad vanaf de Aarde.</li> </ul>	Niet opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• We moeten leren om voldoende zuurstof te produceren met behulp van planten culturen.</li> </ul> Alternatieve oplossing: <ul style="list-style-type: none"> <li>• We kunnen water op Mars splitsen in waterstof en zuurstof (<math>H_2 + O_2</math>) (maar dat kost veel energie).</li> </ul>
<b>Straling</b>	Opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Onderweg: Reizen tijdens een periode met weinig straling (de reis duurt 3 dagen).</li> <li>• Op de Maan: ondergrondse basis bouwen.</li> </ul>	Onderweg: niet opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hiervoor werd nog geen oplossing gevonden.</li> </ul> Op Mars: Opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondergrondse basis bouwen.</li> </ul>
<b>Temperatuur regeling</b>	Opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• We gebruiken zonne-energie om de basis op te warmen of af te koelen.</li> <li>• Ondergrondse basis bouwen.</li> </ul>	Opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• We gebruiken zonne-energie om de basis op te warmen of af te koelen.</li> <li>• Ondergrondse basis bouwen.</li> </ul>
<b>Weinig/geen zwaartekracht</b>	Opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Onderweg: 3 dagen in gewichtloosheid is niet schadelijk.</li> </ul>	Niet opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Onderweg: 7 maanden gewichtloosheid verzwakt de</li> </ul>

Noodgevallen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Op de Maan (zwaartekracht is 1/6): is ok want de astronauten komen na enkele maanden terug op Aarde</li> </ul>	astronauten teveel om nadien op Mars uit te stappen. <ul style="list-style-type: none"> <li>Op Mars (zwaartekracht is 4/10): het effect van langdurig weinig zwaartekracht op het lichaam is nog niet bekend.</li> </ul>
	Opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>Een reddingsvoertuig kan de bemanning snel terug brengen naar de Aarde.</li> </ul>	Niet opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>Meestal is het niet mogelijk om meteen naar de Aarde terug te keren, en de terugreis duurt ook lang.</li> </ul>
Psychologisch welzijn	Opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>Weinig stress want de reistijd is beperkt, de Aarde is dichtbij, en er is een vluchtweg bij noodgevallen.</li> </ul>	Niet opgelost: <ul style="list-style-type: none"> <li>Veel risico en onzekerheid, kleine bemanning in kleine ruimte en lange reistijd zonder mogelijkheid om vroegtijdig terug te keren: veel stress.</li> </ul>

### Voorlopig alleen korte reizen

De bovenstaande tabel toont dat de uitdagingen die bij een Maanreis horen kunnen opgelost worden met de technieken van vandaag. De belangrijkste reden waarom het momenteel niet mogelijk is om naar **Mars** te reizen is de **lange duur van zo'n reis**. Het duurt drie jaar om heen en terug naar Mars te reizen (8 maanden heen, 15 maanden op de planeet, en 8 maanden terug).

Technische en wetenschappelijke vooruitgang kunnen nieuwe mogelijkheden en oplossingen voorzien in de toekomst. In elk geval zal men veel **nieuwe vaardigheden leren** wanneer astronauten meerdere maanden **op de Maan** gaan wonen. Met andere woorden: reizen naar de Maan en leven op de Maan dienen als belangrijke oefeningen om later naar Mars door te reizen.

### Oefenen op de Maan

Vandaag leven er ook mensen in de ruimte, namelijk in **het ISS** (International Space Station). Reizen naar het ISS en daar verblijven is duur en niet zonder risico, maar toch ben je daar nog heel dicht bij de Aarde. Door verder te gaan en **op de Maan te leven**, leert de mensheid vele nieuwe vaardigheden:

- Leven op een ander hemellichaam, met **weinig zwaartekracht**.
- Verder van de Aarde leven, waar we niet meer beschermd zijn **tegen gevaarlijke straling** uit de ruimte en straling van de Zon.
- Landen** op en terug **opstijgen** van een andere planeet of maan.
- Gebruik van **plaatselijke hulpbronnen**, zoals het ondergronds waterijs.
- Bouwen van een **veilige basis** op een andere planeet of maan.
- Het **heelal bestuderen** wanneer je ver van de Aarde bent, en dus geen versturende ruis (licht, radiogolven, etc.) hebt afkomstig van de Aarde.

## Waarom willen we in de ruimte reizen en leven?

In elk geval zullen mensen op lange termijn naar de Maan, Mars en andere plaatsen reizen, of we nu de vraag “Waarom?” stellen of niet. Maar als je dit onderwerp in de lessen brengt, dan zal je de vraag toch krijgen. Daarom kan onderstaande lijst van redenen nuttig zijn.

### **Reden 1: Het verlangen van de mens om te ontdekken.**

Het is misschien de allerbeste reden. Mensen willen steeds verder gaan, de vorige grenzen verleggen, nieuwe mogelijkheden zoeken voor de toekomstige generaties. Mensen kunnen deze natuurlijke drang niet tegenhouden. Het wordt vooral gevoed door nieuwsgierigheid – een natuurlijke eigenschap van mensen – en het speelt een heel grote rol in de wereldwijde geschiedenis van de mensheid. Je kan deze drang kritisch benaderen of er trots gebruik van maken. Maar in elk geval zijn de meesten onder ons er graag bij als er nieuwe ontdekkingen gedaan worden.

### **Reden 2: Wetenschappelijk onderzoek over Aarde en Maan.**

Er zijn heel veel wetenschappelijke thema's die aan bod komen bij een Maanmissie. Hier is er één van :

Op de Aarde vinden we weinig sporen van de oudste gebeurtenissen op onze planeet, omdat het aardoppervlak altijd in beweging is en voortdurend verandert. Maar op de Maan vind je gemakkelijker onveranderde overblijfselen van die oudste periode, wanneer zowel onze planeet als de Maan pas bestonden. Wanneer we de Maan in detail bestuderen, zullen we ook onze de oorsprong en evolutie van de Aarde beter begrijpen.

### **Reden 3: Wetenschappelijk onderzoek over het heelal.**

De mensen op Aarde gebruiken een enorm gamma aan technieken. Eén van de gevolgen hiervan is dat er voortdurend golven worden uitgezonden (radiogolven, microgolven, zichtbaar licht, ...). Om het heelal te bestuderen zonder deze constante stroom aan storende stralingsruis, kunnen we een sterrenwacht opzetten aan de achterkant van de Maan. Van daar zullen we veel beter kunnen kijken naar de verre delen van het universum, en zullen we bijvoorbeeld nieuwe gegevens vinden over de oorsprong van het heelal.

### **Reden 4: Wereldwijde samenwerking.**

Technisch is een reis naar de Maan en het leven in een Maanbasis reeds mogelijk, maar het blijft wel een grote uitdaging. Zelfs grote naties kunnen dit niet alleen. Alle landen die dit willen doen zijn verplicht om samen te werken met andere landen over de hele wereld. De maanbasis is dus een reden om samen te werken, ondanks de vele conflicten die de machtigste landen op Aarde hebben. Ruimtereizen helpt daarom mee aan stabielere internationale relaties, en dus aan het vermijden van grote oorlogen.

### **Reden 5: Leren leven in de ruimte.**

Zoals hierboven vermeld: we moeten nog veel leren om langer te kunnen reizen in de ruimte. Het bouwen van een maanbasis laat ons toe om stap voor stap te leren hoe we kunnen overleven op verdere reizen, zonder directe hulp vanop Aarde.

### **Reden 6: Een tussenstation voorzien om verder te reizen.**

Eens we klaar zijn om naar Mars te reizen, zou het veel gemakkelijker zijn als we vanop de Maan konden vertrekken in plaats van vanop Aarde. Er is immers geen lucht op de Maan, en veel minder zwaartekracht. Wanneer een maanbasis geïnstalleerd is en in gebruik, dan wordt het gemakkelijker om daar ter plaatse de nodige reisuitrusting en brandstof te

verzamelen. De astronauten gaan dan eerst met een klein voertuig naar de maanbasis, om vervolgens goed bevoorrad door te reizen naar Mars.

#### **Reden 7: Mijnbouw in de ruimte.**

Sommige grondstoffen op Aarde zijn zeldzaam aan het worden. De zeldzame aardmetalen, die dikwijls gebruikt worden bij de productie van smartphones en andere elektronische apparaten, vormen hiervan een voorbeeld.

Een ander voorbeeld is het isotoop Helium3 ( $\text{He}^3$ ), dat sowieso heel zeldzaam is op Aarde, maar meer gevonden wordt op de Maan.  $\text{He}^3$  kan gebruikt worden op Aarde om properder en veiliger kernreactoren te bouwen (kernfusie in plaats van kernsplitsing).

Mensen zullen in de toekomst grondstoffen halen op de Maan of op andere hemellichamen; wanneer we geleerd hebben om dit op een goedkopere manier te doen dan vandaag.

#### **Reden 8: Het overleven van de mensheid.**

De mensheid wordt bedreigd. De gevaren hebben dikwijls te maken met het feit dat het aantal mensen steeds blijft toenemen, terwijl de Aarde haar grenzen heeft. Bovendien zou een grote meteoriet in één klap het menselijk leven op Aarde ooit kunnen vernietigen.

De overlevingskansen van de mensheid worden groter wanneer we op meer dan één planeet leven. Steden bouwen op een andere planeet en zelfs andere planeten volledig leefbaar maken voor mensen lijkt een plan voor een heel verre toekomst. Maar zelfs dan moeten we er nu aan beginnen.

#### **Reden 9: Het 'overview effect'.**

Het woord 'overview effect' is uitgevonden door de Apollo astronaut Frank White. Hij verwees naar het effect dat astronauten overweldigt wanneer ze voor het eerst door het raampje van hun ruimteschip kijken en de Aarde zien.

Vanuit de ruimte zien we onze thuisplaneet zonder de landsgrenzen, als een klein, kwetsbaar, en eenzaam stofkorreltje in een enorme lege ruimte. Een ongelooflijk superdun laagje lucht dat de hele mensheid in leven houdt, hangt errond. Dit zicht veroorzaakt een bewustzijnsverandering in het hoofd van een astronaut. Plots zien we hoe kwetsbaar ons planeetje is. Het ziet eruit als een eenzaam en verlaten ruimteschip waarin alle mensen samen de leiding hebben.

Sommige astronauten zijn van mening dat de wereldpolitiek er compleet anders zou uitzien wanneer elke wereldleider eens een ritje in de ruimte zou maken. En de drie astronauten die als eerste rond de Maan vlogen (Apollo 8, december 1968) waren het eens over één ding: we zijn tot daar gevlogen om de Maan te zien, maar het belangrijkste wat we op die reis gezien hebben is de Aarde. Veel astronauten komen teug op Aarde met een verlangen om onze eigen planeet beter te verzorgen. Ze zien de volledige mensheid als één team, los van nationaliteiten of culturele verschillen.

# Ons Zonnestelsel

## 1 Planeten en manen

### Inleiding

Het zonnestelsel is de omgeving van de Aarde, met de zon in het centrum. De belangrijkste andere objecten in het zonnestelsel zijn:

- 8 planeten
- Vele manen
- Planetoïden (asteroïden), kometen en stof

### Wat zijn planeten?

#### a) Een planeet is groot genoeg om rond te zijn (een bol)

Planeten zijn heel grote verzamelingen van steen, stof en gas. Hoe groter de totale massa, hoe groter de zwaartekracht. Het is deze zwaartekracht die alle stof en gas zoveel mogelijk naar de kern toe trekt. Wanneer je heel hard alle massa in alle richtingen evenveel naar het midden trekt, dan ga je eindigen met een bol. Een kleinere massa heeft niet genoeg zwaartekracht om dit te doen, dus kleinere rotsen (asteroïden of de kleine maantje van Mars) zijn niet bolvormig.

Bolvorm is een essentiële eigenschap van een planeet. Maar er zijn ook andere objecten met een bolvorm, zoals manen en dwergplaneten (zie verder).

#### b) Planeten geven zelf geen licht

Planeten zijn niet groot en zwaar genoeg om veel energie te produceren, zoals een ster wel doet. We kunnen planeten wel als lichtschildjes of lichtpuntjes in de hemel zien, maar dat is omdat ze zonlicht weerkaatsen naar ons.

#### c) Planeten bewegen rond een ster

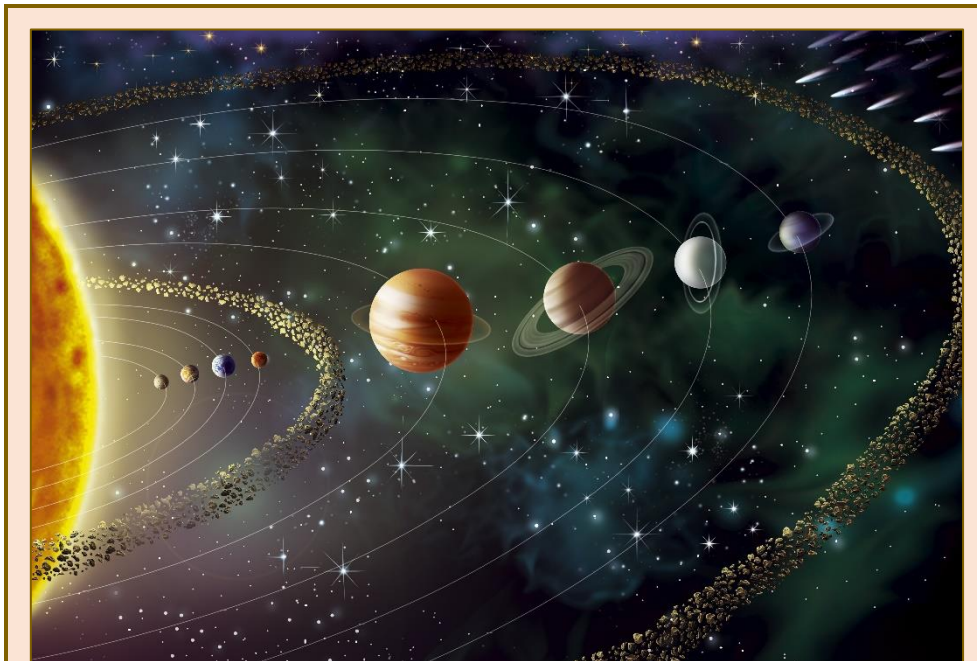
Alle planeten draaien in een baan rond hun ster. In ons geval is dat rond de Zon. Maar er zijn nog veel andere objecten die rond de Zon draaien, zoals kometen, asteroïden en dwergplaneten. Sommige van die objecten hebben in ons zonnestelsel meer langgerekte banen (uitgerokken ovaal of ellips) dan de baan van planeten. De baan van de acht planeten lijken meer op cirkels.

#### d) Planeten hebben hun baan 'opgekuist'

Wanneer je de Aarde zou kunnen volgen op een afstand, dan zou je alleen maar lege ruimte tegenkomen. Dat komt omdat onze planeet alle steentjes, stof en gassen opgeslokt heeft die zich in haar baan bevonden. Je zou kunnen zeggen dat de Aarde haar baan 'opgekuist' heeft als een stofzuiger.



Dit is een kenmerk van alle acht planeten in ons zonnestelsel. En dit is precies de reden waarom dwergplaneten als Pluto, Ceres of Eris geen planeet mogen genoemd worden. Pluto bijvoorbeeld deelt zijn baan rond de zon met miljoenen andere brokstukken die op die afstand rond de Zon bewegen.



Vereenvoudigde voorstelling (niet op schaal) van de 8 planeten rond ons zonnestelsel. Op volgorde: Mercurius, Venus, Aarde, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus. Tussen Mars en Jupiter is de asteroïdengordel getekend. Voorbij Neptunus zien we de Kuipergordel. Pluto (niet getekend) is een dwergplaneet die samen met de objecten van de Kuipergordel rond de zon draait.  
Bron: <http://wimedialab.pbslearningmedia.org/resource/482216739-earth-space/solar-system-illustration-earth-and-space/>

## De planeten van ons zonnestelsel

### Kleine steenachtige burenen en verre gasreuzen

In het zonnestelsel vinden we 2 soorten planeten:

- De vier aardachtige planeten, bestaande uit steen (hard en kleiner): **Mercurius, Venus, Aarde, Mars.**
- De vier reuzen, bestaande uit samengedrukte gassen en een harde kern: **Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus.**

De vier aardse planeten zijn ontstaan in een regio dicht bij de zon. In deze zone was het warmer, dus veel stoffen waren verdampt (in gasvorm). Wanneer de zon begon te stralen zijn deze dampen weggeblazen naar buiten toe. Verder van de zon zijn deze gassen bevroren, ze werden ijs. De overgang van de dichtere zone naar de verdere zone wordt de 'ijsgrens' genoemd. De bevroren ijskorrels voorbij de ijsgrens werden niet verder weggeblazen door de zonnestraling, dus was er daar veel meer materiaal aanwezig. Hier konden dan ook veel grotere planeten ontstaan: de gasreuzen.



**Jupiter** is de grootste planeet. Haar diameter is ongeveer 10 keer groter dan de diameter van de Aarde, en ongeveer 10 keer kleiner dan de diameter van de zon.

Zwaardere planeten hebben meer zwaartekracht. Jupiter vangt daarom heel veel ruimtepuin (stof, asteroïden, kometen), en helpt op die manier de aardse planeten in het binnenste deel van het zonnestelsel beschermen tegen gevaarlijke meteorietinslagen.

**De Aarde** is een heel bijzondere planeet. Het is de grootste van de vier aardse planeten, en de enige waarop vloeibaar water voorkomt. Het is ook de enige waarop we leven vonden tot hiertoe. We kunnen echter niet uitsluiten dat er op andere planeten of manen microben leven die we nog niet ontdekt hebben.

### **Een nieuwe planeet vormen: niet proberen dichtbij Jupiter**

De planeten zijn gevormd in de beginfase van het zonnestelsel. Bijna alle materie van de stofwolk waaruit het zonnestelsel ontstaan is, is in de zon terecht gekomen. De overschot van stof en gas zit grotendeels in de planeten, vooral in Jupiter. Maar tussen de banen van Mars en Jupiter is iets afwijkend gebeurd.

Jupiter verstoorde de planetenvorming ernstig met zijn grote zwaartekracht. Grote brokstukken in de buurt werden uit elkaar getrokken, en botsten met andere brokstukken die door Jupiters zwaartekracht versneld werden. Daarom zeggen wetenschappers dat de ring van brokstukken (asteroïden) tussen Mars en Jupiter niets anders zijn dan een mislukte planeet, die nooit de kans kreeg om één groot object te vormen. Er zijn miljoenen kleine objecten, de meesten echt heel klein. Er zijn uitzonderingen: de grootste van deze miljoenen objecten is Ceres, een dwergplaneet met een diameter van ongeveer 1000 km. Ceres zou ongeveer een derde van de totale materie bevatten uit de asteroïdengordel.

## Klasoefening

### Een schaalmodel van de planeten

#### Klasoefening : Samenvatting

In deze oefening gaan we eetbare objecten gebruiken om de zon en de acht planeten uit te beelden. Je kan één van onderstaande sets van ronde objecten gebruiken, ofwel zelf een andere versie maken.

De leraar legt alle eetbare bolletjes door elkaar op een tafel. De kinderen gaan op zoek naar de beste afmetingen om de zon en alle planeten op een juiste schaal naast elkaar te leggen. Er zit ook een meet- en rekenoefening in.

#### Klasoefening : Opstelling

- Verzamel de ronde objecten van set A of set B en breng ze mee naar de klas. Zorg dat je van elk object meerdere exemplaren hebt. Leg alle ronde objecten door elkaar op één tafel.
- Verberg eerst het grootste object dat de Zon voorstelt (A: meloen of B: een zitbal). De kinderen gaan de oefening eerst alleen met de planeten doen. Daarna gaan ze de afmeting van de Zon raden.

De afmetingen van de echte planeten hieronder zijn afgerond tot een veelvoud van duizend om het gemakkelijker te maken.

Object	Km diameter (afgerond)	SET A		SET B	
		eetbaar object	model afmeting	object	model afmeting
<b>Zon</b>	1.400.000	Meloen	± 20 cm	Zitbal	± 100 cm
<b>Mercurius</b>	5.000	Suikerkorrel	± 0.7 mm	Kleine linzen	± 4 mm
<b>Venus</b>	12.000	Peperbolletje	Max 2 mm	Kleine druif	Max 10 mm
<b>Aarde</b>	13.000	Peperbolletje	Max 2 mm	Kleine druif	Max 10 mm
<b>Mars</b>	7.000	Gierstkorrel	1 mm	Kleine erwten of vlierbes	5 mm
<b>Jupiter</b>	143.000	Kerstomaat	± 20 mm	Pompelmoes	± 100 mm
<b>Saturnus</b>	121.000	Kerstomaat	± 18 mm	Grote appelsien	± 90 mm
<b>Uranus</b>	52.000	Rozijn	7-8 mm	Kleine limoen	± 40 mm
<b>Neptunus</b>	50.000	Rozijn	7-8 mm	Kleine limoen	± 40 mm

Je kan natuurlijk andere objecten kiezen dan de voorbeelden hierboven als die beter passen bij de modelgroottes die zijn aangegeven. Je moet in elk geval met een meetlat naar de winkel en zien welke objecten van de gewenste grootte je kan vinden.

ZON

ZON

Model van de Zon en de planeten in het zonnestelsel: Set A (boven) en Set B (onder).

### Klasoefening: Maak jouw model van de planeten

- Neem **9 vellen papier** van gelijke grootte (A5 of A4).
- Vraag de kinderen om op elk blad **de naam van een planeet** te schrijven (en de Zon ook op één blad).
- Vraag de kinderen om de 9 vellen papier met namen in **dezelfde volgorde** te leggen **als het echte zonnestelsel** (Zon – Mercurius – Venus – Aarde – Mars – Jupiter – Saturnus – Uranus – Neptunus)
- Vraag hen nu om objecten van de tafel te nemen en telkens 1 object op één van de papieren te leggen, overeenkomend met de afmetingen van de echte planeten:
  - Vraag eerste welke planeet de **grootste** is (Jupiter).
  - Leg dan het grootste object op **Jupiter**.

- Laat hen daarna zoeken naar **de rest** van het model (zonder Zon).
- Vraag hen om nu elk bolletje te **meten met een lat**, en op te schrijven op elk blad **hoeveel mm** het eetbaar bolletje is (zorg dat ze de eenheid mm erbij schrijven).  
Bijvoorbeeld : in set A hebben we een pompelmoes voor Jupiter. Op het Jupiter-blad schrijven ze de diameter van de pompelmoes in millimeters = 100 mm.
- Vraag hen nu om de **grootte van de Zon te raden** in hun schaalmodel. Tip: de diameter van de Zon is ongeveer 10 zo groot als die van Jupiter.
- Neem nu het **model van de Zon** en geef het aan de kinderen om het op de juiste plaats te leggen.
- Vraag hen nu om alle afmetingen in mm die ze genoteerd hebben te **vermenigvuldigen** om de **echte afmetingen** (diameters) te vinden van de planeten en de Zon:
  - **Set A** (gemeten waarde in mm): Vermenigvuldig met 7, en dan nog eens met 1.000, en verander mm dan in km. (1 mm in het model = 7.000.000.000 mm echte planeet diameter = 7.000 km)  
**Echte diameter (mm) = gemeten waarde x 7 x 1.000 (km)**
  - **Set B** (gemeten waarde in mm): Deel door 5, vermenigvuldig dan met 7, vermenigvuldig dan met 1.000, en verander dan mm in km.  
**Echte diameter (mm) = gemeten waarde / 5 x 7 x 1.000 (km)**

### Klasoefening : Discussie en besluit

Stel volgende **vragen** aan de kinderen:

- Was je verrast hoe groot/klein de Zon en de planeten zijn?
- Zo ja, wat heeft je het meest verrast?
- Als de Aarde nu 30 cm groot zou zijn, hoe groot zou de zon dan zijn? Hierbij kan je een gewone aardbol toen zoals die in veel klaslokalen te vinden is (meestal rond de 30 cm groot). Het antwoord: 32 meter, vergelijkbaar met een groot schoolgebouw.

Nu hebben de kinderen een gevoel voor planeetgroottes in ons zonnestelsel. Ze beseffen nu ook dat de Zon enorm groot is, en onze Aarde één van de kleine planeten.

Wat je hen gemakkelijk kan laten **onthouden**:

De diameter van de Zon is **109 keer groter** dan de diameter van de Aarde.

Een andere manier om de algemene groottes in ons zonnestelsel te onthouden is de volgende (niet exact juist, maar het geeft de kinderen een goed gevoel van groottes):

- Diameter van de Zon = ongeveer 10 x diameter van Jupiter
- Diameter van Jupiter = ongeveer 10 x diameter van de Aarde
- Diameter van de Aarde = ongeveer 10 x diameter van een dwergplaneet (Jupiter, Ceres, ...).



## Wat is een maan?

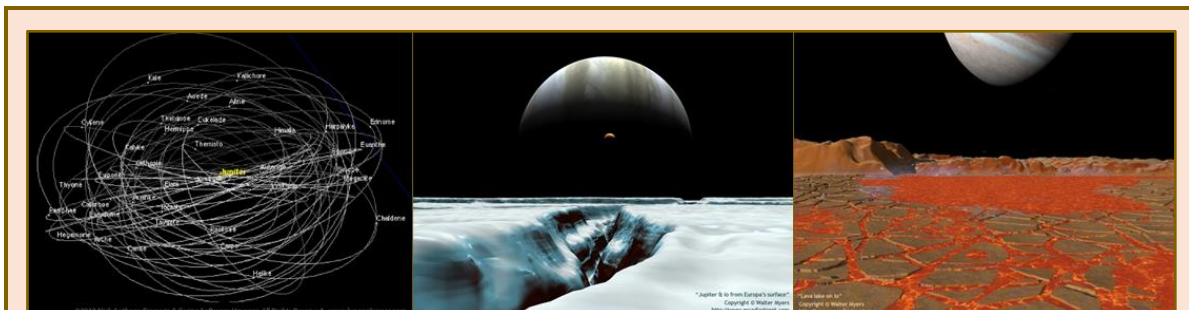
### Een maan draait niet rond de zon (niet rond een ster)

Per definitie draait een maan niet rond een ster, maar wel rond een planeet of eventueel rond een ander object zoals een dwergplaneet of een asteroïde. Natuurlijk heeft die planeet wel een baan rond de Zon (of andere ster), en de bijhorende manen reizen wel mee met de planeet.

### Hoeveel manen vinden we in het zonnestelsel?

We weten allemaal dat de Aarde 1 maan heeft, en die wordt 'de Maan' genoemd (met hoofdletter M). Maar hoe zit het bij de andere planeten?

- **Mercurius** en **Venus** hebben geen manen.
- De **Aarde** heeft 1 uitzonderlijk grote maan (de Aarde diameter = ongeveer 4 x de Maan diameter).
- **Mars** heeft 2 manen, maar ze zijn heel klein en niet rond.
- Elke **gasreus** heeft vele manen. Voorbeeld: Jupiter is bekend voor zijn 4 grote manen die je kan zien vanop Aarde met een heel eenvoudige telescoop. Maar eigenlijk heeft Jupiter 79 manen, en de meeste zijn te klein om vanop Aarde te zien.
- Zes manen van gasreuzen zijn **even groot of groter dan onze Maan**: 4 van Jupiter, 1 van Saturnus, en 1 van Neptunus. Maar ze draaien natuurlijk rond veel grotere planeten.



*Van links naar rechts:*

- *De banen van de manen van Jupiter.*
- *Zo zou het oppervlak van Europa er kunnen uitzien (grootste maan van Jupiter).*
- *Zo zou het oppervlak van Io er kunnen uitzien (maan met vulkanen rond Jupiter).*

Afbeeldingen: <https://cooljupiterfact.weebly.com/jupiters-moons.html>

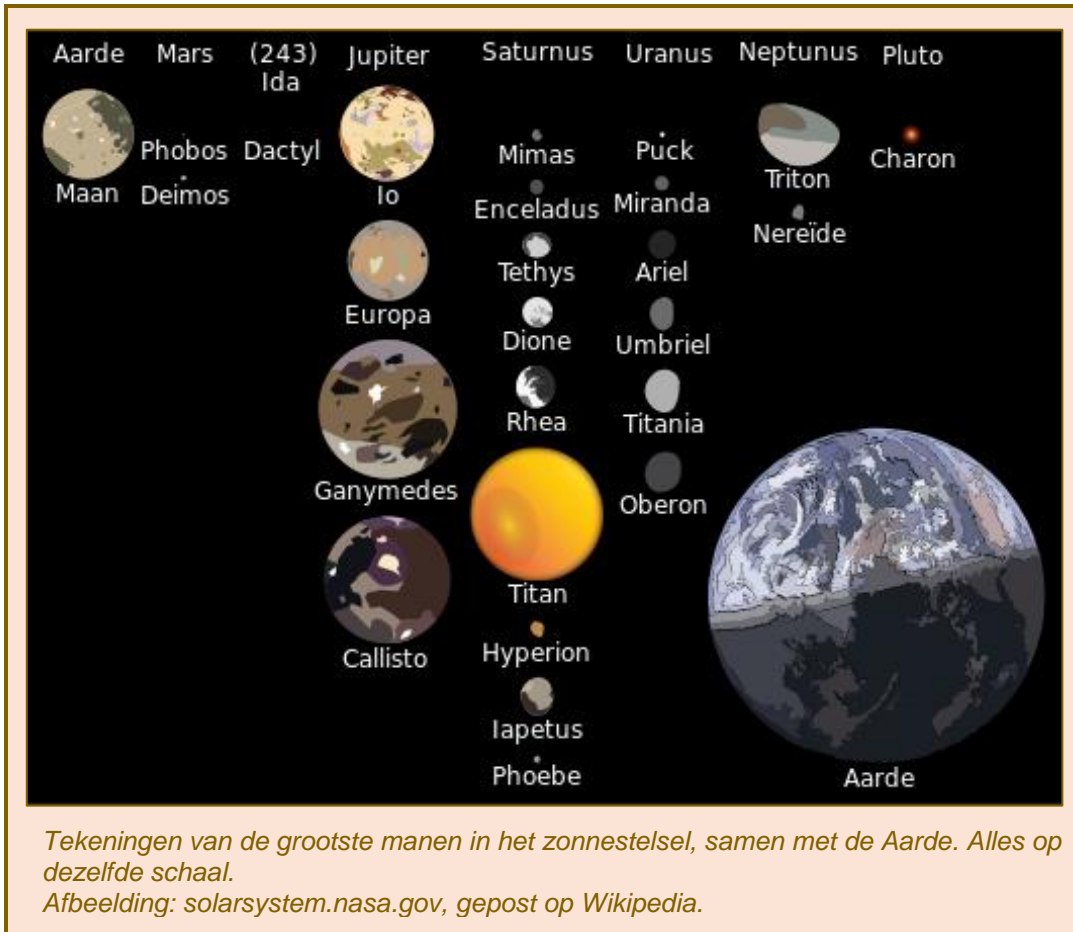
### Is er veel verschil tussen manen en planeten?

De definitie van een maan gaat over haar baan rond een planeet, en niet over het uiterlijk van de maan zelf. Maar hoe ziet een maan er eigenlijk uit? Enkele interessante **kenmerken**:

- De meeste manen zijn kleiner en **lichter** dan een planeet, en ze hebben dus ook minder zwaartekracht.
- Manen kunnen gemaakt zijn uit **verschillende stoffen** zoals steen, metalen, (water)ijs, enz. en zelfs vloeibaar water. Manen zijn dus niet essentieel verschillend

van samenstelling dan planeten. De maan Titan (Saturnus) heeft zelfs een duidelijke atmosfeer.

- Sommige manen zouden geschikt kunnen zijn voor **buitenaards leven**. Er zijn grote manen rond Jupiter die vloeibaar water onder het oppervlak hebben. In enkele gevallen kan dit water aan de oppervlakte komen in een soort uitbarsting. Een ruimtemissie met de naam 'JUICE' gaat op zoek naar leven op dergelijke manen rond 2030. Als er leven is, dan zal het wel microscopisch klein zijn.



# VERTREK NAAR DE MAAN

## ② Afstanden

Weinig mensen kennen de afstand tussen en de afmetingen van de Aarde en de Maan. We zien voortdurend afbeeldingen van de Aarde en de Maan die naast elkaar staan, zowel op papier als op internet. Maar de juiste schaal is erg verschillend van dit soort afbeeldingen. Daarom is het erg nuttig om de juiste afmetingen te laten zien in de klas. De onderstaande oefening geeft een realistisch beeld aan de kinderen van je klas, en het is gemakkelijk te onthouden.



## KLASOEFENING

### Visualiseer het Aarde-Maan systeem




#### Klasoefening : Samenvatting

Een eenvoudig model brengt de afmetingen van de Aarde en de Maan in beeld, en de afstand tussen beide. We tonen dit niet gewoon aan de leerlingen, maar brengen het model op een interactieve manier.

#### Klasoefening : Opstelling

Je zal een model moeten maken die de relatieve groottes toont van de Aarde en de Maan, met een lang touw tussen beide om de relatieve afstand te tonen. Het is heel eenvoudig te maken.

Natuurlijk kan je de model-afmetingen in de tabel hieronder vervangen door andere getallen naar keuze, als je maar dezelfde verhoudingen blijft respecteren.

Voorwerp	Echte afmeting	Model afmeting	Model foto
<b>Aarde diameter</b>	± 12.800 km	± 30 cm	
<b>Maan diameter</b>	± 3.500 km	± 8 cm	
<b>Afstand Aarde-Maan</b>	± 384.000 km	± 9 m	
<b>Afstand Aarde-ISS*</b>	± 400 km	± 1 cm	

\*ISS = International Space Station, het ruimtestation, de enige plek waar op dit moment astronauten in de ruimte leven.

Schilder de Aarde en de Maan zelf op isomo bollen. Je gaat als volgt te werk:

1. Koop een **isomo bol van 30 cm** doorsnede. Ze bestaan uit twee helften. De naad vormt de evenaar.
2. Schilder de bol volledig **lichtblauw**.
3. Leg een **strookje papier** op de bol van de noordpool tot aan de evenaar. Knip het precies af op deze lengte.
4. Je hebt nu een papierstrookje dat even lang is als een vierde van de bolomtrek (dus van  $0^\circ$  tot  $90$  graden). **Verdeel** dit papiertje met een stift **in drie gelijke delen**. Het begin van het papiertje komt overeen met  $0^\circ$ , het eerste streepje met  $30^\circ$ ; het tweede streepje met  $60^\circ$ , en het einde van het papiertje met  $90^\circ$ .
5. Gebruik het papierstrookje om de bol horizontaal te verdelen met stiftlijnen. De horizontale lijnen die je tekent zijn **breedtecirkels**. Je kan ze terugvinden op elke wereldkaart. De evenaar is breedtecirkel  $0^\circ$ . De vier lijnen die je tekent zijn  $60^\circ\text{NB}$ ,  $30^\circ\text{NB}$ ,  $30^\circ\text{ZB}$ ,  $60^\circ\text{ZB}$ .
6. Gebruik het papierstrookje om de bol vertikaal te verdelen met stiftlijnen. De verticale lijnen die je tekent zijn **lengtecirkels**. Je kan ze ook terugvinden op elke wereldkaart. De evenaars is breedtecirkel  $0^\circ$ . De 12 lijnen die je rondom tekent zijn:  $0^\circ\text{WL} = 0^\circ\text{OL}$ ,  $30^\circ\text{WL}$ ,  $60^\circ\text{WL}$ ,  $90^\circ\text{WL}$ ,  $120^\circ\text{WL}$ ,  $150^\circ\text{WL}$ ,  $180^\circ\text{WL} = 180^\circ\text{OL}$ ,  $30^\circ\text{OL}$ ,  $60^\circ\text{OL}$ ,  $90^\circ\text{OL}$ ,  $120^\circ\text{OL}$ ,  $150^\circ\text{OL}$ .

**NB** = Noorderbreedte: te tellen vanaf de evenaar, richting Noordpool.

**ZB** = Zuiderbreedte: te tellen vanaf de evenaar, richting Zuidpool.

**WL** = Westerlandte: te tellen vanaf Greenwich (nabij Londen), richting west (dus richting Amerika).

**OL** = Oosterlengte: te tellen vanaf Greenwich (nabij Londen), richting oost (dus richting Europa en Azië).

Zo kan je alles op Aarde precies situeren. Bijvoorbeeld: Brussel ligt op  $50^\circ\text{NB}$   $4^\circ\text{OL}$ .

7. Neem nu een andere werelddbol als voorbeeld, en **teken per vakje** (kruising van lengtecirkels en breedtecirkels) ongeveer de **omtrek van alle land** over die je in dat vakje ziet.
8. Doe dit voor **alle vakjes** op de bol, zodat je de hele wereld getekend hebt.
9. Dan kan je de landen **inkleuren** op een vereenvoudigde manier: zie figuur hieronder.

Het resultaat is een prachtige werelddbol die je jarenlang kan gebruiken in de klas, samen met de Maan op juiste schaal.

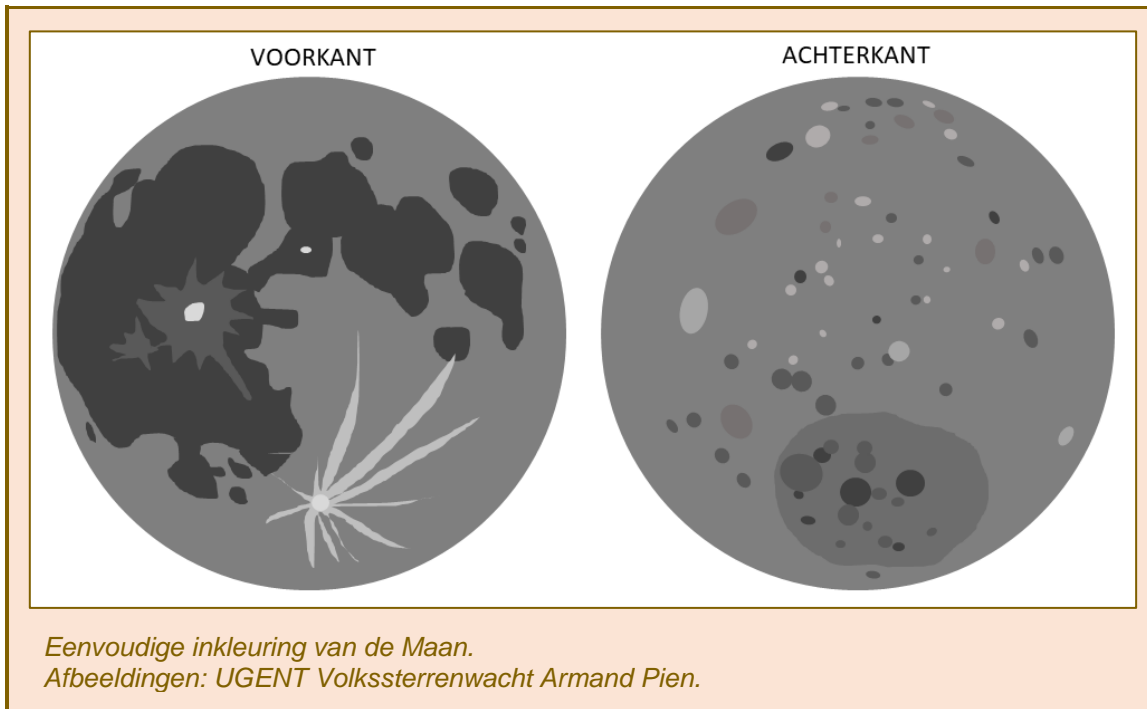
1 isomo bol 30 cm    2 blauw schilderen    3 papierstrook op maat maken    4 papierstrook in drie gelijke delen    5 horizontaal verdelen met breedtecirkels

6 vertikaal verdelen met lengtecirkels    7 landen intekenen per vakje    8 alle landen getekend

9 eenvoudige inkleuring met verf

*Stap voor stap een mooie wereldbol maken van een eenvoudige isomo (polystyreen) bol.  
Afbeeldingen: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.*

Om de **Maan** te **schilderen** hoef je enkel rekening te houden met het verschil tussen voorkant (de kant die altijd naar de Aarde gericht is) en achterkant. Aan de **voorkant** van de Maan zien we de 'Mare': grote donkere vlekken waarvan de mensen vroeger dachten dat het zeeën waren. De **achterkant** zit helemaal vol met kraters, meer dan aan de voorkant. Als je de vlekken op de figuur hieronder min of meer overtekent (hoeft niet precies te zijn), en overall verspreid kleine kraters tekent (cirkeltjes in meerdere grijs tinten), dan lijkt je bolletje zeker al goed genoeg op de echte Maan.



De **afmetingen** van het model hebben **voordelen**:

- Een 30 cm isomo bol of 30 cm aardbol vind je gemakkelijk.
- Een 8 cm (or 7.5 cm) isomo bol – voor de Maan - is ook gemakkelijk te vinden.
- Het touw van 9 meter lang (afstand tussen Aarde en Maan) is zo lang dat je meestal de deur van de klas moet openen om het touw te strekken. Het verrassingseffect dat je hiermee bekommt bij de kinderen zorgt ervoor dat ze de visualisatie lang gaan onthouden.

### Start van de klasoefening

Berg de Maan en het touw op in een **gesloten doos**, en begin de oefening met **alleen de Aarde**. Wanneer je de Aarde toont, is dat een goed excuus om enkele kenmerken van onze planeet te bespreken in een klasgesprek:

- Waarom is er zoveel **blauw** op de Aarde?  
De meeste kinderen antwoorden: omdat er zoveel water is, de oceanen. Neem dan een glas water om te tonen dat water niet blauw is, maar doorzichtig. Leg dan uit dat de oceanen eigenlijk dienen als grote spiegels die de kleur van de lucht weerkaatsen. Denk maar aan het spiegeleffect van een plas water op de grond na een regenbui: je kan jezelf zien in de plas.
- Welke kleuren zien we nog op onze planeet?  
**Groen**: Alle planten, inclusief gras en bomen/bossen.  
**Geel/bruin**: zand en steenvlaktes van de woestijnen.  
**Wit**: aan de polen is het veel kouder en daar bedekt sneeuw en ijs het oppervlak.

### Klasoefening: afmetingen en afstanden

- Vraag één van de kinderen om **vooraan** te komen en de **Aarde vast te houden** boven zijn/haar hoofd, zodat iedereen onze planeet kan zien.

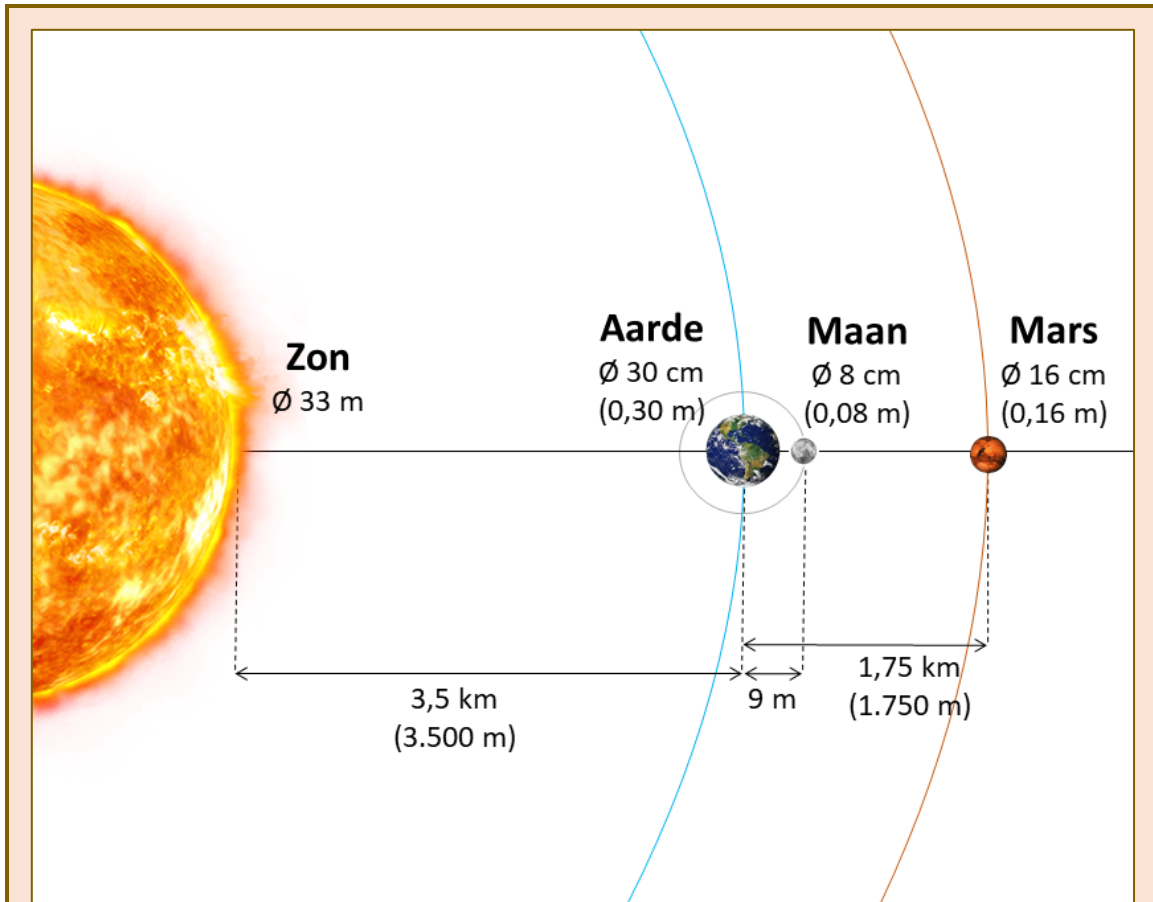
- Vraag aan de rest van de groep: toon eens met je twee handen **hoe groot de Maan** zou zijn indien de Aarde 30 cm (diameter) was?
- Kies een kind uit dat met zijn/haar handen ongeveer 8 cm toont. Vraag om ook vooraan de klas te komen. Neem het Maan model uit de doos. Veel kinderen zijn waarschijnlijk verbaasd dat de Maan kleiner is dan ze dachten. Geef deze **Maan aan het tweede kind** vooraan en vraag om de Maan ook hoog te houden (zoals de Aarde).
- Vraag aan de twee kinderen vooraan om te raden **hoe ver de Aarde en de Maan** van elkaar **verwijderd** zijn. Ze kunnen dit tonen door van elkaar weg te gaan tot op de afstand die ze geraden hebben.
- Vraag nu de rest van de kinderen of ze denken dat dit de juiste afstand is. Zoniet, wat denken ze? Moet het **dichter of verder** zijn?
- Haal dan het **9 meter touw** uit de doos, en geef één uiteinde aan beide kinderen vooraan. Vraag hen om het touw bij de Aarde en Maan vast te houden, en verder uit elkaar te gaan totdat het touw gestrekt is. Dikwijls moet de deur van de klas open gedaan worden om het touw te strekken.
- Dit is nu de **juiste afstand** tussen de Aarde en de Maan.
- Vraag nu aan de kinderen of ze kunnen raden **waar het Internationaal Ruimte Station (ISS)** zich bevindt in dit model van Aarde-Maan.
- Leg dan een **vinger op de Aarde** en zeg: het ISS bevindt zich ter hoogte van mijn vingernagel : ongeveer 1 cm boven het oppervlakte van onze Aardbol.

De realiteit die hier getoond wordt **verrast de meeste kinderen**. Je maakt hen bewust van hoe ver de Maan eigenlijk van ons verwijderd is, en hoe speciaal het was dat de Apollo astronauten in 1969 tot 1972 tot daar gereisd zijn en op de Maan geland zijn.

Je zou nog even met deze schaal kunnen doorgaan om de **afstanden en groottes van andere ruimte-objecten** te leren kennen, zoals de Zon en Mars. Deze afstanden zijn veel groter, en kunnen niet op deze schaal in de klas getoond worden.

Voor de **afstand naar Mars** een plek zoeken die 1.750 meter van school verwijderd is, en de kinderen vertellen dat dit de afstand is van de baan van de Aarde tot de baan van Mars (op dezelfde schaal als ons Aarde-Maan-model).

De **afstand** van de Aarde **naar de Zon** is nog groter. Hiervoor zoek je een bekende plek ergens op 3,5 km van de school. Leg uit dat daar de Zon zou staan in ons Aarde-Maan-model. De tekening hieronder toont de afstanden en groottes allemaal op dezelfde schaal.



Deze afbeelding toont alle groottes en afstanden in een schaal waarbij de Aarde een 30 cm diameter heeft. Opgelet: alle cijfers zijn juist (alles op dezelfde schaal), maar de tekeningen toont niet de juiste verhoudingen. Gebruik dus alleen de cijfers, en niet de tekening. Let ook op de eenheden: **cm**, **m**, **km** worden alle drie gebruikt.  
 Afbeelding: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.

Verder kan je laten zien aan de leerlingen dat **de Aarde en de Maan** ook op correcte schaal kunnen **samen getekend** worden **op 1 blad papier**. De tekening hieronder illustreert dat. Dit kan echter niet als je de Zon of Mars erbij wilt tekenen. Deze staan te ver weg, waardoor de planeten zelf niet meer zichtbaar zouden zijn wegens te klein.



De Aarde, de Maan, en de juiste afstand tussen beide, alles op dezelfde schaal getekend.  
 Afbeelding: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.

### 3 Ontsnappen van de Aarde

#### Hoe valt iets op Aarde?

Je bent het gewoon op Aarde: als je iets gewoon naar beneden laat vallen uit je hand, dan gaat het steeds sneller naar de grond. Het voorwerp valt in een rechte lijn naar beneden. En als je iets recht voor je uit gooit, dan valt het in een boogje: een beetje vooruit, en tegelijk ook weer steeds sneller naar beneden.

Misschien verwacht je het niet, maar in die ervaring zit alle kennis die je nodig hebt om bewegingen in de ruimte te begrijpen. En dan bedoelen we: bewegingen van planeten, manen, én ruimteschepen of satellieten. We zullen deze dagelijkse ervaringen over valbewegingen beter leren kennen in het volgende klasexperiment: “de valbeweging testen”.



## Klasexperiment

### De valbeweging testen

#### Klasoefening : Samenvatting

Op een hellend vlak en een plat vlak kunnen we testen hoe een knikker beweegt. Eerst doen we de horizontale en verticale bewegingen apart, daarna gecombineerd. Het is zeer eenvoudig te begrijpen. Het besluit zullen we nodig hebben in het volgende hoofdstuk.

#### Klasoefening : Opstelling

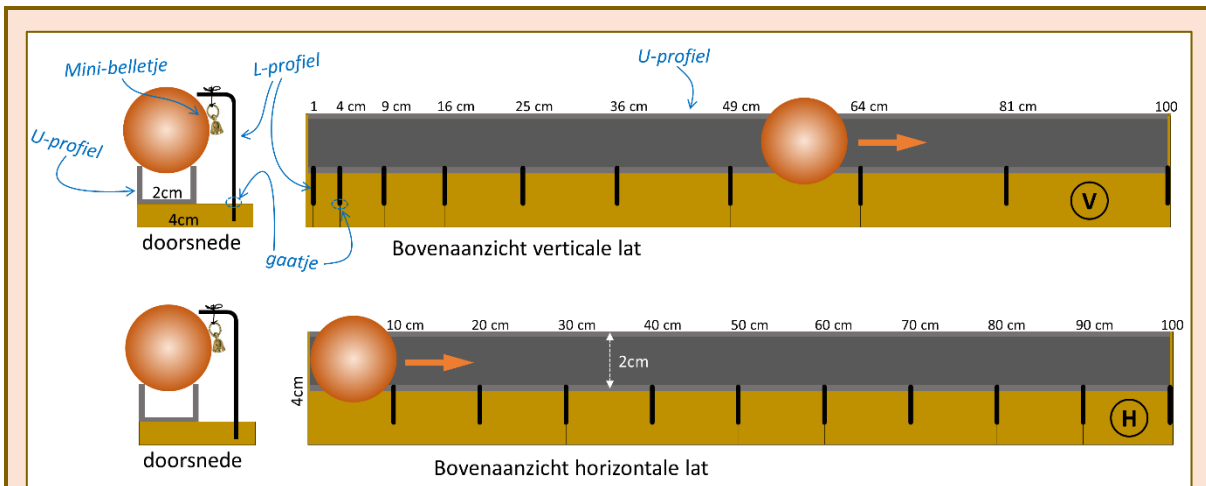
#### Praktische opmerkingen in verband met het materiaal

- De afmeting van dit materiaal hangt af van de grootte van de knikker die we laten rollen. Hieronder wordt uitgegaan van een grote knikker met diameter 4cm. Het werkt best met een grote, zware knikker
- Het systeem met de horizontale en verticale lat waarop een knikker kan rollen (met belgeluiden) kan ook vervangen worden door heel eenvoudige latten met maatstreepjes (dus zonder aluminium profiel en opgehangen belletjes). In dat geval is de proef eenvoudiger, en gaat de lesinhoud minder diep.

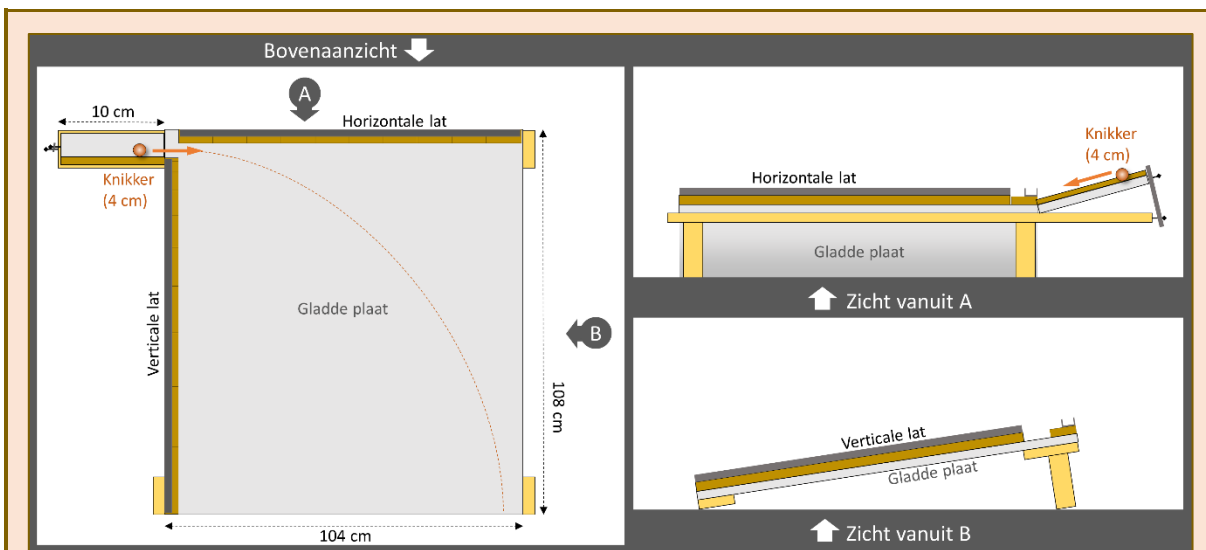
#### Vorbereidend knutselwerk: horizontale en verticale lat

- Neem twee houten latten van een meter lang als basis. De breedte van een lat is minimum 4 cm.
- Horizontale lat: teken zwarte markeerlijnen over de breedte van de lat om de 10 cm, zodat je 10 gelijke delen hebt.
- Verticale lat: teken zwarte markeerlijnen over de breedte van de lat op volgende afstanden: 1cm, 4cm, 9cm, 16cm, 25cm, 36cm, 49cm, 64cm, 81cm, 100cm.
- Bevestigd een aluminium U-profiel (ook 1 meter lang) op beide latten zoals op de tekening. De knikker zal uiteindelijk rollen op de twee rechtop staande kanten van het aluminium profiel (glad en stevig, weinig weerstand).
- Maak per lat 10 L-staafjes waaraan een mini-belletje kan hangen net boven de knikker. Boor op elke markeerlijn een gaatje waarin dit L-profiel kan rechtstaan.
- Hang aan elk L-profiel een mini-belletje zodat de rollende knikker bij elke markeerlijn even tegen het belletje tikt. Let op dat de knikker niet kan afgeremd worden (hang het belletje niet te dicht).





Horizontale en verticale lat waarop de beweging kan getest worden van de knikker. Beiden zijn gemaakt van een houten lat van 1 meter lang en een even lang aluminium U-profiel.



Hellend testvlak waarop een knikker naar beneden kan rollen, al dan niet met horizontale snelheid. De horizontale snelheid wordt bepaald door het kantelend startvakje in de linker bovenhoek.

**Voorbereidend knutselwerk: hellend testvlak**

- Zaag een gladde en stevige plaat op deze afmeting: 104 cm x 108 cm.
- Bevestig aan beide kortere zijden een houten lat: één van 114 cm lang, en aan de andere kant één van 104 cm lang. De doorsnede van deze latten is minder belangrijk. We adviseren 6 x 2 cm. Deze twee latten vormen de onderzijde van de opstelling. De ene steunlat steekt 10 cm uit aan de hoek van de grondplaat.
- Neem nu de horizontale en verticale latten van de vorige stap (met aluminium U-profiel), en bevestig deze op de plaat zoals op de tekening.
- Op het uitstekende deel in de hoek gaan we nu een kantelbaar hulpstukje (met opstaande rand) monteren, die in verschillende hoeken kan gezet worden. Hoe hoger dit hulpstukje, hoe meer horizontale snelheid we meegeven aan de knikker. Voor details: zie tekening hierboven en foto's hieronder.

**Klasexperiment:**

Verdeel de kinderen in groepjes, en laat elke groepje onderstaande reeks van testen uitvoeren. Bij elke test worden enkele vragen gegeven om te beantwoorden.

**Experiment STAP 1 : test van horizontale en verticale valbeweging****VERTICAAL**

- Zorg dat het testvlak schuin staat zoals op de tekening hierboven (zicht vanuit B).
- Leg de grote knikker bovenaan op de verticale lat op het aluminium profiel.
- Zorg dat de belletjes allemaal op de lat staan en dat de knikker elk belletje heel licht kan raken wanneer hij naar beneden rolt. Merk op dat de afstand tussen de belletjes steeds groter wordt.
- Laat de knikker naar beneden rollen zonder te duwen (dus gewoon loslaten vanuit stilstand). Doe deze test meer dan 1 keer, totdat je kan antwoorden op onderstaande vragen.

De knikker die naar beneden rolt valt op dezelfde manier als een knikker die je uit je hand recht naar beneden laat vallen: de verticale valbeweging. Een knikker naar beneden rollen of gewoon uit je hand naar beneden laten vallen zijn beiden goede testen om het effect van de zwaartekracht te testen.

**Vraag 1**

Welke snelheid heeft de knikker op het moment dat je hem loslaat?

**Vraag 2**

Luister goed naar de belgeluidjes terwijl de knikker rolt. Wat kan je zeggen over de opeenvolgende belgeluidjes?

**Vraag 3**

Als je de afstanden tussen de belletjes vergelijkt met het ritme van de belgeluidjes, wat zou je dan kunnen zeggen over de snelheid van de knikker tijdens het rollen? Verandert de snelheid tijdens de val?

**HORIZONTAAL**

- Leg de testplank nu horizontaal zodat er geen helling meer is.
- Leg de knikker aan het uiteinde van de horizontale lat op het aluminium profiel.
- Zorg dat de belletjes allemaal op de lat staan en dat de knikker elk belletje heel licht kan raken wanneer hij naar beneden rolt. Merk op dat de belletjes hier allemaal op dezelfde afstand staan t.o.v. elkaar.
- Geef een kort en krachtig duwtje tegen de knikker, zodat hij over de lat rolt.

**Vraag 4**

Speelt de zwaartekracht nu nog een rol bij de beweging van de knikker? Wat veroorzaakt de beweging van de knikker?

**Vraag 5**

Luister goed naar de belgeluidjes terwijl de knikker rolt. Wat kan je zeggen over de opeenvolgende belgeluidjes?

**Vraag 6**

Als je de afstanden tussen de belletjes vergelijkt met het ritme van de belgeluidjes, wat zou je dan kunnen zeggen over de snelheid van de knikker tijdens het rollen? Verandert de snelheid tijdens de beweging?

## Experiment STAP 2: horizontaal en verticaal gecombineerd

- Zorg dat de testplaat nu terug schuin staat, zodat de knikker naar beneden kan rollen.
- Laat de knikker met een duwtje vertrekken in de bovenhoek, en kijk welke beweging we zien.
- Doe dit opnieuw, maar nu met een grotere duw (horizontale beweging is nu sneller). Kijk opnieuw naar de vorm van de valbeweging.
- En daarna nog eens hetzelfde, maar met nóg grotere duw.

### Vraag 7

Welke vorm hebben al deze valbewegingen?

### Vraag 8

Denk aan de vorige test met verticale en horizontale beweging. Hoe ontstaat dan deze vorm?

### Vraag 9

Probeer in je eigen woorden te zeggen wat er gebeurt wanneer je de knikker een steeds grotere duw geeft bij vertrek.

## Experiment STAP 3 : valbeweging in het groot

We weten nu dat voorwerpen altijd in een boog vallen als we ze laten vertrekken met horizontale snelheid. Dit is ook zo wanneer de valbeweging veel groter is dan op onze testplaat.

- Ga samen naar buiten, en neem een bal mee. Ideaal is de grootte van een tennisbal.
- Vraag een kind om buiten een balletje recht voor zich uit te gooien, en laat iedereen meekijken naar de vorm van die balbeweging.

### Vraag 10

Wat is de vorm van deze valbeweging? Hoe verandert de vorm als het kind de bal nog harder gaat gooien?

### Vraag 11

Hoe zouden we de valboog nóg groter kunnen maken?

### Vraag 12

Wat zou er gebeuren als de valboog zo groot wordt als de Aarde waar we op staan?

## Klasexperiment : Discussie en besluit

### Discussie STAP 1 : test van horizontale en verticale valbeweging

#### Antwoord vraag 1

Op het moment dat je de knikker loslaat, is de snelheid 0 km/u. Hij vertrekt vanuit stilstand.

#### Antwoord vraag 2

De belgeluidjes volgen mekaar altijd even snel op. De tijd tussen twee belletjes is dus heel de tijd hetzelfde.

#### Antwoord vraag 3

Aangezien de afstanden steeds groter worden, maar de tijd tussen twee belletjes toch heel de tijd gelijk blijft, kunnen we besluiten dat de knikker steeds sneller gaat rollen.

**Dit is een belangrijk besluit in verband met zwaartekracht:**

Zwaartekracht zorgt ervoor dat voorwerpen steeds sneller naar beneden vallen. Er is dus sprake van versnelling. Om het helemaal correct uit te drukken:

“ZWAARTEKRACHT DOET VOORWERPEN VERSNELLEN  
IN DE RICHTING VAN DE PLANEET”

(eigenlijk naar het middelpunt van de planeet).

**Antwoord vraag 4**

De knikker wordt 1 keer in beweging gebracht omdat we erop duwen, en nadien blijft hij verder rollen zonder dat er nog geduwd wordt. De zwaartekracht heeft met deze beweging niets te maken.

**Antwoord vraag 5**

De belgeluidjes volgen mekaar altijd even snel op. De tijd tussen twee belletjes is dus heel de tijd hetzelfde.

**Antwoord vraag 6**

Aangezien zowel de afstand tussen de belletjes als het ritme ervan over heel de lijn gelijk blijven, kunnen we besluiten dat de snelheid van de knikker heel de tijd dezelfde is. Er is geen versnelling.

Uit de test met horizontale beweging kunnen we ook een besluit halen: Eens een voorwerp beweegt, zal het blijven bewegen. Er is hier geen vertraging of versnelling, de snelheid blijft hetzelfde.

Opmerking:

Eigenlijk is er een kleine vertraging omdat de knikker afgeremd wordt door wrijving met de lucht en met het aluminium profiel. Maar die wrijving is zo klein, dat we het hier nauwelijks merken.

**Discussie STAP 2 : horizontaal en verticaal gecombineerd****Antwoord vraag 7**

De valbeweging heeft de vorm van een boog.

**Antwoord vraag 8**

De knikker gaat naar beneden toe steeds sneller. Naar rechts blijft hij heel de tijd bewegen met dezelfde snelheid. Als we deze twee bewegingen tegelijk uitvoeren, dan ontstaat er een boog.

**Antwoord vraag 9**

De boog wordt iedere keer groter wanneer we de knikker een hardere duw geven, maar de vorm blijft wel altijd een boog.

De versnelling naar beneden is altijd dezelfde, bij elke test. Maar de snelheid naar rechts is iedere keer groter. Daarom wordt de boog steeds groter naar rechts, maar de knikker komt wel altijd even snel onderaan de testplaat.

**Discussie STAP 3 : valbeweging in het groot****Antwoord vraag 10**

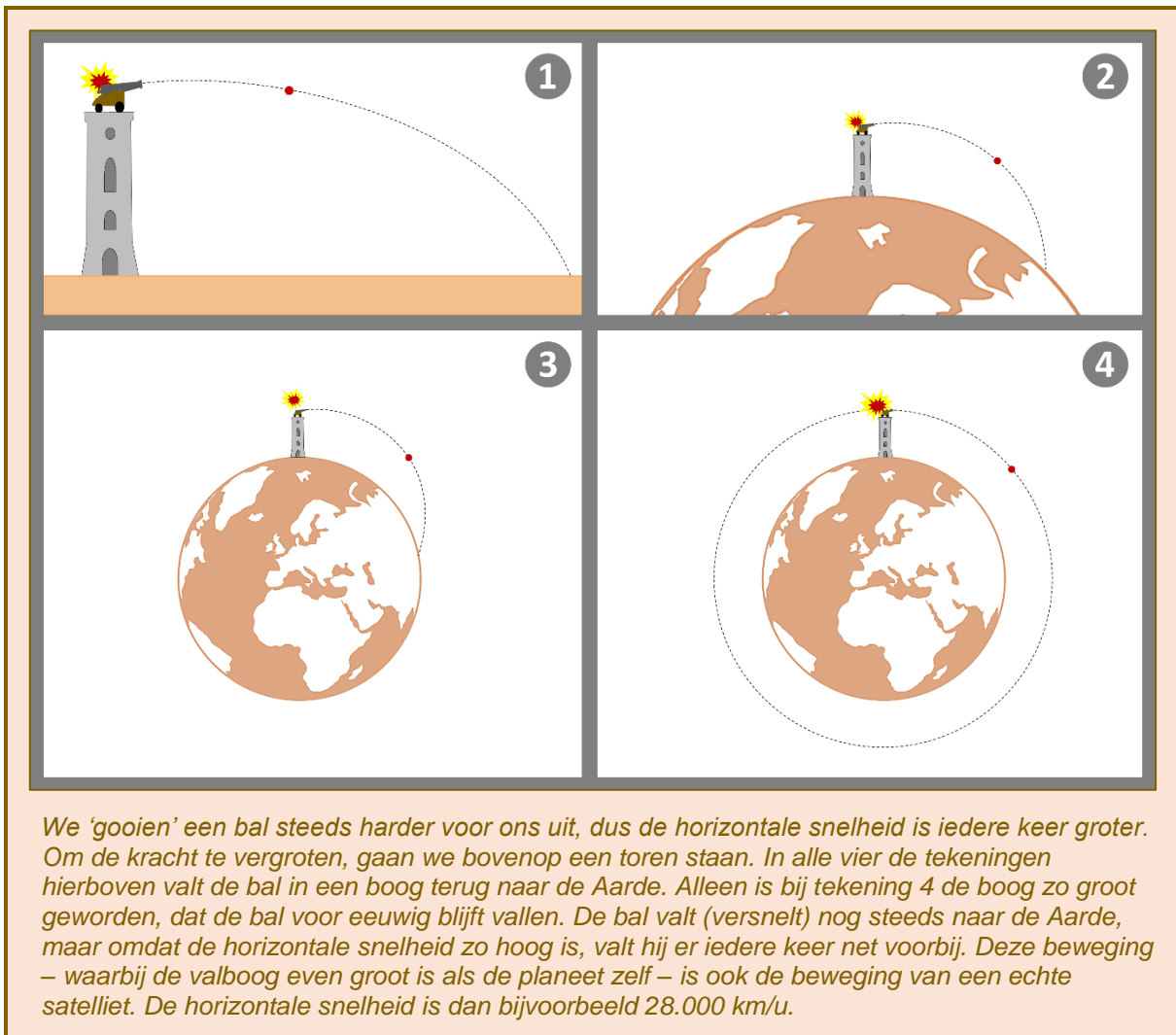
De bal die we voor ons uit gooien valt opnieuw in een boog. Als we nog harder gooien, blijft het een valbeweging in een boog, maar nu is de boog nog groter.

**Antwoord vraag 11**

Om de valboog nog groter te maken zijn er twee mogelijkheden: we gaan nog harder voor ons uit gooien, of we gaan heel hoog gaan staan (bijvoorbeeld op de eerste verdieping van de school), en gooien de bal dan voor ons uit.

**Antwoord vraag 12**

Door steeds hoger te staan en steeds harder te gooien, gaat de valboog extreem groot worden. Om heel hard te gooien, gaan we een denkbeeldig kanon gebruiken. We bekijken de tekeningen hieronder om te begrijpen wat er dan zou gebeuren.



We 'gooien' een bal steeds harder voor ons uit, dus de horizontale snelheid is iedere keer groter. Om de kracht te vergroten, gaan we bovenop een toren staan. In alle vier de tekeningen hierboven valt de bal in een boog terug naar de Aarde. Alleen is bij tekening 4 de boog zo groot geworden, dat de bal voor eeuwig blijft vallen. De bal valt (versnelt) nog steeds naar de Aarde, maar omdat de horizontale snelheid zo hoog is, valt hij er iedere keer net voorbij. Deze beweging – waarbij de valboog even groot is als de planeet zelf – is ook de beweging van een echte satelliet. De horizontale snelheid is dan bijvoorbeeld 28.000 km/u.

**BESLUIT**

- Een voorwerp zonder begin-snelheid valt steeds sneller in de richting van de planeet (= naar beneden).
- Als een voorwerp horizontale snelheid heeft, dan valt het in een boog naar de planeet.
- Die boog wordt steeds groter als de horizontale snelheid groter is, en als de valbeweging van een hoger punt begint.
- Die boog kan zo groot worden dat het voorwerp voor eeuwig naar de planeet valt, omdat het voorwerp iedere keer net voorbij de planeet valt. Dan blijft het rond die planeet draaien als een satelliet.

Net zoals ruimtevaart-satellieten draait ook onze Maan van nature rond de Aarde. De Maan valt dus eigenlijk voortdurend naar de Aarde, maar door haar horizontale snelheid, kan ze nooit tegen de Aarde vallen.



Op dezelfde manier valt de Aarde voortdurend naar de Zon. We hebben met de Aarde genoeg horizontale snelheid (ten opzichte van de Zon), dus we vallen er nooit tegen. Gelukkig maar.

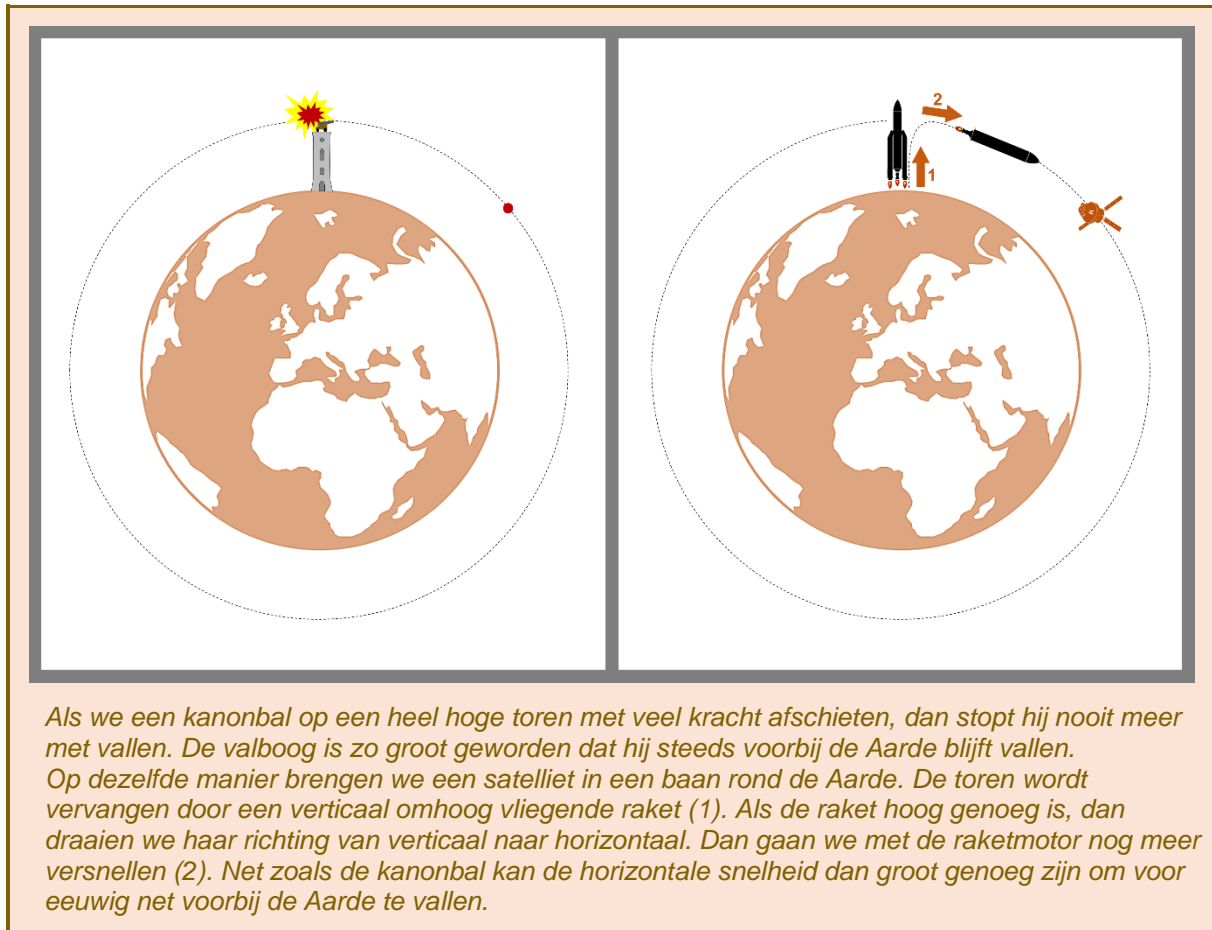
Op dezelfde manier bewegen eigenlijk alle sterren, planeten, manen, kometen, enz. in het volledige heelal.

Het besluit hierboven laat ons meteen toe om de functie van een raket te begrijpen !

## Waarvoor dient een raket?

### Baan rond de Aarde

Een raket gebruik je om in de ruimte te geraken. Als we bijvoorbeeld astronauten naar de ruimte sturen, dan doen we dat op dezelfde manier als de kanonbal uit het gedachtenexperiment hierboven. Bij de kanonbal gingen we daarvoor eerst op een hoge toren staan, en vervolgens gaven we de kanonbal een grote horizontale snelheid door hem met veel kracht af te schieten. Zo werd de valboog groot genoeg om voor eeuwig 'net voorbij' de Aarde te blijven vallen.



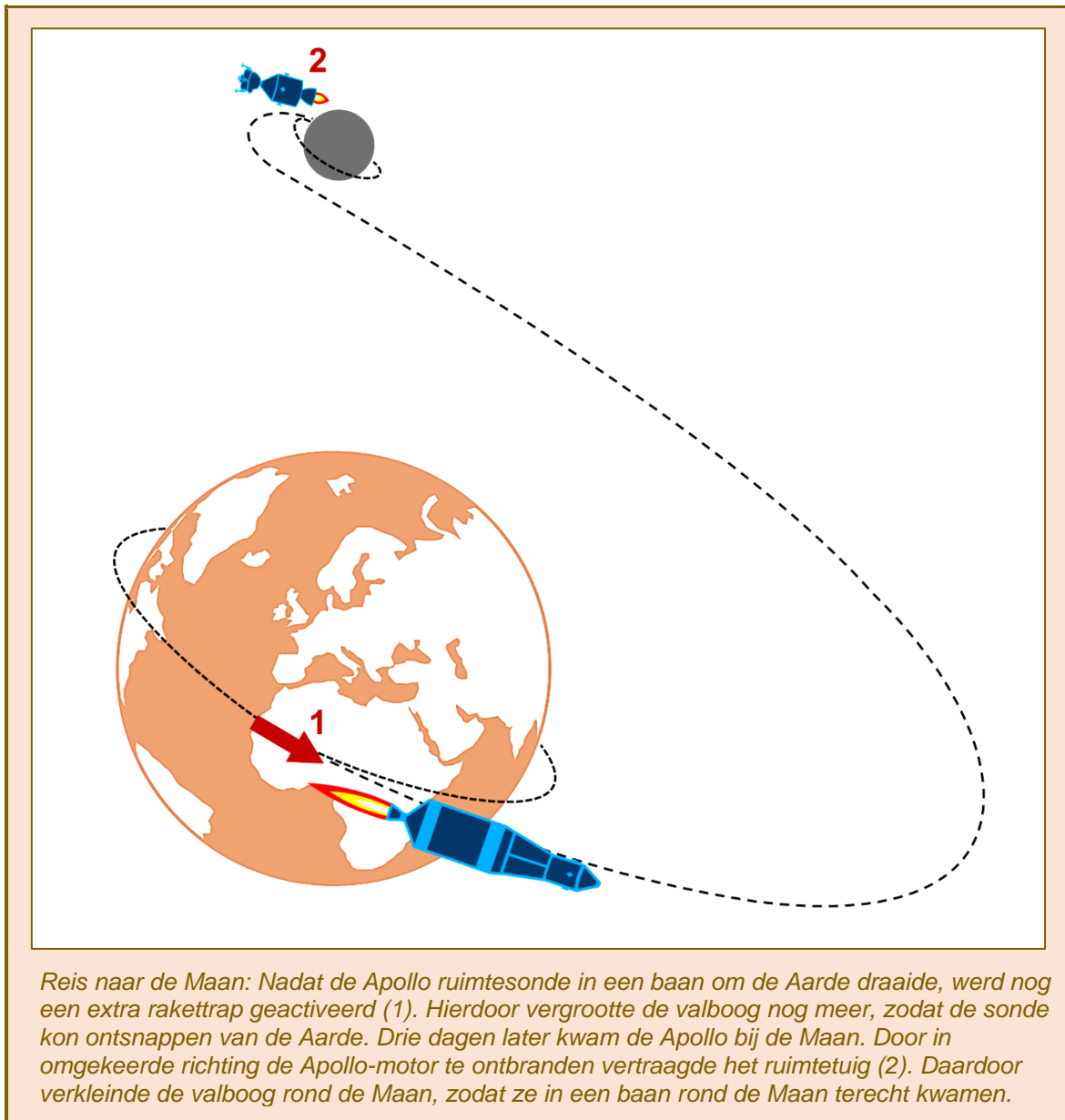
Met een raket doen we precies hetzelfde: we gaan de ruimtesonde eerst op grote hoogte brengen – boven de luchtlaag op Aarde – net zoals onze hoge toren. Dit doen we door de raket verticaal naar omhoog te laten versnellen. Als we boven de luchtlaag (atmosfeer) zijn, dan draaien we de raket opzij, en gaan we nog meer versnellen in horizontale richting. Deze horizontale versnelling is vergelijkbaar met het afschieten van de kanonbal om zo een heel grote valboog te maken.

Wanneer de satelliet in een baan om de Aarde gelanceerd is, dan is de brandstof uit de raket helemaal opgebruikt. De leeg gebrande delen van de raket worden afgeworpen. Eens de satelliet in een grote boog rond de aarde blijft vallen, is er geen motor en brandstof meer nodig. De snelheid van de vallende satelliet blijft nu voor altijd dezelfde. De satelliet wordt niet afgeremd door de lucht, want hij valt in de luchtledige ruimte boven de atmosfeer.

**De raket dient dus alleen maar om in een baan rond de Aarde te geraken.** Daarna is de raket opgebruikt en de lege delen vallen terug naar beneden.

### Doorreizen naar de maan

Hierboven is uitgelegd hoe een raket een ruimtesonde rond de Aarde brengt. De Apollo vluchten naar de Maan startten hun reis op deze manier: ze werden met een raket eerst in een baan om de Aarde gebracht. Maar dan waren nog niet alle raket-trappen opgebruikt. In hun baan rond de Aarde hadden ze nog een **extra rakettrap** over met brandstof. Wanneer deze laatste trap ook aangezet werd, dan werd de valboog van de Apollo ruimtesonde alweer groter (de horizontale snelheid is dan nog groter, dus de boog wordt groter). Die boog is dan zo groot dat men niet meer rond de Aarde blijft vallen, maar dat men van de Aarde ontsnapt richting Maan.

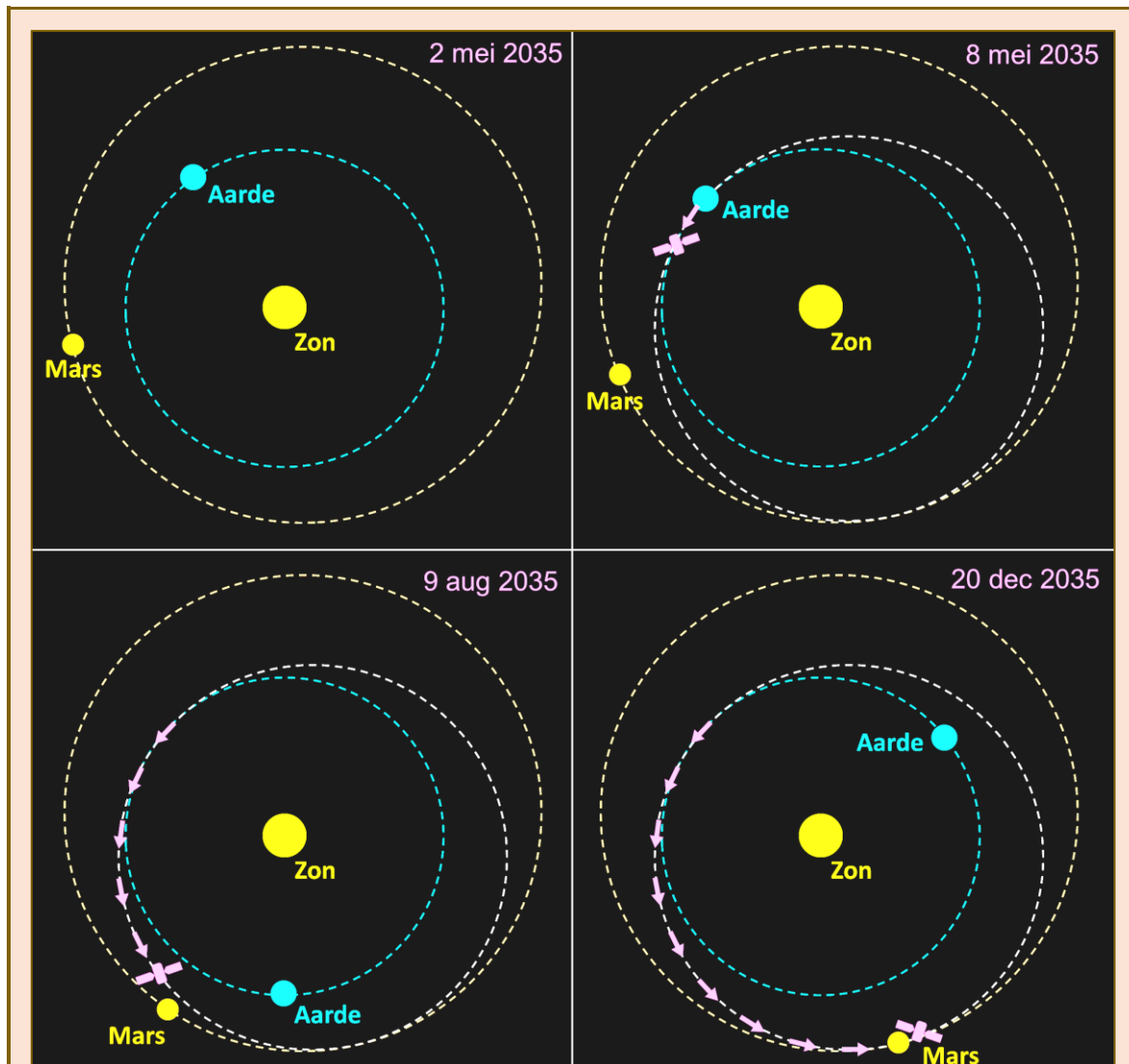


De Maan heeft ook zwaartekracht, weliswaar minder dan de Aarde. Dus als de Apollo ruimtesonde de Maan naderde, dan begon het ruimtetuig te vallen naar de Maan. Ook hier moest men dan weer de ideale horizontale snelheid hebben om net rond de Maan te vallen. Te traag, en men zou er op vallen (wat nadien wel gedaan werd voor de landing zelf). Te snel, en men zou voorbij de Maan gevlogen zijn in de diepe lege ruimte.



### Reizen naar Mars

Naar Mars reizen is een veel moeilijker opdracht. We moeten een baan volgen die bij vertrek de snelheid van de Aarde zelf gebruikt, want anders is de versnelling richting Mars die we nodig hebben groter dan dat een hedendaagse raket kan leveren. Bovendien moeten we bij Mars aankomen met een snelheid en richting die ongeveer dezelfde is als de beweging van de planeet Mars zelf. Anders kost het veel te veel energie (brandstof) om af te remmen. Zulke baan bestaat, en heet Hohmann baan. De figuur hieronder toont hoe het werkt.



#### Reis naar Mars:

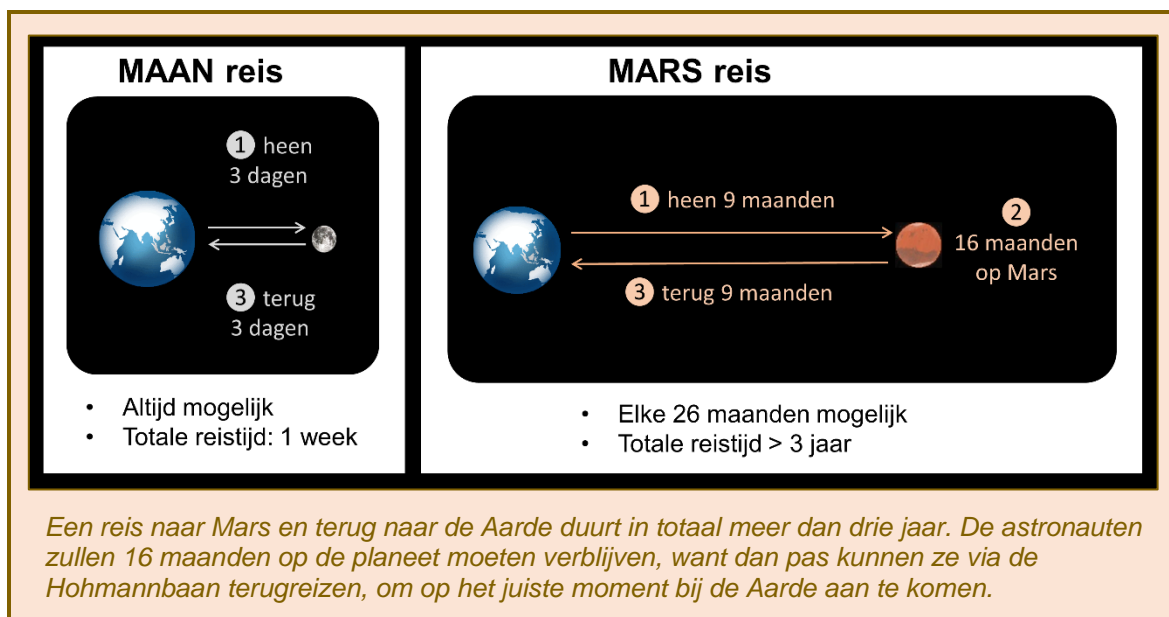
Stel dat we vertrekken op **8 mei 2035**. Op dat moment staan de planeten Aarde en Mars redelijk 'dicht' bij elkaar. We lanceren een ruimtetuig vanaf de Aarde, en geven het met een raketmotor nog wat extra snelheid. Het ruimtetuig zal dan net als de Aarde in een baan rond de Zon geraken, want het is immers vertrokken vanaf een bewegende planeet die zelf al rond de Zon draait. Maar door wat extra snelheid is de baan van het ruimtetuig wel groter dan die van de Aarde. Deze baan noemen we een Hohmannbaan, en is hier getekend in witte stippellijn.

Na ongeveer 7 maanden – op **20 december** - is het ruimtetuig halfweg op zijn Hohmannbaan rond de Zon, en dus ook op het verste punt van de Zon. Dat verste punt raakt aan de baan van Mars. De datum werd zo berekend dat Mars op dat moment ook op die plek passeert. Onze ruimtesonde kan nu in de buurt van Mars komen, en naar die planeet beginnen vallen. Door voldoende af te remmen, zullen we dan in een baan rond Mars kunnen geraken.

### Het tijdstip om te reizen

De Hohmannbaan naar Mars moet precies op het juiste moment gevolgd worden, want de planeet Mars moet op de juiste plaats zijn wanneer het ruimtetuig bij de Marsbaan komt. Dit traject kan daarom maar 1 keer om de 26 maanden gevolgd worden. Dat betekent dat mensen slechts om de twee jaar iets van de Aarde naar Mars kunnen sturen.

Omgekeerd werkt het op dezelfde manier. Wanneer we van Mars naar de Aarde willen terug reizen, moeten we op het ideale moment vertrekken en de Hohmannbaan volgen, zodat we aankomen bij de aardbaan wanneer de planeet Aarde ook op die plaats aankomt. Daarom moeten toekomstige Marsreizigers op de planeet Mars maandenlang wachten tot ze de reis terug naar huis kunnen ondernemen. Het gevolg is dat een totale Marsreis – heen en terug vanaf de Aarde – meer dan drie jaar duurt.



Dat een Marsreis meer dan drie jaar duurt, is momenteel een groot probleem. Tot hertoe zijn we er nog niet in geslaagd om zo lang astronauten te laten overleven in de ruimte. De uitdagingen zijn talrijk:

- Genoeg voedsel en water voor heel de reis
- Genoeg zuurstof en lucht, zodat er net als op Aarde altijd voldoende luchtdruk is.
- Bescherming tegen gevaarlijke (kosmische) straling gedurende meer dan 3 jaar.
- Gezondheidsproblemen die gekoppeld zijn aan langdurige gewichtloosheid of verminderde zwaartekracht.
- Als er iets mis gaat, dan is er geen mogelijkheid om terug naar huis te gaan of om wisselstukken na te sturen voor reparaties. Dit kan slechts om de 26 maanden...

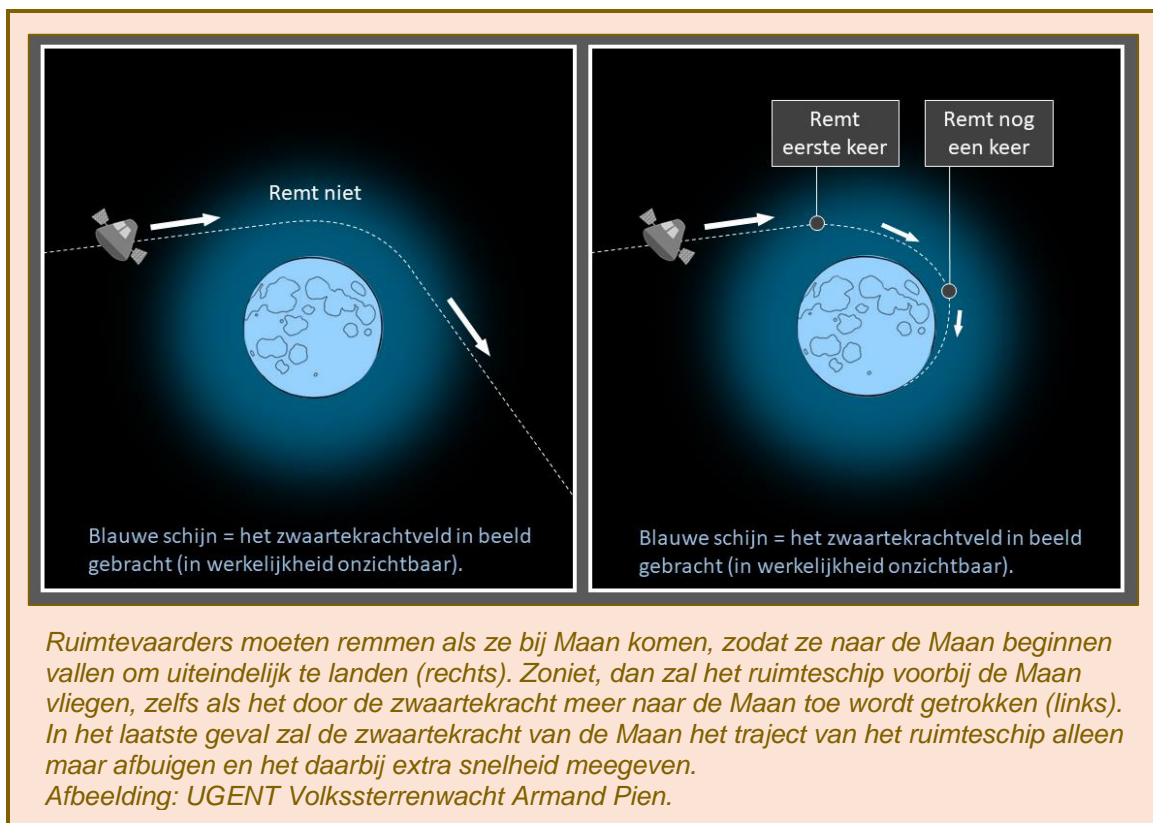
# Aankomst op de Maan

## 4 En dan nu ... een veilige landing

### Inleiding

Wanneer een ruimteschip aankomt bij de Maan of Mars, dan heeft het een zeer **hoge snelheid**. Er zijn twee mogelijkheden:

1. Het **remt niet af** (of niet genoeg), dus het vliegt gewoon voorbij de maan of de planeet, en komt nooit meer terug.
2. Het **remt genoeg af**, dus het wordt gevangen in de zwaartekracht van de maan of de planeet. Met andere woorden: het begint te vallen richting het oppervlak. Hoe dit precies in zijn werk gaat, wordt uitgelegd in hoofdstuk "8 Zwaartekracht".



De eerste mogelijkheid (**niet remmen**) wordt soms in de ruimtevaart gebruikt om ruimtesondes meer snelheid te geven in de richting van een ander doel in het zonnestelsel. Deze techniek – de **zwaartekrachtslinger** - komt verder aan bod (bij 'zwaartekracht').

Maar om de Maan of Mars te bezoeken gebruiken we de tweede mogelijkheid: **voldoende afremmen** zodat we naar het oppervlak toe beginnen vallen. Dit is uiteraard gevaarlijk, want



we hebben een hoge snelheid. Iedereen begrijpt dat een val tegen het oppervlak het ruimteschip kan vernietigen, waarbij de astronauten sterven. Maar hoe kunnen ze dan **veilig landen** wanneer ze richting Maan- of Marsoppervlak vallen?

## KLASEXPERIMENT

### Veilig landen op Aarde

#### Klasexperiment : Inleiding

De kinderen gaan **landingstechnieken op Aarde** bedenken en uitproberen. De uitdaging is **een ei** naar beneden te gooien zonder dat het breekt. Om de val te vertragen gaan de kinderen iets maken met huis-, tuin-, en keukenmateriaal en hun eigen creativiteit.

Uiteindelijk gaan ze de schade aan het ei beschrijven en de gemiddelde snelheid van de landing berekenen. Daarna gaan ze in discussie over landingstechnieken op de Maan en op Mars.

#### Klasexperiment : Opstelling

##### Experiment materialen:

- Elke leerlingenteam moet zeker **1 ei** hebben. Je kan ze eventueel elk twee eieren geven (een tweede kans), maar zeker niet meer. Ruimtewissies zijn zeer duur en er is erg veel werk aan. Een echte ruimtevaart ingenieur krijgt normaal geen tweede kans...
- Zet een verzameling van **knutselmateriaal** op tafel in open bakken:
  - Vellen papier
  - Drinkrietjes
  - Kleine lunch zakjes
  - Saté stokjes
  - Touw
  - Plakband
  - Elastiekjes
  - Watten
  - Aluminium folie
  - Plasticine
  - Karton bekertjes
  - Ballonnen
  - ...
- Enkele **werkmaterialen** zijn ook nodig:
  - Scharen
  - Lijm
  - Potloden en meetlatten
  - Passers
  - Stopwatch: om aantal seconden van de val te meten.
  - Kuismateriaal om de landingsvloer achteraf op te kuisen.



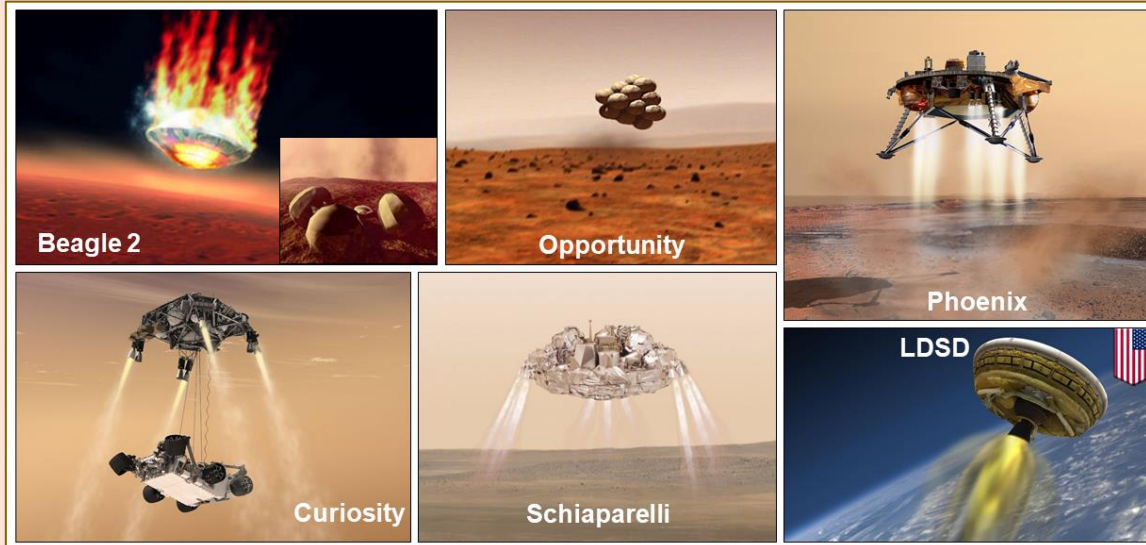
*Huis-, tuin- en keukenmaterialen die de kinderen kunnen gebruiken om een veilige landing te organiseren op Aarde.*

### Klasexperiment : Openingsgesprek

In de echte ruimtevaart zijn de landingen op de Maan en op Mars zeker niet altijd goed verlopen. Wist je dat in de geschiedenis van de ruimtevaart ongeveer de helft van alle Marsmissies mislukt zijn?

Enkele **echt uitgevoerde landingen** kunnen getoond worden aan de kinderen, om ze in te leiden en te inspireren. Uiteindelijk moeten de kinderen wel zelf hun eigen landingstechniek bedenken.

## Zachte landingen op Mars



De bovenstaande Marslanders hebben hun val vertraagd in de ijle lucht van Mars met behulp van parachutes of omdat ze met een groot hitteschild tegen de lucht botsen, en zo door wrijving een beetje afremmen. Wanneer ze echter dichterbij de grond kwamen, waren steeds extra remmingstechnieken nodig:

- **Curiosity**: luchtkraan met remraketten in de rand, waar de rover onder hangt. De luchtkraan koppelt los van de rover en vliegt alleen weg wanneer de rover de grond raakt.
- **Opportunity**: airbags (= luchtkussens).
- **Phoenix en Schiaparelli**: remraketten in de rand van het landingsplatform.
- **Low-Density Supersonic Decelerator (LDSD)**: opblaasbare ring om 'groot te zijn' zodat er meer wrijving is met de lucht + centrale remraket.

De landing van de Beagle 2 is mislukt. AL de andere in de afbeeldingen zijn geslaagde landingen.



## Zachte landingen op Aarde



*Zachte landingen op Aarde: Al deze toestellen vertragen eerst door wrijving met de lucht wanneer ze de atmosfeer van de Aarde binnen komen. Ze botsen als het ware tegen de lucht, zoals een duiker tegen het water botst wanneer die in het zwembad springt. Vervolgens gebruiken ze deze technieken om verder te vertragen:*

- **Genesis:** Het ruimteschip en zijn parachute moesten opgepikt worden door een helikopter voordat het de grond raakt. Maar eigenlijk zijn de parachutes kapot gescheurd en het ruimteschip is neergestort in de woestijn.
- **Space Shuttle:** De Shuttle gleed horizontaal op de lucht met zijn vleugels, net zoals een vliegtuig. Eenmaal op de grond gooit het een parachute uit, zodat het toestel kan vertragen.
- **Soyuz:** meerdere parachutes worden uitgesplood tijdens de afdaling. Een kleine ontploffing vind plaats onderaan het toestel wanneer het dicht bij de grond is. Zo wordt de val een beetje gebroken (de ontploffing remt een beetje af zoals een remraket).
- **Falcon 9:** De eerste trap van de Falcon 9 raket komt terug naar de Aarde na de lancering, en gaat vertikaal landen met krachtige remraketten.

## Zachte landingen op de Maan

Alle zachte landingen op de Maan zijn uitgevoerd met remraketten. Dikwijls worden deze remraketten uitgeschakeld wanneer het ruimtetuig ongeveer 2 of 3 meter boven de grond is, en het tuig landt uiteindelijk met een kleine vrije val. Andere technieken zijn op de Maan niet mogelijk, want er is geen lucht.

Ook in de natuur kan inspiratie gevonden worden in verband met parachutes of vleugelachtige structuren:

Planten hebben verschillende strategieën om lang genoeg in de lucht te blijven, en dus hun val te vertragen.

**Links:** een soort **Paardenbloem** (*Taraxacum*) die zijn parachute vruchtjes verspreidt.

**Rechts:** vrucht van een **Esdoorn** (*Acer pseudoplatanum*). De val wordt geremd door een ronddraaiende vleugel.

De tekening van een papiermodel van een esdoornvrucht komt van de pagina [www.startpagina.nl](http://www.startpagina.nl), gepost door een gebruiker met de naam "carisf".

Maar net zoals in de natuur kan het landingstoestel van de kinderen ook door de wind weggeblazen worden (als je de testen buiten doet). Op die manier kunnen ze landen ver van de bedoelde plaats. Iets om rekening mee te houden !

### Klasexperiment : inleidend gesprek

Bespreek eerst enkele basisprincipes. Hieronder vind je een lijst van vragen die je de kinderen kan voorleggen, zodat het inleidingsgesprek een beetje structuur krijgt. Vermijd om zelf de antwoorden te geven. Probeer de antwoorden uit de kinderen te halen door steeds verder de vraag te verfijnen in de goede richting.

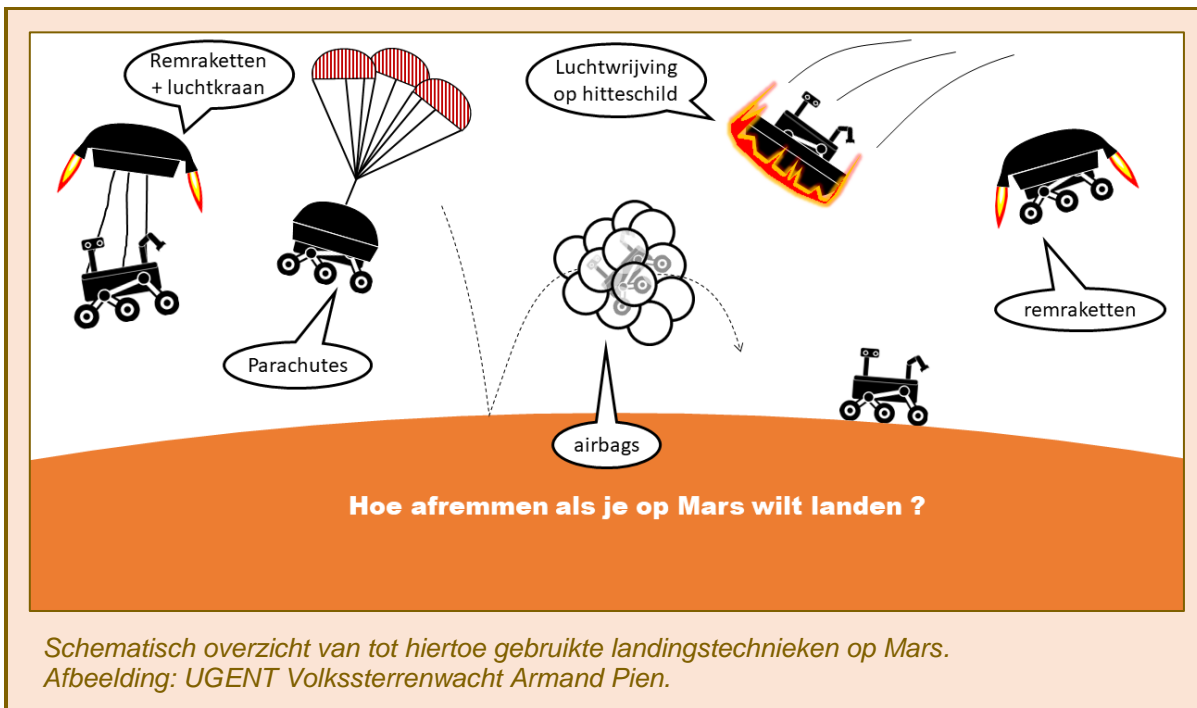
Je kan bruikbare delen van de antwoorden van de kinderen op bord schrijven. Na de discussie kunnen de kinderen hun uitdaging aanpakken terwijl de nuttige antwoorden uit het gesprek zichtbaar blijven op het bord.

Vraag	Antwoord
Laat een gom vallen op je tafel. Waarom valt het eigenlijk?	De Aarde is een <b>zware</b> planeet, en heeft daarom veel zwaartekracht. Daarom worden alle voorwerpen naar de planeet getrokken wanneer ze dicht genoeg in de buurt komen. Alle voorwerpen bewegen steeds sneller en sneller naar de Aarde tijdens hun val. Dit noemt men de " <b>valversnelling</b> ".
Wat als we de gom laten vallen op Mars of de Maan? Wat gebeurt er dan?	De planeet Mars is <b>lichter</b> dan de Aarde (= heeft een kleinere massa). De Maan is zelfs nog <b>lichter</b> . Ze hebben allebei dus minder zwaartekracht. Dus ook de valversnelling is kleiner. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwaartekracht van <b>Mars: 38 %</b> van de Aardse zwaartekracht (ongeveer 4/10).</li> <li>• Zwaartekracht van de <b>Maan: 16 %</b> van de Aardse zwaartekracht (ongeveer 1/6).</li> </ul>
Een ei op Aarde weegt ongeveer 50 gram. Hoeveel weegt het op Mars en op de Maan?	De <b>massa</b> van het ei is altijd en overal 50 gram. Maar het <b>gewicht</b> hangt af van de planeet waar je bent. Het gewicht drukt uit hoe sterk de zwaartekracht een voorwerp naar beneden trekt. De massa drukt uit hoeveel materie je hebt, los van de zwaartekracht. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Op Mars weegt het ei 19 gram (38 % van 50 g)</li> <li>• Op de Maan weegt het ei 8 gram (16 % van 50 g)</li> <li>• In de lege ruimte weegt het ei 0 gram (geen zwaartekracht).</li> </ul> <p>Laat de kinderen <b>hun eigen gewicht berekenen</b> op Mars en op de Maan.</p>
Hoe kan een parachute de val vertragen? Kunnen we dit gebruiken op de Maan?	Omdat een parachute erg <b>veel lucht vangt</b> in het grote holle scherm zal het vallende voorwerp afremmen. Er zal immers veel wrijving met de lucht zijn. Je kan het vergelijken met <b>door het water lopen</b> met een groot scherm achter je aan. <p>Gelijkaardige effecten heb je met andere grote oppervlakten zoals <b>vleugels of zeilen</b>.</p> <p>Op de <b>Maan</b> is er geen lucht, dus een parachute is daar volledig zinloos.</p> <p>Op <b>Mars</b> is de lucht superdun. Je kan daar wel een parachute gebruiken, maar het effect ervan is klein. Echte Marsmissies gebruiken wel parachutes, maar altijd in combinatie met nog andere middelen op af te remmen.</p>

**Wat kunnen we zoals gebruiken om veilig te landen als er geen lucht is?**

We kunnen twee principes gebruiken:  
 1) (niet mogelijk op school)  
 Een raketmotor afvuren die naar de grond gericht is (= remraket).  
 2) (wel mogelijk op school)  
 Maak voor je ruimtevaarder (het ei) een beschermende constructie die de schok kan opvangen. Voorbeelden: airbags, kreukelzones, kussens, ...

Om het gesprek te besluiten kan je volgend overzicht laten zien.



**Klasexperiment : Leerlingen activiteit**

**Ontwerpen**

Laat de kinderen eerst per team discussiëren over het landingssysteem dat ze willen bouwen, en vraag hen een eenvoudige schets te maken van hun idee. Bespreek de tekeningen van de verschillende teams. Je kan hierbij verbeteringen voorstellen voordat ze beginnen bouwen.

Leg hen uit dat ze maximaal 2 kansen hebben, want ze hebben slechts 2 eieren. Ze hoeven niet noodzakelijk op dezelfde manier te werken als bij de echte Marslanders in de overzichtstekening.





### **Bouwen**

Start de tijd. Geef duidelijk mee dat alle teams precies 20 minuten krijgen om hun eerste landingstoestel te bouwen. Als de tijd over is, dan moeten alle teams naar het lanceerplatform komen.

### **Eerste test van de lander**

Zoek een locatie op school waar je de eieren kan laten vallen van 2 of 3 meter hoogte. Zorg ervoor dat deze locatie gemakkelijk kan schoongemaakt worden achteraf.

Verzamel alle teams rond het lanceerplatform (de plaats vanwaar de eieren naar beneden gegooid worden). Laat ze één voor één hun toestel gooien.

Zorg ervoor dat er iemand van het team de duur van de val meet met de stopwatch.

Bespreek de resultaten klassikaal, en vraag telkens hoe de ontwerpen kunnen verbeterd worden.

### **Verbeteren**

Start opnieuw de tijd. De teams hebben 10 minuten om hun eerste ontwerp te verbeteren. Als de tijd op is, moeten terug alle teams naar het lanceerplatform gaan.

### **Lancering van verbeterde landers**

Herhaal de vorige lanceeractiviteit met de verbeterde modellen van alle teams.

Zorg ook hier weer dat de tijd gemeten wordt.

Eventueel kan je teams die een geslaagde landing hadden uitdagen door ze te laten lanceren van een grotere hoogte.



### Eindgesprek

Bespreek klassikaal waarom bepaalde ontwerpen succesvol waren, en andere niet. Stel de vraag of de geslaagde landingen ook zouden werken voor een landing op de Maan. Vergeet niet dat een ei van 50 gram op de Maan 8 gram weegt.

### Gemiddelde valsnelheid

Het kan een interessante oefening zijn om de gemiddelde valsnelheid te berekenen van de ei-astronaut.

- Meet de hoogte van de val : van de lanceerhoogte tot de grond. Gebruik de eenheid meter. Dit getal noemen we **H**
- Meet het aantal seconden van de val: vanaf dat je de ei-astronaut loslaat totdat hij de grond raakt. Hiervoor heb je best een stopwatch. Dit getal (seconden) noemen we **T**
- De gemiddelde snelheid is  **$S = H/T$**  (in meter per seconde).
- Reken dit om naar km/u: je vermenigvuldigt S met 3,6, en verandert de eenheid m/sec in Km/u

### Opruimen

Na de activiteit moet de landingsvloer terug proper gemaakt worden, en moeten de knutselmateriaal in de klas opgeruimd worden. Je kan best in het begin reeds afspreken wie wat doet bij het opruimen.

# OVERLEVEN OP DE MAAN

## 5 Water en voedsel

### Is er water op de Maan?

Water is zeker niet zeldzaam in het zonnestelsel, integendeel. Het komt veel voor op planeten, manen, asteroïden en kometen. Maar het is gewoonlijk wel in bevroren vorm: **waterijs**.

Onze Maan vormt hierop geen uitzondering. In miljarden jaren is er langzaam kleine hoeveelheden waterijs gevormd en terecht gekomen **op en onder het maanoppervlak**. Maar zodra het oppervlak opwarmt in de zon, verdampt dit water meteen en ontsnapt het onmiddellijk in de ruimte. Op de Maan is er geen lucht waarin de waterdamp kan blijven hangen.

Als we dus water willen vinden op de Maan, dan moeten we **plaatsen** zoeken die **altijd koud** genoeg blijven zodat het waterijs niet kan verdampen. Maar wat bedoelen we met 'koud genoeg'? Om dit te begrijpen moeten we eerst leren hoe water zich gedraagt wanneer er geen lucht is...

### Gedrag van water op Aarde

Wij leven op het aardoppervlak. Er is hier een constante druk omdat de Aarde bedekt is met een dikke laag lucht (de atmosfeer). Lucht heeft – net als water bijvoorbeeld - een gewicht. De kilometers lucht boven ons hoofd duwt dan ook voortdurend op iedereen, en dat noemen we de luchtdruk. We voelen de luchtdruk gewoonlijk niet, omdat we het gewoon zijn.

Maar ja kan die luchtdruk wel tonen met enkele eenvoudige demonstraties:

#### Luchtdruk demonstratie met een krant

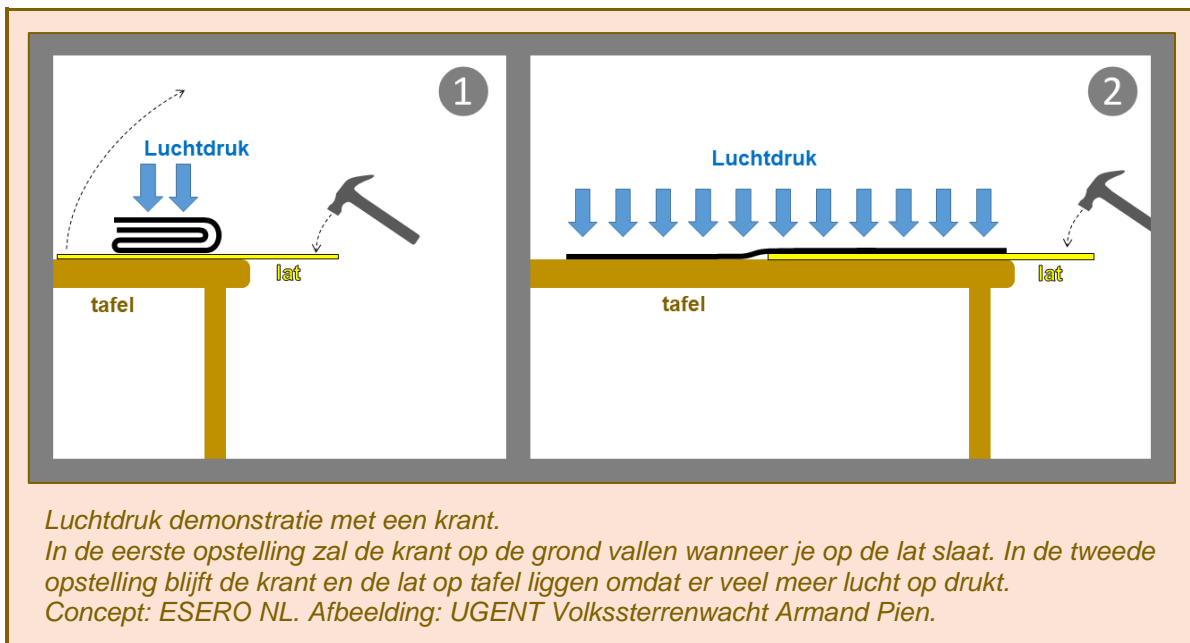
- Leg een lat van 40 cm op de tafelrand. Zorg ervoor dat ongeveer 10 tot 15 cm uitsteekt over de rand.
- Leg een opgevouwen krant bovenop de lat op tafel.
- Sla met je vuist op het uitstekende deel van de lat: de krant wordt omhoog getild en valt op de grond.
- Maak de opstelling opnieuw, maar plooi de krant open.
- Sla opnieuw op het uitstekende deel van de lat: de krant kan niet zomaar opgetild worden.

#### Verklaring:

- In het eerste geval had de krant een klein oppervlak. De luchtdruk (die heel de tijd gelijk blijft) had slechts een klein oppervlak om op te duwen. Dit was onvoldoende om de bewegende lat tegen te houden. Je kan ook zeggen: er lag niet genoeg lucht (gewicht) op de krant.



- In het tweede geval had de krant een heel groot oppervlak. Dezelfde luchtdruk kon nu de krant tegen de tafel duwen op een veel groter oppervlak. Er lag dus veel meer lucht (veel meer gewicht) op de krant, en zo werd de lat ook tegen de tafel geduwd.

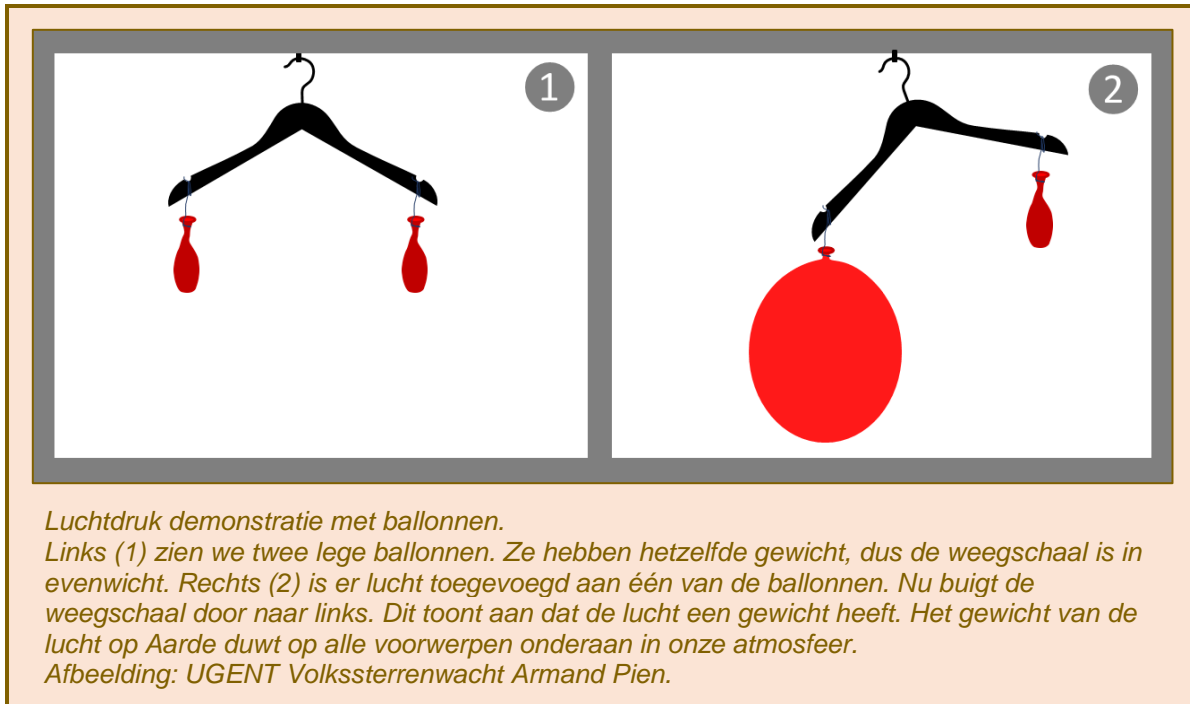


### Luchtdruk demonstratie met ballonnen

- Hang twee gelijke en lege ballonnen aan een klerhanger die zelf ook ergens ophangt aan een touwtje. Dit werkt als een weegschaal in evenwicht.
- Haal er één ballon af en blaas die op.
- Hang de opgeblazen ballon terug aan de klerhanger.
- Je ziet de weegschaal doorslaan aan de kant van de opgeblazen ballon.

### Uitleg:

- De opgeblazen ballon is zwaarder geworden. Het extra gewicht komt van de toegevoegde lucht. Dit toont aan dat lucht wel degelijk een gewicht heeft, ook al is lucht onzichtbaar voor onze ogen.
- Boven ons hoofd bevindt zich kilometers lucht (weliswaar steeds minder lucht naar boven toe). Beeld je in hoeveel lucht van opgeblazen ballonnen er dus op ons duwen met hun gewicht.



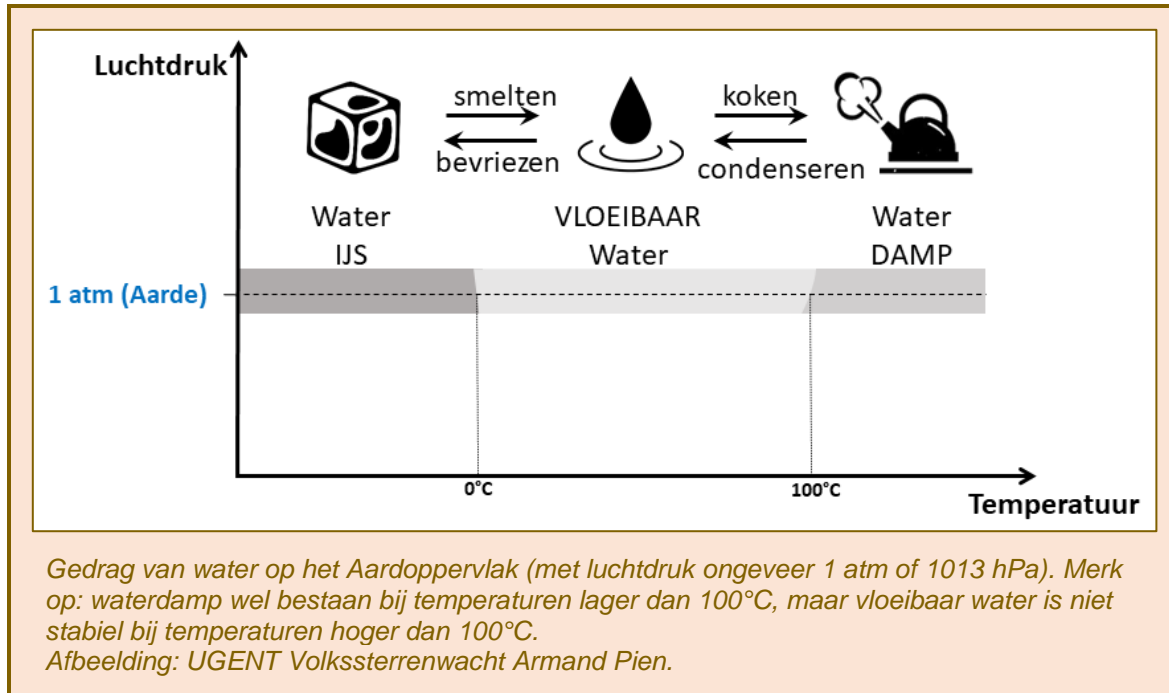
De luchtdruk op Aarde is min of meer constant (= altijd dezelfde). Ze varieert een beetje in plaats en tijd, maar is nooit erg ver verwijderd van de gemiddelde luchtdruk: **1013 hPa** (= 1013 hectoPascal). Dit is hetzelfde als ongeveer **10.000 kg per m<sup>2</sup>** ! De gemiddelde luchtdruk op Aarde wordt ook **1 atm** genoemd (= "1 atmosfeer"). De eenheid 'atm' maakt het gemakkelijk om de luchtdruk op Aarde te vergelijken met de luchtdruk op andere planeten en manen.

### Het effect van luchtdruk op water

Het gedrag van water bij verschillende temperaturen hier op Aarde is bij de kinderen wel bekend:

- Water wordt ijs wanneer de temperatuur onder 0°C gaat (bevriezen).
- Water wordt vloeibaar wanneer de temperatuur boven 0°C gaat (smelten).
- Wat kan vloeibaar blijven bij temperaturen tussen 0°C en 100°C.
- Water verandert volledig in damp (gas) wanneer de temperatuur 100°C of meer is (koken).
- Waterdamp vormt terug druppeltjes (vloeibaar) als de temperatuur lager wordt (onder 100°C) (condenseren).

Let op, we hebben het over het gedrag van water 'hier op Aarde'! Dat wil zeggen: bij een luchtdruk van 1 atm.



### Gedrag van water in andere omstandigheden dan op Aarde

In een andere luchtdruk dan 1 atm zal water zich anders gedragen. Bijvoorbeeld: wat gebeurt er met water op de Maan, wanneer de luchtdruk gelijk is aan nul atm (geen lucht)? De kinderen ontdekken het zelf in het volgende klasexperiment.

## KLASEXPERIMENT

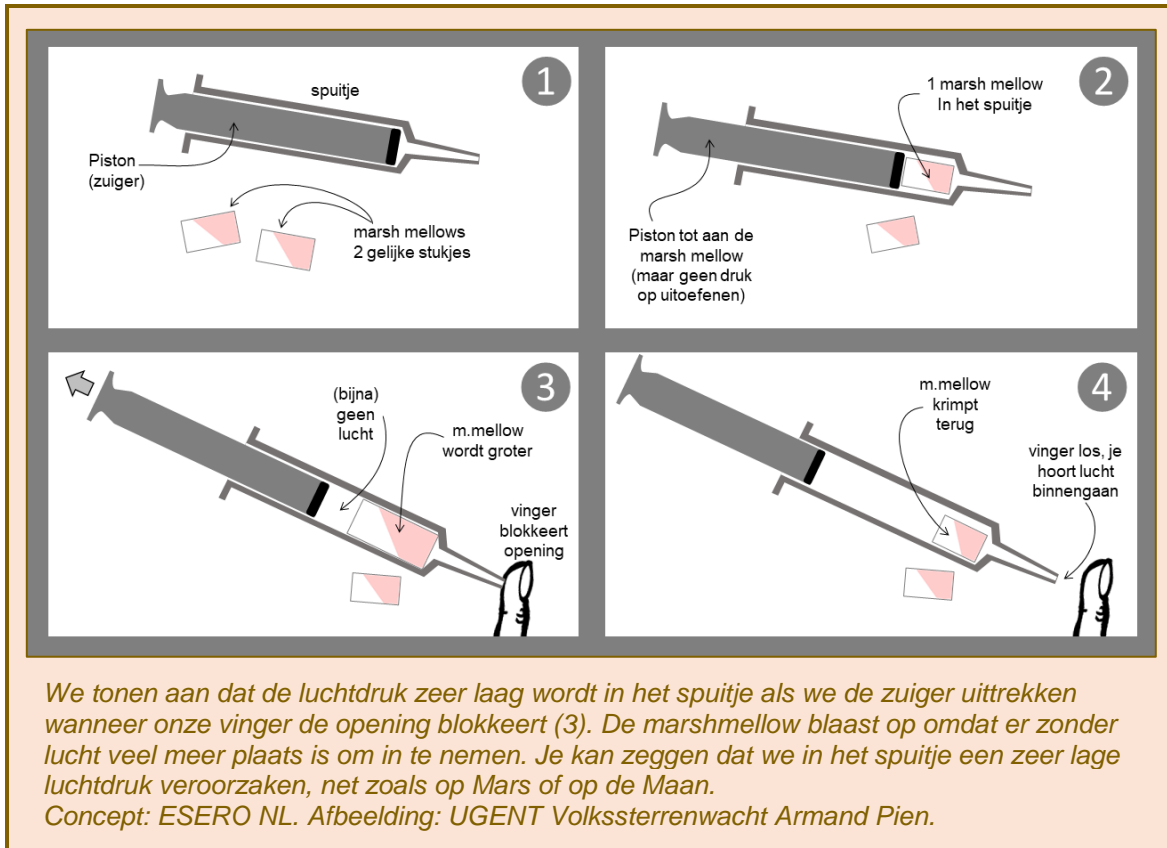
### Water koken zonder warmte

#### Klasexperiment : Samenvatting

Als we hier op Aarde water willen koken, dan warmen we het op totdat het 100°C wordt. Maar in lagere luchtdruk wordt water koken veel gemakkelijker. Dit gaan we testen in de klas.

#### Klasexperiment STAP 1 : Test lage luchtdruk in een spuitje

- Verdeel de kinderen in groepjes van de twee.
- Geef elk groepje een marshmallow en een schaar.
- Geef elk groepje een plastic spuitje van 10 ml zonder naald.
- Vraag de kinderen om twee gelijke stukjes af te knippen van de marshmallow. Elk stukje moet klein genoeg zijn om gemakkelijk in het spuitje te passen (1).
- Vraag hen om 1 stukje in het spuitje te steken, en het ander stukje gewoon ernaast te laten liggen. Dan doen ze de zuiger (of piston) in het spuitje juist tot aan de marshmallow (2).
- Vraag nu om hun vinger tegen de opening van het spuitje te houden, en de zuiger uit te trekken. Kijk goed wat er gebeurt (3).
- Dan laten ze hun vinger los van de opening, zonder de zuiger nog aan te raken. Ondertussen moeten ze goed luisteren en kijken. Ze horen de lucht binnenvliegen in het spuitje en terzelfdertijd zien de opgezwollen marshmallow terug krimpen tot de oorspronkelijke grootte (4).

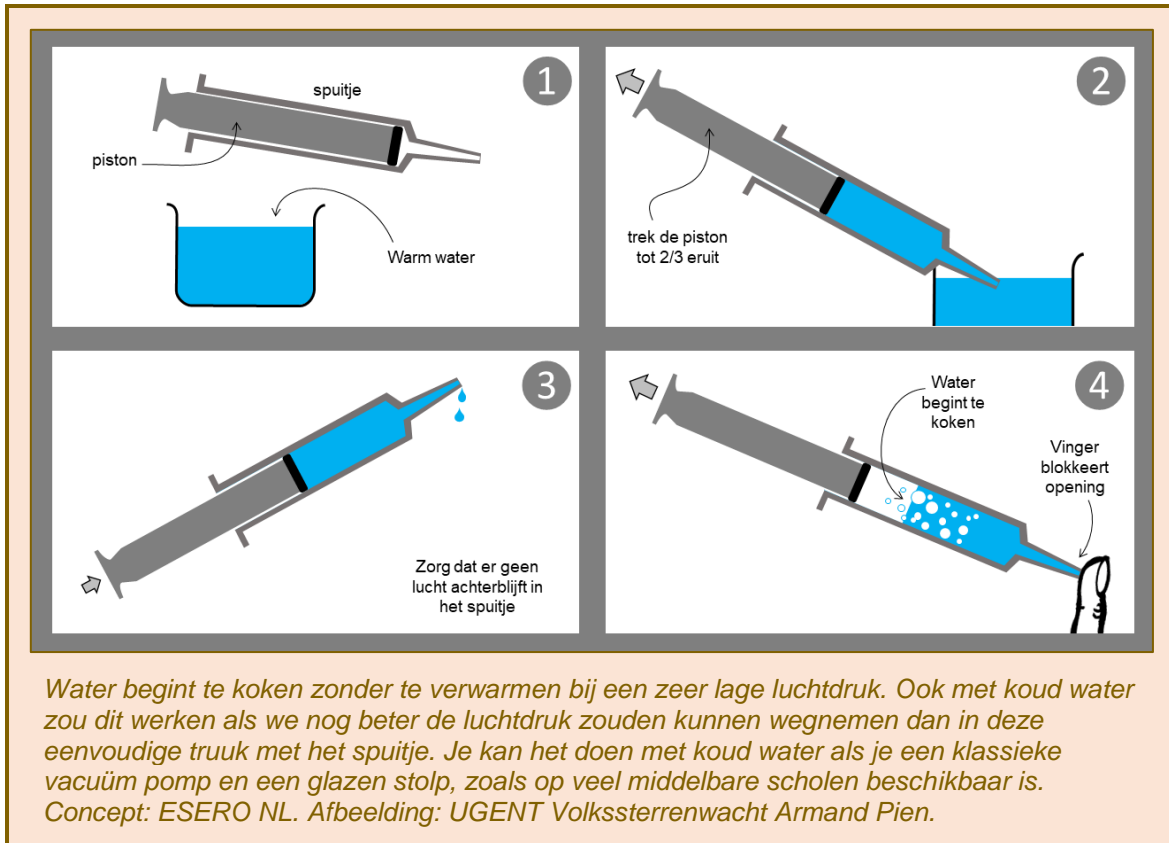
**Uitleg:**

We hebben een 'lege atmosfeer' (nul atm) in de spuit gecreëerd, door de zuiger uit te trekken wanneer de opening geblokkeerd is. Wanneer de lege ruimte niet opgevuld wordt met luchtdeeltjes, dan heeft de marshmallow veel plaats om uit te zetten. De marshmallow wordt dus niet meer ingedrukt door het gewicht van al de lucht boven ons.

Als we de lucht horen binnengaan in het spuitje (vierde stap), dan wordt bevestigd dat er juist voordien (derde stap) geen lucht in het spuitje was. Terzelfdertijd zien we het effect dat de opgeblazen marshmallow terug inkrimpt: het wordt terug samengedruwd tot zijn oorspronkelijke afmetingen door de luchtdruk van 1 atm.

**Klasexperiment STAP 2 : water koken zonder warmte toe te voegen**

- Verdeel de kinderen in groepjes van twee.
- Zet vooraan in de klas een bak warm water. Verwittig de kinderen dat het hier om warm water gaat.
- Geef elk groepje een plastic spuit van 10 ml zonder naald (1).
- Vraag de kinderen om het spuitje op te vullen voor 2/3 met warm water (2).
- Vraag hen om het spuitje met de opening naar boven te houden, en dan voorzichtig de zuiger in te duwen totdat een klein druppeltje water ontsnapt (3).
- Vraag nu om met hun vinger de opening van de spuit te blokkeren, de spuit terug om te draaien, en dan de zuiger uit te trekken terwijl de opening dicht blijft. Kijk goed wat er gebeurt met het water (4).



### Uitleg

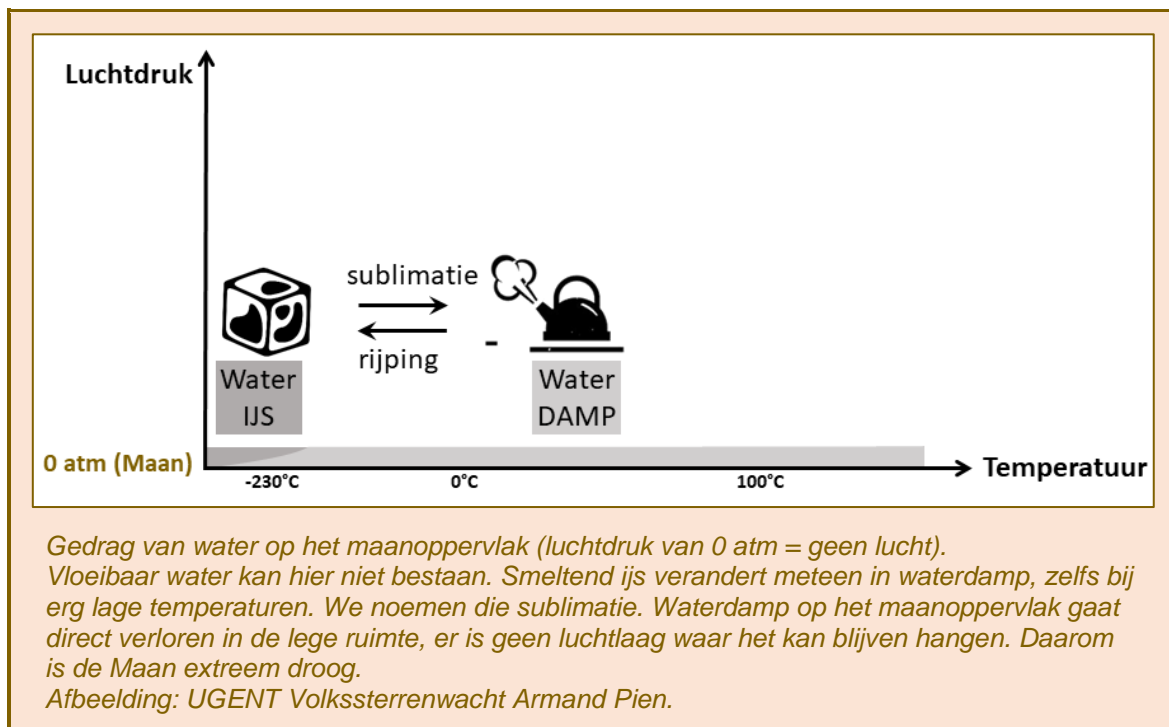
Wanneer er alleen maar lege ruimte is in plaats van met lucht gevulde ruimte, dan is er plots voor de waterdeeltjes heel veel extra plaats. De waterdeeltjes reageren door deze plaats ook in te nemen. Alle waterdeeltjes zijn in beweging en hebben allemaal tegelijk de neiging om te 'ontsnappen' uit de dichte vloeistof naar de lege ruimte. Daarom ontstaan er overal bubbels in de vloeistof.

Merk op dat de temperatuur niet merkbaar verandert wanneer het water begint te koken. In extreem lage luchtdruk zal water beginnen koken bij kamertemperatuur en zelfs bij koudere temperaturen.

## Gedrag van water op de Maan

Op de Maan is er geen lucht, dus water zal daar onmiddellijk verdampen (eigenlijk koken), zelfs als het enorm koud is. Wanneer waterijs warmer wordt omdat de zon schijnt op het maanoppervlak, dan zal het niet de tijd krijgen om eerst vloeibaar te worden. Het waterijs verandert meteen in damp (gasvormig water). Dit noemen we sublimeren.

Zoals we het gedrag van water op Aarde (bij 1 atm) in een grafiek tekenden, zo kunnen we op dezelfde grafiek het gedrag van water op Maan (0 atm) tekenen:



Op de grafiek hierboven kan je zien dat er een zeer lage temperatuur bestaat (superkoud) waarbij waterijs niet sublimeert, maar gewoon ijs blijft. Dit gebeurt alleen als het kouder is dan  $-230^{\circ}\text{C}$ .

Elke plaats op de Maan waar het soms warmer wordt dan  $-230^{\circ}\text{C}$  is **kurkdroog**: alle waterijs is gesublimeerd en verdwenen in de lege ruimte.

Maar zijn er plaatsen op de Maan waar de temperatuur altijd kouder is dan  $-230^{\circ}\text{C}$ ? het antwoord is ... JA !

## Temperaturen op de Maan

Net zoals de Aarde en alle andere planeten en manen, draait de Maan rond zichzelf. Daarom heeft de Maan ook dagen en nachten. Maar deze zijn anders dan op Aarde:

- Eén rotatie van de Aarde duurt ongeveer 24 uren. Eén rotatie van de Maan duurt 27 aardse dagen. Dus één maan-dag en één maan-nacht duren allebei ongeveer 2 aardse weken.
- Zonder lucht wordt de warmte van een maan-dag niet bewaart, en dus verdwijnt bijna alle zonnepwarmte wanneer de maan-nacht begint. Tijdens de maan-dag is er ook



geenenkele bescherming tegen de sterke straling van de zon. Daarom krijgen we extreme temperaturen voor dag en nacht op de Maan: kouder dan  $-100^{\circ}\text{C}$  's nachts en warmer dan  $+100^{\circ}\text{C}$  overdag (behalve in de schaduw van een rotsblok).



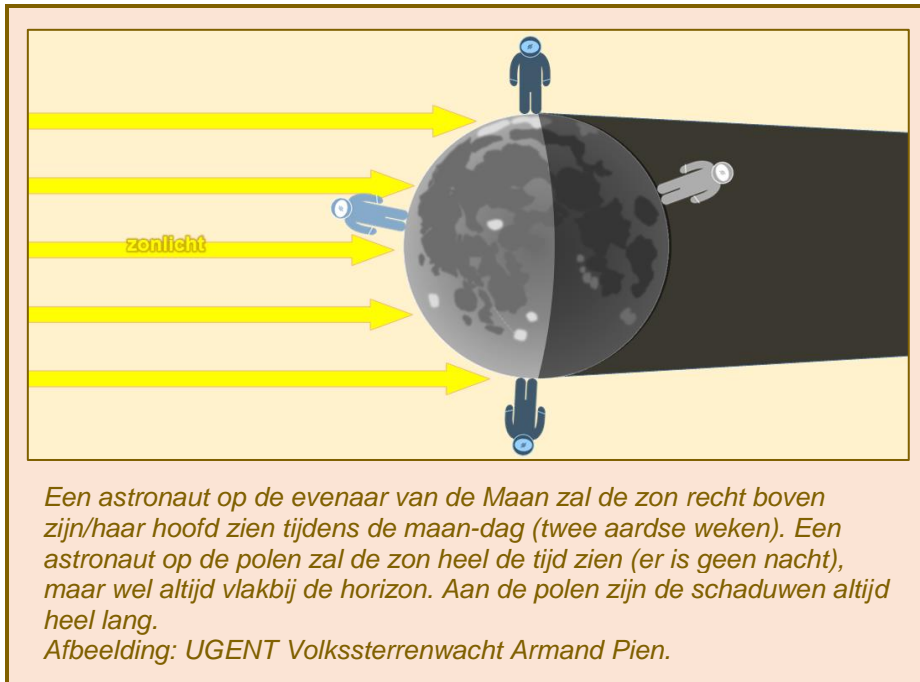
Dus de meeste plaatsen op de Maan krijgen twee weken extreme hitte en daarna twee weken extreme koude. In deze omstandigheden zal alle waterijs nabij het oppervlak verdampen en in de ruimte verloren gaan.

Er is echter een uitzondering: sommige bodems van diepere kraters liggen in een eeuwige schaduw, en kunnen dus nooit opwarmen. De temperatuur op deze bodems is altijd lager dan  $-230^{\circ}\text{C}$ .

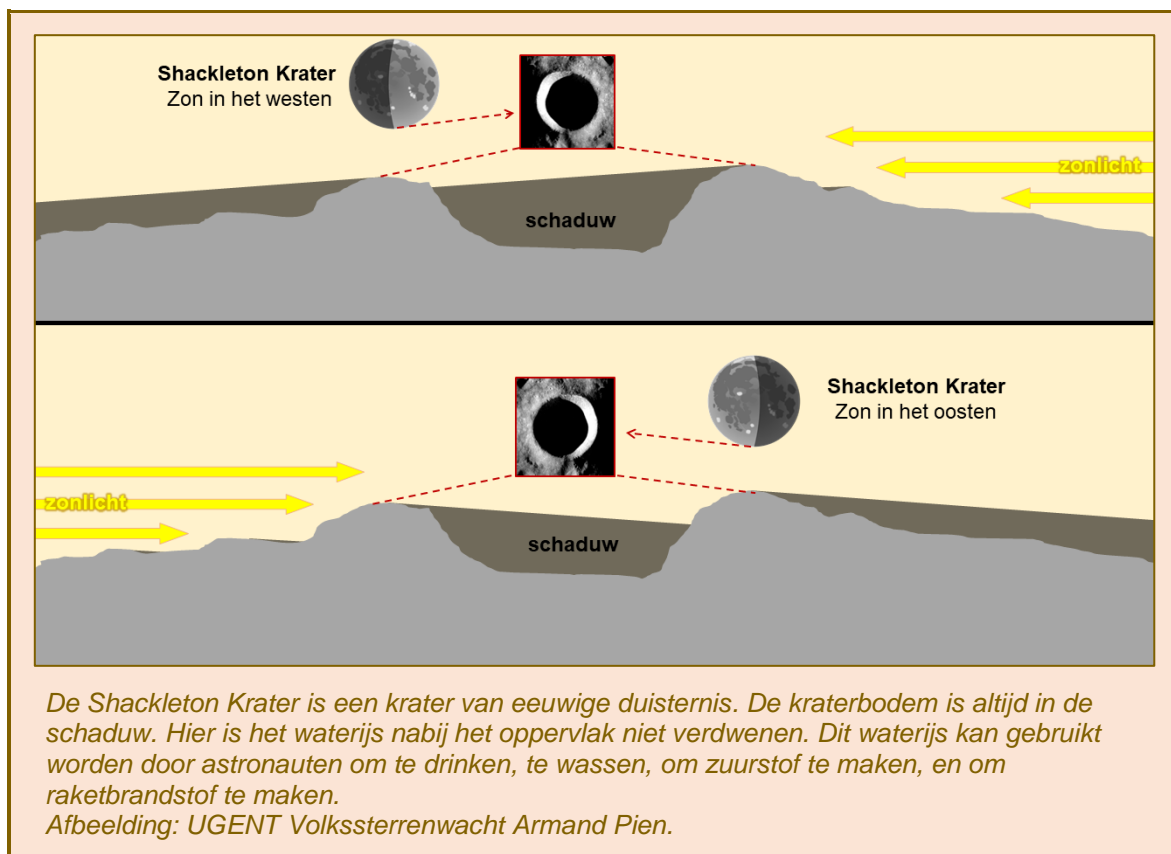
### Kraters van eeuwige duisternis

Als de zon heel laag aan de horizon zit (zoals bij een zonsondergang), dan zijn de schaduwen erg lang. Dit is zo op Aarde, maar natuurlijk ook op de Maan of op elk ander hemellichaam.

Zoals getoond op de tekening hieronder zal een astronaut op de Noordpool van de Maan of op de Zuidpool van de Maan de zon altijd dicht bij de horizon zien.



We weten dat de Maan vol met putten zit: kraters. Eén van deze kraters – de Schackleton krater – ligt met zijn rand exact op de Zuidpool. Daarom komt het zonlicht rond deze kraters altijd van heel laag, dicht bij de horizon. Daardoor zijn er plaatsen op de bodem van deze krater waar het zonlicht nooit op valt. Het zijn plaatsen van eeuwige duisternis, en dus van eeuwige koude. In het Engels worden ze “craters of eternal darkness” genoemd.



Een krater van eeuwige duisternis op de Maanpolen zal altijd enorm koud zijn. Waterijs zal er niet verdampen en verloren gaan in de ruimte.

Het is daar dat mensen plannen hebben om een maanbasis te bouwen, om op de Maan te verblijven voor langere tijd. Hier zullen we leren om ondergronds waterijs uit de bodem te halen en te gebruiken op de Maan en later op Mars.

## Is er water op Mars?

### Gedrag van water op Mars

Op Mars is het gedrag van water weer anders dan op de Maan, want op Mars is er wel een atmosfeer. Een uiterst dunne lucht bedekt de planeet, veel dunner dan op Aarde. De **luchtdruk op Mars** is 0,006 atm (op Aarde 1 atm), dus dit is minder dan 1% van de luchtdruk op Aarde.

Wat gebeurt er met water bij zulke lage luchtdruk?

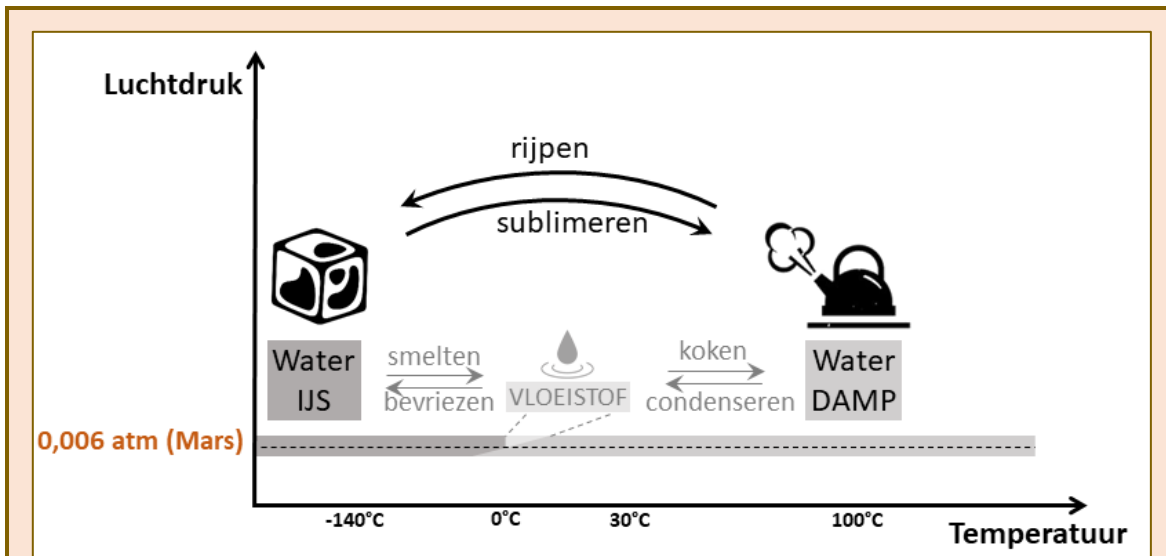
We hebben gezien bij **de Maan** waar er geen lucht is (0 atm):

- Vloeibaar water kan niet bestaan, want smeltend ijs verandert meteen in waterdamp (= sublimatie).
- Sublimatie (ijs verdampt) gebeurt zelfs bij zeer lage temperaturen.
- Waterdamp gaat meteen verloren in de ruimte.

Bij de zeer lage luchtdruk **op Mars** krijg je een vergelijkbaar effect op water, maar minder dramatisch:

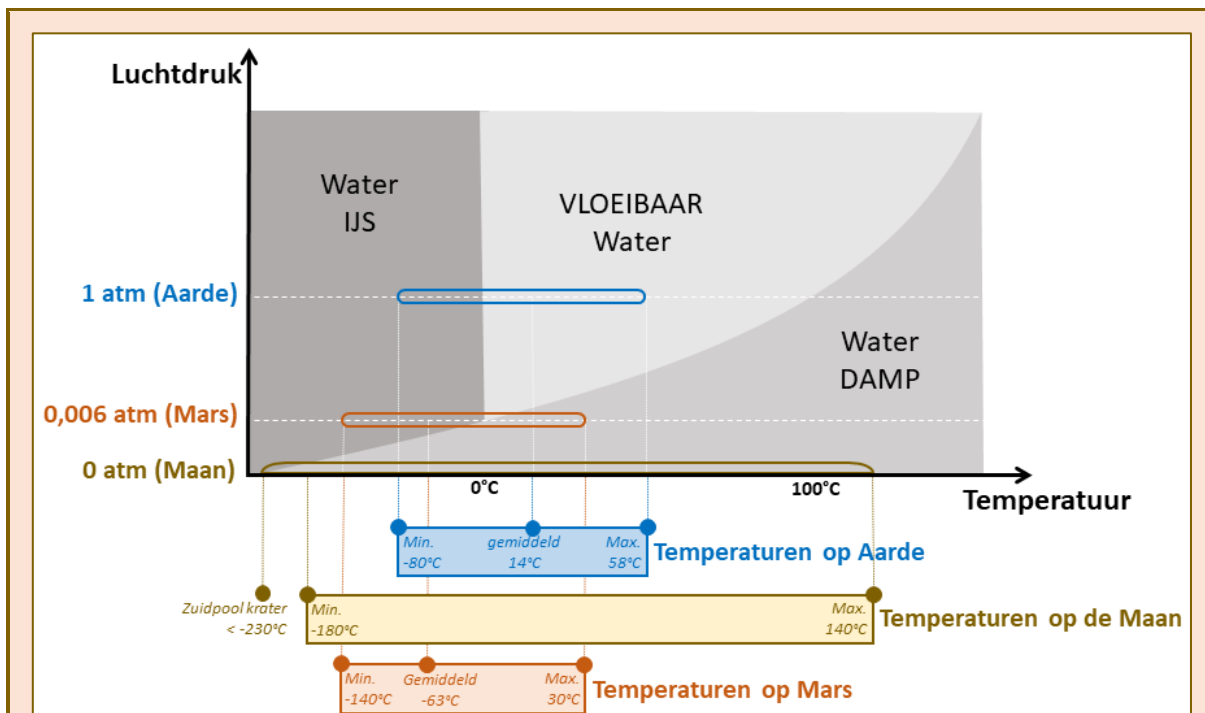
- Vloeibaar water is uiterst zeldzaam. Smeltend ijs zal bijna altijd meteen veranderen in waterdamp (= sublimatie). Maar in zeldzame gevallen zal het smeltend ijs heel eventjes vloeibaar water vormen.
- De sublimatie (ijs verdampt) gebeurt bij temperaturen van 0°C of warmer.
- De gevormde waterdamp gaat gedeeltelijk verloren in de ruimte, maar blijft ook een deel gevangen in de dunne lucht rond Mars.

We kunnen opnieuw het gedrag van water in dezelfde grafiek tekenen.



Gedrag van water op het Marsoppervlak, met een luchtdruk van 0,006 atm of 6 hPa. Merk op dat vloeibaar water slechts zelden kan bestaan, boven 0°C en vooral wanneer er iets hogere druk is. Om exact te zijn: op Mars begint water te koken bij 0,01°C. Merk ook op dat waterijs hier veel langer blijft bestaan dan op de Maan. Onder 0°C blijft waterijs gewoon bevroren, en zal het niet sublimeren (= damp worden). De meest voorkomende temperaturen op Mars liggen tussen -80°C en 0°C. Maar iets warmere temperaturen zijn geen grote uitzondering. Afbeelding: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.

Als we alle bovenstaande grafieken over het gedrag van water samen brengen, dan krijgen we onderstaand diagram:

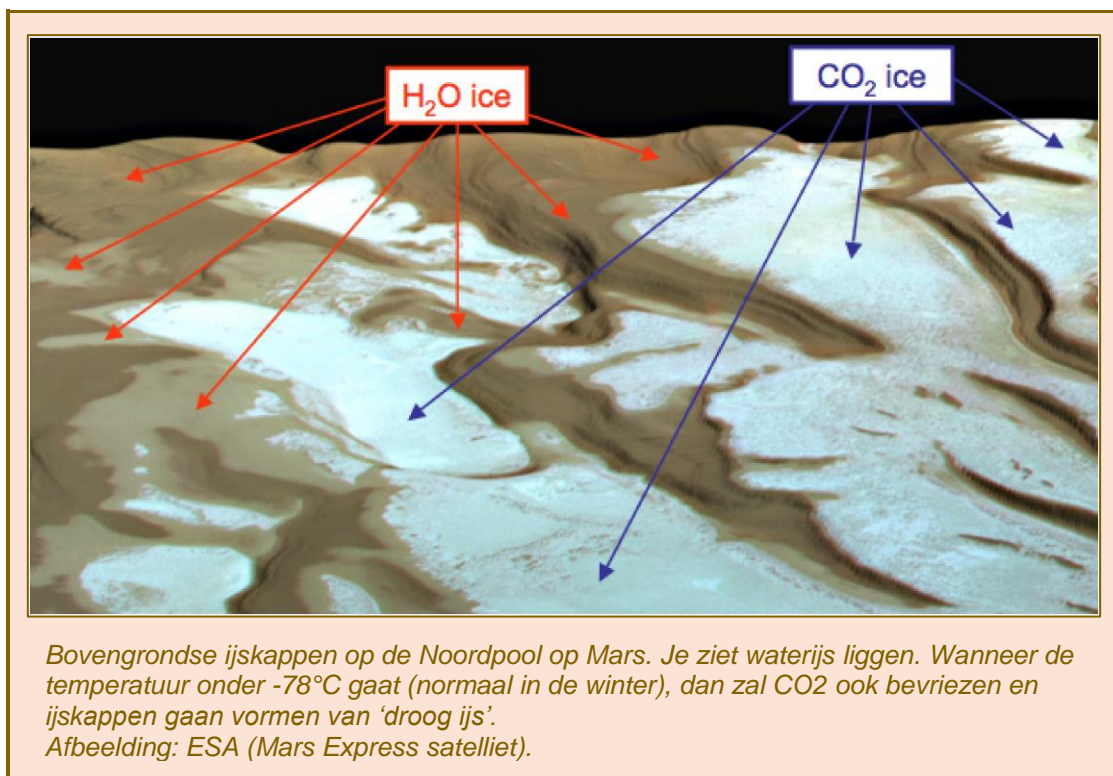


Gedrag van water bij elke mogelijke luchtdruk. Afbeelding: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.

### Besluit over de aanwezigheid van water op Mars vandaag

Op Mars vinden we veel meer water dan op de Maan. Het waterijs blijft meestal bevroren dankzij de lage temperaturen. Wanneer dan toch waterijs sublimereert, en dus waterdamp wordt, dan blijft het voor een deel in de dunne luchtlaag hangen. Dit gebeurt erg weinig, dus de lucht boven het Marsoppervlak is ook super droog.

Je kan op Mars redelijk gemakkelijk waterijs onder de grond vinden, maar zelden boven de grond. De polen vormen een uitzondering. Door de veel koudere temperaturen op de Noordpool en Zuidpool op Mars wordt daar wel veel bovengronds waterijs gevonden. De planeet heeft dan ook kleine witte polen die je kan zien door een goede telescoop.



### Water op Mars in het verleden

In de vroege geschiedenis van de planeten van ons zonnestelsel was er veel vloeibaar water op Mars. Er waren oceanen en rivieren overal op de planeet, vooral op de noordelijke helft waar de bodem over het algemeen lager ligt.

De aanwezigheid van vloeibaar water in het verleden werd aangetoond door geologische onderzoek door verschillende Marswagentjes. Maar nu nog zien we veel landschappen op Mars die duidelijk gevormd zijn door stromend water.

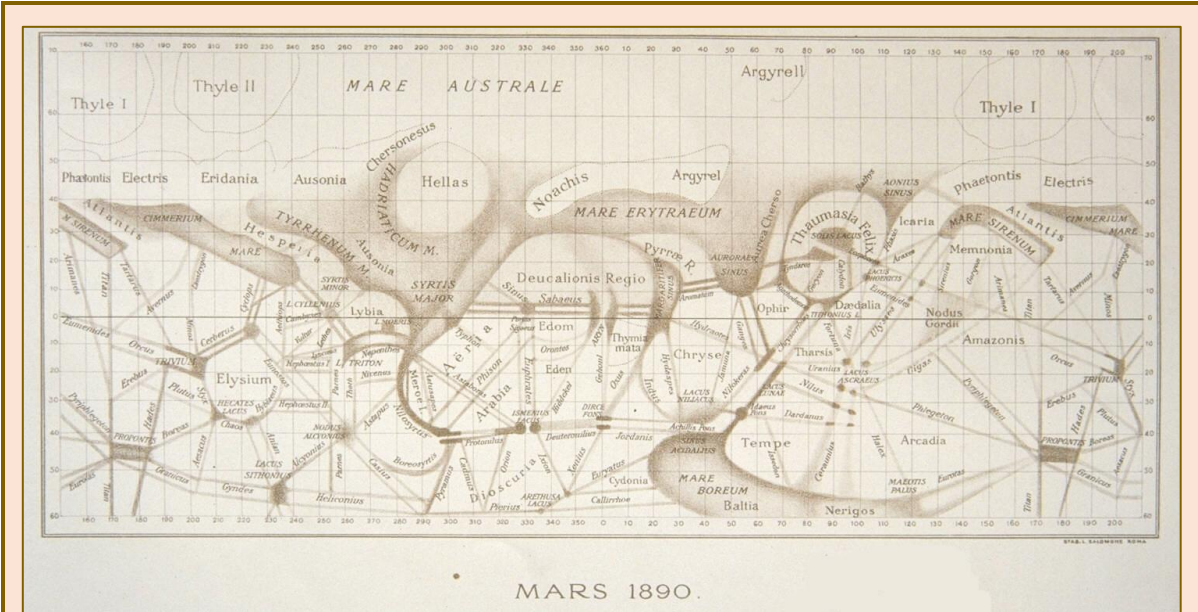




### “Canali” op Mars

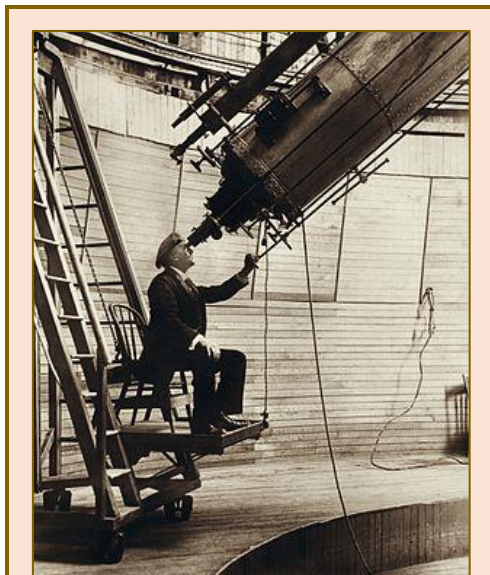
Giovanni Schiaparelli (1835-1910) was een bekende astronoom (= sterrenkundige) in de Italiaanse Alpen in de negentiende eeuw. Toen was het bestuderen van planeten in detail – zoals Mars - redelijk nieuw. Er waren nog maar pas telescopen te koop van voldoende kwaliteit.

Zo begon Schiaparelli **detailkaarten** te tekenen **van Mars**, met oceanen en continenten (donkere en lichte zones), en met grote lijnen die hij “**canali**” noemde. Het Italiaans woord canali betekent zoiets als greppels (in het Engels: channels). Zulke greppels zijn niet noodzakelijk aangelegd door mensen, maar kunnen ook natuurlijk zijn. Maar de Engelse astronomen vertaalden dit verkeerd als ‘**canals**’ (= kanalen). Kanalen zijn wel aangelegde waterlopen (niet natuurlijk), dus zo begonnen veel mensen te geloven dat Mars bewoond werd door **intelligente wezens**. Men dacht dat ze steden gebouwd hadden op de hele planeet Mars, en dat ze tussen de steden kanalen aangelegd hadden.



Overzichtskaat van Mars, gemaakt door Schiaparelli in 1890. Let op de rechte lijnen (canali).  
 Afbeelding: <http://www.astrogeo.va.it/astronomia/schiaparelli.php>

Eén van de meest enthousiaste fans van de theorie van intelligente beschaving op Mars was **Perceval Lowell** (1855-1916), een Amerikaanse astronoom met een eigen observatorium (= sterrenwacht) in Arizona. Hij maakte gedetailleerde kaarten van de Martiaanse beschaving, en publiceerde meerdere boeken daarover. Hij zag de 'canali' als **rechte kanalen**, vooral gebouwd om water van de polen te vervoeren naar de **steden** die dicht bij de evenaar lagen.



Perceval Lowell met de Clark telescoop in zijn eigen sterrenwacht in arizona.  
 Afbeelding : Wikipedia.





In de 20<sup>th</sup> eeuw werden telescopen steeds beter. Het werd steeds duidelijker dat de canali van Schiaparelli en Lowell eigenlijk **niet bestonden**. Ze zijn verbeeld door de waarnemer, en gebaseerd op **gezichtsbedrog**.

Met het begin van de ruimtevaart en de eerste ruimtesondes die naar Mars reisden (in de jaren 1960 en daarna), werd het definitief bewezen dat er zeker geen intelligent leven op Mars te vinden was. Er was er zelfs **geenenkele vorm van leven** te zien. Veel wetenschappers hopen ooit microben te vinden in de ondergrond op Mars. Maar tot hertoe werd nog nergens iets levends gevonden buiten de Aarde.

## KLASEXPERIMENT

### Hoe zijn de greppels op Mars gevormd?

#### Klasexperiment : Samenvatting

De kinderen gaan eerst hun eigen greppels op Mars maken met een lepel of een stokje, en daarna alleen met behulp van stromend water. Het resultaat wordt vergeleken met echte landschappen op Mars.

#### Klasexperiment : Opstelling

We gaan plaaster gebruiken om een Mars landschap na te bootsen. Het is natuurlijk een model. Er is geen plaaster te vinden op het echte Marsoppervlak.

#### Materialen nodig voor 20 leerlingen:

- 10 plastic bekertjes (en enkele reserve bekertjes voor als het mislukt is).
- 20 kommen of dozen van ongeveer 20 cm groot: om het plaaster te mengen met water en om het water op te vangen dat van de landschapsmodellen zal afstromen.
- Ongeveer 1 kg plaaster.
- Water
- 10 soeplepels : om de plaaster met water te mengen en als voorwerp om kanaaltjes te trekken in het landschapsmodel.
- 20 kartonnen bordjes: we maken een landschapsmodelletje op elk van deze borden.



### Klasexperiment : Voorbereiding

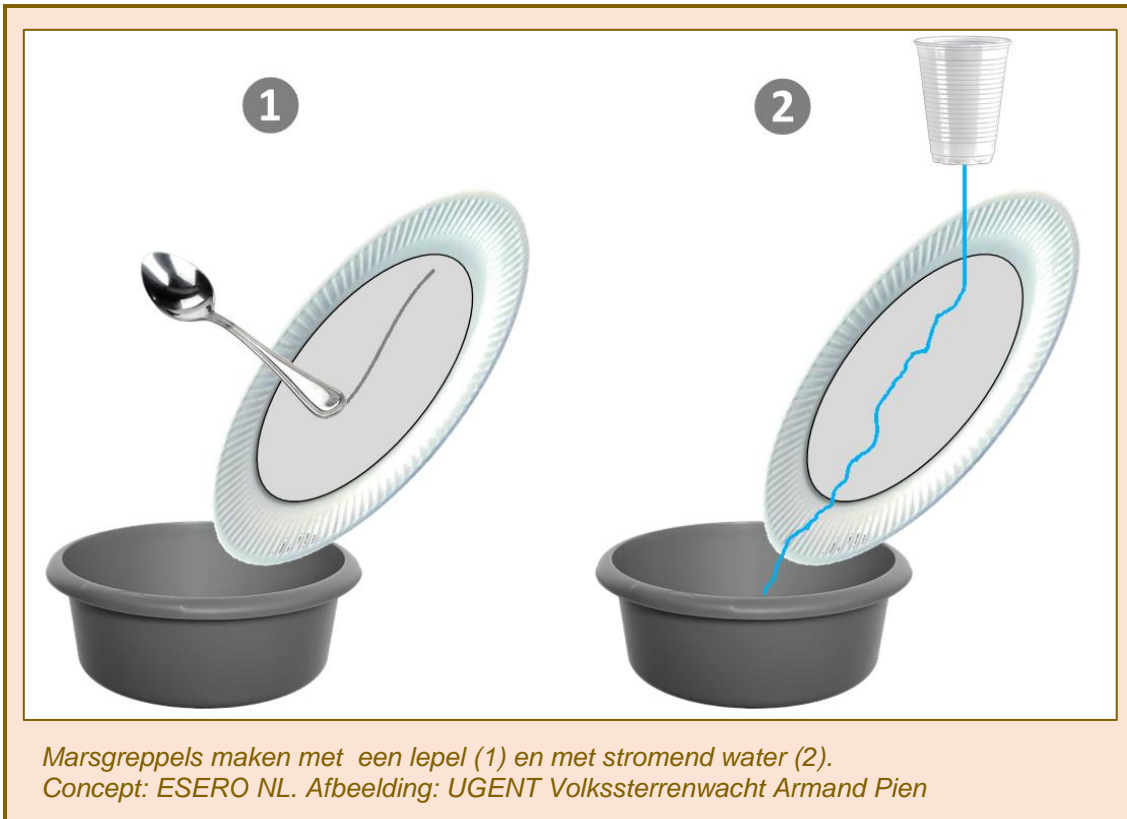
- Maak 10 groepjes van 2 kinderen.
- Vraag de kinderen om een klein gaatje te maken in de bodem van een plastic bekertje: niet groter dan een halve cm diameter.
- Vraag hen om twee volle soeplepels plaaster in de doos of kom te doen.
- Dan mengen ze de plaaster met een beetje water. Ze voegen kleine beetjes water toe terwijl ze blijven roeren, totdat ze een soort stevige pudding of stevige modder hebben.
- Vervolgens verdelen ze de plaaster gelijkmatig over de twee kartonnen bordjes.

Wanneer de plaaster gespreid is over de kartonnen bordjes, wachten we 20 minuten zodat de plaaster gedeeltelijk kan verharden. De landschapsmodellen hebben nu genoeg stevigheid om hun vorm te behouden, maar zijn nog net zacht genoeg om er greppels in te maken.

Tijdens deze wachttijd kan je als leraar het verhaal vertellen van Schiaparelli en Lowell, hierboven beschreven.

### Klasexperiment : Greppels maken op Mars

- De kinderen kerven eerst één of twee greppels in één van hun landschappen (één van hun twee borden) met de achterkant van de soeplepel.
- Op het andere landschap (het andere bord) proberen ze een greppel te maken zonder de plaaster aan te raken met een lepel of hun handen, maar alleen met behulp van een waterstraaltje.
- Dit kunnen ze doen met het plastic bekertje waarin een gaatje zit onderaan. Daarbij houden ze het bord zo schuin boven een opvangbakje dat het afstromende water meteen in het bakje stroomt. Het kan zijn dat ze het bord meer of minder schuin moeten houden om het gewenste effect te hebben. Het water moet wel wegstromen zodra het neervalt, maar ook niet te snel.
- Laat ze dit doen met stromend water totdat er een duidelijke greppel te zien is.
- Daarna laten ze alle landschappen volledig uitharden.



### Klasexperiment : Gesprek

Besprek de landschappen die de kinderen gemaakt hebben. Toon hen verschillende foto's van echte Marslandschappen die je op internet vindt als je zoekt op deze namen:

- "Nanedi valles"
- "Reull Vallis"
- "Hale Crater"
- "Osuga Valles"
- "Kasei Valles"

### Klasgesprek:

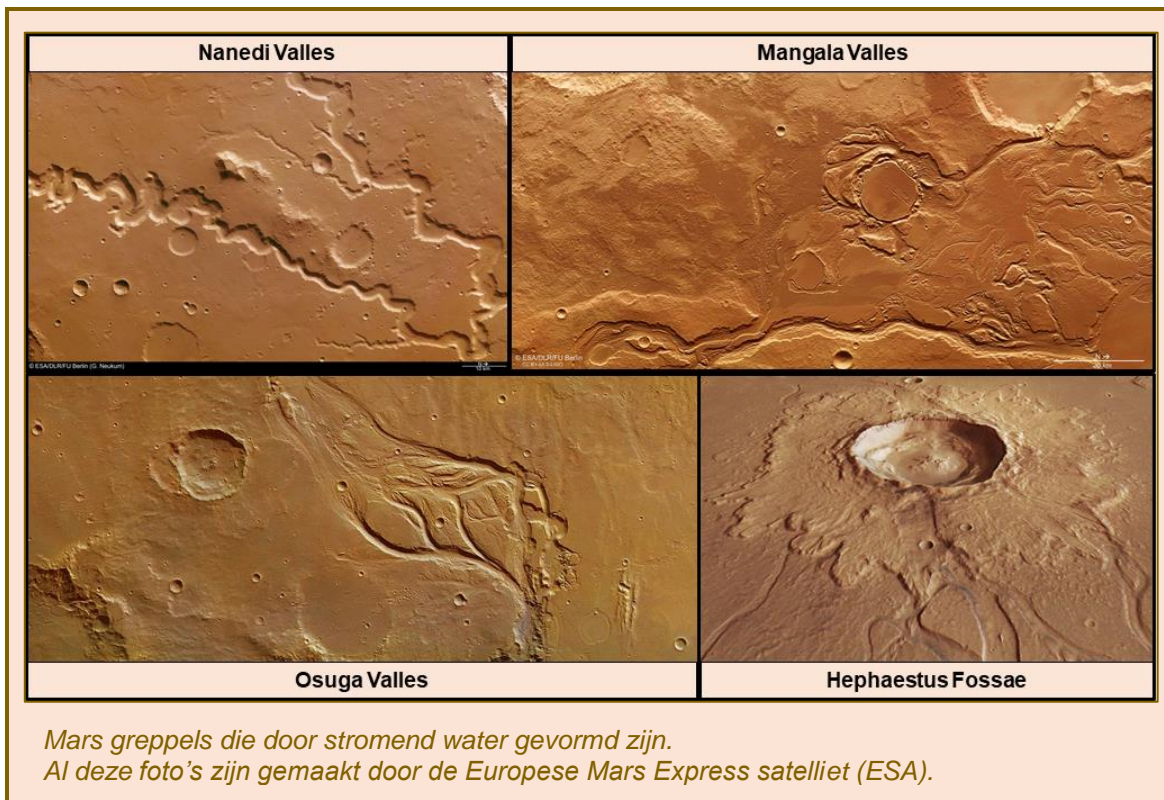
- Welke **verschillen** zie je tussen de handgemaakte en water-gemaakte greppels?
- Kijk naar de **echte Marslandschappen**. Wat denk je? Zijn deze echte greppels gemaakt door een intelligent wezen (zoals de mens) of door stromend water?
- Zouden er **andere manieren** bestaan dan stromend water die zulke greppels op Mars kunnen doen ontstaan?

**Antwoord:** Ja, het zou kunnen gebeurd zijn met stromende lava, zoals op de Maan ook gebeurde.

- Waarom denken **wetenschappers** dat de greppels op Mars ontstaan zijn door stromend water?

**Antwoord:** Omdat ze erg goed lijken op greppels die op Aarde ontstaan zijn door stromend water. Bovendien zijn er andere sporen te vinden op Mars van water die er vroeger moet geweest zijn. Zo zijn er stenen en zand aan de oppervlakte waarvan geologen zien dat ze lang geleden onder water moeten gevormd zijn.

Na deze workshop kunnen de kinderen hun eigen Marslandschappen schilderen in de kleuren die op Mars veel voorkomen. Onderstaande foto's tonen zulke kleuren.



## Water voor Maanreizigers

Astronauten hebben minstens **5 liter zuiver water** nodig **per dag**. Dit water dient om te drinken, te wassen, te kuisen en te koken. We moeten onze maanreizigers voorzien van voldoende water in hun maanbasis.

Zoals hierboven al aangegeven: er is water op de Maan ! we kunnen het vinden in sommige kraters van eeuwige duisternis aan de Noordpool of de Zuidpool.

Maar hoe gaan we dit **ondergronds water gebruiken** wanneer we op de Maan wonen?

Om het water uit de maanbodem te halen moeten we het **waterijs opwarmen** en de opstijgende waterdamp opvangen in een gesloten bak. Dan moeten we de **waterdamp afkoelen** zodat het weer vloeibaar wordt: het condenseert tot kleine druppeltjes die we opvangen.

Maar dan is het water nog niet meteen bruikbaar. Het moet **gefilterd en gezuiverd** worden, zoals het kraantjeswater dat we gebruiken op Aarde. Hieronder kunnen de kinderen enkele belangrijke stappen leren in waterzuivering.



## KLASEXPERIMENT

### Waterzuivering

#### Klasexperiment : Samenvatting

De kinderen krijgen flessen met vervuild water. We veronderstellen dat dit vervuild water zojuist uit de bodem van een maankrater komt. We vragen hen om dit water te zuiveren, zodat onze astronauten zuiver water hebben om te drinken en te gebruiken.

#### Klasexperiment : De dag voordien

Eerst maken we de kinderen bewust van de hoeveelheid zuiver water dat we nodig hebben in ons dagelijks leven. Vraag hen enkele dagen vooraf om bij te houden op 1 bepaalde dag wat ze allemaal verbruiken van water, en in te vullen in onderstaande tabel (gebaseerd op een tabel van ESERO NL):

Activiteit	gemiddeld verbruik per activiteit - LITERS	Hoeveel keer in 1 dag ?	Totale hoeveelheid verbruikt water
<b>Douche</b>	60		
<b>Tanden poetsen</b>	2		
<b>Gezicht wassen</b>	2,5		
<b>Toilet doorspoelen</b>	6		
<b>Handen wassen</b>	1		
<b>Afwas doen</b>	8		
<b>Vaatwas machine</b>	10		
<b>koken</b>	1,5		
<b>Drinken (water, limonade, melk, ...)</b>	0,2		
<b>andere</b>	...		
<b>TOTAAL =</b>			

#### Klasgesprek

Voor het klasexperiment begint, kan je met de kinderen bespreken wat hun eigen waterverbruik is:

- Hoeveel water heb je verbruikt in één dag?
- Had je deze hoeveelheid water verwacht?
- Wat kunnen we doen om minder water te verbruiken

Waarschijnlijk ga je verschillen zien tussen de tabellen van waterverbruik bij de verschillende kinderen. Leg hen uit dat we zuiniger moeten zijn met water wanneer we naar de Maan of naar Mars reizen. We kunnen best al goed oefenen hier op Aarde, want er zijn zoveel mensen op onze planeet dat het leefmilieu ons waterverbruik niet meer aankan.

De leerling met het laagste waterverbruik kan uitleggen aan de rest van de klas waarom zijn/haar waterverbruik minder is.

### Klasexperiment : Opstelling

Maak vooraf flessen met **vervuild water**:

- Vul 10 flessen met een halve liter kraantjeswater.
- Doe wat fijn zand in alle flessen.
- Doe wat fijn steengruis (grint) erbij.
- Voeg enkele druppels blauwe inkt toe in elke fles.
- Schud alle flessen.

### Materialen nodig voor het experiment:

STAP 1 (zichtbare deeltjes eruit filteren)

- Zand
- Steengruis
- Watten
- 1 Plastic fles 1,5 L per leerlingenteam
- Schaar en zwarte markeerstift

STAP 2 (vervuilende stoffen verwijderen die geen zichtbare deeltjes vormen)

- 2 doorzichtige plastic bekertjes per leerlingen team
- 2 norit tabletten per leerlingen team (waterzuiveringstabletten te krijgen bij apotheek)
- 1 klein lepeltje per leerlingen team
- 1 koffiefilter en filter houder per leerlingen team

STAP 3 (kalk en ziektekiemen verwijderen)

- 1 kleine kookpan
- Een elektrische kookplaat
- 2 plastic bekertjes per leerlingen team

### Klasexperiment : Water zuiveren

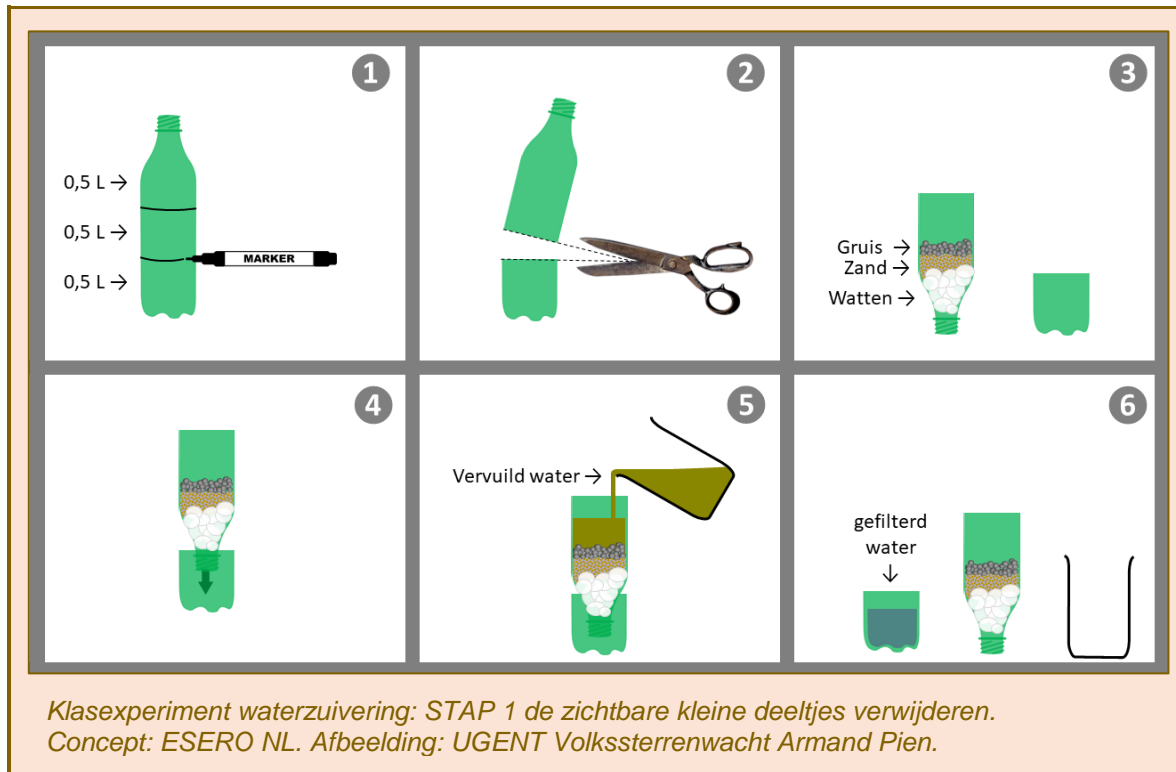
#### STAP 1 Zichtbare deeltjes eruit filteren

Bespreking:

- Kijk naar de flessen met vervuild water.
- Welke kleur heeft het water? Wat kan je er nog in zien?
- Hoe zouden we een filter kunnen maken die de zichtbare kleine deeltjes eruit haalt?

Activiteit (per leerlingen team)

- Verdeel de 1,5L fles vertikaal in drie gelijke delen met een markeerstift (1).
- Snij de fles door op de onderste lijn (2).
- Leg een prop watten, zand, en steengruis in het bovenste gedeelte van de fles (3).
- Zet nu het bovendeel van de fles omgekeerd in het onderste deel (4).
- Giet het vervuilde water voorzichtig en traag in het filtersysteem dat je zojuist gemaakt hebt (5).
- Wacht totdat alle water erdoor gelopen is, en je onderaan in de fles het resultaat ziet (6).

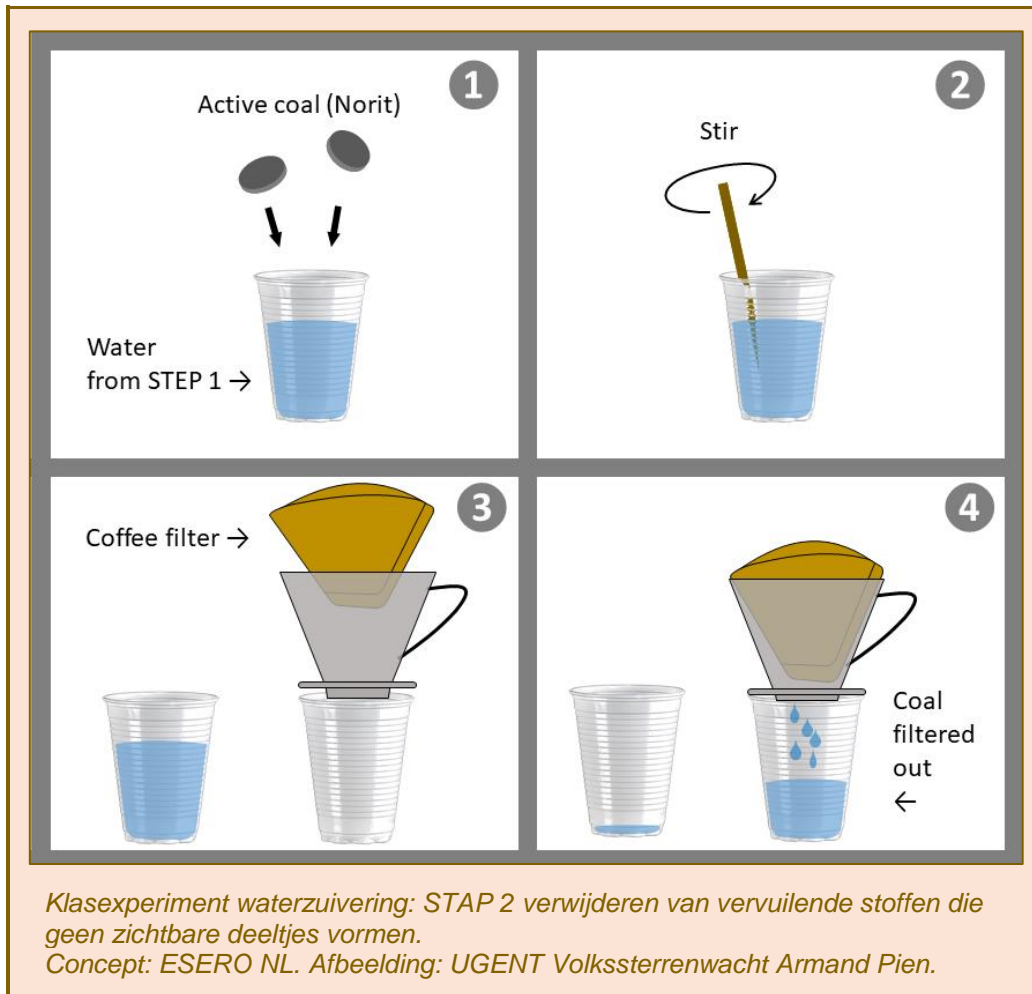


### Bespreking:

- Welke kleur heeft het water nu?
- Werkt je filter goed?
- Is het water nu zuiver genoeg om te drinken?

### STAP 2 Verwijderen van vervuilende stoffen die geen zichtbare deeltjes vormen

- Doe het gefilterde water uit stap 1 in een bekertje en doe er 2 norrit tabletten in (1).
- Roer totdat de tabletten volledig zijn opgelost (geen zichtbare brokjes blijven over) (2).
- Zet de koffiefilter in de filterhouder, en zet dit bovenop een tweede bekertje (3).
- Giet het water in de filter en wacht totdat het allemaal doorgelopen is in de onderste beker (4).



### Bespreking:

- Wat was het effect van de Norit tabletten?
- Welke kleur heeft het water nu?

### Achtergrondinformatie over Norit tabletten:

- Je kan Norit tabletten goedkoop krijgen in een apotheek zonder voorschrift.
- Het wordt gemaakt in tabletten van 9 mm.
- De actieve component van Norit wordt "actieve kool\*\*" genoemd.
- Deze tabletten worden gebruikt in gevallen van reizigersdiarree en in sommige gevallen van vergiftiging. De patiënten lossen de tabletten op in water, en drinken dat op.



## \*\* Wat is actieve kool?

Verbrande (of geoxideerde) **plantenresten** vormen actieve kool. Actieve kool heeft een fijne microstructuur vol met **poriën** van verschillende groottes. Dit heeft de eigenschap dat het vele chemische stoffen **aantrekt en absorbeert**, ook stoffen die giftig zijn voor mens en dier. Wanneer de giftige stoffen door de actieve kool zijn opgenomen, dan blijven ze zeer sterk gebonden aan het koolbrokje. Dan kan je dit brokje met de giftige stoffen uit het water **filteren**. Zo kan je veel giftige stoffen uit het water halen.

In onze darmen en ingewanden zal de actieve kool precies dezelfde werking hebben: het absorbeert giftige stoffen die dan samen met de brokjes actieve kool ons lichaam verlaten als we naar toilet gaan.

## STAP 3 Kalk en ziektekiemen verwijderen

- Vraag de kinderen om hun gefilterd water uit stap 2 naar voor te brengen in de klas. Daar heb je als leraar de uitrusting klaargezet om water te koken: een kleine kookpan en een elektrische kookplaat.
- Kook elk bekertje water gedurende 5 minuten, en giet het dan in een glas of metalen kommetje.
- Laat het water afkoelen.

Bespreking:

- Welke kleur heeft het water nu?
- Blijft er iets achter in de kookpan? Wat is het?  
 Antwoord: Er blijft een beetje kalk achter onderaan in de kookpan. Wanneer het water verdampt (door te koken) wordt de kalk niet mee verdampt. Zo wordt dus ook de kalk uit het water verwijderd (voor een deel).

- Zijn we zeker dat er geen levende ziektekiemen meer in het gezuiverd water zitten?  
Antwoord: Ja. De kooktemperatuur (100°C) gedurende 5 minuten is dodelijk voor alle microben die mogelijks in het water kunnen voorkomen.

### Klasexperiment : Eindbespreking

Je kan met de kinderen een discussie hebben over de watervoorziening op de maanbasis, met gebruik van volgende vragen:

Vergelijk de **hoeveelheid gezuiverd water** op het einde van ons experiment met de hoeveelheid vervuild water die je in het begin kreeg. Wat zie je?

**Antwoord:**

Er is zeker 20% (één vijfde) van het water verloren gegaan tijdens de zuivering. Ook op de Maan zullen we meer water moeten zuiveren dan de hoeveelheid water die we uiteindelijk gaan verbruiken, want er zal een deel verloren gaan tijdens de zuivering.

Welke **materialen** moet je **meenemen** naar de Maan wanneer je daar water wilt gaan zuiveren?

**Antwoord:**

Alle materialen die we ook gebruikt hebben in het klasexperiment. En bovendien moeten we elektriciteit hebben op de Maan (net zoals in de klas).

Elektriciteit zal moeten gemaakt worden op de Maan met zonnepanelen. Gelukkig voorzien we de maanbasis aan de Zuidpool van de Maan, waar er altijd zon is. Als we dicht bij de evenaar zouden wonen, dan hadden we elke maan-nacht volledige duisternis (dus geen zonne-energie). En elke maan-nacht duurt 14 aardse dagen!

Wat zouden we kunnen doen wanneer sommige van onze **materialen voor waterzuivering** zijn **opgebruikt**?

**Antwoord:**

Sommige materialen voor waterzuivering zijn niet herbruikbaar, zoals bijvoorbeeld de actieve kooltabletten en de koffiefilters. Dan moeten we nieuw materiaal vanop Aarde naar de Maan sturen, zodat de maanbewoners altijd voldoende voorraad hebben om te blijven leven.

Op Mars is dat probleem veel groter. We kunnen slechts om de twee jaar van de Aarde naar Mars reizen, wanneer beide planeten dicht genoeg bij elkaar staan. Daarom is het veel moeilijker en duurder om een bewoonde basis op Mars te hebben.



## 6 Het weer

### Temperatuur en broeikaseffect

Welke temperaturen kunnen we verwachten op de Maan? Wanneer we op Aarde de temperatuur meten met een thermometer, dan meten we de **temperatuur van de lucht**. Maar op de **Maan** is er geen lucht. Hoe zit dat dan met temperatuur? En wat zijn de temperaturen op **Mars**?

#### De atmosfeer als een serre (broeikas)

Het woord "Atmosfeer"

- Atmos (Grieks) = damp
- Sfeer = bolvorm

Als we kijken naar de meest voorkomende temperaturen op verschillende planeten en manen, dan zien we meteen dat het al dan niet bestaan van een atmosfeer een zeer grote invloed heeft.

Planeet/maan	Normale dag temperaturen	Normale nacht temperaturen	Is er een atmosfeer?	Luchtdruk (atm.)*
<b>Aarde</b>	+5°C/+35°C	-5°C/+15°C	Ja	1
<b>Maan</b>	+100°C/+120°C	-150°C/-170°C	Nee	0
<b>Venus</b>	+460°C	+460°C	Ja	95
<b>Mars</b>	-25°C/+5°C	-60°C/-70°C	Ja	0,006

\* *Atm.* = eenheid van luchtdruk. 1 atm is gelijk aan de gemiddelde luchtdruk op het aardoppervlak op zeeniveau. Een atmosfeer met een druk van 95 atm is enorm dicht en zwaar. Een atmosfeer met een druk van 0,006 atm is uiterst dun en ijl.





**Venus** heeft een zeer dikke laag van lucht en wolken. Deze werkt zoals een warm deken: het houdt alle warmte dicht bij de planeet. Dit 'deken' houdt de planeet zelfs 's nachts helemaal warm. Venus is een extreem voorbeeld van het broeikaseffect.

De **Maan** heeft helemaal geen atmosfeer. Er is dus geen lucht dat als 'deken' kan dienen, zelfs geen dun lakentje. Daarom zal de Maan ook onmiddellijk snel opwarmen wanneer het oppervlak in het zonlicht komt (wanneer de maan-dag begint). Wanneer de maan-nacht begint, zal het oppervlak onmiddellijk dramatisch afkoelen. Er is niets dat de warmte van de dag bij de Maan kan vasthouden. Hier is helemaal geen broeikaseffect.

### Broeikasgassen

Hoe **meer lucht** we vinden rond een planeet, hoe **meer broeikaseffect** we kunnen meten. Maar een luchtlaag kan natuurlijk bestaan uit veel verschillende soorten gassen. Sommige gassen kunnen warmte veel beter vasthouden dan andere. Daarom is de dichtheid van de luchtlaag (de luchtdruk) niet het enige dat het broeikaseffect bepaalt. Het hangt ook sterk af van de samenstelling van de lucht.

Het meest voorkomende gas in de atmosfeer van Venus en van Mars is CO<sub>2</sub>. Dit is een zogenaamd broeikasgas, omdat het goed warmte-energie kan opslaan. De best gekende broeikasgassen zijn:

- Koolstofdioxide CO<sub>2</sub>
- Methaan CH<sub>4</sub>
- Water damp H<sub>2</sub>O
- Ozon O<sub>3</sub>

#### Het broeikaseffect op Aarde: voordelen.

De Aarde heeft een atmosfeer met redelijk weinig broeikasgassen, vergeleken bij andere planeten. Maar het broeikaseffect is toch wel belangrijk op onze planeet. De huidige gemiddelde temperatuur over de hele Aarde is +15°C. Zonder broeikasgassen op Aarde zou de gemiddelde temperatuur -18°C zijn!

#### Het broeikaseffect op Aarde: nadelen.

Maar sinds de 19<sup>de</sup> eeuw wordt er door mensen gevoelig meer broeikasgassen in onze atmosfeer gebracht via de landbouw, motorvoertuigen, en industrie. Dit leidt tot een zeer gevaarlijke wereldwijde klimaatverandering.

<p><b>1. Gas uitstoot</b></p>	<p><b>2. Gas gevangen in dampkring</b></p>
<p><b>3. Gas absorbeert zonne-energie</b></p>	<p><b>4. Atmosfeer wordt warmer</b></p>

*De broeikasgassen:*

- 1) Broeikasgassen worden toegevoegd aan de atmosfeer op Aarde door natuurlijke fenomenen (bijvoorbeeld vulkanen) en door mensen (landbouw, motorvoertuigen, industrie).
- 2) De meeste broeikasgassen blijven hangen in de onderste lagen van de atmosfeer.
- 3) Typische broeikasgassen houden warmte-energie vast in de lucht.
- 4) Gemiddelde temperaturen stijgen, en het klimaat verandert steeds meer. Meer en meer gaan mensen lijden onder droogtes, overstromingen, stormen, hittegolven, stervende bossen en landbouwgewassen, plagen, tornado's, stijgend zeewater, enz. Hierdoor ontstaan grote stromen van vluchtelingen en in sommige landen breekt oorlog uit nadat de bevolking steeds meer verloren heeft.

### Besluit

- Een **atmosfeer werkt als een serre** voor het oppervlak van een planeet. De warmte wordt vastgehouden in de atmosfeer, en 's nachts koelt het niet dramatisch af. Vergelijk dit met een deken dat de warmte van je lichaam vasthoudt in het bed.
- Hoe **dikker** de atmosfeer, hoe sterker het broeikaseffect.
- Hoe **meer typische broeikasgassen** in de atmosfeer zitten, hoe sterker het broeikaseffect.
- We hebben op Aarde broeikasgassen nodig, maar de mensen zouden moeten stoppen met extra broeikasgassen in onze atmosfeer te lozen. De **klimaatverandering** die we daarmee veroorzaken is **zeer gevaarlijk**.

### Maar er zijn toch al veel klimaatveranderingen geweest in de geschiedenis van de Aarde?

Dat klopt, maar het ging niet zo snel als nu, en toen leefden er geen miljarden mensen op Aarde in kwetsbare steden en dorpen. Die miljarden mensen moeten altijd voldoende voedsel en zuiver water hebben, en zijn voor hun welzijn afhankelijk van allerlei economische activiteiten. In zulke situatie heeft een klimaatverstoring zeer dramatische gevolgen overal ter wereld.



*Enkele gevaren van wereldwijde klimaatverandering: droogtes ( en dus hongersnood), tornado's, overstromingen.*

### **Klasgesprek : Het broeikaseffect**

Je kan de kinderen de bovenstaande achtergrondinformatie aanleren door met hen in gesprek te gaan. We adviseren de volgende vragen te gebruiken:

- Waarvoor gebruiken we serres?
- Wat gebeurt er precies in een serre?
- Kunnen de we Aarde met zijn atmosfeer zien als één grote serre? Leg uit.
- Heb je ooit gehoord van een broeikasgas? Wat zou dat zijn?
- En het broeikaseffect?
- Is het broeikaseffect iets goeds of iets slechts voor ons?
- Wat kan je zeggen over het broeikaseffect op een planeet waar de lucht veel dikker of dunner is dan bij ons?
- Denk je dat andere planeten andere atmosferen hebben? En de Maan?

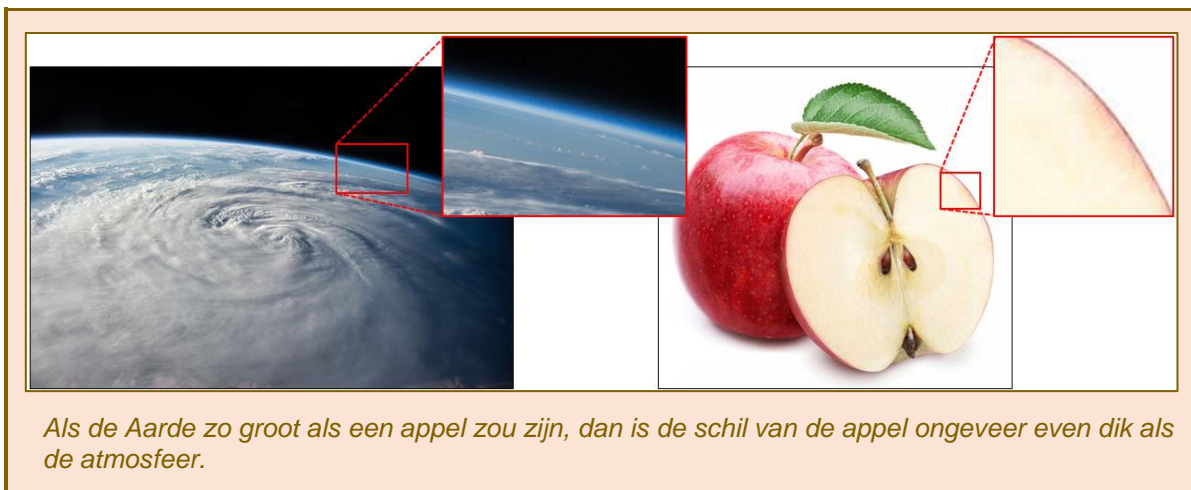
## KLASOEFENING

### De afmetingen van onze atmosfeer

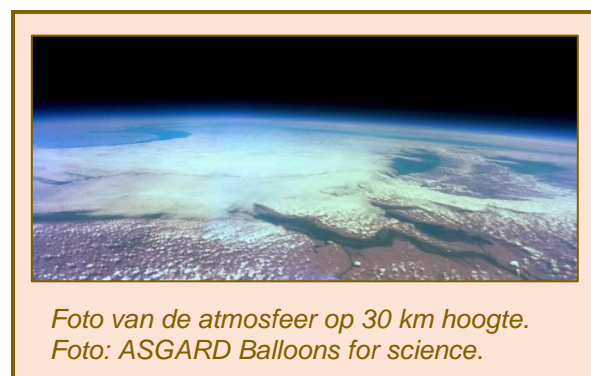
Hoe groot is de atmosfeer op Aarde? We gaan de kinderen leren om de Aarde en haar atmosfeer op dezelfde schaal te tekenen.

- Neem een passer en een wit blad papier, A4 formaat.
- Teken een cirkel met een diameter van 13 cm (dus de straal is 6,5 cm). Dit is de Aarde, in het echt is de diameter 12.742 km groot (straal 6.371 km).
- Zoek een kleurpotlood (niet noodzakelijk blauw) waarmee je een lijn kan tekenen van 1 mm dik. Probeer verschillende kleurpotloden uit.
- Teken nu rond de Aarde een kleurlijn van 1 mm dik. Deze gekleurde lijn is de atmosfeer. In het echt is die 100 km dik.

Nu zie je hoe dik de atmosfeer is vergeleken met de Aarde zelf. Je kan het ook vergelijken met de schil van een appel.



Dus de afmetingen van de atmosfeer lijken klein vergeleken bij de Aarde. Maar het wordt zelf nog kleiner als je weet dat ongeveer alles wat we gewoonlijk als “de lucht” beschouwen volledig in de onderste 10 km ligt. Deze onderste laag noemen we de troposfeer. In de troposfeer zitten de wolken, het weer, zo goed als alle water, bijna alle zuurstof, en alle leven. Ook passagiersvliegtuigen gaan normaal niet hoger dan 10 km.





## KLASEXPERIMENT

### Atmosfeer in een fles

#### Klasexperiment : Samenvatting

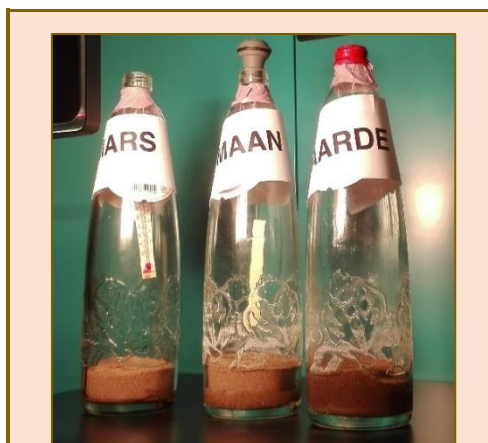
We gaan proberen om het broeikaseffect te demonstreren op Aarde, op Mars en op de Maan. Het is een model met glazen flessen:

- Model voor de Aarde: gesloten fles. De lucht is gevangen in de fles.
- Model voor de Maan: vacuüm fles (luchtledig). Er is geen lucht.
- Model voor Mars: open fles. Slechts een klein beetje lucht blijft bij het planeetoppervlak.

Dan verwarmen we alle flessen tegelijk even veel: een model voor zonne-energie. We zullen verschillen zien door het broeikaseffect, en de verschillen proberen verklaren.

#### Klasexperiment : Opstelling

- Neem 3 gelijke glazen flessen, en doe er wat droog zand in als planeetoppervlak. Zorg dat het de fles én het zand zeer goed droog is (Maan en Mars bevatten geen vloeibaar water).
- Markeer de flessen met "AARDE", "MAAN", "MARS".
- Hou de flessen van Maan en Mars heel goed droog, maar maak het zand van de Aarde wel een beetje nat met water. De Aarde bevat namelijk veel vloeibaar water.
- Hang een kleine thermometer aan een touwtje en hang in elke fles eentje. Je kan het touwtje aan de buitenkant van de fles vasthangen met plakband.
- Sluit de fles "AARDE" af met een schroefdop die de lucht tegenhoudt.
- Sluit de fles "MAAN" af met een rubber dop voor wijnflessen en pomp ze luchtledig (vacuüm) met een wijnpompje.
- Laat de "MARS" fles open.



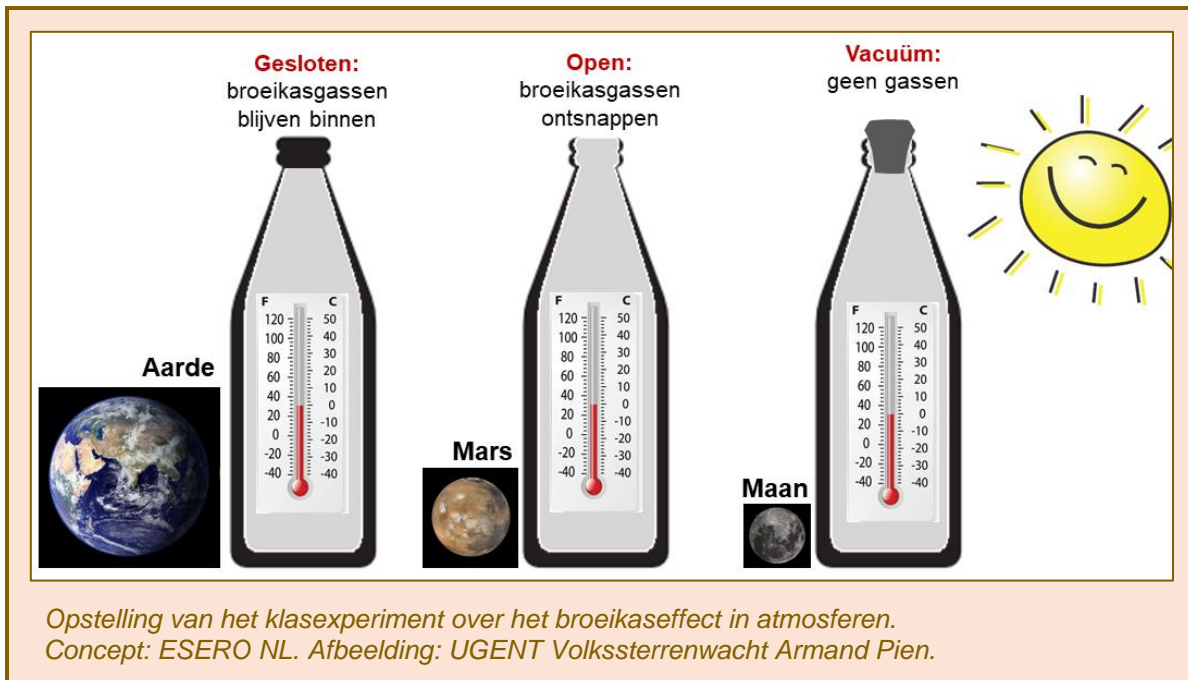
*Opstelling van het klasexperiment over het broeikaseffect in atmosferen.*

*Concept: ESERO NL.*

*Afbeelding: UGENT*

*Volkssterrenwacht Armand Pien*





### Opwarmen en afkoelen van de atmosfeer in een fles: hoe?

#### Opwarmen

We gaan de drie atmosferen allemaal evenveel en even lang moeten opwarmen, en daarna laten afkoelen. Dit is niet zo eenvoudig. Enkele tips:

- Ideaal is het als je **drie gelijke lampen** hebt, die elk 1 fles kunnen opwarmen.
- Test de lampen vooraf om na te gaan of ze **voldoende warmte** geven. LED lichten zijn te koud. Staande spots die in verbouwingen gebruikt worden zijn soms erg warm. Toch kan je die laatste gebruiken als je de flessen wat verder van de warmtebron zet.
- Wanneer je een **houten kistje** gebruikt als behuizing, dan kan dit werken als een soort oventje waarin de warmte redelijk constant blijft: zie afbeelding hieronder.
- Als alternatief kan je de drie flessen op een rij voor een **kleine elektrische verwarming** zetten. Het toestel zou een beetje stralingswarmte moeten geven (dus geen radiator met vloeistof, maar wel een verwarmingselement eventueel met een blaasfunctie). Zorg dan ook dat de drie flessen alle drie evengoed voor de warmtebron staan.
- Als je de drie flessen apart opwarmt (elk om beurt), dan moet je goed opletten dat de omstandigheden iedere keer dezelfde zijn (zelfde verwarmingstemperatuur van de lamp, zelfde afstand tussen fles en lamp, ...).
- Nog beter dan een gewone warmtebron is een infraroodlamp. Zulke lampen worden verkocht aan mensen die last hebben van gewrichtspijn of spierpijn. Infraroodstraling draagt warmte over.

#### Afkoelen

- Na de opwarmingsfase haal je elke fles weg van de lamp en zet je ze terug op kamertemperatuur, weg van elke warmtebron.



*Links: Gebruik van een houten kist voor efficiënte en gelijkmatige opwarming.  
 Rechts: staande infraroodlamp (100 Watt of 150 Watt). Hiermee zijn de experiment-resultaten duidelijker dan met een klassieke lamp die gewoon warmte afgeeft. Kostprijs: in de grootte-orde van € 30.  
 Afbeelding: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien*

### Klasexperiment: Uitvoering

- Verdeel de kinderen in drie groepen, elke groep wordt verantwoordelijk voor 1 fles.
- Elke groep schrijft elke minuut de temperatuur op van hun fles.
- Elke groep zorgt ervoor dat je stopt met de fles opwarmen wanneer de thermometer zijn hoogste waarde bereikt, in ons voorbeeld bij 50°C. Anders kan de thermometer kapot springen. Laat elke fles opwarmen tot aan deze maximum temperatuur.
- Nadat de maximum temperatuur bereikt is, zet je de fles weg van de warmtebron, en laat je ze weer afkoelen. De kinderen gaan hierbij gewoon verder met elke minuut de temperatuur te noteren.
- Zorg ervoor dat je tijdens de afkoeling minstens evenveel minuten blijft noteren als bij de opwarming.

### Vacuüm (luchtledig)

Om een vacuüm in een glazen fles te maken kan je een zeer eenvoudige en goedkope wijnpomp gebruiken, die je gewoon met de hand bedient. Je krijgt er geen perfect vacuüm mee, maar het zal zeker voldoen voor dit klasexperiment.



**Klasexperiment : Resultaten en bespreking**

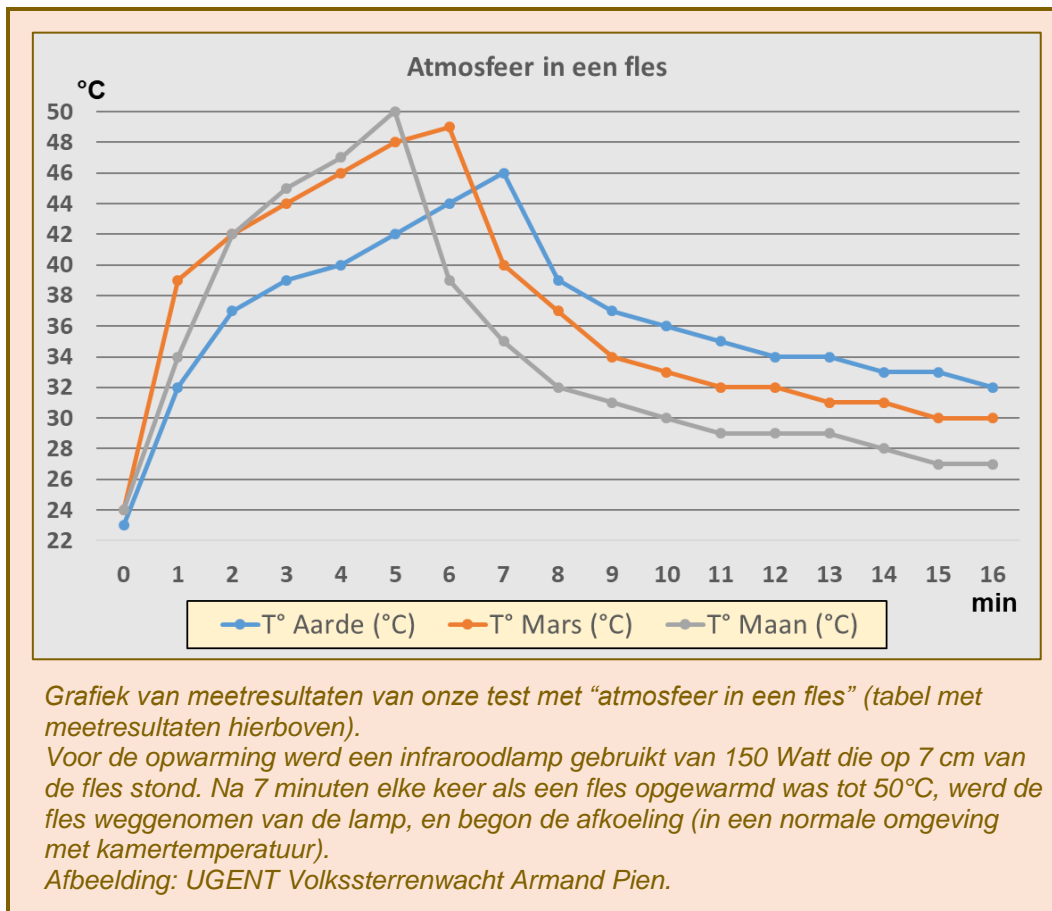
- Schrijf de gemeten temperaturen in de tabel hieronder: Vraag 1 kind per groep om de kolom van hun fles in te vullen (overschrijven van hun groepsnotities), zodat alle waarden in 1 tabel komen.

	tijd (minuten)	T° Aarde (°C)	T° Mars (°C)	T° Maan (°C)
<div style="background-color: #f4a460; padding: 10px; text-align: center;">                     opwarming  </div>	0	23	24	24
	1	32	39	34
	2	37	42	42
	3	39	44	45
	4	40	46	47
	5	42	48	50
<div style="background-color: #a4c4e0; padding: 10px; text-align: center;">                     afkoeling  </div>	6	44	49	39
	7	46	40	35
	8	39	37	32
	9	37	34	31
	10	36	33	30
	11	35	32	29
	12	34	32	29
	13	34	31	29
	14	33	31	28
	15	33	30	27
	16	32	30	27

In deze tabel hebben we als voorbeeld de waarden ingevuld van onze testopstelling. Deze waarden zullen de leerlingen zelf moeten invullen van hun eigen experiment.

- Maak van de waarden uit de tabel een grafiek. Zet de waarden van de Aarde, Mars en de Maan elk in een ander kleur, allemaal op 1 grafiek.
- Bekijk de grafieken met de kinderen, en vergelijk hoe de temperaturen per fles veranderd zijn. Hoe kan je dit verklaren?
- Vraag elk groepje om samen een uitleg te formuleren over de atmosfeer (Aarde, Maan of Mars) waarvoor zij verantwoordelijk waren. Geef elk groepje ongeveer 5 minuten om samen te bespreken welke uitleg ze gaan geven.

- Vraag elk groepje om hun uitleg naar voor te brengen in de klas. Je kan de uitleg die ze geven klassikaal bijsturen totdat het helemaal juist is.



### Bespreking grafiek

In de grafiek hierboven zien we volgende tendens:

- Hoe **minder lucht** er in de fles vastzit, hoe **sneller de opwarming én de afkoeling** gaat. Dit is vergelijkbaar met een woestijn: er is heel droge lucht (dus weinig waterdamp als broeikasgas, dus als de zon schijnt wordt het heel warm, en 's nachts als de zon weg is wordt het heel koud).
- Aarde**: een dikke luchtlaag zorgt ervoor dat temperaturen gebufferd zijn (trage opwarming en afkoeling). De aanwezigheid van waterdamp (het zand in deze fles is vochtig) versterkt dit broeikaseffect.
- Maan**: omdat er geen lucht is, zorgt zonnestraling meteen voor een snelle temperatuurstijging (overdag op de Maan gaat het boven +100°C), en gaat de afkoeling ook heel snel ('s nacht op de Maan is het kouder dan -100°C).
- Mars**: hier ligt het effect tussen Maan en Aarde, en is vergelijkbaar met een planeet die zeer weinig lucht heeft. In werkelijkheid is het natuurlijk wel veel kouder op Mars, omdat deze planeet verder van de zon zit, en dus veel minder zonnestraling ontvangt.

### Klasexperiment: Algemeen besluit

- Een dikke luchtlaag is een goede buffer tegen extreem warmte en extreme koude, omdat de planeet daardoor traag opwarmt en afkoelt.
- Dit effect wordt nog versterkt als er broeikasgassen in de luchtlaag zitten (zoals water in onze Aarde-fles).

## Besluit over temperaturen op de Maan

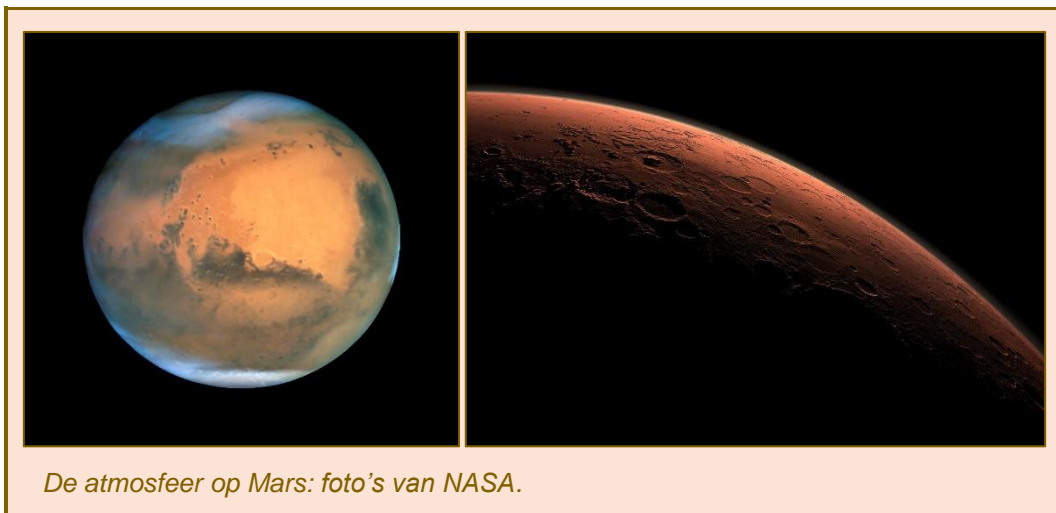
Als we naar de Maan leven, dan is er helemaal **geen broeikaseffect**. Daarom wordt het 's nachts enorm koud vanaf dat de zon onder gaat. Temperaturen lager dan  $-100^{\circ}\text{C}$  zijn zeker geen uitzondering.

Bovendien is het oppervlak van de Maan niet beschermd tegen directe straling van de Zon. Daarom wordt het overdag gemakkelijk meer dan  $+100^{\circ}\text{C}$ , en zelfs meer dan  $+150^{\circ}\text{C}$  komt voor.

We zullen dus een zeer goede **bescherming** moeten hebben **tegen koude en warmte** als we op de Maan wandelen. Deze bescherming kan bestaan uit:

- Een zeer goed geïsoleerd ruimtepak dat de temperatuur vanbinnen actief kan aanpassen. Zo'n ruimtepak heeft aan de binnenkant allerlei buisjes met vloeistof om warmte te vervoeren.
- Een ondergrondse schuilplaats die perfect kan geïsoleerd worden van de koude en warmte van buiten. Ondergronds kan betekenen: ingegraven onder de grond ofwel bovengronds, maar dan toch bedekt met een dikke laag grond.

**Op Mars** is de situatie anders, en lijkt het een klein beetje meer op het aardoppervlak. Er is op Mars een heel dunne atmosfeer. De luchtdruk is er maar 0,6% van de luchtdruk op Aarde. Maar toch heeft zelfs zulke dunne lucht nog een broeikaseffect. Op koudere momenten is het op veel plaatsen op Mars rond  $-80^{\circ}\text{C}$ , en de allerwarmste momenten in de buurt van de evenaar kunnen tot  $+25^{\circ}\text{C}$  gaan. Deze temperatuurverschillen zouden nog veel groter zijn wanneer er geen atmosfeer zou zijn. Maar toch, als mensen willen leven op Mars, dan zullen ze ook daar een heel goede bescherming moeten hebben tegen koude.



## Seizoenen

Zijn er seizoenen op de Maan en op Mars, net zoals op Aarde? Moeten onze astronauten zich voorbereiden op warmere en koudere jaargetijden? Om het antwoord te vinden, gaan we eerst de seizoenen op Aarde moeten begrijpen.

## KLASEXPERIMENT

### Seizoenen op Aarde

#### Klasexperiment : Samenvatting

De kinderen ontdekken dat seizoenen op Aarde ontstaan doordat het zonlicht op onze planeet valt met veranderende hoek. Ze gebruiken een zaklamp als model voor de Zon en een appelsien als model voor de Aarde.

#### Klasexperiment : Opstelling

Wanneer de zaklamp aan gaat, moet het klaslokaal donker gemaakt worden, bijvoorbeeld met gordijnen.

**Materialen** nodig voor het experiment:

- Eén zaklamp per leerlingenteam, als model voor zonlicht (indien mogelijk is het best dat je teams van 2 of 3 leerlingen maakt).
- Wit papier en een potlood.
- Eén appelsien per leerlingenteam als model voor de Aarde.
- Een zwarte markeerstift om lijnen op de appelsien te tekenen.
- Een tandenstoker, een klein stukje papier en plakband (om een klein vlagje te maken).
- Een lange satéstok per leerlingenteam (ongeveer 20 cm of langer) om de appelsien te doorboren. Gebruik propere stokjes, zodat de appelsien na de les nog kan opgegeten worden.

#### Optioneel:

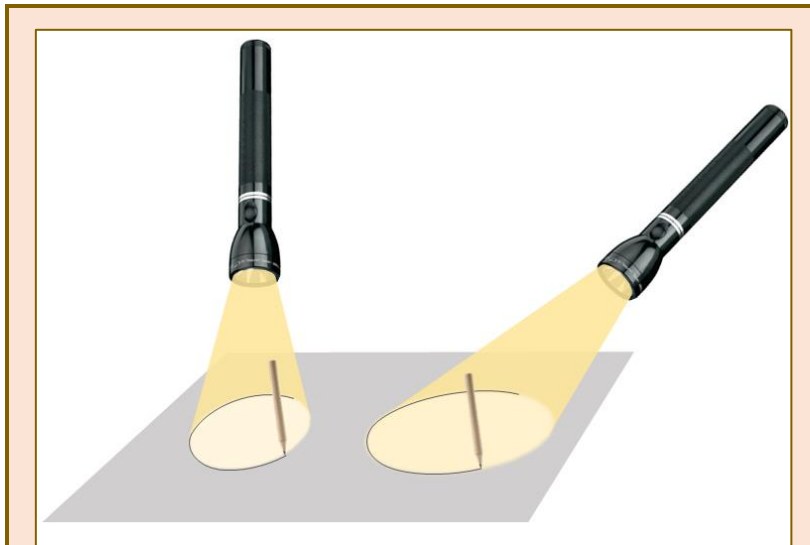
Als leraar kan je de oefening mee doen met een grotere bol als Aarde model – bijvoorbeeld een grote isomo (polystyreen) bol – vooraan in de klas. Zo kunnen de kinderen op elk moment een duidelijk en correct voorbeeld volgen.

Het is leuk om de isomo bol achteraf te schilderen in de kleuren van de Aarde, en op een voet te plaatsen die de Aarde in een hoek van 23° vastzet. Zo blijft er in de klas een herinnering staan van deze workshop, en vergeten de kinderen niet dat onze planeet schuin staat (en daarom seizoenen heeft).

#### Klasexperiment STAP 1 : variaties in zonne-energie

- Geef elk team een zaklamp.
- Vraag hen om de lamp meerdere keren aan en uit te zetten en naar het licht te kijken.
- Als ze het de tweede keer aan zetten, vraag dan: komt er nu meer of minder licht uit de zaklamp dan de vorige keer?  
Antwoord: Nee. De zaklamp geeft elke keer evenveel licht.
- Vraag nu om de zaklamp op een stuk papier te richten en het licht aan te steken. Ze moeten hierbij de lamp recht naar beneden te houden. De lamp zou 15 cm boven het blad moeten gehouden worden (1).
- Laat hen een cirkel tekenen op de rand van de lichtvlek op het blad (1).
- Laat hen nu de lamp vasthouden boven het blad terwijl ze een hoek maken (van ongeveer 45°). De lichtcirkel zal nu een ellips of ovaal worden (2).
- Laat hen een opnieuw een lijn tekenen rondom de ellips (2).





*Licht schijnen op een blad papier met een zaklamp: loodrecht op het papier (links) en met een hoek van  $45^\circ$  (rechts). Wanneer de lamp in een hoek gehouden wordt, dan wordt de lichtvlek groter en elliptisch (ovaal). Er is echter in totaal evenveel licht in beide gevallen. Daarom zal elke  $\text{cm}^2$  in de ellips minder licht ontvangen dan elke  $\text{cm}^2$  in de cirkel.  
Concept: ESERO NL.  
Afbeelding: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.*

### Bespreking:

- **Vergelijk** de twee vormen die je getekend hebt op het papier. Welke van beide heeft een groter oppervlak? Wat betekent dat?

#### Antwoord:

De ellips is groter dan de cirkel. We kunnen besluiten dat dezelfde hoeveelheid licht uit de zaklamp verdeeld wordt over een groter oppervlak wanneer we de lamp schuin houden. Je kan de twee situaties eens tegelijkertijd op 1 bld schijnen, zo zie je waarschijnlijk een verschil in lichtsterkte.

- Stel je voor dat een mier over ons blad loopt. Zou deze mier **meer of minder energie** voelen wanneer ze in de cirkel loopt of wanneer ze in de ellips loopt?

#### Antwoord:

De mier zou meer energie krijgen in de cirkel en minder in de ellips. Uit de zaklamp komt altijd dezelfde totale hoeveelheid licht, maar bij de grotere ellips wordt dit licht gespreid over een groter gebied.

- Stel je voor dat je zaklamp **de zon** is. Gebeurt dit in het echt? Dat de zon schuin op ons schijnt in plaats van recht boven ons?

#### Antwoord:

De zon zit soms hoger in de lucht en soms lager. Je kan het zeker vergelijken met de lamp. In Belgium hebben we de zon nooit helemaal recht boven ons. Dit gebeurt alleen maar in warme landen op de evenaar

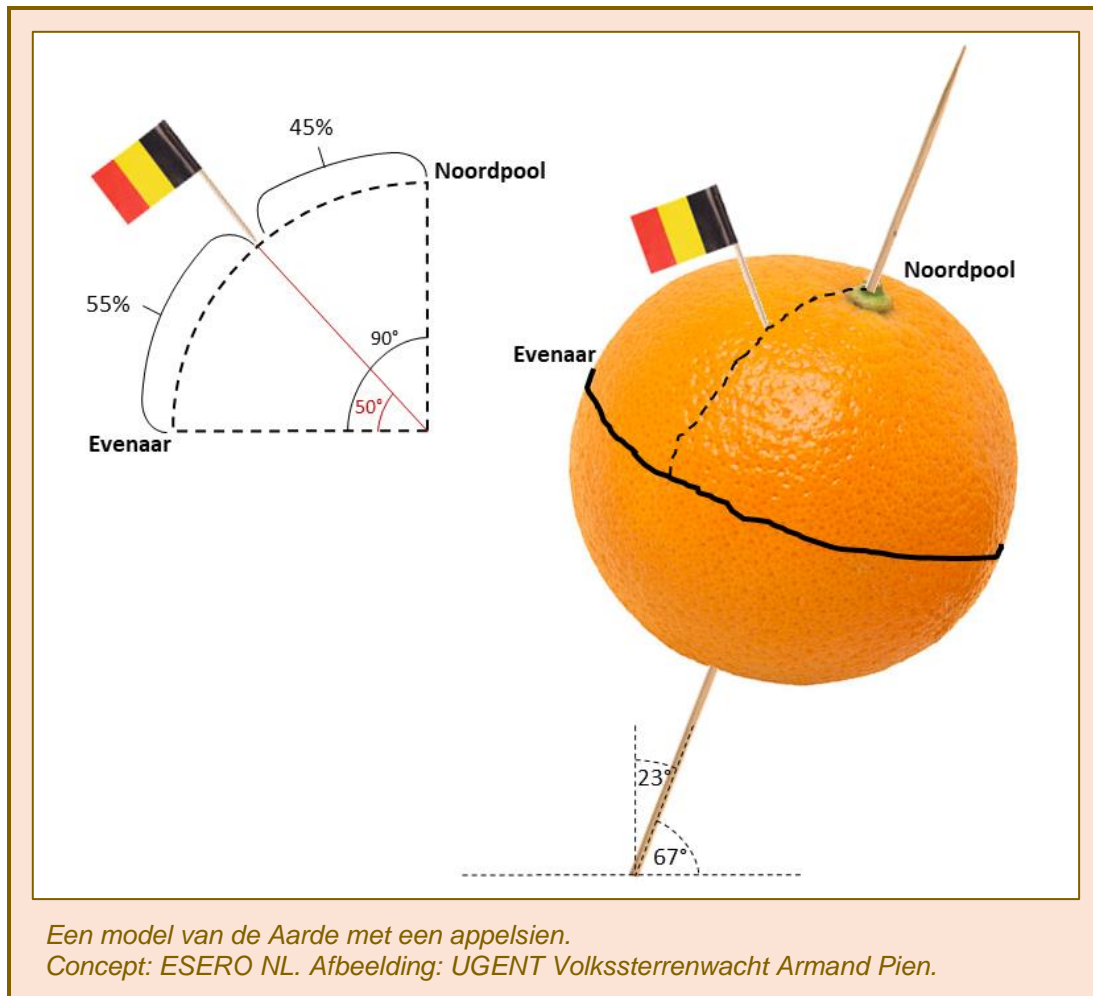
Er zijn verschillende redenen waarom de zon meer of minder schuin op ons schijnt. In de tabel hieronder zie je een overzicht.

soort variatie	Variatie	Zonnestand	Temperatuur	Schaduwen zijn
<b>Tijd: dag</b>	Ochtend & avond	Lager	Kouder	Langer
	Middag	Hoger	Warmer	Korter
<b>Plaats: wereld</b>	Dichter bij de pool	Lager	Kouder	Langer
	Dichter bij de evenaar	Hoger	Warmer	Korter
<b>Tijd: seizoenen</b>	In en rond de winter	Lager	Kouder	Langer
	In en rond de zomer	Hoger	Warmer	Korter

### Klasexperiment STAP 2 : een model maken van de Aarde

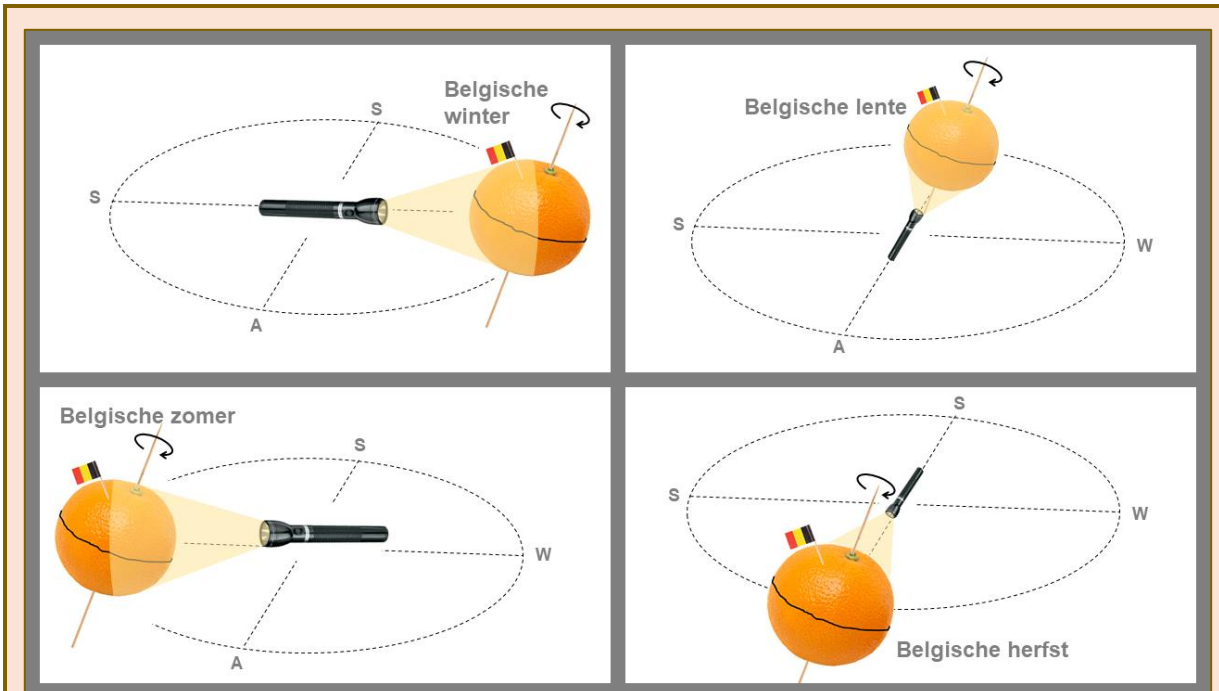
- Geef de volgende **voorwerpen** aan elk leerlingenteam: een appelsien, een markeerstift, een houten satéstok, een tandenstoker, papier, plakband. Laat hen weten dat ze de appelsien kunnen opeten na de les.
- Begin met het **doorboren** van de appelsien met de satéstick, 'van pool tot pool'.
- Teken een zwarte cirkel rondom de appelsien : de **evenaar**.
- Teken een **stippellijn** van de evenaar naar de noordpool.
- Maak een klein **Belgisch vlagje** met de tandenstoker en papier en doorzichtige plakband.
- Zet het Belgisch vlagje ongeveer **midden op de stippellijn** die van de evenaar naar de Noordpool loopt. België ligt op 50° NB, en dus eigenlijk op 55 honderdsten van deze dunne lijn, te beginnen van de evenaar.

Je model voor de Aarde is klaar voor stap 3. Toon aan de kinderen dat de **as van de Aarde** (je satéstick) niet mooi recht (loodrecht) staat op het vlak waarin de Zon en alle planeten liggen. De aardas maakt een **hoek van 23°** (zie tekening hieronder).



### Klasexperiment STAP 3 : Seizoenen op Aarde verklaard

- Nu heeft elk leerlingenteam terug een zaklamp nodig. We gaan een model maken van het Aarde-Zon systeem.
- Eén kind houdt de zaklamp vast en stelt zich in het midden. Dit kind zal heel de tijd op dezelfde plek blijven staan, maar zich met de lamp steeds naar de Aarde draaien. Dit kan je vergelijken met de Zon zelf die vanuit ons standpunt op dezelfde plek blijft in de ruimte terwijl de Aarde er rond draait. Waar de Aarde ook is, we ontvangen altijd evenveel zonlicht (dus de zaklamp moet altijd naar de Aarde schijnen).
- Een ander kind zal de Aarde vasthouden, altijd gekanteld met een hoek van  $23^\circ$ . Ook moet de Noordpool altijd naar dezelfde kant van de klas gericht zijn.
- Het kind met de Aarde moet aan vier verschillende kanten van de Zon gaan staan, en zo het begin van elk van de 4 seizoenen uitbeelden. Bij elke positie draait men de Aarde rond zichzelf zodat een dag (ongeveer 24 uur) uitgebeeld wordt. Daarbij gaan ze het volgende aandachtig bekijken:
  - Wat is er te zien op de Zuidpool en de Noordpool?
  - Hoe hoog staat de zon voor bewoners van de evenaar? Kijk bijvoorbeeld naar Congo: de plaats waar de stippellijn de evenaar raakt.
  - Hoe hoog staat de zon in België?
  - Kan je aan de hand van het model uitleggen waarom het in de zomer warmer is en in de winter kouder?



*Uitbeelden van de vier seizoenen op Aarde. Elke positie staat voor een bepaalde datum van het jaar:*

- *Belgische winter: 21 december.*
- *Belgische lente: 21 maart.*
- *Belgische zomer: 21 juni.*
- *Belgische herfst: 21 september.*

*Vergeet niet om de Aarde telkens rond zichzelf te draaien zodat je voor een hele dag en nacht de lichtinval kan zien.*

*Concept: ESERO NL. Afbeelding: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.*

### Bespreking:

- Vraag 1 team om aan de rest van de klas hun model te demonstreren en ondertussen uit te leggen hoe de winter en zomer in België ontstaan.
- Kan je uitleggen waarom deze koude en warme seizoenen niet bestaan aan de evenaar (waar het altijd warm is).

Antwoord:

De zon is hier elke dag van het jaar recht ongeveer boven je hoofd. Het verschil in zonnestand tussen juni en december is te klein om warmere of koudere seizoenen te hebben. Ze hebben eigenlijk altijd zomer. Je kan ook zeggen: hoe dicht bij de polen je woont, hoe meer verschil er is tussen warme en koude seizoenen.

- Wat is de poolnacht en de pooldag?

Antwoord:

De polen zijn in de schaduw van de Aarde gedurende ongeveer een half jaar.

Bijvoorbeeld: tijdens de zomer aan de Noordpool (van 21 maart tot 21 september) gaat de zon nooit onder de horizon. Ze hebben een 'dag' die zes maanden duurt! Dit noemen we de pooldag.

- Als we winter hebben in België, is er dan ook winter in de rest van de wereld?

Antwoord:

Nee. Tijdens onze winter hebben de landen ten zuiden van de evenaar zomer, de landen op de evenaar blijven warm, en de landen in het noordelijk halfrond hebben ook winter.

- Zie je nog een ander gevolg van de zonnestand in ons model, in verband met dag en nacht?

Antwoord:

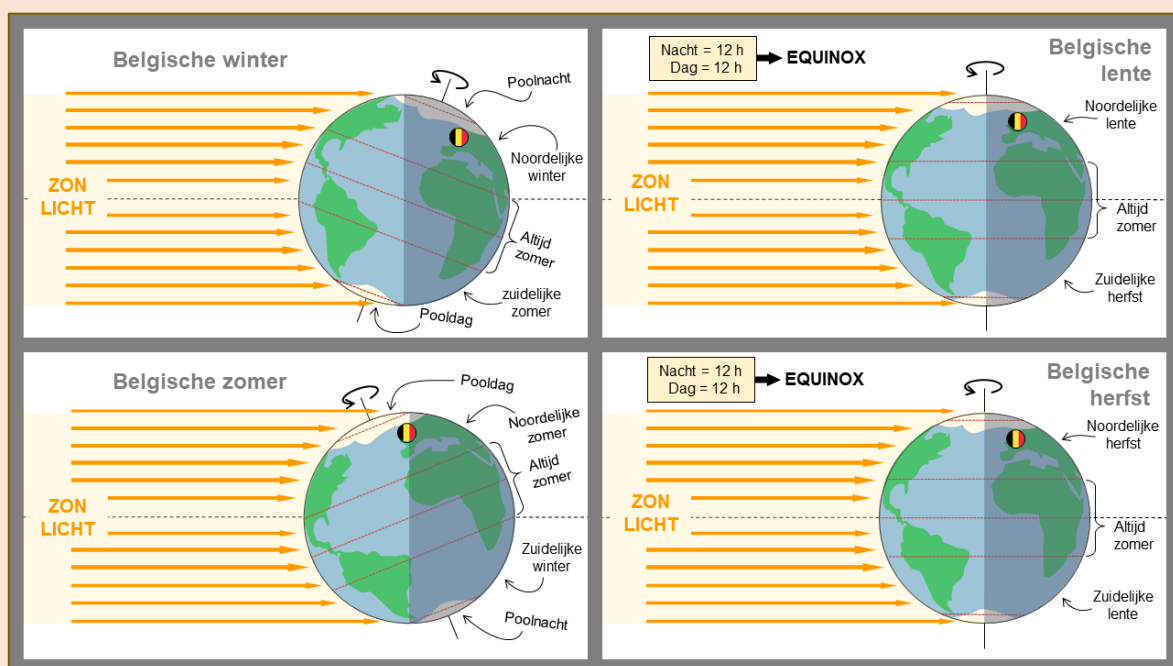
Ja, in de winter zijn de dagen korter en de nachten langer. De dag en de nacht duren beiden even lang (elk 12 uren) wanneer de lente begint en wanneer de herfst begint. Dit is een extra reden waarom het kouder is in de winter en warmer in de zomer!

**Er zijn twee redenen waarom de winter kouder is:**

- 1) De zon staat overdag lager aan de hemel.
- 2) De dagen zijn korter, en dus zijn er minder uren zon per dag.

**Er zijn twee redenen waarom de zomer warmer is:**

- 1) De zon staat overdag hoger aan de hemel.
- 2) De dagen zijn langer, en dus zijn er meer uren zon per dag.



*De seizoenen op Aarde:*

- Belgische winter: 21 december.
- Belgische lente: 21 Maart.
- Belgische zomer: 21 juni.
- Belgische herfst: 21 september.

*Afbeelding: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.*

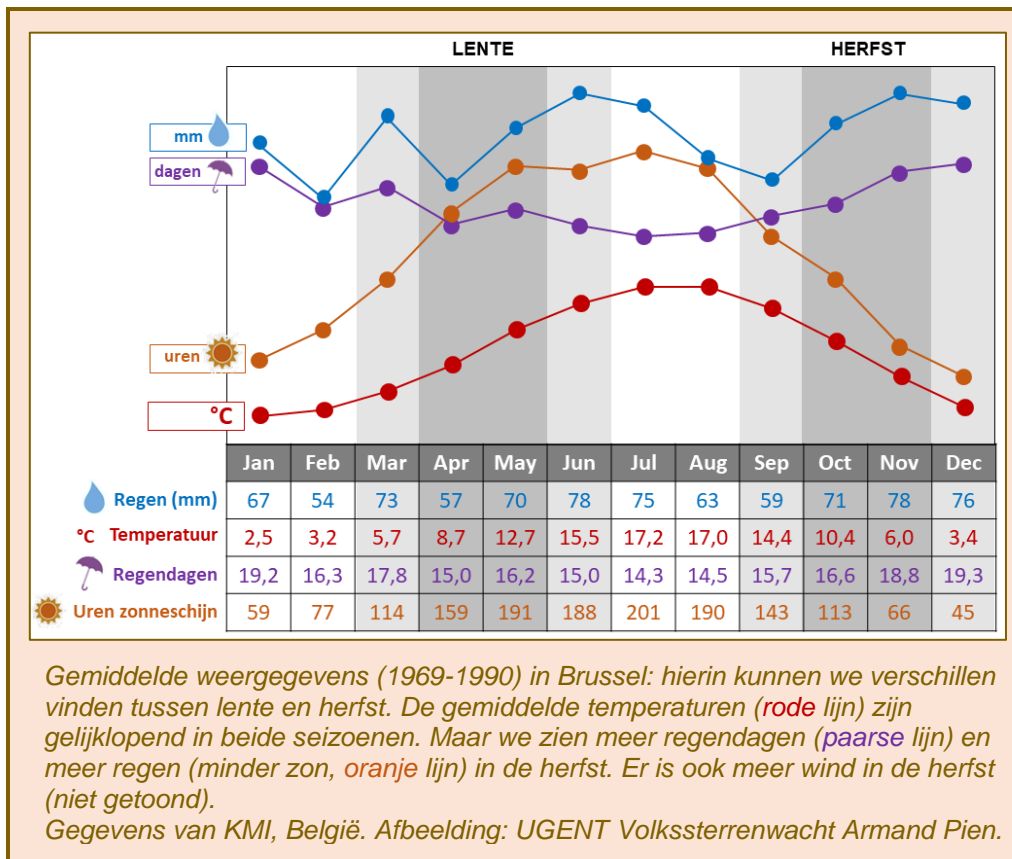
**Lente en herfst vergelijken:**

Wanneer je aan kinderen het verschil tussen winter en zomer uitlegt, dan komt soms de vraag: waarom is er dan een verschil tussen lente en herfst?

Deze twee seizoenen lijken immers dezelfde in ons model...

Natuurlijk zie je duidelijke verschillen tussen lente en herfst in de levende wereld (planten, dieren, zwammen, microben). Vooral in loofbossen zie je dat bijzonder goed, want het vallen van de bladeren in de herfst is één van de opvallendste reacties van het leven op Aarde.

Maar naast biologische verschillen zijn er wel degelijk duidelijke verschillen in het weer te merken. Je kan ze zoeken in de tabel/grafiek hieronder.



Merk op dat de temperaturen in de lente en de herfst niet veel verschillen van elkaar. Maar we krijgen in de herfst meer regenweer, meer wolken en meer wind. Hoe kan je dit verklaren?

Om dit te verklaren, moeten we eerst leren wat “**relatieve luchtvochtigheid**” is.

Warme lucht kan veel **waterdamp** bevatten (water verdampt beter als het warm is). Maar als je evenveel waterdamp in koudere lucht brengt, dan zal de waterdamp **druppeltjes** gaan vormen. Deze druppeltjes blijven zweven in de lucht en vormen wolken, en als ze groter worden (zwaarder), dan vallen ze naar beneden als regen.

Als de lucht het maximum aan waterdamp bevat (juist voordat het druppeltjes begint te vormen), dan zeggen we dat de relatieve luchtvochtigheid (RV) 100% is. We noemen deze toestand het **dauwpunt**. Als de lucht op het dauwpunt zit en:

- je voegt dan extra waterdamp toe
- of je koelt deze lucht verder af

dan worden druppels gevormd in de vorm van wolken, regen of dauw.

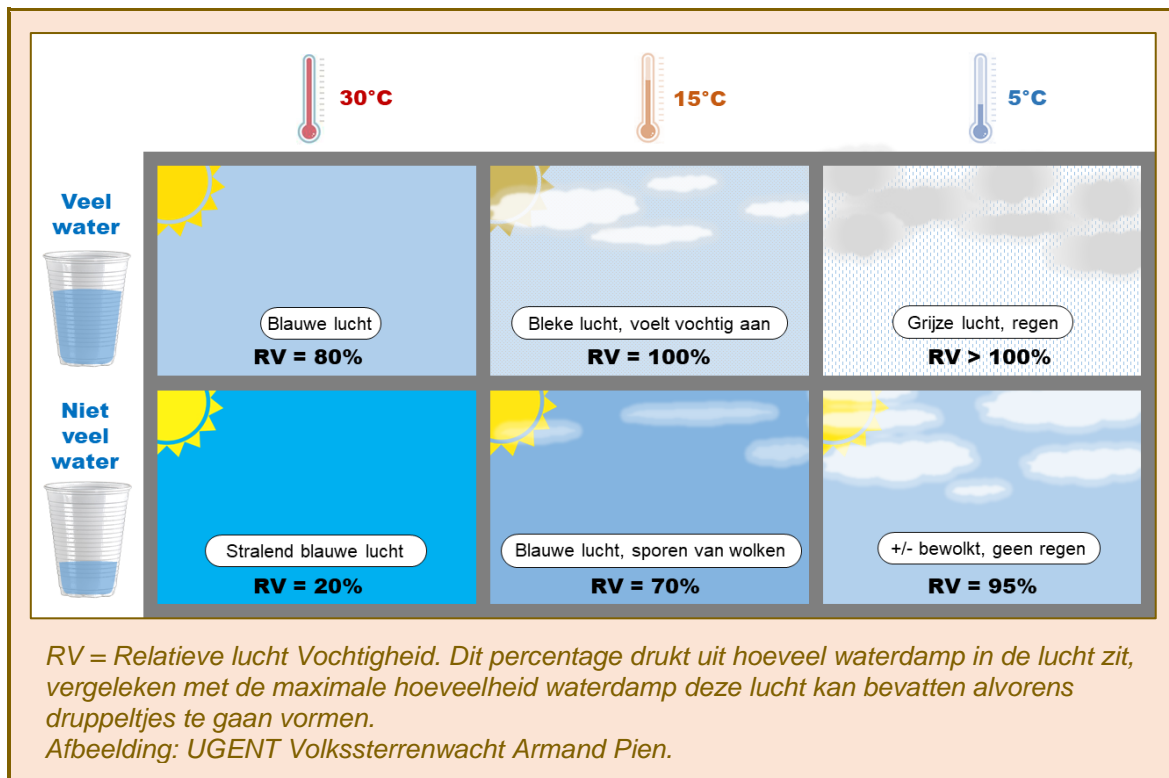
Voorbeelden van 100% RV:

- 1 kilogram lucht van 30°C bevat 27 gram waterdamp.
- 1 kilogram lucht van 5°C bevat 3 grams waterdamp.



Voorbeelden van 50% RV:

- 1 kilogram lucht van 30°C bevat 25 gram waterdamp.
- 1 kilogram lucht van 5°C bevat 2 gram waterdamp.



Wat gebeurt er in de herfst?

Het water in de **zee** werd opgewarmd in de voorbije zomermaanden. Water kan zijn warmte lang vasthouden, zelfs wanneer de eerste koude dagen eraan komen. Het duurt dus lang in de herfst voordat de zee afkoelt, en dus blijft ook de **luchtlaag juist boven de zee** langer warm. De lucht juist boven de zee is warmer dan de lucht boven land, dus boven de zee licht het dauwpunt hoger: er kan meer waterdamp in de lucht boven de zee zitten zonder dat daar druppeltjes worden gevormd.

Het **land** koelt heel wat sneller af in de herfst. Als de dagen korter worden en de zon staat lager, dan zal de **luchtlaag boven het land** snel kouder worden. Dit kan je goed voelen in de herfst.

Dan wordt de warmere lucht boven de zee **naar het land geblazen** door de wind. Deze warmere lucht bevat wel meer waterdamp en komt in de koudere luchtlaag terecht. Zo wordt veel waterdamp naar het koudere land gebracht. Daardoor gaat de relatieve luchtvochtigheid RV snel over de 100% gaan, want koudere lucht kan niet zoveel waterdamp bevatten. Hierdoor ontstaan veel meer **wolken en regen**.

In de **lente** krijg je het omgekeerde effect:

Het zeewater is kouder vanwege de voorbije wintermaanden. De lucht boven het land warmt sneller op vanwege de langere dagen en de steeds hogere positie van de Zon. Daarom blijft de lucht boven het land gemakkelijk **onder de 100% RV**. Er zijn dan ook **minder wolken en minder regen**.

## Seizoenen op de Maan en op Mars

We hebben nu de basisprincipes geleerd van seizoenen op Aarde. We leerden dat ze veroorzaakt worden door de gekantelde stand van de Aarde, en dat de lucht (met waterdamp) en de Zon een hoofdrol spelen.

Hoe zit het nu met de seizoenen op de Maan en op Mars?

### De Maan

Bij de Maan is het antwoord eenvoudig

- Er is geen lucht en geen waterdamp.
- De draaiingsas van de Maan is niet gekanteld, maar bijna perfect rechtop.

Dus de twee factoren waardoor seizoenen op Aarde voorkomen zijn beiden afwezig op de Maan. Het besluit is duidelijk: **op de Maan** zijn er **geen seizoenen**. De omstandigheden op de Maan veranderen dus niet over het jaar.

Zoals we gezien hebben zijn de temperatuur verschillen tussen dag en nacht op de Maan extreem groot. Vergeet niet dat een dag + nacht op de Maan ongeveer 27,5 aardse dagen duurt. Je kan echter wel zeker zeggen dat de temperaturen op de Maan niet veranderen over een lange tijd (zoals een aards jaar).

	Maan Minimum	Aarde Minimum	Maan Maximum	Aarde Maximum
<b>Gewone t° op de evenaar</b>	-178°C	22°C	117°C	30°C
<b>Gewone t° op de polen</b>	-223°C	-30°C zomer -63°C winter	-70°C	-26°C zomer -55°C winter
<b>Record-temperaturen</b>	-248°C	-89°C	137°C	58°C
	Hermiet krater	Vostok Station Antarctica	Sommige evenaarkraters	El Azizia, Libië

Tabel met de gewone temperaturen en uitersten op de Maan en op Aarde.

Cijfers van: Sciencedirect.com, Lunar Reconnaissance Orbiter, Wikipedia.

### Mars

Op Mars is de situatie veel ingewikkelder:

- **LUCHT ?**  
Er is een atmosfeer op Mars, maar die is uiterst dun (luchtdruk minder dan 1% van de luchtdruk op Aarde). De lucht bestaat vooral uit CO<sub>2</sub>, een broeikasgas.
- **GEKANTELENDE AS ?**  
De draaiingsas van Mars is gekanteld met 25°. Dit is bijna hetzelfde als de kanteling van de Aarde.

Er zijn dus wel **seizoenen op Mars**, en je kan ze zelfs min of meer vergelijken met de seizoenen op Aarde. Er zijn echter ook wel belangrijke verschillen:

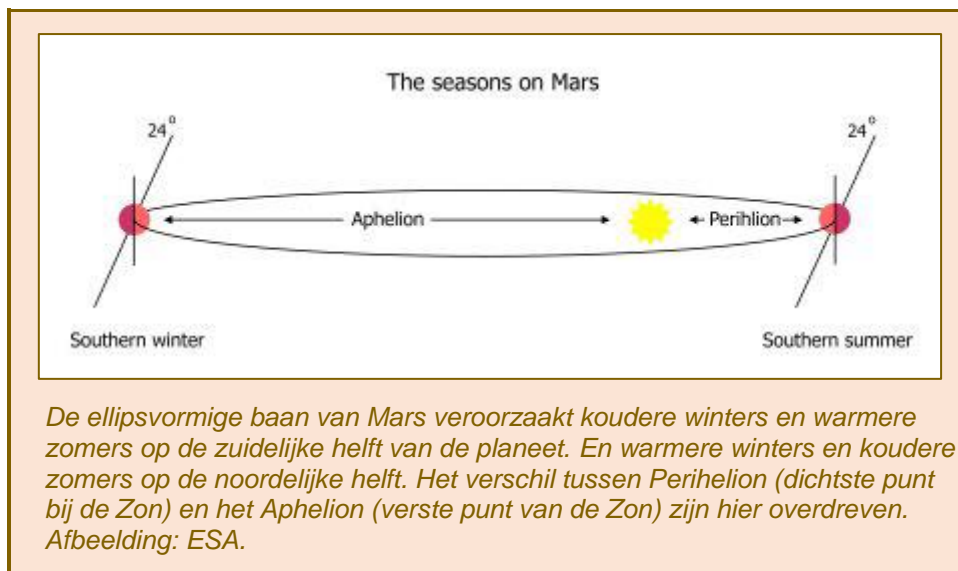
## Verschil nr.1 : Meer uitgesproken seizoenen op de zuidelijke hemisfeer

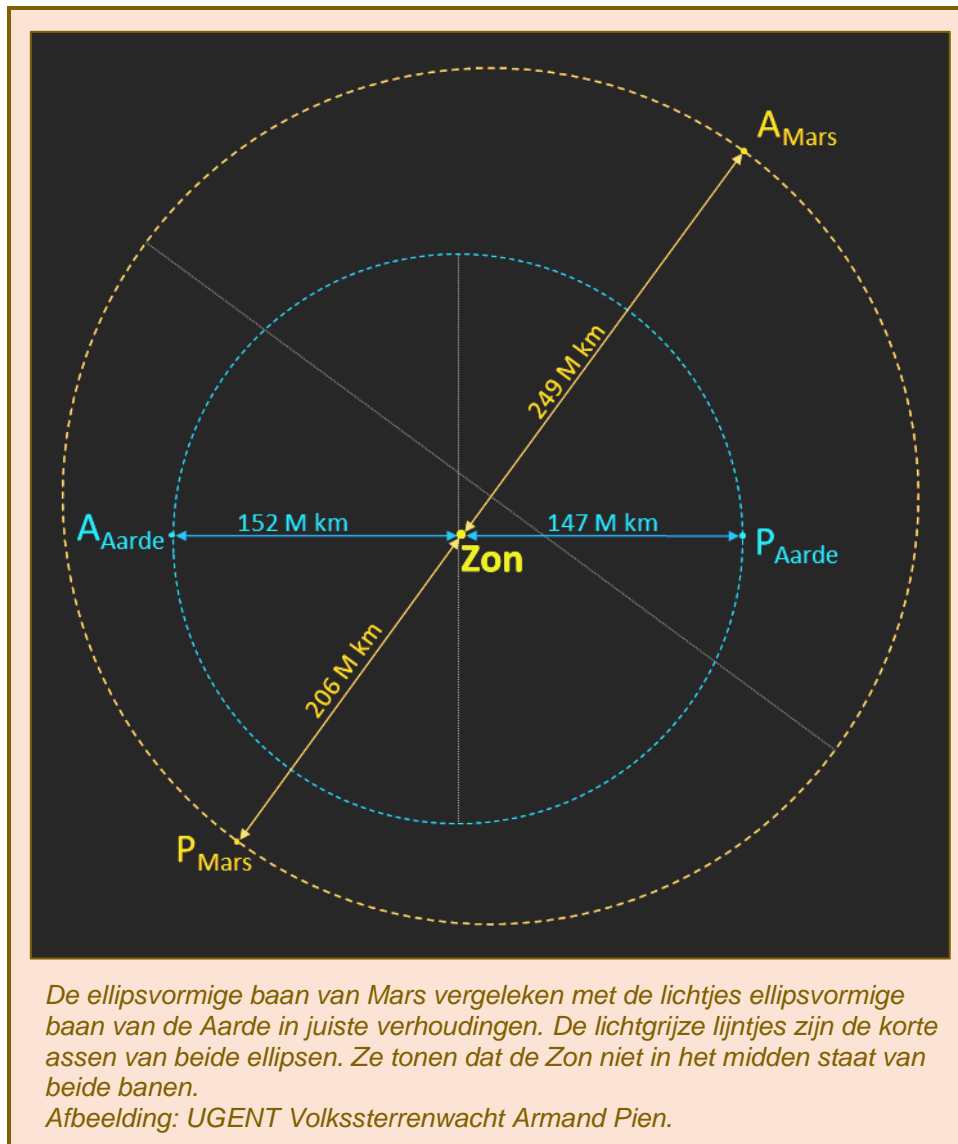
(zuidelijke hemisfeer = zuidelijke helft van de planeet)

Al de planeten draaien rond de zon in **ellipsvormige banen**, en de Zon staat niet exact in het midden. Hoewel de afstand tussen de Aarde en de Zon niet heel het jaar door exact dezelfde is, zal dit bijna geen invloed hebben op de temperaturen. De baan van de Aarde is bijna een cirkel.

De **baan van Mars** lijkt minder op een cirkel, de ellips is iets **meer uitgerekt**. Mars is toch aanzienlijk dichterbij de Zon wanneer de zuidelijke hemisfeer naar de Zon gericht is (dus tijdens de zuidelijke zomer). Daarom is de zomer in het zuiden warmer en korter dan de zomer in het noorden. In het noorden zien we een kortere winter die ook minder koud is dan de zuidelijke winter.

De zuidelijke winter is langer en kouder, want op dat moment is Mars verder van de Zon. Om dezelfde reden is de noordelijke zomer minder warm.





### Verschil nr.2 : Stofstormen

Zoals eerder besproken: er is bijna **geen water** in de atmosfeer van Mars. Je zal dus geen **wolken** van waterdamp tegenkomen, en het regent nooit. Maar er is wel heel wat **wind** die over het oppervlak waait. Deze wind waait het fijne stof rond dat overal ligt op de kurkdroge grond. Stofwolken kunnen overal op de planeet verschijnen.

Deze **stofstormen** kunnen enorm groot zijn, en zelfs de volledige planeet bedekken ! Ze worden vooral veroorzaakt door de grote temperatuurverschillen tussen noord en zuid (zie hierboven: meer extreme seizoenen in de zuidelijke hemisfeer).

Betekent dit dat je op Mars kan weggeblazen worden door stormwind?

Nee. De lucht is zo dun dat de wind nauwelijks een gevallen blad zou kunnen wegblazen (mochten er al bomen bestaan op Mars). Maar het fijn stof wordt wel erg gemakkelijk omhoog geblazen, want het is zo fijn als sigaretten-as, en er is minder zwaartekracht dan op Aarde.

### Verschil nr.3 : Droog ijs

Zoals op Aarde vinden we op de Noordpool en Zuidpool van Mars waterijs op het oppervlak. Maar in de winter worden de Marspolen nog veel kouder dan de polen op Aarde. Wanneer de temperaturen onder  $-80^{\circ}\text{C}$  gaan (gebeurt regelmatig), dan zal een nieuwe laag ijs het oppervlakkig waterijs volledig bedekken. Deze extra laag wordt gevormd door 'droog ijs' of bevroren  $\text{CO}_2$ .



Waarom wordt bevroren  $\text{CO}_2$  **droog ijs** genoemd?

Al we op Aarde een brokje  $\text{CO}_2$  ijs nemen en op tafel leggen, dan verdampt het meteen. Het ijs verandert meteen in gas zonder vloeibaar te worden (= **sublimatie**). Het woord 'droog ijs' verwijst naar het feit dat er geen vloeistof gevormd wordt.

Droog ijs wordt gebruikt om voedsel te bewaren of om bepaalde zaken goed koel te houden. Iedereen kan het kopen en het is niet duur. Het is een heel dankbaar middel om **in de klas** te laten zien wat **sublimatie** is. Je kan bijvoorbeeld een stukje droog ijs in een glas water leggen, en dan begint het hevig te koken: wolken van  $\text{CO}_2$  en waterdamp stromen dan over de rand van het glas.

Droog ijs is niet alleen te vinden op de koudere plaatsen op Mars. We vinden het op veel plaatsen **in het zonnestelsel**, vooral ver van de Zon. Kometen bijvoorbeeld zijn grote blokken ijs die voornamelijk bestaan uit koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ), koolstofmonoxide ( $\text{CO}$ ) en water ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

## Straling en (micro)meteorieten

We hebben reeds enkele redenen gezien waarom een wandeling op de Maan en Mars niet mogelijk is zonder de **bescherming van een ruimtepak**:

- Extreme temperaturen
- Geen lucht (luchtdruk en zuurstof)
- Extreem droog

Bijkomend zijn er **nog twee belangrijke gevaren** die ons verplichten om een goed ruimtepak te dragen:

- Micrometeorieten en stofdeeltjes met zeer hoge snelheid die rondvliegen in de ruimte (ook resten van menselijke ruimtetuigen).
- Schadelijke straling (= straling met hoge energie) die van de Zon en van de diepe ruimte komt.

### Ruimtestof met hoge snelheid

Het meeste ruimtepuin dat rondvliegt is klein. NASA heeft in 2016 geschat dat er ongeveer 170 miljoen restanten van satellieten rond de Aarde draaien die kleiner zijn dan 1 cm. In de verre ruimte – ver van de Aarde – is er veel minder ruimtepuin, maar je kan het wel overal tegenkomen.

Deeltjes van 1 of 2 millimeter kunnen dodelijk zijn wanneer ze een zeer hoge snelheid hebben (en dat hebben ze in de ruimte altijd). Ruimtepuin beweegt veel sneller dan een kogel op Aarde...





## Een veilig huis om te leven

Om lang op de Maan te blijven kan een ruimtepak uiteraard niet volstaan. Onze astronauten moeten een plek hebben waarin ze vrij kunnen rondlopen en gewoon direct tegen mekaar kunnen praten. Ze hebben **een soort huis** nodig voor dagelijkse bezigheden zoals eten, slapen, naar toilet gaan, computerwerk, enz.

Zo'n huis op de Maan of **maanbasis** moet net zoals de ruimtepakken goed beschermd zijn tegen extreme temperaturen, straling en micrometeorieten. Het moet gevuld worden met voldoende lucht (die niet kan ontsnappen) en zuurstof om te ademen. Een gewoon bakstenen huisje zoals op Aarde is dus zeker niet veilig.

## Ondergronds

De straling in de ruimte (en dus op de Maan) is dikwijls zeer sterk en dodelijk. En temperaturen van  $-130^{\circ}\text{C}$  zijn geen uitzonderingen! Alleen een heel **dikke en sterke muur** is goed genoeg voor de maanbasis. Hoe kunnen we best zulke dikke muren voorzien? Door de **maanbasis in te graven** onder een dikke laag grond.

Het is wel heel moeilijk en duur om grote graafmachines op de Maan te zetten en een huis te bouwen in een diepe put. Het gaat iets gemakkelijker als je een huisje op de Maan zet dat vooraf op Aarde gemaakt is, en het dan **bedekt met een grote laag maanstof**. Op andere planeten en manen noemen we de bovenste grondlaag niet 'bodem' zoals op Aarde, maar wel 'regoliet'. We moeten onze maanbasis bedekken met een dikke laag regoliet.



*ESA heeft een maanbasis ontworpen om het leven op de Maan vóór 2030 mogelijk te maken.*

**Boven:** Een opblaasbare basis wordt van de Aarde naar de Maan gebracht. Dan wordt deze bedekt met ongeveer 2 meter regoliet (maanstof). Alleen de luchtsluis om naar binnen en buiten te gaan wordt onbedekt gelaten. Binnen in de ingegraven zone zijn de astronauten goed beschermd.

**Onder:** Een zicht op de toekomstige maanbasis van buitenaf. In de linkse hoek zien we een robotwagentje dat een plastic frame kan printen om op te vullen met regoliet. Een andere optie (in plaats van een plastic frame te printen) zou kunnen zijn om elke laag regoliet te verwarmen en te smelten zodat het een stevig schild gaat vormen rondom de basis.

*Afbeeldingen: ESA.*

## KLASEXPERIMENT

### Ruimtepak : Bescherming tegen micrometeorieten

#### Klasexperiment : Samenvatting

De kinderen gaan een veilig ruimtepak ontwerpen zodat onze astronaut op de Maan niet kan gedood of verwond worden door een invallende micrometeoriet. Ze gaan eerst enkele materialen testen, en dan een 'ballonastronaut' inpakken met hun pak. Het experiment eindigt met een ultieme veiligheidstest van het ontworpen ruimtepak.

#### Klasexperiment : Opstelling

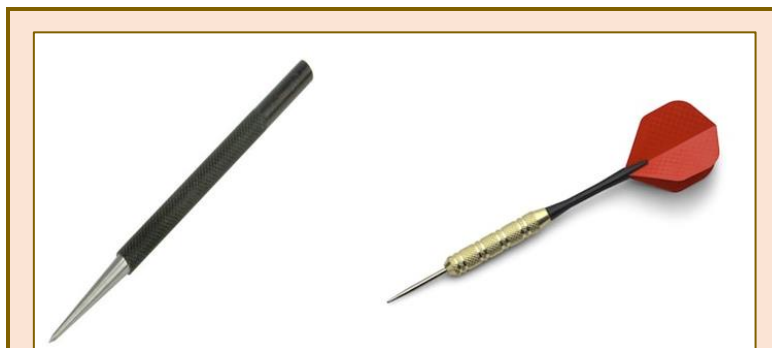
Verzamel verschillende materialen voor de ruimtepak-lagen op een tafel in de klas:

- Meerdere soorten papier (keukenpapier, behangpapier, inpakpapier, ...)
- Karton
- Aluminium folie
- Plastic folie
- Katoen, nylon, ander textiel
- 2 mm dikke mousse rol (= goedkope antigeluidslaag onder parketvloeren)

Let er op dat alle materialen flexibel zijn, want het ruimtepak moet nog kunnen meeplooien als je beweegt.

Verzamel op een andere tafel enkele knutselmaterialen:

- Plakband (best papieren afplaktape voor schilderwerk)
- scharen
- kraspen of vogelpiek pijltje
- kartonnen schoendoos voor elk leerlingenteam
- drinkrietjes
- strijkparels
- een stokmeter of rolmeter om 0,5 of 1 o 1,5 meter af te meten
- een plastic afvoerbuus (PVC) van 2 meter lengte



*Een kraspen (links) en een vogelpiek pijltje (rechts) kan je gebruiken voor de finale test van het ruimtepak. De kinderen gaan die laten vallen op hun ballonastronaut. Voor hun eigen veiligheid gaan we ze laten vallen in een PVC buis.*

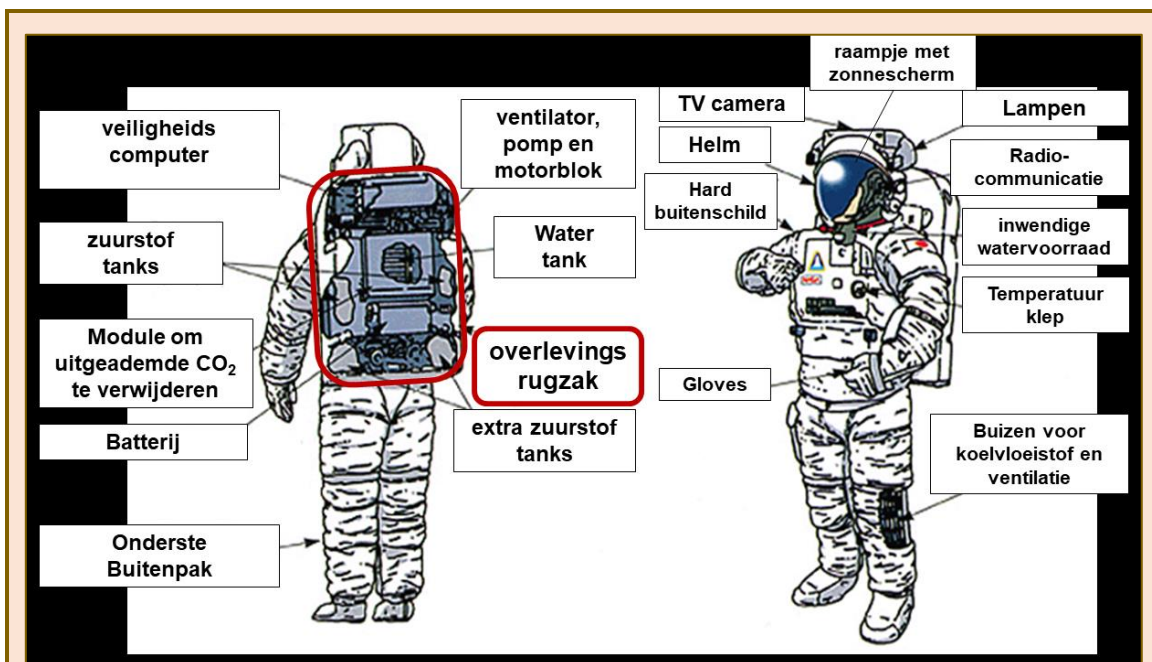
### Klasexperiment : inleidend klasgesprek

Je kan de les inleiden met enkele algemene feiten over ruimtepakken met volgende vraag:  
**“Waarom hebben astronauten een ruimtepak nodig?”**

Een ruimtepak heeft veel functies. Eigenlijk is het een miniatuur ruimteschip in de vorm van een mens. Om de kinderen te helpen om alle functies van een ruimtepak te vinden, laat je hen naar onderstaande tekening kijken. Bespreek alle onderdelen die je ziet.

Je kan de vraag van hierboven nu herformuleren:

**“Wat is de functie van elk onderdeel dat je hier ziet?”**



*De belangrijkste onderdelen van het buitenste deel van een ruimtepak.*

*Let op: het ruimtepak dat je hier ziet is gemaakt om in de ruimte naar buiten te gaan (in het Engels: extravehicular activities). Astronauten kunnen het gebruiken om vanuit het Internationaal Ruimtestation naar buiten te gaan, om op de Maan te lopen of om op Mars te lopen.*

*Afbeeldingen: NASA / UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.*

**Rubber luchtdicht binnenpak**

**Lagen van het buitenste pak**

- Gore-tex: waterdicht, ademend, sterk
- Lichtgewicht aluminium laag
- Rubber laag die goed tegen warmte en koude kan
- Sterke, zeer elastische laag

**Ruimtepak luiert**  
Absorbeert ongeveer 1 Liter

**Koeling en ventilatie buizen**  
Houdt de binnentemperatuur aangenaam

*Belangrijkste onderdelen van het binnenste deel van een ruimtepak en de lagen van het buitenste deel. Elke laag heeft zijn eigen functie:*

- Gore-tex-laag: uitwisseling van lucht en zweet om de huid gezond te houden.
- Aluminium laag: bescherming tegen micrometeorieten.
- Rubber laag: luchtdicht maken van het pak (alle lucht blijft binnen).
- Elastische lagen: bescherming tegen schade, vorming van een plooibare buitenlaag, en warmte-isolatie.

*Afbeelding: NASA / UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.*

Om ervoor te zorgen dat de kinderen goed begrijpen wat een ruimtepak is, kan je best ook volgende vragen voorleggen:

### **Dragen de astronauten een ruimtepak binnen én buiten het ISS?**

#### **Antwoord:**

Het Internationaal Ruimtestation ISS is een habitat onder druk, voorzien van lucht en volledig luchtdicht afgesloten en beschermd. De astronauten leven daarbinnen in een ruimte waar je kan ademen, met normale luchtdruk, en een temperatuur die constant ongeveer 22°C is. Ze kunnen binnen niet getroffen worden door gevaarlijke straling of rondvliegend ruimtepuin. Binnen dragen ze dus normale kleren zoals hier op Aarde.

Wanneer ze het ISS gaan verlaten – bijvoorbeeld om aan de buitenkant iets te gaan repareren – dan moeten ze hun ruimtepak aandoen. Dit ruimtepak is gemaakt om naar buiten te gaan, in het Engels: an extravehicular activity (= EVA), beter bekend als een 'space walk' of ruimtewandeling. Eenmaal dat ze door de luchtsluis gegaan zijn (dit is de 'buitendeur' van het ISS), komen ze in het luchtledige met extreme temperaturen en hoge risico's (straling en ruimtepuin). Het EVA ruimtepak beschermt hen tijdens zo'n ruimtewandeling voor meerdere uren.



## Wat bedoelen we met 'onder druk'?

### Antwoord:

Het ISS is een groot ruimteschip onder druk waarin ongeveer 6 mensen kunnen leven. Een ruimtepak voor ruimtewandelingen is een klein ruimteschip onder druk waarin 1 persoon kan leven.

'Onder druk' betekent dat het ruimteschip voortdurend gevuld wordt met voldoende lucht zodat er een normale luchtdruk is zoals op Aarde. De lucht die erin gepompt wordt heeft dezelfde samenstelling als de lucht die we op Aarde inademen: 1/5 zuurstof en 4/5 stikstof. Deze lucht wordt meegenomen in metalen flessen van de Aarde naar het ISS.

Als er een gat gemaakt wordt in de cabine of ruimtepak onder druk, dan zal de lucht meteen ontsnappen naar de ruimte die luchtledig (= vacuüm) is. Dan kan de astronaut niet ademen. De astronaut zou dan ook zeer snel uitdrogen, bewusteloos vallen en doodgaan.

Maak met de kinderen tenslotte een **volledige lijst van functies** van een ruimtepak:

- Voorzien van lucht om te ademen (zuurstof + stikstof).
- Luchtdruk voorzien zoals op Aarde (1 atm).
- Drinkwater en voedsel voorzien tijdens de ruimtewandeling.
- Toelaten om te plassen zonder vuil te worden.
- De temperatuur tussen bepaalde grenzen houden: warmte-isolatie en actieve afkoeling en opwarming.
- Dragen van lampjes, elektrische stroom en werkmateriaal. Vooral het harde borstschild wordt gebruikt om werkgerief aan vast te maken.
- Praten met andere astronauten en het grondstation (radio), door gebruik van een headset met microfoon en video.
- Bescherming tegen straling en micrometeorieten (ruimtepuin).
- Uitgeademde lucht verwijderen (CO<sub>2</sub> en waterdamp).
- Zicht: raampje met verlichting, een zonnekap, een goudlaagje als bescherming tegen sterk zonlicht en UV straling, en een camera om beelden door te zenden.
- Tijdens een ruimtewandeling: de astronaut vasthangen aan het groter ruimteschip zodat hij/zij niet kan weg zweven.

### Klasexperiment : Uitdaging

De kinderen gaan een ruimtepak ontwerpen om een 'ballonastronaut' te beschermen tegen ruimtepuin met hoge snelheid of micrometeorieten. Echte ruimtepakken worden op de grond tientallen keren getest. Wij gaan hetzelfde doen om ons ontwerp voor te bereiden.

Het eindontwerp van ons ruimtepak gaan we testen op invallende micrometeorieten: we laten een kraspen of vogelpiek pijltje van grote hoogte vallen op het pak rond een opgeblazen ballon. De ballon moet de test overleven.

Zoals bij echte ruimtevaart is het heel belangrijk dat het ruimtepak zo licht mogelijk is. Elk klein beetje extra gewicht dat we moeten lanceren naar de ruimte is zeer duur. Een echt ruimtepak heeft veel functies, dus het weegt heel veel, namelijk 113 kg ! Gelukkig is het gewicht kleiner op de Maan door de lage zwaartekracht (1/6) of zelfs helemaal gewichtloos in een baan om de Aarde, in het ISS.



De kinderen gaan in deze oefening slechts 1 functie van het ruimtepak bekijken: de bescherming tegen invallende micrometeorieten. Zo mogen dan ook niet meer dan 3 lagen hebben en niet meer dan 1 meter plakband gebruiken om hun pak dicht te maken.

**Klasexperiment : Testfase**

Eerst moeten de kinderen de **sterkte** van de verschillende materialen onderzoeken door ze allemaal te **testen**.

Zo kunnen ze alle materialen testen:

1. Bevestig het materiaal goed gestrekt over de open zijde van een schoendoos. Maak het aan beide kanten vast met plakband.
2. Schrijf de naam van het materiaal op in de tabel hieronder.
3. Zet een veiligheidsbril op.
4. Neem een gebogen rietje en doe er een strijkparel in (in het lange deel).
5. Blaas de strijkparel eruit met hoge snelheid tegen het gestrekte materiaal. Doe deze test opnieuw voor drie afstanden: 0,5 meter, 1 meter, 1,5 meter. Ruim de parel telkens terug op.
6. Schrijf de resultaten op in de tabel voor elke afstand.
7. Doe dit opnieuw voor elk beschikbaar materiaal.

1 strek het materiaal uit op de open zijde van een schoendoos met plakband

2 Kies de juiste afstand

3 steek een strijkparel in het rietje

4 Plooi het rietje zodat de parel niet in je mond kan

5 Blaas snel en hard om de parel te schieten

6 Is er een gat? Hoe groot is het?

0,5 / 1 / 1,5 meter

Strijkparels

*Test van de verschillende materialen die kunnen gebruikt worden voor ons ruimtepak. Hoe goed kunnen deze materialen tegen een invallende micrometeoriet (hier een strijkparel). Schrijf de resultaten in de tabel.  
Concept: ESERO NL. Afbeelding: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.*

Vul de tabel helemaal in. Welke schade kan je zien aan het materiaal. Is er een gat? Hoe groot is het beschadigd gebied?

TEST	50 cm	100 cm	150 cm
<b>Materiaal 1</b>			
<b>Materiaal 2</b>			
<b>Materiaal 3</b>			
<b>Materiaal 4</b>			
<b>Materiaal 5</b>			
<b>Materiaal 6</b>			
<b>Materiaal 7</b>			
<b>Materiaal 8</b>			

Maak op het einde een besluit: welk materiaal is het sterkste? Is dit wat je verwacht had?

### Klasexperiment : Eindontwerp en test

Om het uiteindelijke ruimtepak te maken voor de ballonastronaut mogen de kinderen **maximum 3 materialen** uitkiezen. Hoe **lager** het **gewicht**, hoe beter.

Vergeet hen niet te vertellen dat een echt ruimtepak veel meer functies heeft, en dat de realiteit dus heel wat ingewikkelder is dan onze oefening. De ruimtepakken die gebruikt werden om op de Maan te lopen (Apollo missies) hadden 14 lagen !

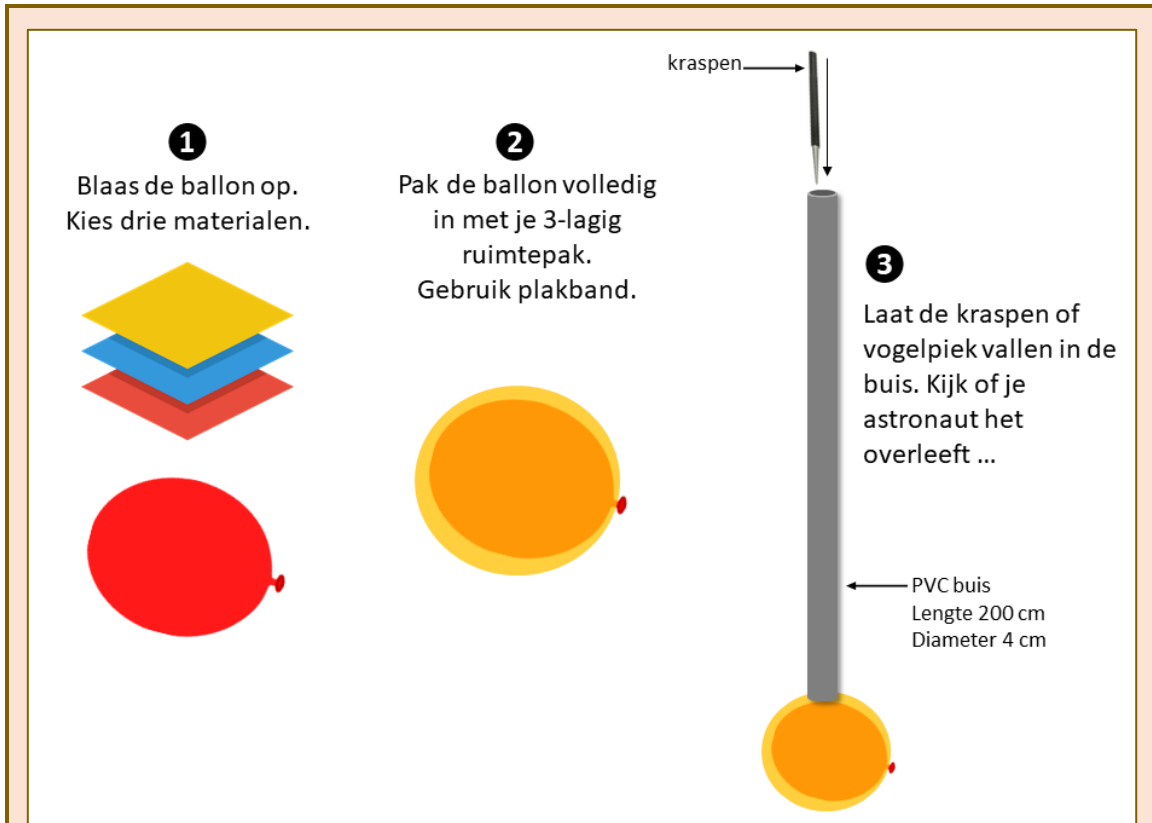
Dit is de werkwijze:

1. Kies drie materialen die je wilt gebruiken voor het ruimtepak. Je keuze kan je baseren op de testen die je daarjuist gedaan hebt. Als je twijfelt tussen twee materialen, kies dan voor het lichtste.
2. Pak je ballonastronaut in. Zorg ervoor dat de ballon volledig omgeven is door de drie lagen.
3. Zet de lange PVC buis bovenop de ballonastronaut. Laat dan de kraspen of vogelpiek pijltje vallen in de buis zodat de scherpe voorkant op je ruimtepak valt.

Als je astronaut deze invallende micrometeoriet overleeft: proficiat.

Zoniet: probeer een beter pak te ontwerpen.

Kijk voor alle positief geteste pakken welke het lichtste is.



*Test van het ruimtepak op een ballon astronaut. Merk op dat de ballon verpakt is in 3 lagen materiaal, samengehouden met plakband. De plakband zelf mag niet gebruikt worden als vierde laag. Let op dat er geen stukje plakband onder de PVC buis terecht komt. Concept: ESERO NL. Afbeelding: UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien.*

## 7 Ademen

### De lucht op Aarde: inleiding

#### Wat is lucht?

Bij water hebben we gezien dat het op Aarde in verschillende vormen kan bestaan:

- ijs: als het kouder is dan 0°C.
- Vloeibaar water: warmer dan 0°C.
- Damp: alle vloeistof verandert volledig in damp wanneer de temperatuur boven 100°C gaat.

De woorden ijs, vloeibaar water en waterdamp gelden voor water. Maar andere stoffen kunnen ook in verschillende vormen bestaan. De meer algemene woorden, bruikbaar voor alle stoffen, zijn de volgende:

- Vaste stof (ijs is de vaste stof van water)
- Vloeistof (vloeibaar water is de vloeistof van water)
- Gas (waterdamp is het gas van water)

De meeste gassen zijn onzichtbaar voor ons oog, maar ze zijn er wel.

In onze atmosfeer op Aarde zitten er verschillende gassen. Anders gezegd: de lucht op Aarde bestaat uit een mengeling van gassen. Het zijn stoffen die bij normale aardse temperaturen gasvormig zijn.

Naast een mengeling van gassen kan je in de lucht op Aarde ook soms andere deeltjes terugvinden, zoals bijvoorbeeld waterdruppeltjes (vloeistof) en allerlei stofkorreltjes (vaste stof).



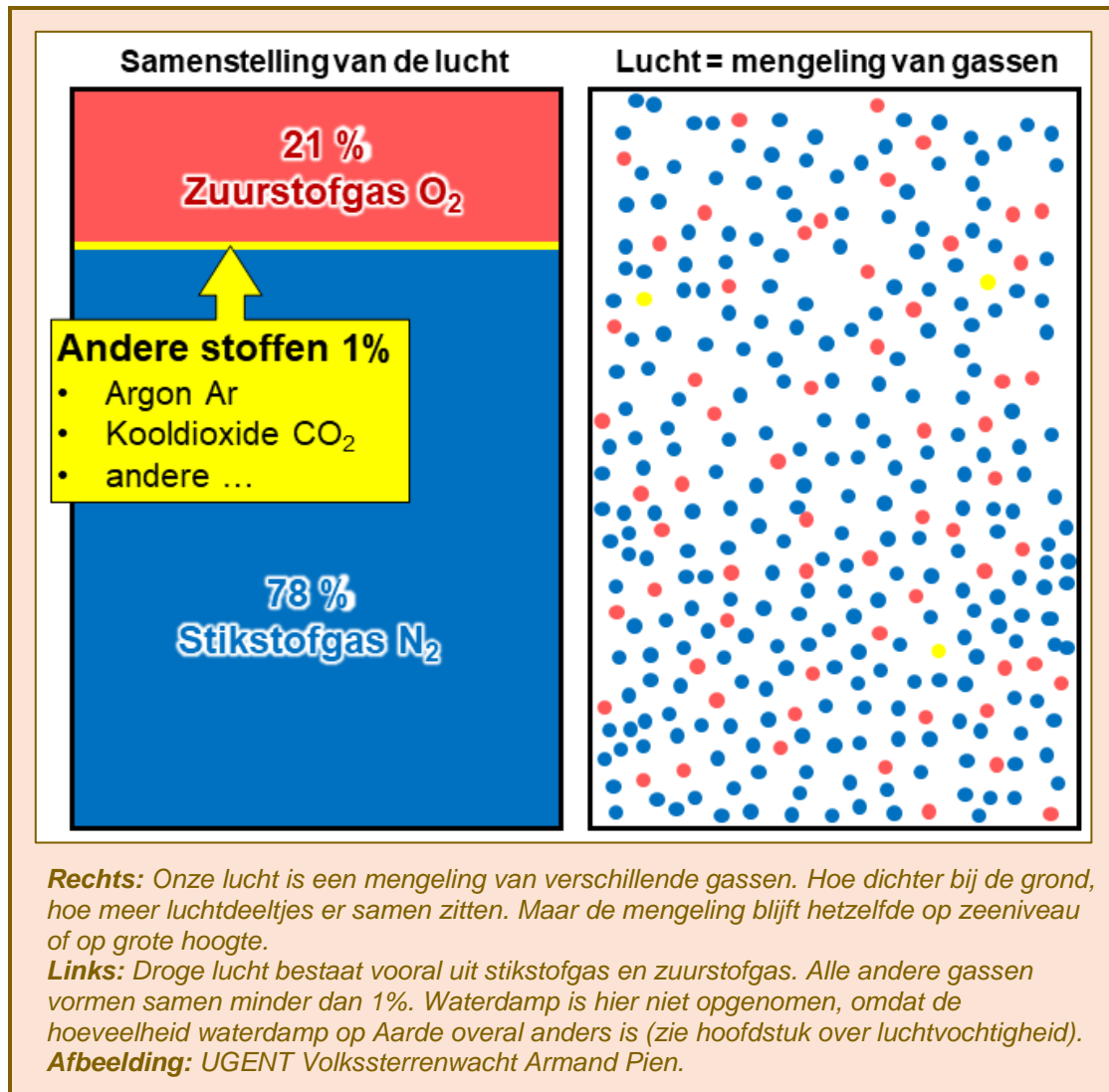
**Links:** Vanuit de ruimte zien we een laagje lucht (mengeling van gassen) hangen boven de Aarde. De meeste lucht zit dicht bij de grond, want de lucht wordt door de zwaartekracht van de Aarde naar de grond getrokken.

**Midden:** Zeer kleine waterdruppeltjes worden hoog in de lucht gevormd waar het kouder is. Ze zijn zo klein en licht dat ze niet naar beneden vallen. Een grote groep van die druppeltjes vormen samen een wolk.

**Rechts:** Droog woestijnzand uit Marokko waait over de zee naar de Canarische Eilanden. Andere bronnen van stofdeeltjes in de lucht zijn bijvoorbeeld bosbranden, uitstoot van autoverkeer en fabrieken.

## Welke stoffen zitten er in de lucht op Aarde?

In onze atmosfeer zitten heel veel verschillende stoffen, maar er zijn er twee die veel meer dan de andere stoffen voorkomen: stikstof (vier vijfden) en zuurstof (een vijfde). Alle andere stoffen komen veel minder voor in onze lucht.



## Stikstof

Het meest voorkomende gas in onze lucht is stikstof, aangeduid met het scheikundig symbool **N**. In het Engels heet het Nitrogen.

Stikstof vormt een gas bij kamertemperatuur, en dan bestaat het uit deeltje waarbij twee stikstofatomen aan elkaar hangen:  **$N_2$** .

Toen stikstof ontdekt werd, stelde men vast dat proefdieren in zuivere stikstof dood gingen. Ze konden namelijk niet meer ademen, of anders gezegd: ze stikten. Ook de Franse naam voor stikstof 'azote' verwijst daarnaar. Azote betekent 'geen leven'.

Het stikken van proefdieren had echter niets te maken met stikstof zelf, maar wel met de afwezigheid van zuurstof. Stikstofgas zelf is zeker niet giftig.

In het begin werd stikstof soms ook 'verbrande lucht genoemd': de lucht die overblijft wanneer een vlam alle zuurstof heeft opgebruikt.



## Zuurstof

### Wat is zuurstof?

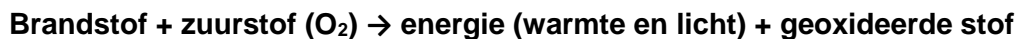
Zuurstof vormt een vijfde (21%) van alle gas in onze lucht. Het wordt aangeduid met het scheikundig symbool **O**. In het Engels heet het Oxygen, in het Frans Oxygène.

Zuurstof vormt een gas bij kamertemperatuur, en dan bestaat het uit deeltje waarbij twee zuurstofatomen aan elkaar hangen: **O<sub>2</sub>**.

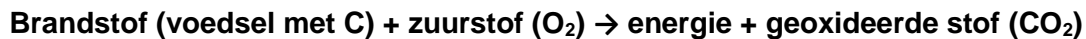
Toen zuurstof ontdekt werd, dacht men dat alle zuren dit element bevatten. Achteraf bleek dat er ook nog veel zuren bestaan zonder zuurstof.

### Zuurstof voor ons lichaam

Om vuur te maken heb je brandstof en zuurstof nodig. De zuurstof gaat dan snel reageren met de brandstof, en dan krijg je een nieuwe stof die de "geoxideerde versie" is van de oorspronkelijke brandstof. Je kan de verbranding samenvatten in volgende reactie:



Ons lichaam doet eigenlijk precies hetzelfde. We eten voedsel (brandstof) en we ademen (zuurstof). In ons lichaam worden deze stoffen samen gebruikt om voedsel te 'verbranden' of te 'oxideren'. Ons voedsel bevat veel koolstof (C), dus je kan de verbrandingsreactie van het lichaam als volgt samenvatten:



Energie heeft ons lichaam constant nodig voor allerlei functies: bewegen met spieren, hersenwerk, spijsverteringsstoffen maken, hartslagen, ... Wanneer voedseldeeltjes verbrand worden, komt daar geen vuur bij vrij. Maar de energie die eruit komt wordt door onze cellen opgeslagen in speciale "energie-moleculen". Die kunnen daarna overal in het lichaam gebruikt worden voor alle lichaamsfuncties.

De CO<sub>2</sub> (geoxideerde stof) die bij de verbrandingsreactie vrijkomt moet uit ons lichaam verwijderd worden, want teveel CO<sub>2</sub> is zeer giftig. Ons bloed brengt alle CO<sub>2</sub> naar de longen, zodat wij het weer kunnen uitademen.

Als je niet ademt, valt je hele lichaam dus stil. Daarom kunnen mensen en alle andere dieren niet meer dan enkele minuten zonder zuurstof.

## DEMONSTRATIE

### De lucht die we ademen bevat een vijfde zuurstof

#### Demonstratie: Samenvatting

We tonen met een kaarsje dat een deel (een vijfde) van onze lucht zuurstof bevat. Nadat je deze zuurstof hebt opgebruikt door iets te verbranden, blijft er lucht over (een mengeling van gassen) zonder zuurstof. De vlam gaat dan uit.

Bijkomend wordt in deze proef ook het effect opwarmen en afkoelen van lucht getoond.

#### Demonstratie: Opstelling

##### Materialen:

- Een theelichtje
- Een diep bord met water
- Een glas van minstens 10 cm hoog en een diameter iets groter dan het theelichtje
- Een aansteker om het kaarsje aan te steken

##### Opstelling:

- 1) Zet het bord met water op tafel. Steek het kaarsje aan en laat het drijven op het water.
- 2) Zet het glas omgekeerd over het brandende theelichtje en kijk wat er gebeurt.

#### Demonstratie: Bespreking

Op onderstaande figuur zie je vier verschillende fasen van het experiment met het theelichtje. We bespreken wat we zien met de kinderen via onderstaande vragen:

##### Fase 1

#### Kijk naar de brandende kaars. Wat is hier precies aan het gebeuren?

Op de eerste figuur hieronder zien we een brandende kaars, drijvend op een bord water. Er is zuurstof in de lucht rondom. De kaars bevat brandstof (kaarsvet), en gebruikt deze brandstof samen met de zuurstof uit de lucht ( $O_2$ ) om het vuur te laten branden. Je krijgt dus energie (licht en warmte) en geoxideerde stoffen (vooral kooldioxide  $CO_2$ ) als eindproduct.

Samengevat is dit de reactie:



##### Fase 2

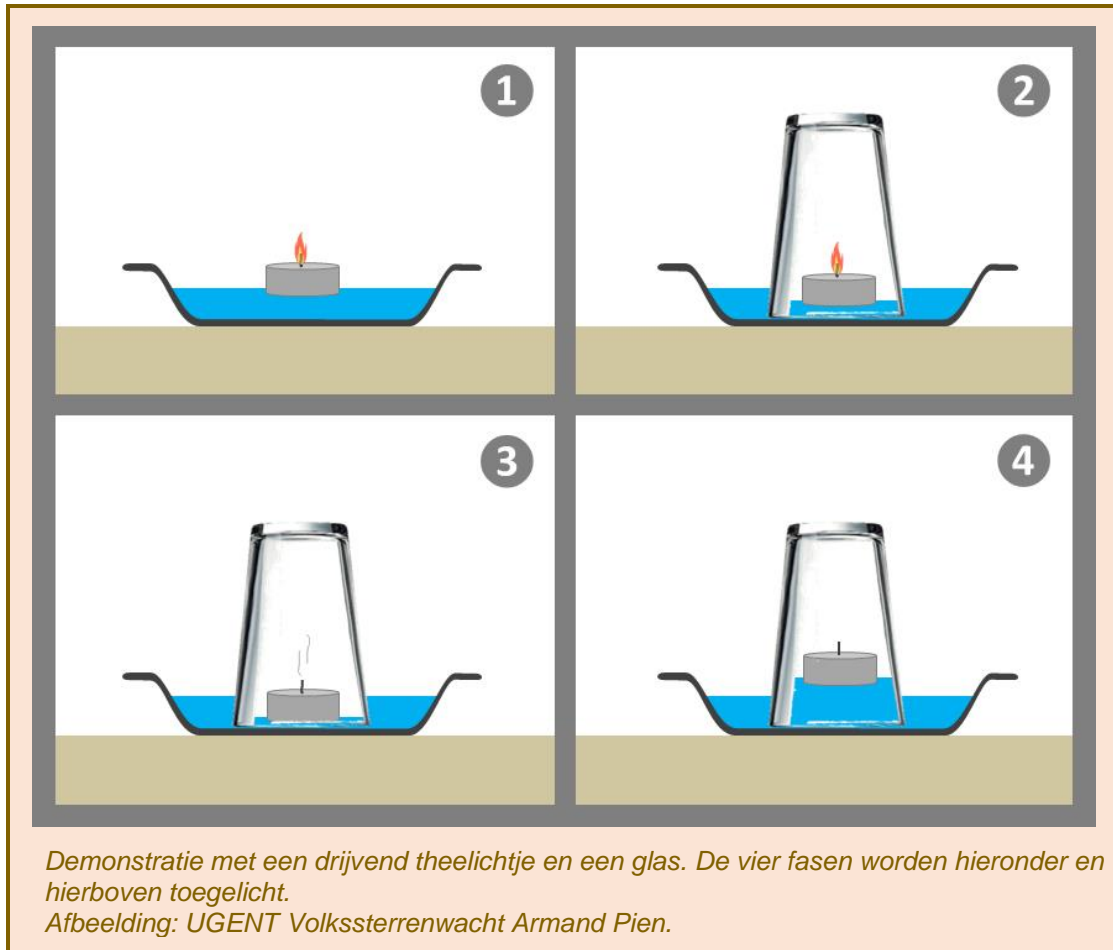
#### We zetten een glas omgekeerd op de kaars. Wat zie je precies op het moment dat het glas er juist op geplaatst is?

We zien:

- De kaars blijft branden juist nadat het glas erop staat.
- Het waterniveau in het glas is een klein beetje lager dan het water buiten het glas

Uitleg:

- De lucht in het glas bevat zuurstof. De verbrandingsreactie van hierboven (fase 1) kan dus gewoon blijven doorgaan. Het kaarsvet oxideert en de zuurstof in het glas wordt daarbij verbruikt.
- Omdat er lucht in het glas zat, wordt het water onderaan een beetje weggeduwd naar de buitenrand rond het glas. Hierdoor staat het waterniveau iets lager binnen het glas.



### Fase 3

**Na een tijdje gaat de kaars uit. Hoe komt dat? Wat zie je ondertussen gebeuren met het water?**

We zien:

- Wanneer de kaars nog brandt wordt het water in het glas verder naar beneden geduwd.
- Na een tijd gaat de kaars uit, en dan stopt het water ook met dalen.

Uitleg:

Er gebeuren twee dingen tegelijk:

- Omdat het vuur brandt, wordt de zuurstof in de lucht in het glas opgebruikt. Wanneer alle zuurstof in het glas opgebruikt is, dan kan de kaars zijn brandstof niet langer blijven oxideren. Daarom dooft het vuur uit. Er kan geen nieuwe zuurstof binnenkomen onderaan het glas, want het water zit in de weg.

- Omdat het vuur brandt, wordt de lucht in het glas steeds warmer. Warmere lucht neemt meer plaats in dan koudere lucht. De hoeveelheid lucht blijft hetzelfde, maar omdat warmere lucht meer energie heeft kan het als het ware harder van zich af duwen; Daardoor slaagt de warme lucht er in om steeds meer plaats in te nemen. We zeggen: lucht (gassen) zet uit als het warmer wordt. Op die manier wordt het waterlaagje verder naar beneden geduwd. Als de opwarming stopt (vuur gaat uit), dan stopt de lucht ook met uitzetten, en stopt het water in het glas met dalen.

#### Fase 4

**Nadat het vuur gedoofd is, zie je terug effect op het water. Leg uit.**

We zien:

- Het water begint terug te stijgen nadat het vuur uit is.

Uitleg:

- De warmere lucht was uitgezet in fase 3 en had het water naar beneden geduwd. Maar nu de vlam uit is, begint de lucht weer af te koelen. Daarom krimpt de lucht weer terug in. De lagere energie van afkoelende lucht zorgt ervoor dat de luchtdeeltjes niet meer zo hard om zich heen kunnen duwen. Daardoor neemt het water in het glas de plaats in die de afgekoelde lucht terug afgeeft. Het water stijgt dus.

#### Demonstratie: Besluit

- 1) Een deel van de lucht op Aarde bestaat uit zuurstofgas. Dit gas wordt door de kaarsvlam opgebruikt in een verbrandingsreactie. Wanneer de zuurstof is opgebruikt door het vuur, stopt het met branden. Dan blijft er in het glas een mengeling van gassen over zonder zuurstof, en met veel kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ).
- 2) Lucht zet uit (neemt meer plaats in) wanneer ze warmer wordt, en krimpt in (neemt minder plaats in) als ze kouder wordt.

## Andere gassen in onze atmosfeer

Minder dan 1% van de lucht op Aarde bevat andere gassen dan zuurstof en stikstof. Sommige daarvan zijn gassen die heel goed warmte-energie kunnen vasthouden, waardoor de planeet Aarde niet snel afkoelt. De vier belangrijkste broeikasgassen zijn:

### Koolstofdioxide CO<sub>2</sub>

- Dit is een gas dat we **uitademen** (na 'verbranding' of 'oxidatie' van voedingsstoffen in ons lichaam), net zoals alle andere dieren en veel microben. Ook planten hebben een ademhaling, en stoten CO<sub>2</sub> uit. Maar planten gaan een groot deel van die CO<sub>2</sub> zelf weer opnemen.
- Bij allerlei **verbrandingen** (vuur) op Aarde wordt – net zoals in het lichaam – CO<sub>2</sub> uitgestoten. Daarom zorgt het huidige motorverkeer en bedrijvigheid van fabrieken overal op Aarde voor steeds meer CO<sub>2</sub> in onze atmosfeer. Omdat CO<sub>2</sub> een broeikasgas is gaat het klimaat op Aarde hierdoor opwarmen: het broeikaseffect.
- CO<sub>2</sub> is zeer **giftig** als het teveel in de lucht zit (meer dan 1%).

### Waterdamp H<sub>2</sub>O

- Waterdamp is op Aarde overal, maar de lucht op Aarde kan **veel of weinig** waterdamp bevatten (**droge** of **vochtige** lucht). Dit is afhankelijk van de temperatuur en de plaats op Aarde : zie hoofdstuk over seizoenen: verschil tussen herfst en lente.
- Merk op dat waterdeeltjes bestaan uit 1 **zuurstof** atoom (O) en 2 **waterstof** atomen (H). Dit zijn elementen die erg veel voorkomen in het heelal, en overal in ons zonnestelsel terug te vinden zijn. Ook water zelf (H<sub>2</sub>O) vinden we op heel veel plaatsen buiten de Aarde, maar dan wel meestal bevroren (waterijs) of als gas (waterdamp), en zelden als vloeistof.

### Ozon O<sub>3</sub>

- Ozon vinden we in de aardse atmosfeer vrij gemakkelijk omdat het gevormd wanneer **zuurstofgas** getroffen wordt door zonnestrallen met voldoende energie. Zuurstofgas is er meer dan voldoende aanwezig : 21%. Ozon wordt meest van al gevormd **in een hogere luchtdruk** – rond 20-30 km hoogte. Daar is er immers meer zonnestraling met hoge energie.
- Ozon is een **broeikasgas**. Het slurpt heel wat **UV straling** van de zon op. Daardoor geraken de gevaarlijkste UV stralen niet tot op de oppervlakte van de Aarde. Gelukkig, want anders zouden wij veel sneller verbranden als we in de Zon lopen. Op Mars bijvoorbeeld vind je geen ozon (en is de lucht veel dunner). Op Mars meten we dan ook veel meer gevaarlijke UV straling dan op Aarde. Het meeste aardse leven zou om die reden snel doodgaan als je het op Mars zou leggen.

### Methaan CH<sub>4</sub>

- Dieren hebben in hun **darmen** bacteriën die methaangas maken. De meeste dieren die enkel planten eten (herbivoren), maken meer methaan in hun darmen. Ook in de grond en het water vinden we dergelijke bacteriën. Methaan komt dan ook veel voor op Aarde, en is bijna alleen aangemaakt door levende wezens. Vreemd genoeg wordt methaan ook wel op Mars gevonden. Wetenschappers weten nog niet waarom, maar het zou eventueel ook

daar door levende wezens kunnen gemaakt worden – door microben dan wel. In 2021 zal een Europese Marsrover – ExoMars – in de grond gaan boren in de hoop te ontdekken waar het methaan op Mars vandaan komt.

## Ademen op de Maan en op Mars

Zuurstofgas is dus levensnoodzakelijk voor ons, en dus ook voor astronauten. Dat is een **moeilijkheid** die we moeten overwinnen bij elke **ruimtereis**, want:

- Op de Maan is er geen lucht, dus zeker ook geen zuurstofgas.
- Op Mars is er een beetje lucht, maar deze lucht bestaat vooral uit CO<sub>2</sub>. Er is geen zuurstofgas in de Marsatmosfeer.
- In de lege ruimte - onderweg naar de Maan bijvoorbeeld – is er uiteraard ook geen lucht, net zoals op de Maan.

Er zijn twee mogelijke **oplossingen**:

- We kunnen **flessen met samengeperste zuurstof** meenemen op een ruimtereis. Maar deze flessen zijn zwaar, en je hebt er zeer veel nodig om alle astronauten altijd te laten ademen. Bovendien moet je er meer meehebben dan strikt noodzakelijk. Als er iets mis gaat met een zuurstoffles, dan moet je reserve hebben. Even zonder zuurstof, en je astronauten zijn dood.
- **Water** bestaat uit twee elementen: **waterstof en zuurstof**. Je kan het zuurstof er proberen uithalen. Op de Maan en op Mars kunnen we waterijs uit de grond halen. Als we dit water smelten en vervolgens opsplitsen in zuurstof en waterstof, dan kunnen onze astronauten die zuurstof ademen.

In het **Internationaal Ruimtestation (ISS)** waar vandaag astronauten wonen, gebruikt men vooral zuurstof uit meegebrachte flessen. Maar toch wordt ook al geoefend met het opsplitsen van water. Laat ons dit zelf ook eens proberen !



## Klasexperiment

### Zuurstof maken uit water

#### Klasexperiment: Samenvatting

We leren hoe we de samenstellende stoffen van water – zuurstof en waterstof – kunnen uit vloeibaar water halen, en wat we dan met die stoffen kunnen doen.

#### Klasexperiment: Opstelling

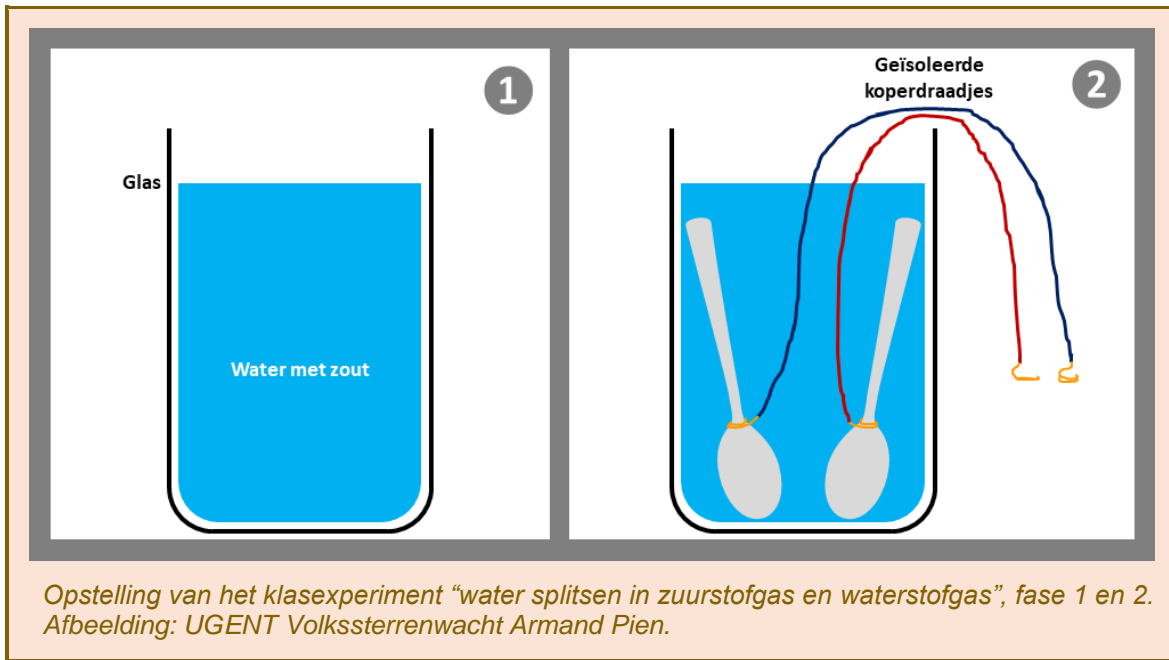
##### Materialen:

- Twee kleine koffielepeltjes
- Twee proefbuisjes die passen over de steel van de lepeltjes
- Markeerstift (om op de proefbuisjes te schrijven)
- Een batterij van 9 Volt
- Een breed, hoog doorzichtig glas – hoger dan de lengte van de lepeltjes
- Water en zout
- Metalen geïsoleerde draadjes (ijzer of koper) om de batterij te verbinden met de lepeltjes

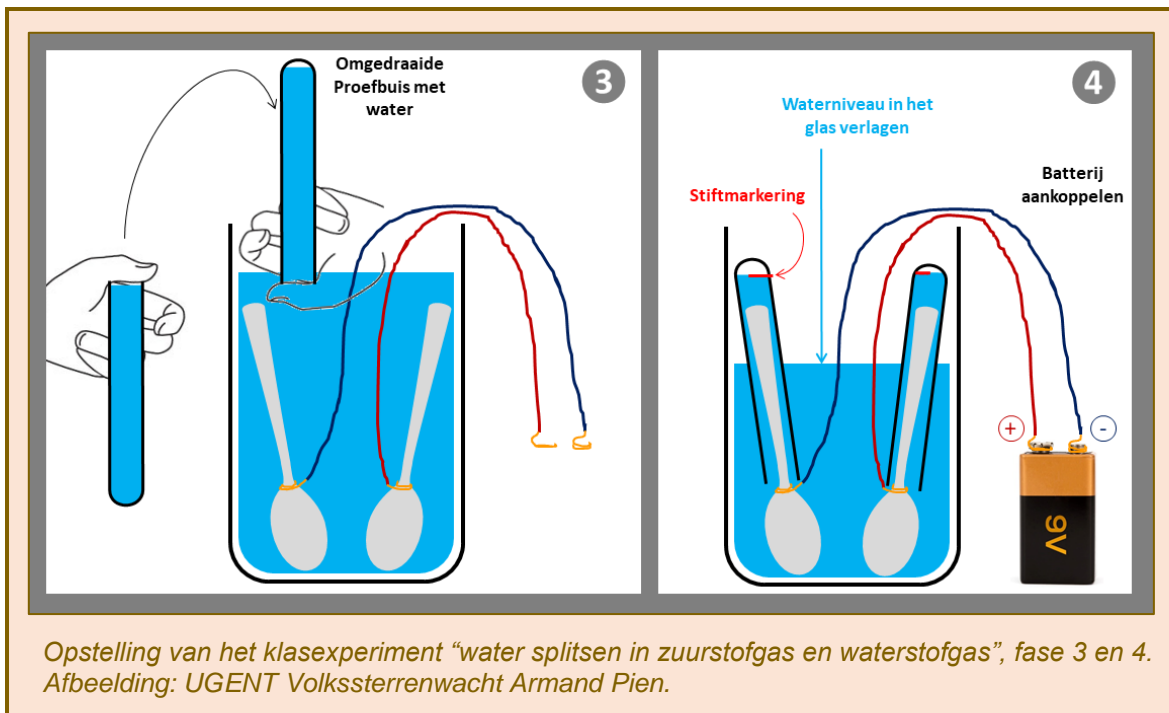


##### Opstelling:

- 1) Neem een breed, hoog glas. Doe er water in tot aan de rand van het glas en voeg een beetje zout toe. Goed roeren totdat het zout opgelost is. Het glas moet iets hoger zijn dan een lepeltje.
- 2) Zet twee lepeltjes rechtop in het glas. Aan de hals van het lepeltje bevestig je een elektrische geleidende draad (koper of ijzer) met isolatie. Zorg dat het koper of ijzer goed genoeg raakt aan het metaal van elk lepeltje. Beide draadjes moeten lang genoeg zijn om over de rand van het glas tot op de tafel te hangen (ze zullen in fase 4 aan de batterij gekoppeld worden).



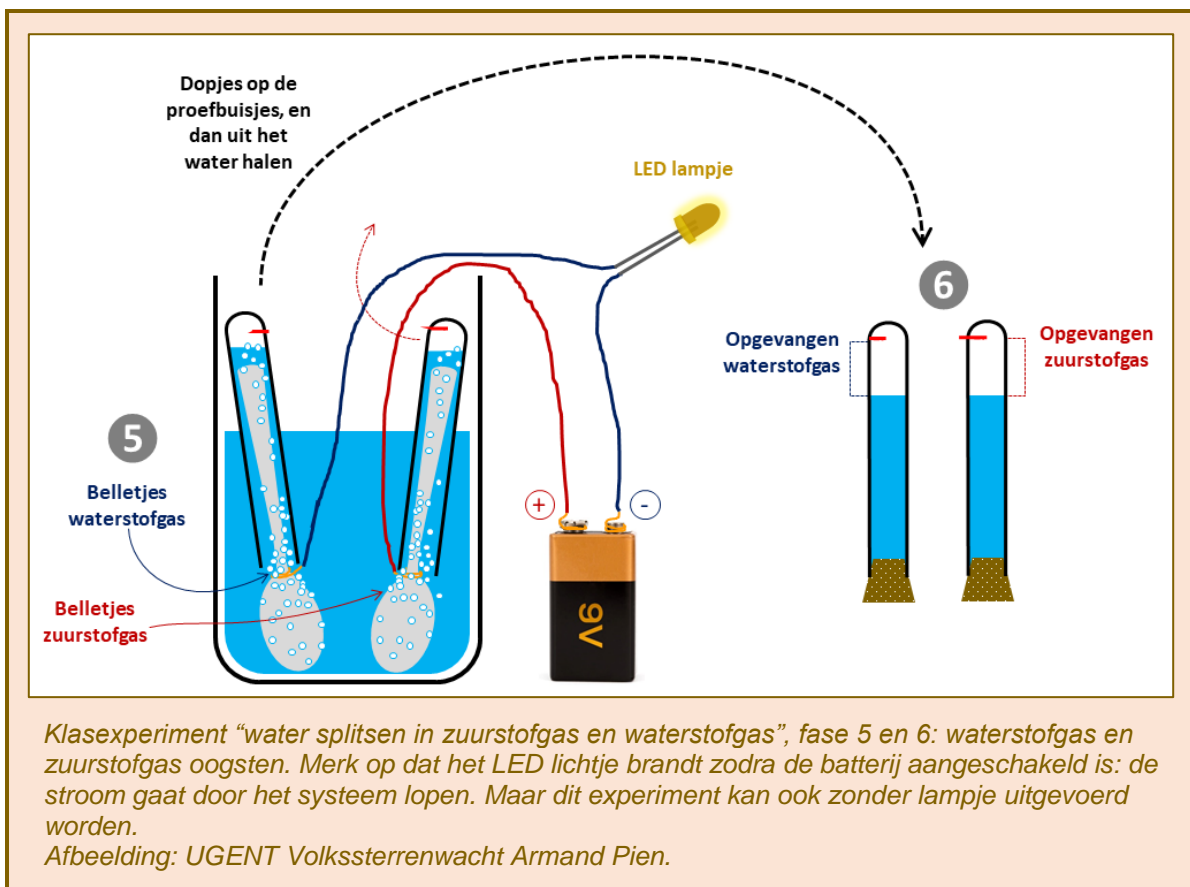
- 3) Vul een proefbuisje met water tot aan de rand. Zet je duim erop om af te sluiten, en draai het proefbuisje met water om. Duw het zo in het glas met water tot juist boven een lepeltje. Laat nu je duim los, en zet het volle proefbuisje omgekeerd over het lepeltje. Herhaal dit met het tweede proefbuisje en tweede lepeltje.
- 4) Zet een maatstreepje op de proefbuis om aan te duiden waar het waterniveau staat in het begin van de proef. Je kan nu ook een beetje water weghalen uit het glas (wegzuigen met een spuitje of hevel), zodat de proefbuisjes niet de neiging krijgen om omhoog te drijven wanneer er meer gas in terecht komt. Koppel dan de batterij aan de beide koperdraadjes, zodat de elektrische stroom begint te lopen.



Tip: Je kan een klein lampje tussen de batterij en één van de draadjes zetten, zodat het lichtje aan gaat wanneer de stroom begint te lopen. Zo zien de leerlingen effectief dat er elektrische stroom door het systeem loopt.

### Klasexperiment: Resultaten bekijken

- 5) Zodra de batterij aangekoppeld is, begint een lichte stroom te lopen in de hele kring. We zien aan beide lepeltjes luchtbelletjes ontstaan. Dat komt omdat het water splitst in zuurstofgas (aan de positieve pool) en waterstofgas (aan de negatieve pool). De omgekeerde proefbuisjes vangen deze gassen op, en dus zien we de hoeveelheid gas bovenaan de proefbuis groter worden.
- 6) Wanneer we veel gas verzameld hebben in beide proefbuizen, gaan we onder water een dopje erop zetten. We halen dan beide proefbuisjes uit het water, en de dop blijft er op.



### Hoe kunnen we nu controleren of we effectief zuurstofgas en waterstofgas uit water gehaald hebben?

Hou de proefbuisjes rechtop. Het water zit dan onderaan in het buisjes en het opgevangen gas bovenaan. De dop blijft er stevig op, totdat we de testen hieronder uitvoeren.

## Zuurstofgas

Herinner u dat vuur altijd brandstof en zuurstof nodig heeft om te blijven branden. Als er in ons buisje zuiver zuurstofgas zit, dan zouden we dat moeten zien aan het vuur.

Experiment:

- De leerkracht steekt een lucifer aan of houdt de top van een houten staafje in een vlam.
- Zodra de lucifer uit gaat maar nog nagloeit, houden we het gloeiende houtje tegen de opening van de proefbuis, en we trekken het dopje er af.
- Wanneer de gloeiende lucifer in het zuurstofgas komt zien we het even harder oplichten. Dit gebeurt omdat er in ons proefbuisje veel meer zuurstof zit dan in de lucht rondom ons. Het vuur (gloeit) gaat dus even harder branden.

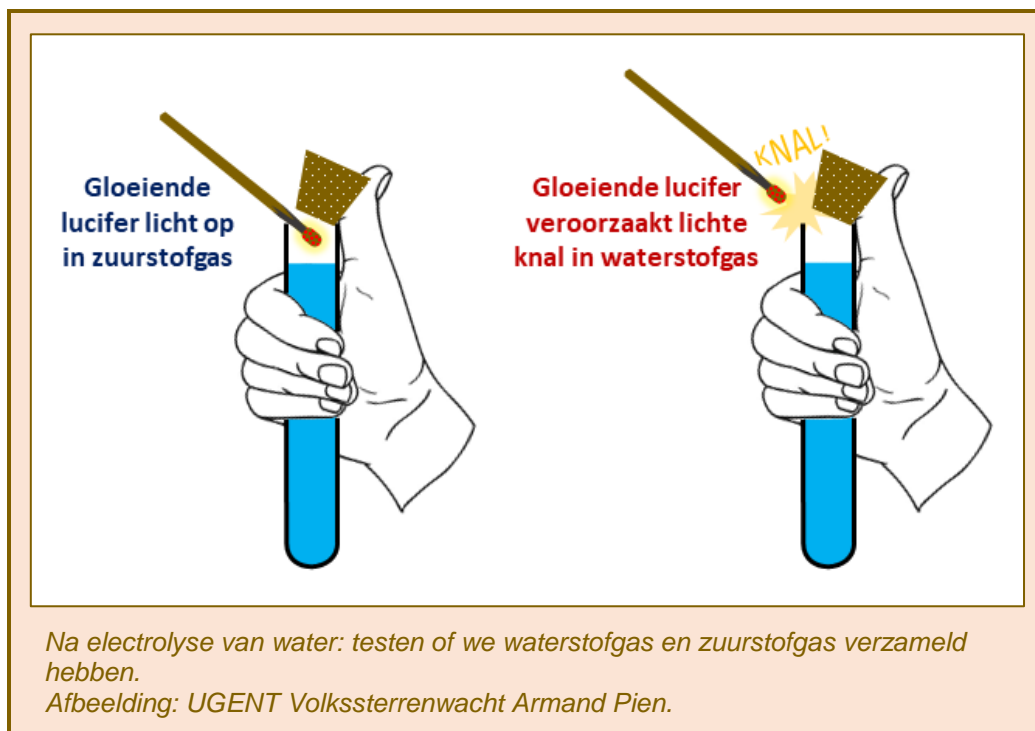
## Waterstofgas

Experiment:

- De leerkracht steekt een lucifer aan.
- We halen het dopje van de proefbuis, en houden onmiddellijk de vlam tegen de opening. Kinderen blijven hierbij veilig uit de buurt.
- Waterstofgas is een brandstof die snel gaat branden als er een aansteekvlam en zuurstofhoudende lucht in de buurt is. Zo snel, dat het eigenlijk een knal maakt. Waterstofgas wordt daarom ook knalgas genoemd. Omdat we hier maar een klein beetje waterstofgas hebben geoogst, zal het ook maar een klein knalletje geven.

Het opgloeiende houtje bewijst dat we in het ene buisje zuurstofgas hadden. Het knalletje bewijst dat we in het andere buisje waterstofgas hadden.

Beide gassen kunnen op de Maan of op Mars nuttig gebruikt worden door astronauten !

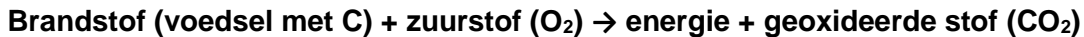


## Van waar komt de zuurstof op Aarde?

### Dieren verbruiken zuurstof door te ademen

Hierboven hebben we gezien dat wij zuurstof ademen om ons opgegeten voedsel te 'verbranden' (oxideren met zuurstof). Op die manier kan ons lichaam heel veel energie opslaan, en gebruiken voor de werking van alle lichaamsdelen en organen.

Herinner je dat we heel dat proces kunnen samenvatten in een eenvoudige reactie:



Bijna alle leven dat je tegenkomt op Aarde – van het allerkleinste tot het allergrootste – doet op die manier aan ademhaling en voedselvertering.

De zuurstof in onze lucht (O<sub>2</sub>) wordt dus voortdurend verbruikt. Waarom geraakt de zuurstof op Aarde dan niet op? En waar moet al die CO<sub>2</sub> naartoe die uitgedemd wordt?

Sinds de mensen met heel veel zijn op Aarde komt daar ook nog eens bij dat er enorm veel verbrand wordt. Het verbruik van zuurstof en de uitstoot van CO<sub>2</sub> is dus in de laatste 150 jaar heel erg vermeerderd !

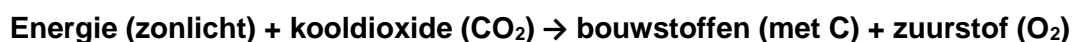
### Planten maken zuurstof: fotosynthese

De planten (en ook ééncellig plantaardig leven) zorgen ervoor dat het zuurstofgas in onze atmosfeer voortdurend weer aangevuld wordt. Planten gaan weliswaar ook ademhalen en dus zuurstof verbruiken zoals ons. Maar overdag als er zonlicht is, dan gaan ze veel meer zuurstof produceren. Ze doen dit met een proces dat "fotosynthese" heet.

Planten kunnen niet eten zoals dieren. Hun 'voedsel' halen ze vooral uit de lucht.

Fotosynthese betekent letterlijk: iets aanmaken ('synthese') met behulp van licht ('foto'). Planten kunnen hun eigen lichaam opbouwen door CO<sub>2</sub> uit de lucht te gebruiken als voedsel en zonlicht te gebruiken als energie. Energie hebben ze nodig omdat ze de reactie hierboven (ademhaling en voedselverbranding) exact omgekeerd uitvoeren. Bij de reactie hierboven kwam energie vrij die door ons lichaam wordt gebruikt. Als je de reactie wilt omgekeerd uitvoeren zoals planten doen, moet je dus energie toevoegen.

De fotosynthese kan dus als volgt samengevat worden:



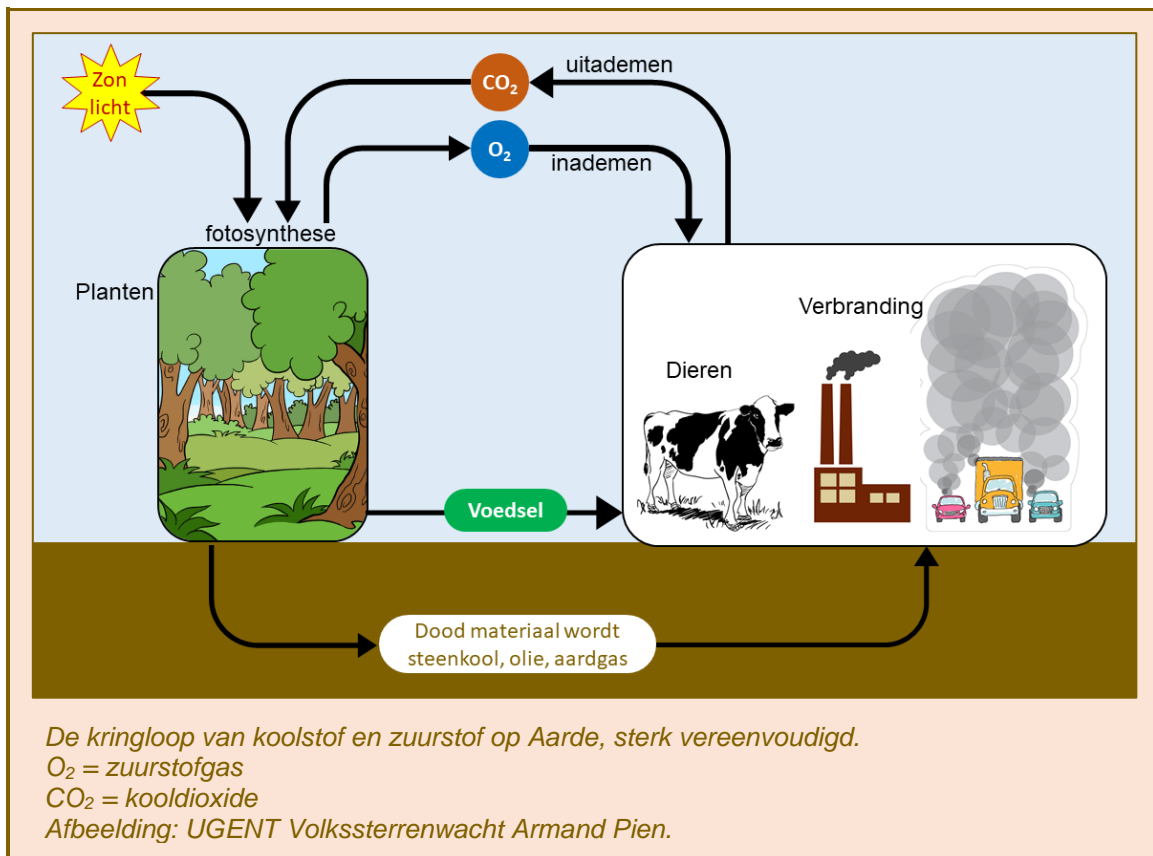
De kooldioxide halen planten dus gewoon uit de lucht. En met 'bouwstoffen' bedoelen we alle stoffen waaruit het plantenlichaam is opgebouwd. Deze bouwstoffen bevatten erg veel koolstof, maar ook een beetje andere stoffen die de planten met hun wortels uit de grond halen.

### De cyclus van koolstof en zuurstof op Aarde

Deze bouwstoffen van planten vormen dus ons voedsel: de plantenlichamen zelf. En de zuurstof die gevormd wordt bij fotosynthese, hebben de planten zelf niet nodig. Ze laten het

gevormde zuurstofgas gewoon los in de lucht. Daardoor is er voortdurend 21% zuurstof in onze atmosfeer. We hebben dat VOLLEDIG te danken aan alle planten op Aarde.

Je kan het hele verhaal samenvatten in 1 schema zoals hieronder. Let wel op, de werkelijkheid is veel en veel ingewikkelder. Maar als je onderstaande tekening al begrijpt, dan weet je toch wel het belangrijkste over zuurstofgas en CO<sub>2</sub> in onze atmosfeer, en dan begrijp je dat de atmosfeer op Aarde geen zuurstofgas zou bevatten als er geen plantaardig leven was.



### De kringloop van koolstof en zuurstof tijdens ruimtereizen

Tijdens een ruimtereis kunnen we – net als op Aarde – de **kringloop van zuurstof, kooldioxide en voedsel** proberen nabootsen in ons ruimteschip. Met andere woorden: als we planten meenemen, en die laten groeien in een kweekbak in het ruimteschip, dan zouden we daar zuurstof en voedsel kunnen van krijgen. Tijdens het groeien gaan de planten bovendien ook de kooldioxide (CO<sub>2</sub>) opgebruiken die de astronauten hebben uitgeademd.

De Europese ruimtevaartorganisatie ESA probeert al meer dan 30 jaar zulk een gesloten systeem te maken om mee te nemen in het ruimteschip. Het systeem heeft de naam **MELISSA**, en er werken wetenschappers aan over heel de wereld. De werkelijkheid is weliswaar veel ingewikkelder dan de eenvoudige schema in deze cursus. Na al die jaren is men er nog steeds niet in geslaagd om MELISSA echt in de ruimte te gebruiken om de astronauten te voorzien van voedsel en zuurstof.



## 8 Zwaartekracht

### Wat doet zwaartekracht precies?

Zwaartekracht zorgt ervoor dat voorwerpen op Aarde naar beneden vallen. Dat lijkt simpel. Maar toch heeft het lang geduurd voordat mensen echt begonnen begrijpen wat zwaartekracht is en wat het precies doet. Onderstaande demonstratie laat al zien wat ons in verwarring brengt.

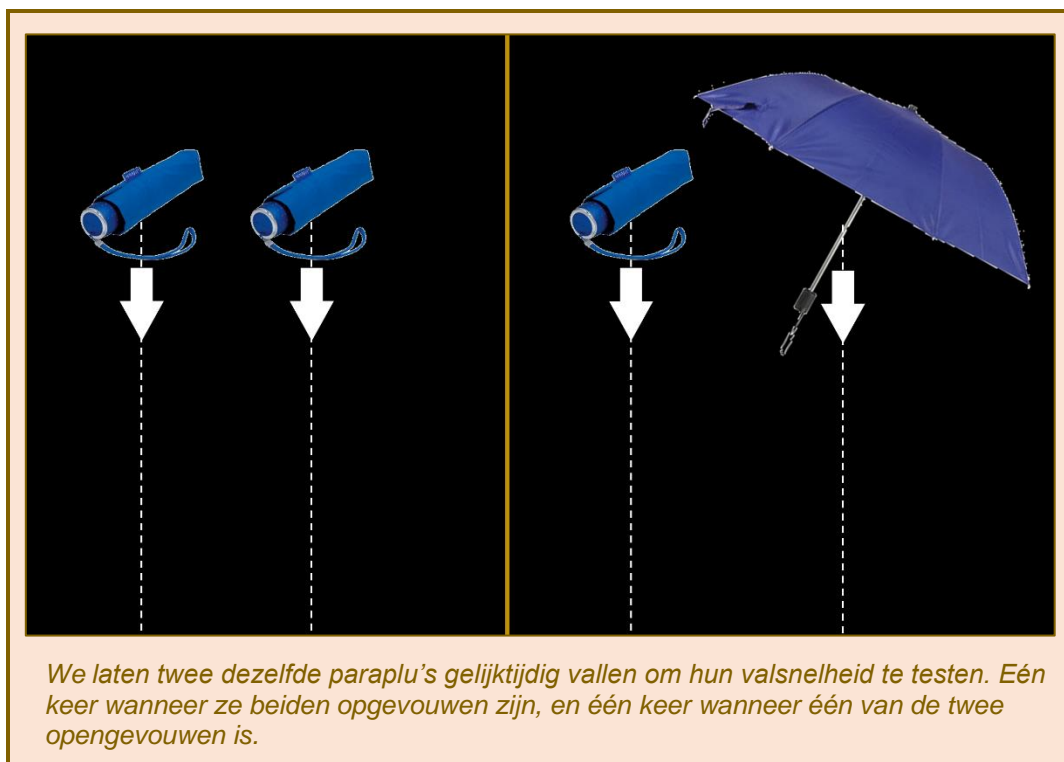
#### Demonstratie zwaartekracht op Aarde

- Neem twee gelijke opgevouwen paraplu's. Aangezien ze gelijk zijn, weten we ook dat ze even zwaar wegen.
- We houden beide paraplu's opgevouwen in voor ons uit in onze handen.
- We laten beide paraplu's tegelijk los, zodat ze recht naar beneden vallen. Wat zien we?

**Beide paraplu's vallen even snel op de grond.**

- Nu gaan we 1 van de 2 paraplu's openvouwen, en de andere blijft dicht gevouwen.
- en we laten ze opnieuw tegelijk los, recht naar beneden. Wat stellen we vast?

**De opgevouwen paraplu valt veel sneller naar beneden. De open paraplu valt trager.**



#### Verklaring:

Rond de Aarde ligt een dikke luchtlaag. De paraplu's vallen dus niet in de leegte. Ze moeten door de lucht heen vallen. Ze botsen hierbij op de vele luchtdeeltjes.

Als een paraplu een veel groter oppervlak heeft (opengevouwen), dan botst deze tijdens de val tegen veel meer luchtdeeltjes. Dit remt de val af. Net zoals je voelt wanneer je door water probeert te lopen. Dan wordt je ook afgeremd door het water. Water kunnen zien met ons ogen en lucht niet, maar ze hebben allebei een afremmend effect als je erdoor probeert te bewegen.

### BESLUIT:

Wanneer voorwerpen vallen op Aarde, dan speelt de lucht hierbij een grote rol. De vorm en de grootte van het voorwerp bepalen voor een belangrijk deel hoe ze gaan vallen.

### Wat als er geen lucht is?

Er zijn planeten en manen waar totaal geen lucht op aanwezig is. Zulke manen en planeten hebben natuurlijk wel zwaartekracht (weliswaar niet evenveel als op Aarde). Wat gebeurt er als we het paraplu-experiment zouden uitvoeren op de Maan?

Online staat een filmpje waarin Amerikaanse astronauten een pluim van een valk en een hamer hebben meegebracht op hun reis naar de Maan. Ze laten beide voorwerpen op de Maan vallen, waar geen lucht is. Dan kan je zien dat beide voorwerpen precies even snel vallen. Het pluimpje (30 gram) heeft nochtans veel minder massa dan de metalen hamer (1.320 gram).

- Zoek de video (enkele minuten) met volgende trefwoorden: Apollo 15 moonwalk – astronaut david scott – Galileo experiment
- Laat de kinderen kijken naar de video en bespreek de effecten van zwaartekracht wanneer er geen lucht is.



### BESLUIT:

**Zwaartekracht doet ALLE voorwerpen even veel versnellen naar het middelpunt van de planeet.**

Zware, lichte, kleine of grote voorwerpen vallen dus allemaal even snel! Onze alledaagse ervaring op Aarde is anders omdat wij altijd omgeven zijn door een grote hoeveelheid lucht, waar vallende voorwerpen door afgeremd worden. In de dagelijkse taal zeggen wij “naar

beneden” in plaats van “naar het middelpunt van de planeet”, maar er is geen verschil tussen beide.

Bovenstaand besluit moeten we goed onthouden, want we hebben het straks nog nodig.

## Gewicht, massa en gewichtloosheid

### Wat is gewicht?

Nu we weten dat zwaartekracht alle voorwerpen even snel doet vallen in de richting van de planeet, gaan we een gedachte-experiment uitvoeren met de kinderen. Op die manier kunnen we via klasgesprek leren wat gewicht, massa, en gewichtloosheid precies zijn.

### Gedachten experiment

#### STAP 1: een weegschaal op Aarde

Toon beeld nummer 1 aan de groep (zie hieronder). We zien hoe Donald Trump op een weegschaal staat op Aarde. Nu gaan we proberen om wetenschappelijk correct uit te drukken wat er precies gebeurt op deze afbeelding.

Gebruik de vraag-en-antwoordlijst hieronder om via klasgesprek tot een besluit te komen met de kinderen. Je zal bepaalde antwoorden zelf moeten aangeven, maar je kan eerst de kinderen vragen naar hun eigen antwoorden.



	Vraag	Antwoord
<b>Beeld nr 1</b> Donald Trump staat op een weegschaal op Aarde.	Welke voorwerpen staan hier op Aarde?	Een weegschaal en een mens.
	Is er zwaartekracht?	Ja de voorwerpen bevinden zich in de zwaartekracht van de Aarde.
	Wat doet zwaartekracht precies?	Zwaartekracht doet alle voorwerpen even veel versnellen naar het middelpunt van de Aarde (zie hoger bij: “Wat doet zwaartekracht precies?”).
	Als de weegschaal en de mens aan het versnellen zijn naar het middelpunt van de Aarde, waarom zien we ze dan niet bewegen?	Ze worden helemaal afgeremd door de stevige grond, maar eigenlijk zijn ze aan het versnellen naar het middelpunt van de Aarde.

<p>Wat 'voelt' de weegschaal als Donald Trump aan het versnellen is naar beneden, en daarbij afgeremd wordt?</p>	<p>Er zal een duwende kracht zijn op de weegschaal vanwege de neiging van Donald Trump om naar beneden te vallen. Er is dus wel een duwende kracht op de weegschaal (valbeweging door zwaartekracht), maar er is geen beweging mogelijk (de grond remt de valbeweging volledig af).</p>
<p>Hoe zou je die duwende kracht noemen die de weegschaal 'voelt'.</p>	<p>Die kracht noemen we GEWICHT.</p>

**STAP 2: vrije val**

Toon beeld nummer 2 aan de groep (zie hieronder). We zien hoe Donald Trump en de weegschaal samen van uit de ruimte (dus boven de atmosfeer) naar de Aarde vallen. Gebruik de vraag-en-antwoordlijst hieronder om via klasgesprek tot een besluit te komen met de kinderen. Je zal bepaalde antwoorden zelf moeten aangeven, maar je kan eerst de kinderen vragen naar hun eigen antwoorden.



	<b>Vraag</b>	<b>Antwoord</b>
<p><b>Beeld nr 2</b> Donald Trump en de weegschaal vallen naar de Aarde.</p>	<p>Hoe komt het dat Donald Trump en de weegschaal aan het vallen zijn?</p>	<p>Omdat ze zich in de zwaartekracht van de Aarde bevinden. Ze staan niet meer op de grond die ze kan afremmen.</p>
	<p>Wat weet je over hun snelheid?</p>	<p>Donald Trump en de weegschaal vallen met precies dezelfde snelheid naar beneden. De zwaartekracht doet namelijk alle voorwerpen precies even veel versnellen (als er geen lucht is).</p>
	<p>Kan Donald Trump nog een duwende kracht uitoefenen op de weegschaal als beiden even snel aan het vallen zijn?</p>	<p>Nee, want die duwende kracht ontstaat alleen maar wanneer ze in hun val worden afgeremd. Als ze volledig in vrije val zijn, dan kan het ene voorwerp niet meer op het andere duwen.</p>
	<p>Wat kan je dan zeggen over Donald Trump zijn GEWICHT?</p>	<p>Aangezien hij niet meer kan 'duwen' tegen de weegschaal, is er helemaal geen duwende kracht meer. Donald Trump is gewichtloos. De weegschaal zelf is</p>

	trouwens ook gewichtloos, want die is ook in vrije val.
Waar is dan die 100 kg lichaamsmassa naartoe?	Trump heeft nog steeds 100 kg lichaamsmassa, maar hij kan dit niet meer laten duwen tegen een ander voorwerp, omdat alles rond hem even snel beweegt als hemzelf.
Begrijp je nu al het verschil tussen gewicht en massa?	In het geval van Donald Trump is zijn GEWICHT de kracht waarmee hij tegen andere voorwerpen duwt wanneer die andere voorwerpen hem afremmen in zijn val. Zijn MASSA is zijn "hoeveelheid lichaam".

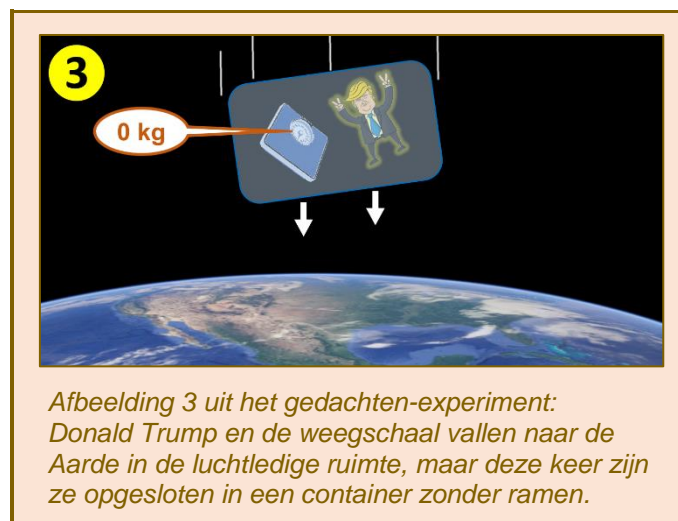
In het voorbeeld hierboven zal Trump zijn lichaams-MASSA niet veranderen wanneer hij in vrije val is. Zijn 'hoeveelheid lichaam' blijft altijd dezelfde, tenzij hij op dieet zou gaan en vermageren.

Zijn GEWICHT kan wel veranderen. Wanneer hij gewoon op de Aarde staat heeft hij een gewicht die op de weegschaal wordt aangeduid als 100 kg. Dat is de kracht waarmee hij tegen een weegschaal duwt omdat hij eigenlijk versneld wordt naar het midden van de Aarde (maar afgeremd door de grond). Maar als hij in vrije val is, dan kan hij niet meer duwen tegen de weegschaal. Hij is dan gewichtloos, en de weegschaal blijft dus op 0 kg staan.

**STAP 3: vrije val in een gesloten doos**

Toon beeld nummer 3 aan de groep (zie hieronder). We zien hoe Donald Trump en de weegschaal samen van uit de ruimte (dus boven de atmosfeer) naar de Aarde vallen, maar deze keer omgeven door een volledig gesloten container. Er zijn geen ramen in de container, dus Trump kan niet zien dat hij aan het vallen is.

Gebruik de vraag-en-antwoordlijst hieronder om via klasgesprek tot een besluit te komen met de kinderen. Je zal bepaalde antwoorden zelf moeten aangeven, maar je kan eerst de kinderen vragen naar hun eigen antwoorden.



	Vraag	Antwoord
<b>Beeld nr 3</b> Donald Trump en de weegschaal vallen naar de Aarde in een container zonder ramen.	Wat is het verschil tussen afbeelding 2 en afbeelding 3?	In beide afbeeldingen zijn de weegschaal en de mens in vrije val, en zijn ze dus beiden gewichtloos. Maar in afbeelding 3 kan Trump niet zien dat hij aan het vallen is, want hij zit in een gesloten container die ook mee aan het vallen is.
	Hoe ziet de situatie er voor Donald Trump uit?	Hij ziet niet dat hij aan het vallen is. Hijzelf en de weegschaal lijken rond te zweven in de container. In werkelijkheid zijn ze gewoon even snel aan het vallen als de container zelf. Je zou kunnen zeggen dat de grond onder hun voeten (de containervloer) even snel naar beneden valt als zichzelf. Zo lijkt het binnen in de container dus alsof ze niet meer naar beneden kunnen vallen.
	Bestaat dit soort situatie echt?	Ja, de astronauten die in het ISS wonen zijn ook aan het vallen rond de Aarde. Heel het ISS en alle voorwerpen daarbinnen (ook de astronauten) zijn samen in vrije val. De astronauten hebben het gevoel dat ze zweven.

Zoek een filmpje online waarin ISS astronauten aan het zweven zijn. Je ziet hier dezelfde situatie als de afbeelding nr. 3 met Donald Trump. Het enige verschil is dat we Donald Trump met zijn container recht naar de Aarde laten vallen (alleen verticaal, zonder horizontale snelheid), terwijl het ISS altijd net voorbij de Aarde valt vanwege zijn horizontale snelheid. Dit principe wordt uitvoerig uitgelegd in hoofdstuk 4: “ontsnappen van de Aarde”.

#### STAP 4: Gewichtloos in de lege ruimte

Toon beeld nummer 4 aan de groep (zie hieronder). We zien hoe Donald Trump en de weegschaal samen diep in een leeg deel van de ruimte gestuurd worden, ver van alle planeten, manen en sterren.

Gebruik de vraag-en-antwoordlijst hieronder om via klasgesprek tot een besluit te komen met de kinderen. Je zal bepaalde antwoorden zelf moeten aangeven, maar je kan eerst de kinderen vragen naar hun eigen antwoorden.





	Vraag	Antwoord
<b>Beeld nr 4</b> Donald Trump en de weegschaal in de diepe lege ruimte.	Is er hier nog zwaartekracht?	Nee, want er is geen enkele planeet, maan of ster in de buurt. Zwaartekracht kennen we van grote (zware!) objecten zoals planeten. Als die niet in buurt zijn, dan is er zo goed als geen zwaartekracht.***
	Hoe ziet de situatie er voor Donald Trump uit?	Hijzelf en de weegschaal zweven rond in het ruimteschip. Deze keer zijn ze gewichtloos omdat er geen zwaartekracht in de buurt is. Ze vallen dus ook niet meer in één of andere richting.
	Kan Donald Trump het verschil voelen met afbeelding 3?	Nee. Als je gewichtloos bent omdat je in vrije val naar een planeet valt (afbeelding 3), dan is er wel zwaartekracht, maar je voelt het niet. Als je gewichtloos bent omdat er geen zwaartekracht in je omgeving is (afbeelding 4), dan voel je natuurlijk ook niets. In beide gevallen zweef je gewoon rond. In beide gevallen is er geen 'onder' en 'boven' meer.

\*\*\* Kleine objecten hebben ook zwaartekracht. Maar die kracht is zo enorm klein dat wij daar als mens niets van merken. We houden geen rekening hiermee om het eenvoudig en begrijpelijk te houden.

## BESLUIT

"Gewicht" kan alleen maar bestaan :

- Als er zwaartekracht is (in de buurt van een planeet, maan, ster)
- Als een voorwerp afgeremd wordt terwijl het naar de planeet aan het vallen is.

Je kan dus op twee manieren gewichtloos zijn:

- MET zwaartekracht: door in vrije val te zijn zonder afremming (dus in luchtledig).
- ZONDER zwaartekracht ben je altijd gewichtloos, want 'gewicht' kan alleen maar bestaan als er zwaartekracht is.

## Rekenen met gewicht en massa

Laten we nog even herhalen wat de woorden gewicht en massa nu juist betekenen.

### MASSA

- Is de hoeveelheid 'materie' dat in een voorwerp zit. Bijvoorbeeld: jouw massa wordt bepaald door je 'hoeveelheid lichaam' die je hebt.
- Verandert niet als je op andere planeten bent of in de ruimte.

### GEWICHT

- Is de duwende kracht die een voorwerp in de richting van de planeet uitoefent wanneer het op de grond staat of wanneer het afgeremd wordt bij een val.
- Is afhankelijk van de zwaartekracht waar je bent
- Is ook afhankelijk van het afgeremd worden wanneer je in de richting van de planeet beweegt.

Gewicht verandert dus met de zwaartekracht, dus je gewicht zal anders zijn op andere planeten. Als je zegt "ik weeg 50 kg", dan bedoel je "ik weeg 50 kg als ik op het oppervlakte van de Aarde sta". Je kan gemakkelijk je gewicht berekenen op andere planeten en manen. Laat de leerlingen de klasoefening op de volgende pagina uitvoeren.

## KLASOEFENING

### Rekenen met gewicht en massa

#### Klasoefening : Samenvatting

De leerlingen gaan hun eigen massa en gewicht berekenen op de Maan en op andere planeten. Ze leren begrijpen dat alle voorwerpen op de Maan minder wegen dan op Aarde, en dat ze zelf gemakkelijk het gewicht van alles op de Maan kunnen uitrekenen.

#### Klasoefening: Voorbereiding door de leraar

##### Materiaal:

- Een weegschaal voor mensen, of beter nog: meerdere weegschalen om wachtrijen te voorkomen.
- Een keukenweegschaal.
- Gesloten doosjes met zand en een pak suiker van 1 kg (zie hieronder).

##### Maak vooraf een serie van 3 dezelfde gesloten doosjes:

- Elk doosje moet volledig gesloten zijn, zodat de leerlingen niet zien wat er in zit.
- De doosjes moeten licht zijn (zodat het gewicht van de verpakking weinig invloed heeft).
- Vul doos 1 met 1 kg zand, en schrijf op de buitenkant "AARDE".
- Vul doos 2 met 160 gram zand, en schrijf op de buitenkant "MAAN".
- Vul doos 3 met 380 gram zand, en schrijf op de buitenkant "MARS".
- Zet naast de drie doosjes een pak suiker van 1 kg ter illustratie.

#### Klasoefening: Inleiding

Verzamel alle leerlingen rond een tafel waarop de pak suiker en de drie gesloten doosjes staan. Geef de pak suiker door, zodat iedereen eens kan voelen hoe zwaar dat het is.

##### Klasgesprek:

- Hoeveel weegt deze pak suiker? 1 kilogram of 1000 gram.
- Wat is dan de massa van dit pak suiker? De massa is 1 kilogram of 1000 gram.
- En het gewicht van de pak suiker? Het gewicht is ook 1 kilogram of 1000 gram, want de pak suiker staat op het oppervlak van de Aarde (zie hierboven).
- Zou de massa van dit pak op de Maan even veel zijn? Ja want de massa is niet afhankelijk van de zwaartekracht (op de Maan is er minder zwaartekracht dan de Aarde omdat de Maan zelf lichter is dan de Aarde).
- Zou het gewicht ook hetzelfde zijn? Nee, want het gewicht is wel afhankelijk van de zwaartekracht. Het gewicht van het pak suiker is op de Maan minder dan op Aarde.

Laat de leerlingen vervolgens eens voelen aan de gesloten doosjes met aangepaste gewichten. De doosjes laten hen voelen hoe zwaar het pak suiker zou zijn als het op de Maan, op Aarde of op Mars zou staan. Je kan hen al vertellen wat de verhoudingen zijn:

- 1 kg suiker op de Aarde heeft een gewicht van 1000 gram (100% = alles x 1).
- 1 kg suiker op de Maan heeft een gewicht van 160 gram (16% = alles x 16 / 100). Dit is ongeveer 1/6 van het gewicht op Aarde.
- 1 kg suiker op Mars heeft een gewicht van 380 gram (38% = alles x 38 / 100).

**Nota voor de leraar:**

*In de wetenschap wordt gewicht niet uitgedrukt in gram of kilogram. Deze eenheden worden enkel gebruikt voor massa's. Gewicht is een kracht en wordt eigenlijk uitgedrukt in Newton. Als je een massa hebt van bijvoorbeeld 60 kilogram, dan is het gewicht op het aardoppervlak:  $60 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 588,6 \text{ Newton}$ . "Newton" (N) is een eenheid van kracht. Maar dit laten we weg voor de les met leerlingen van lager onderwijs.*

**Besluit**

Je kan op de Maan voorwerpen gemakkelijker opheffen dan op Aarde. Hun massa blijft altijd even groot, maar omdat er minder zwaartekracht is, wordt die massa minder hard naar beneden getrokken. Het gewicht is dus kleiner.

**Klasoefening: zelf rekenen**

Alle leerlingen kunnen nu hun eigen gewicht gaan berekenen op verschillende planeten en de Maan. Vraag hen om op de weegschaal te staan, en te noteren hoeveel ze wegen (op Aarde). Vervolgens kan elke leerling individueel aan de slag om onderstaande tabel in te vullen:

Welk voorwerp?	Op...	Hoeveel zwaartekracht is daar? ... % van de Aarde	Welke massa heeft je voorwerp	Omrekening gewicht	Uitkomst gewicht
<b>1</b> Jezelf (je lichaam dus)	Aarde	100 %		x1	
	De Maan	16 %		/6	
	Mercurius	38 %		/5 x2	
	Venus	91 %		/10 x9	
	Mars	38 %		/5 x2	
	Jupiter	236 %		/2 x5	
	Saturnus	106 %		/7 x8	
	Uranus	89 %		/11 x12	
	Neptunus	113 %		/5 x7	
	De Zon	2.707 %		x30	
<b>2</b> ..... (voorwerp naar keuze)	Aarde	100 %		x1	
	De Maan	16 %		/6	
	Mercurius	38 %		/5 x2	
	Venus	91 %		/10 x9	
	Mars	38 %		/5 x2	
	Jupiter	236 %		/2 x5	
	Saturnus	106 %		/7 x8	
	Uranus	89 %		/11 x12	
	Neptunus	113 %		/5 x7	
	De Zon	2.707 %		x30	

Nadat de leerlingen zichzelf gewogen hebben en hun gewicht uitgerekend hebben op alle planeten, Zon en Maan, kunnen ze een zelf gekozen voorwerp uit de klas wegen. Vervolgens gaan ze het gewicht van dat voorwerp ook omrekenen per planeet. Let op dat

### Voorbeeld van ingevulde tabel

Ter ondersteuning van de leraar hier een voorbeeld van een correct ingevulde tabel:

Welk voorwerp?	Op...	Hoeveel zwaartekracht is daar? ... % van de Aarde	Welke massa heeft je voorwerp	Omrekening gewicht	Uitkomst gewicht
<b>1</b> Jezelf (je lichaam dus)	Aarde	100 %	35 kg	x1	35 kg
	De Maan	16 %	35 kg	/6	5,8 kg
	Mercurius	38 %	35 kg	/5 x2	14 kg
	Venus	91 %	35 kg	/10 x9	31,5 kg
	Mars	38 %	35 kg	/5 x2	14 kg
	Jupiter	236 %	35 kg	/2 x5	87,5 kg
	Saturnus	106 %	35 kg	/7 x8	40 kg
	Uranus	89 %	35 kg	/11 x12	38,2 kg
	Neptunus	113 %	35 kg	/5 x7	49 kg
	De Zon	2.707 %	35 kg	x30	1.050 kg
<b>2</b> Mijn doos met lunch (voorwerp naar keuze)	Aarde	100 %	400 g	x1	400 g
	De Maan	16 %	400 g	/6	67 g
	Mercurius	38 %	400 g	/5 x2	160 g
	Venus	91 %	400 g	/10 x9	360 g
	Mars	38 %	400 g	/5 x2	160 g
	Jupiter	236 %	400 g	/2 x5	1 kg
	Saturnus	106 %	400 g	/7 x8	457 g
	Uranus	89 %	400 g	/11 x12	436 g
	Neptunus	113 %	400 g	/5 x7	560 g
	De Zon	2.707 %	400 g	x30	12 kg

### Klasoefening: Nabespreking

Om de oefening af te ronden, kan terug een klasgesprek gevoerd worden met volgende vragen en antwoorden:

#### Over de zwaartekrachtcijfers...

Kijk eens in de kolom "Hoeveel zwaartekracht is daar? ...% van de Aarde". Wat valt je op bij de grote en kleine planeten?

- Het valt op dat echte reuzenplaneten (zoals Saturnus) bijna dezelfde zwaartekracht hebben aan hun oppervlakte als de Aarde. Toch zijn ze veel groter.

Hoe leg je uit dat zeer grote planeten toch niet zoveel zwaartekracht hebben op hun oppervlak?

- Deze planeten bestaan voor een groot deel uit gas, en niet uit steen. Dit gas is veel minder zwaar dan steen. De totale planeet Saturnus is dan ook niet zó zwaar. Bovendien ben je op het oppervlak van Saturnus al ver verwijderd van de zware kern van die planeet. Hoe groter de afstand van een zware kern, hoe minder zwaartekracht dat je hiervan kan voelen.

Hoe leg je uit dat Mercurius en Mars dezelfde zwaartekracht hebben aan hun oppervlak?

- Omdat mercurius (de kleinste planeet) uit zware steen en metaal bestaat. Mars is wel groter, maar heeft bijvoorbeeld minder ijzer in zijn kern. Ijzer is zwaar. De grotere hoeveelheid ijzer van Mercurius zorgt voor een zware kleine planeet.

### Over je eigen gewicht en massa...

Waarom is je massa steeds dezelfde, en je gewicht niet?

- Omdat massa niet afhankelijk is van zwaartekracht, en gewicht wel.

Wordt je gewicht kleiner of groter wanneer er meer zwaartekracht is?

- Mijn gewicht wordt groter als er meer zwaartekracht is.

Kan je op de Maan hoger springen dan op Aarde?

- Ja, want je gewicht is kleiner op de Maan. Je geraakt dus gemakkelijker omhoog met dezelfde spierkracht.

## G-krachten

### Wat zijn g-krachten en hoe ontstaan ze?

Zwaartekracht kan eenvoudig uitgedrukt worden in g-kracht. Zo wordt de hoeveelheid zwaartekracht op Aarde uitgedrukt als “**1g**”.

Op het Maanoppervlak hebben we 1/6 (of 16%) van de zwaartekracht van de Aarde. Daarom zeggen we ook dat er op de **Maan 0,16 g** is. Op het oppervlak van **Mars** is er een g-kracht van **0,38 g**.

Een **g-kracht** is dus gewoon een uitdrukking van hoeveel de zwaartekracht aan je ‘trekt’. Nu kan je ook g-krachten krijgen die **niet door zwaartekracht** veroorzaakt worden.

Bijvoorbeeld: als een **auto naar rechts** draait, dan voel je dat je lichaam in de auto naar links getrokken wordt. Er is dus een g-kracht naar links op dat moment. Dat toont al aan dat g-krachten ook kunnen ontstaan door beweging in plaats van zwaartekracht.

Eén van de problemen met lange ruimtereizen is dat langdurige gewichtloosheid schadelijk is voor onze gezondheid. Ideaal zou dus zijn als we tijdens onze ruimtereis zelf een g-kracht kunnen maken in de richting van de vloer van het ruimteschip. Maar hoe kan dit?

Beeld je in dat je **in een lift** zit, en dat die lift plotseling heel snel naar boven gaat. Steeds sneller (**versnelling naar boven**). Dan zal je toch een beetje tegen de grond geduwd worden. De vloer van de lift wordt eigenlijk steeds sneller tegen je voeten geduwd. Dit voelt alsof er een extra g-kracht naar beneden is. Ook al is die lift op Aarde gebouwd, op dat moment is de g-kracht op je lichaam groter dan 1g.

Op dezelfde manier worden **astronauten** stevig **tegen hun stoel geduwd** wanneer ze met een raket naar ruimte versneld worden. Een gewone raketlancering veroorzaakt op de astronauten een kracht van 2g tot 6g. Dan zijn die astronauten dus 2 tot 6 keer zwaarder dan normaal !

Een ruimteschip dat naar Mars reist kan natuurlijk niet heel de weg lang versnellen. Daarvoor kan je nooit genoeg brandstof meehebben, en je zou ook teveel moeten afremmen wanneer je bij Mars aankomt. Maar er bestaat nog een andere **manier om g-krachten te maken**.



*g-krachten (gele pijlen) die ontstaan door versnellingen of draaibewegingen. De totale kracht die je uiteindelijk voelt bij de situaties hierboven is de hierboven getekende g-kracht SAMEN met de gewoonlijke g-kracht van de zwaartekracht van de Aarde.*

**Gele pijlen:**  
g-krachten door beweging.  
**Niet getekend:**  
g-kracht van de Aarde (zwaartekracht).

**Links boven:**  
Auto draait. g-kracht naar links. Je wordt naar links geduwd.

**Links onder:**  
Raket versnelt naar boven. G-kracht naar onder. Je wordt nog zwaarder dan normaal.

Rechts boven:  
Lift versnelt naar boven. Zelfde effect als de raket.

Links onder:  
Lift versnelt naar beneden, g-kracht naar boven. Je wordt lichter.

We gaan even terug naar de auto die naar rechts afdraait. Naar rechts draaien is niet versnellen (zoals een lift of een raket wel deden). Het is een **verandering van richting**. Dus ook bij verandering van richting ontstaan er g-krachten. En als je voortdurend blijft van richting veranderen (voortdurend blijft draaien), dan ga je rondjes maken. Met andere woorden: in cirkels draaien zorgt voor een **g-kracht naar buiten** toe. Denk maar aan de wasmachine die je kleren droog zwiert: het water uit de kleren wordt naar buiten geduwd door de g-krachten van de ronddraaiende trommel.

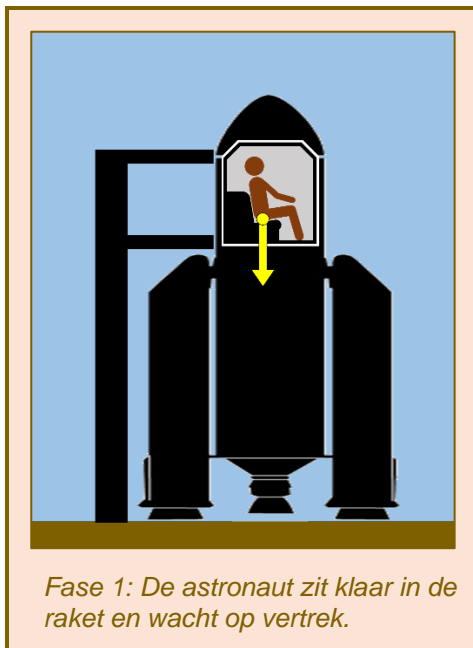
Als we nu **een ruimteschip** bouwen als een wasmachine? We laten heel het schip **ronddraaien**, en we maken de vloer van het ruimteschip aan de buitenkant van de draaicirkel. Dan zullen de astronauten een g-kracht voelen naar de vloer toe. Op die manier zouden we verre ruimtereizen kunnen maken zonder dat we in gewichtloosheid moeten leven.

Helaas is dat soort ruimteschip erg duur en moeilijk om te bouwen. Het moet groot zijn, en het gaat erg veel massa hebben. Je moet het eigenlijk al in de ruimte zelf bouwen, want zo iets groot krijg je met een raket niet weg van de Aarde. Tot nu toe heeft nog niemand zoiets gebouwd. Maar misschien in de toekomst...

### G-krachten tijdens onze reis naar de Maan

We leerden dat versnellen, vallen (is ook versnellen), en draaien allemaal g-krachten beïnvloeden. Laten we nu eens kijken naar een reis van de Aarde naar de Maan. Welke g-krachten zal de astronaut voelen?

#### Fase 1: Normaal gewicht



##### Kracht op de astronaut:

- Gele pijl: **1g** in de richting van de planeet Aarde.

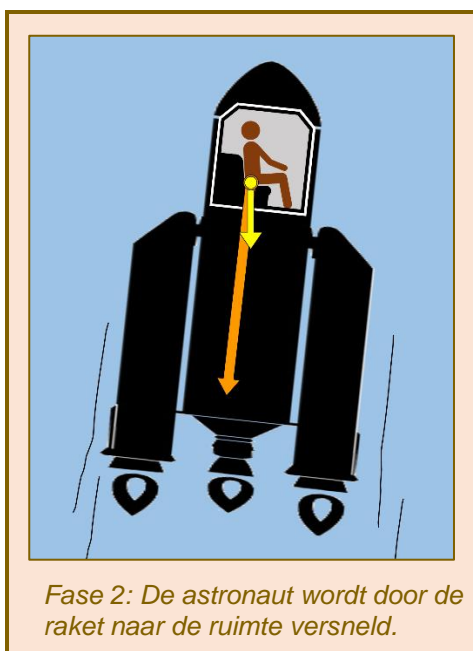
##### Oorzaak:

- Alleen zwaartekracht van de Aarde.

##### Hoe lang duurt fase 1?

- Totdat ze vertrekken.

#### Fase 2: Extra zwaar



##### Kracht op de astronaut:

- Gele pijl: 1g in de richting van de planeet Aarde.
- Oranje pijl: 3g tegengesteld in de richting van de raket.
- Samen dus **4g** die de astronaut in de stoel duwt. De astronaut is 4 keer zo zwaar als normaal.

##### Oorzaak:

- Gele pijl: Zwaartekracht van de Aarde.
- Oranje pijl: Door de versnelling naar boven.

##### Hoe lang duurt fase 2?

- Ongeveer 10 minuten, dan komen ze in een baan rond de Aarde.

### Fase 3: Gewichtloos



#### Kracht op de astronaut:

- Gele pijl: 1g in de richting van de planeet Aarde.
- Oranje pijl: 1g weg van de planeet Aarde.
- Samen dus **0g**: de astronaut is gewichtloos.

#### Oorzaak:

- Gele pijl: Zwaartekracht van de Aarde.
- Oranje pijl: Door de draaibeweging rond de Aarde, zoals de trommel van een wasmachine.

#### Hoe lang duurt fase 3?

- Enkele uren.

### Fase 4: Gewichtloos



#### Kracht op de astronaut:

- Geen g-kracht, de astronaut is gewichtloos.

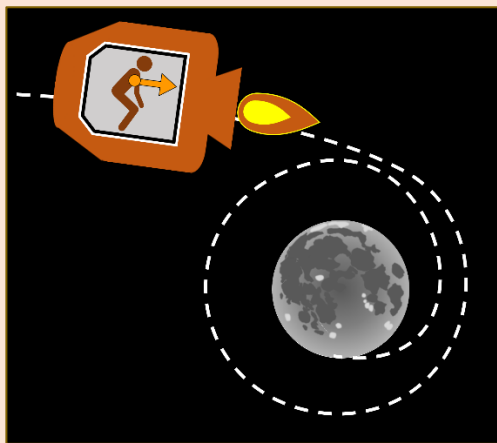
#### Oorzaak:

- Hier ben je zo ver van de Aarde en van de Maan dat je van beiden zo goed als geen zwaartekracht voelt.

#### Hoe lang duurt fase 3?

- Drie dagen.

### Fase 5: Een beetje gewicht bij afremmen



*Fase 5: Afremmen bij aankomst bij de Maan en bij de landing.*

#### Kracht op de astronaut:

- Oranje pijl: Lichte kracht van ongeveer 0,5 g (de helft van de normale zwaartekracht op Aarde). Deze kracht is in de richting tegengesteld aan de vertraging.
- De astronaut heeft een beetje gewicht naar voren toe.

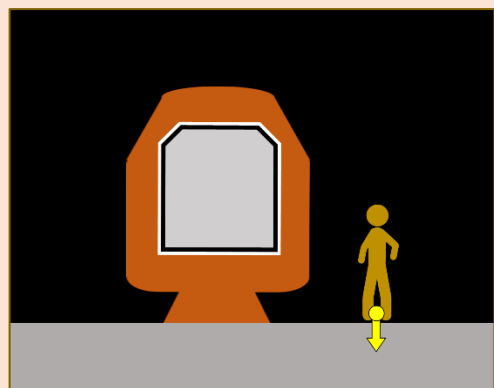
#### Oorzaak:

- Door vertraging: het ruimteschip wordt afgeremd om in de buurt van de Maan te vliegen, en dan zelfs op de Maan te landen.

#### Hoe lang duurt fase 3?

- Maximum enkele uren

### Fase 6: 1/6 van je normale gewicht



*Fase 6: De astronaut staat op de Maan.*

#### Kracht op de astronaut:

- Gele pijl: 0,16 g in de richting van de Maan.
- De astronaut weegt 1/6 van haar/zijn normaal gewicht op Aarde.

#### Oorzaak:

- Door zwaartekracht van de Maan.

#### Hoe lang duurt fase 3?

- Zolang je op de Maan blijft.

Het is dus duidelijk dat je als astronaut heel wat veranderende g-krachten op je lichaam moet verdragen. Dit voelt heel vreemd aan tijdens een ruimtereis, en heel veel astronauten worden ziek tijdens de reis. Je kan het vergelijken met ziek worden in de auto wanneer je in lang de bergen rijdt waar heel veel bochten in de weg zijn.

# Bronmateriaal

Meerdere van de klasexperimenten uit deze cursus zijn gebaseerd op de Nederlandse versie van de online ESERO.NL lespakketten ([www.ruimtevaartindeklas.nl/lespakketten](http://www.ruimtevaartindeklas.nl/lespakketten)):

**Groep 7-8 (= derde graad lager onderwijs):**

- Het klimaat, Het broeikaseffect.
- Astronautenpak
- Kun je leven op Mars (luchtdruk)?
- Kun je leven op Mars (waterzuivering)?

**Groep 5-6 (= tweede graad lager onderwijs):**

- Het eetbare zonnestelsel
- Ruimtezieke (evenwichtsorgaan)
- Hoe ontstaan Marskanalen?

Ruimteschip Aarde – Thema 3 Het klimaat – Les 1 In het ISS (zuurstofproductie)

Alle andere oefeningen, experimenten en achtergrond informatie is geproduceerd door UGENT Volkssterrenwacht Armand Pien ([www.armandpien.be](http://www.armandpien.be)).

---