

# Profielwerkstuk “Terraforming *hoogmoed of mogelijk?*“

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben  
© havovwo.nl

---



Een werkstuk van:

Rob Stalpers  
Joni van der Ceelen  
Max Robben

# Profielwerkstuk “Terraforming *hoogmoed of mogelijk?*”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

## INHOUDSOPGAVE

Titelpagina .....	1
Inhoudsopgave .....	2
Voorwoord .....	3
Inleiding .....	3
De geschiedenis van Mars .....	4 - 6
De mens als god .....	7 - 8
De benodigdheden .....	8 - 15
Onmogelijk .....	15 -17
Practicum 1 (Afgebroken) .....	17
Practicum 2 (met Conclusie) .....	18 - 21
Logboek .....	21
Evaluatie .....	22
Begrippenlijst .....	22
Bronnenlijst .....	22

# Profielwerkstuk “Terraforming *hoogmoed of mogelijk?*”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

## VOORWOORD

Uiteraard zijn we niet meteen op het onderwerp terraforming gekomen. Sterker nog, geen van ons wist precies wat het betekende. Toch heeft onze oriëntatieweg ons uiteindelijk bij dit eindstation afgeleverd. We begonnen met ons heel breed te oriënteren, waar liggen onze interesses, wat vinden we allemaal leuk? We staken onze koppen bij elkaar om te zien of we een onderwerp konden vinden waar we het alle drie mee eens konden worden, maar dit bleek achteraf te naïef te zijn. Vervolgens zijn we op jacht gegaan naar een keuzemogelijkheid uit onderwerpen, deze verwierven we door middel van Internet en de bibliotheek. We kwamen tot de ontdekking dat we alle drie geïnteresseerd waren in evolutie, het begin was gemaakt. Al snel bleek dat dit onderwerp veel ruimer was dan wij ons hadden voorgesteld en zijn dit gaan bespreken met onze begeleiders. Al snel hadden we een nieuw doel, we gingen ons meer specialiseren op een deelgebied binnen de evolutie. Toen begon het weer helemaal van voor af aan, en moesten we het weer eens worden over onze specialisatie. Hier ondervonden we wat geluk bij, want onder het zoeken vond een groepsgenoot het winnende lot. Na de positieve reacties van zijn partners stond ons onderwerp vast, het werd Terraforming. Na dit wederom met onze begeleiders overlegd te hebben, en hun goedkeuring te hebben gekregen, gingen we informatie verzamelen. We gingen kijken of dit onderwerp inderdaad geschikt was, of het niet nog steeds te ruim of juist te krap genomen was. Of we er een geschikte proef bij konden bedenken en er een goed werkstuk uit voort konden toveren. Toen dit geen probleem leek te zijn, begonnen we met het maken van een planning en gingen we aan de slag. Jammer genoeg hebben we niet precies de proef kunnen doen die we wilden, vooral door de minder dan gehoopte medewerking van de TUE. En de uiteindelijke resultaten zijn ook opzienbarend te noemen. Uiteindelijk is er een werkstuk uitgerold naar onze zin en hopen we dat de lezer er ook plezier aan beleeft tijdens het lezen.

## INLEIDING

Uiteraard mogen we er niet van uitgaan dat iedereen weet wat we met terraforming bedoelen, daarom is het wel slim om hier even mee te beginnen. Terraforming is het proces van het scheppen van levensomstandigheden op een buitenaardse planeet; dit zal later ook nog terugkomen.

We zullen in dit profielwerkstuk proberen eerst een algemeen beeld te creëren van wat je precies bij terraforming voor moet stellen. Vervolgens zullen we stap voor stap er steeds dieper op ingaan. Is terraforming technisch wel mogelijk of is het slechts toekomstmuziek? Welke planeet of welke planeten zijn het meest geschikt, of maakt dat verder niet zoveel verschil? Welke ideeën zijn er om een planeet te terraformen en mogen we ervan uitgaan dat deze allemaal grote kans van slagen hebben? En als ze weinig kans tot slagen hebben, welke problemen ondervinden ze dan?

Vervolgens zullen we het werkstuk ook een biologische tint geven door te behandelen welke stoffen er nodig zijn en hoe we deze kunnen verkrijgen. Zo weten we allemaal dat we zuurstof nodig hebben om te leven, maar niet of dat er wel op elke planeet zuurstof is. Hoe kunnen we er nu voor zorgen dat we normaal kunnen ademen? Welke ingrepen zijn er allemaal nodig om een planeet leefbaar te maken en welke gevolgen hebben deze? In ons practicum zullen we duidelijk maken wat planten precies met terraforming te maken hebben en hoe we hierbij te werk zijn gegaan.

Bij onderwerpen die gaan over de toekomst is het vaak belangrijk te kijken wat er in het verleden is gebeurd. Dit wordt dan ook niet door ons over het hoofd gezien en de geschiedenis van Mars zal uitvoerig besproken worden. Is Mars altijd al zo koud en droog geweest of kende hij betere tijden? Hebben zich op Mars belangrijke planetaire processen voorgedaan in het verleden? En hoe zit het met de maanlandingen en satellieten? Wees gerust, al deze vragen zullen bevredigend beantwoord worden in ons werkstuk.

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

## DE GESCHIEDENIS VAN MARS

Mars, bijna even bekend als onze eigen planeet. Het hoofdje van een 5 jarig kind is slechts groot genoeg voor 2 planeten. De aarde staat vooraan in het geheugen gegrift, maar Mars volgt al snel. De bekendheid van Mars groeide exponentieel in 1938, deze ‘reclamecampagne’ werd gevoerd onder leiding van Orson Welles. Hij zond een dramatisch hoorspel uit dat was gebaseerd op het boek van H.G Wells, het beruchte War of the Worlds. In dit hoorspel gingen superieure Marsmannetjes na een lange tijd observeren over tot een frontale aanval. Doordat zulke fictieverhalen over marsmannetjes nauwelijks tot nooit de revue gepasseerd hadden dachten veel mensen, dat het echt was. Er brak grote paniek uit en het had desastreuze gevolgen.

Mars wordt vaak met gemene groene monsters en andere fictieve creaturen geassocieerd. Zo kennen we het hoorspel, maar ook werd gedacht dat de rechte lijnen die over het marsoppervlak lopen gegraven waren door aliens. Astronomen dachten dat ze waren gegraven voor de aan en afvoer van water. Dit bleek later niet ver uit de richting, toen bekend werd dat de lijnen ontstaan waren uit opgedroogde rivieren.

De Rode planeet lijkt niet geweldig veel op de onze. Mars wordt ook wel de rode planeet genoemd door de rode kleur van het geoxideerde (verroestte) ijzererts op het oppervlak. Eerst leek hij wel veel op onze planeet, er moet blijkbaar het een en ander in de tussentijd zijn gebeurd. Ten eerste is het veel te koud op Mars, de gemiddelde temperatuur ligt op  $-23$  graden Celsius. Ten tweede is er geen water, onder de noordelijke poolkap bevindt zich waarschijnlijk wel bevroren water, maar hier heeft leven niet zo veel aan. Het overige ijs is grotendeels opgebouwd uit bevroren koolstofdioxide. Ten derde is de atmosfeer niet bepaald rijk gevuld. De atmosfeer, die voor een groot gedeelte uit  $\text{CO}_2$  bestaat, is te dun om een broeikas effect te kunnen veroorzaken. De oorzaak hiervan is de omvang van Mars (ongeveer  $1/7^e$  van de aarde). Hierdoor heeft hij maar weinig zwaartekracht. Deze zwaartekracht is te klein om een goed gevulde atmosfeer bij zich te houden. Hieronder zien we de formule om de zwaartekracht van Mars te berekenen:

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

Om de verhouding tussen de zwaartekracht van Mars en Aarde weer te geven, passen we deze formule toe op een deeltje dat rust op het oppervlak van de desbetreffende planeet.

We nemen een deeltje met een massa van 15 gram, dus	$15 \cdot 10^{-3}$ kg
Als Grafitatieconstante vullen we in:	$6,67 \cdot 10^{-11}$ $\text{Nm}^2/\text{kg}^2$
Massa van de Aarde is:	$5,976 \cdot 10^{24}$ kg
Massa van Mars is:	$0,642 \cdot 10^{24}$ kg
Straal van de Aarde is:	$6,378 \cdot 10^6$ m
Straal van Mars is:	$3,393 \cdot 10^6$ m

Na het invullen van deze gegevens, constateren we dat de  $F_g$  van de Aarde op het deeltje 0,15 Newton is, en de  $F_g$  van Mars 0,006 Newton is. Een aanzienlijk verschil dus.

De atmosfeer, die voor een groot gedeelte uit  $\text{CO}_2$  bestaat, is te dun om een broeikas effect te kunnen veroorzaken. Hierdoor koelt de planeet dus af. Een ander gevolg is dat de ultraviolette straling bijna ongehinderd op het Marsoppervlak straalt. Dit voorkomt de aanwezigheid van leven.

Ondanks dat deze atmosfeer ijl is moet gezegd worden dat hij dominant aanwezig kan zijn. Stofstormen kunnen op deze planeet maandenlang aanhouden, en dit heeft voor de nodige problemen bij bezoeken aan Mars gezorgd.

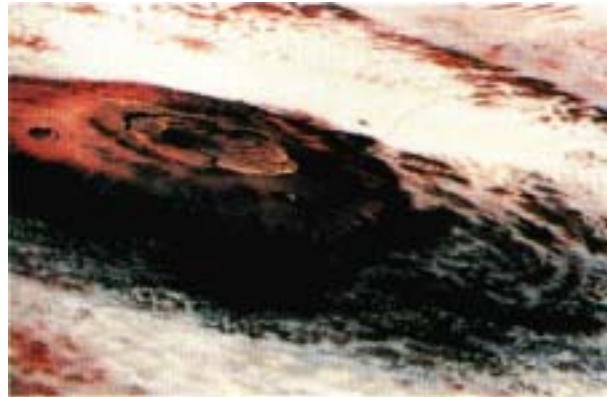
Hoe komt het dan dat hij eerst wel veel op onze planeet leek? Dit heeft verschillende oorzaken. Natuurlijk is Mars in aanraking gekomen met typisch planetaire processen, zoals inslagen en tektoniek, de verandering van de korst van de planeet. Maar de belangrijkste is toch wel het vulkanisme, dit is een van de redenen waarom de planeet zoveel is veranderd. Vroeger waren er veel vulkanen actief op Mars. Deze vulkanen waren vaak enorm. Mars kent net als Mercurius en de Maan geen platentektoniek. Deze horizontale verplaatsing van het oppervlak creëerde op de aarde de bergketens. Zonder deze horizontale verplaatsing blijven de gloeiend hete gedeeltes die zich onder de korst bevinden op dezelfde plaats ten opzichte van het oppervlak. Als je deze kennis combineert met wat je weet van de lage zwaartekracht, begrijp je hoe de Tharsis uitstulping heeft kunnen ontstaan. De Tharsis uitstulping is een heel grote uitstulping op het Marsoppervlak, ongeveer 4000 km lang en 10 km hoog, rijk aan vulkanen. De grootste vulkaan is de weezinwekkende Olympos Mons, niet voor niets vernoemd naar de

# Profielwerkstuk “Terraforming *hoogmoed of mogelijk?*”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

machtige berg der goden, de Olympus. Het is de grootste vulkaan en tegelijk berg in ons hele zonnestelsel. Hij heeft een hoogte van 24 km en een vulkaankrater(!) van 70 km.

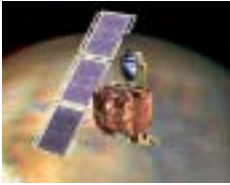
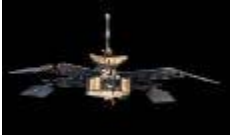



De stoffen die deze en andere vuurspuwende bergen in de lucht stootten, vulden de atmosfeer. Omdat de zwaartekracht zo klein was, verdwenen ze ook wel weer, maar door de continue aanvoer van deze stoffen was dit geen ramp. Maar, op een gegeven moment raakte de vulkanen uitgeput of gingen ze slapen, en hield de toevoer op. De rijk gevulde atmosfeer die voor een broeikas effect zorgde en de temperatuur daarmee omhoog dreef, verdwenen voor een groot gedeelte. De temperaturen daalden sterk en het vloeibare water verdween.

## Ruimtesondes

Alle kennis die in de afgelopen decennia is vergaard, moet toch ergens vandaan zijn gekomen. Door simpel redeneren zouden we nooit beschikt hebben over de informatie die we nu hebben. Daarom hebben zowel de Nasa als de Esa veel ruimtesondes de lucht in geschoten. Deze vergaarden kennis op verschillende manieren, sommigen sondes passeerden de planeet en schoten door de ruimte in. Latere sondes hadden de technische mogelijkheid om in een baan rond de planeet te cirkelen en (gedetailleerde) foto's van het oppervlak te maken. Weer later werd het mogelijk een sonde op het oppervlak te laten landen, zo kon onder andere bodemonderzoek verricht worden.



Tabel van de bekendste en belangrijkste Marsmissies

Foto's	Datum	Naam van sonde	Soort missie	Informatie over missie
	1962	Mars 1	Passage	De eerste ruimtesonde richting mars, maar de missie mislukte.
	1964	Mariner 4	Passage	Succesvolle oppervlakte foto's en dampkringanalyses.
	1969	Mariner 6	Passage	Scherpe foto's van de poolkap samenstelling

## Profielwerkstuk “Terraforming *hoogmoed of mogelijk?*”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

	1971	Mariner 9	Orbiter	Eerste ruimtesonde die in een baan rond Mars bleef draaien.
	1976	Viking 1	Orbiter	Scherpe foto's van het hele Marsoppervlak
	1976	Viking 1	Lander	Zoektocht naar leven op Mars, tevens eerste lander.
	1989	Phobos 2	Orbiter	Foto's van Marsmaan Phobos maken, gedeeltelijk gelukt.
	1993	Mars Observer	Orbiter	Radiocontact verloren bij aankomst Mars
	1996	Mars Global Surveyor	Orbiter	Vervanger voor Mars Observer / orbiter
	1996	Mars Pathfinder	Lander	Bodemonderzoek en micro-rover

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

## DE MENS ALS GOD

Het begrip terraforming wordt al een geruime tijd gebruikt. Veel mensen echter zullen niet weten wat ermee bedoeld wordt, dit komt waarschijnlijk doordat er vrijwel alleen binnen de wetenschap en de kring van sciencefiction-liefhebbers over gesproken wordt. Publicaties verschijnen alleen binnen wetenschappelijke bladen en filmmakers gebruiken dit onderwerp, het is nu eenmaal toekomstmuziek.

Terraforming, het woord zegt al voor een groot deel welke strekking het heeft. “Terra” is het Latijnse woord voor aarde. “Forming” is Engels voor omvormen. Iets tot aarde omvormen dus. Wat kun je dan tot iets net als de aarde omvormen? Andere planeten. Er zijn vele planeten binnen ons zonnestelsel, er zou dus een aantal in aanmerking kunnen komen voor het omvormen tot zoiets als onze planeet, zodat de mens erop kan leven. Dit laatste valt wat tegen. De omstandigheden zoals we die op aarde kennen, worden voor het grootste deel bepaald door de ligging van de planeet ten opzichte van de zon. De zon voorziet onze planeet van warmte en de omstandigheid is er dat de gemiddelde temperatuur op aarde 15° á 18° Celsius perfect is naar menselijke maatstaven en dat de natuur er helemaal op aangepast is. Andere planeten in ons zonnestelsel staan dichterbij of verder weg van de zon, waarop de infrarood stralingsintensiteit minder wordt of meer en de temperatuur lager of hoger ligt. Ook de samenstelling van de atmosfeer rond de planeet beïnvloedt de temperatuur. Een ander punt is de omwentelings-snelheden van de planeten deze zorgen voor de spreiding van de temperatuur op de oppervlakte, bij de aarde is deze optimaal maar andere planeten draaien sneller of langzamer. Het dag-nachtritme ligt hier dus ook anders en het is voor de mens erg moeilijk om zich daaraan aan te passen. Door deze andere omstandigheden vallen erg veel planeten af. Mercurius ligt te dichtbij, het is er te warm, overigens is hier ook de zwaartekracht vrij laag. Venus ligt op een goede positie ten opzichte van de zon, deze planeet is een overweging. Venus heeft echter een groot nadeel, de planeet is te warm door een grote wolkenlaag die de atmosfeer van de planeet vult. Op Venus heeft een op hol geslagen broeikas effect de planeet ontregeld. Mars, dat is de enige planeet waarop terraforming echt mogelijk is. De afstand tot de zon is prima, en de planeet bevat nog enkele andere aspecten waar ik zo op terugkom. Jupiter en Saturnus zijn onbruikbaar, ze staan te ver van de zon en zijn gasplaneet. De planeten erachter staan ook te ver van de zon. De manen van Jupiter zouden ook kunnen worden gebruikt, ze staan echter wel erg ver van de zon, het is in de nabije toekomst onwaarschijnlijk dat we de temperatuur op zo'n grote afstand van de zon op een voor de mens acceptabele waarde zouden kunnen krijgen.

Mars terraformen, dat is mogelijk, dat is dus ook ons onderwerp voor het werkstuk. Maar waarom zouden we een planeet terraformen? Deze vraag is gemakkelijk te beantwoorden. In de nabije toekomst zou onze planeet overbevolkt kunnen raken als de populatie mensen zo blijft groeien, dit zal desastreus zijn voor zowel natuur als mens. Er is teveel aan voedsel nodig, dit zal er dan niet meer zijn, mensen sterven aan honger. Er zal ook een strijd komen om energie. Grote bevolkingsoorlogen zullen het effect van deze problemen zijn. Als zoiets aankomende is zoeken we naar oplossingen, een oplossing is geboortecontrolle, in China gebeurt dit, maar dit leidt weer tot afstoting van kinderen met erfelijke aandoeningen als het syndroom van Down en andere stoornissen. Een deel van de bevolking transporteren naar een nieuwe aarde is wel een erg mooi beeld. De mens verspreidt zich over twee planeten en zal zo voortleven met genoeg aan voedsel en energie.

Waarom is Mars zo ideaal om te terraformen? De planeet heeft een aantal eigenschappen gelijk aan de aarde. De afstand tot de zon is vergelijkbaar, de omwentelingstijd is iets langer dan op aarde maar dit scheelt maar 39 minuten per dag. Ook heeft Mars eenzelfde opvolging van seizoenen doordat de omwentelingsas ietwat gekanteld is. De zwaartekracht van Mars is wel wat minder dan op aarde. Dit is waarschijnlijk een overkombaar bezwaar, het menselijke lichaam kan dit aan en zal zich aanpassen. Mars heeft qua atmosfeer wel een verschil met de aarde, ook de samenstelling van grond is anders. De atmosfeer van Mars bevat erg veel CO<sub>2</sub> ook is er N<sub>2</sub>. De dampkring is erg dun en laat vrijwel alle straling door. De luchtdruk op Mars is ook erg klein. De bodem van Mars bestaat vooral uit geoxideerde ijzers, mineralen en koolstoffen. De poolkappen op Mars bevatten erg veel ijs, permafrost genaamd. Deze permafrost bestaat vooral uit bevroren CO<sub>2</sub> en water. De aanwezigheid van grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> op de planeet is voordelig. De planeet is gemakkelijk te terraformen door de temperatuur van de planeet hoger te maken. Dit kan door een atmosfeer te maken die de warmte van de zon sterk vasthoudt. Het ijs smelt door verhoogde temperatuur er komt meer CO<sub>2</sub> vrij en daarbij ook water, er ontstaat een klein broeikas effect. Nu zijn er planten op de bodem van Mars aan te brengen en deze zorgen door omzetting van CO<sub>2</sub> voor de nodige zuurstof. Een begin is gemaakt.

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

Er wordt al jaren gedacht over terraformen. Vooral in de sciencefiction zie je dit thema terugkomen. In 1940 al is er door Jack Williamson a.k.a. Will Stewart een aantal sf-verhalen rond dit thema geschreven. Allereerst was Olaf Stapledon die het idee opperde om op Venus de zeeën te elektrolyseren (elektrolyse is een methode om water te scheiden in waterstofgas en zuurstof m.b.v. elektriciteit) en zo aan zuurstof in de atmosfeer te komen. Al deze opgelaten ballonnen en verhalen van auteurs geeft verschillende jonge mensen een impuls om het onderwerp te gaan onderzoeken. Een van deze jonge mensen is Carl Sagan, deze man is de pionier van dit nieuwe onderzoeksvlak. In begin jaren '60 is een aantal artikelen gepubliceerd van hem over terraforming waarin hij bijvoorbeeld de introductie van microbiologisch leven op Mars voorstelt en waarin hij verklaart hoe Venus aan zijn broeikaseffect komt. Op dit laatste onderwerp heeft hij zijn doctoraal gehaald. Met dit artikel opperde Sagan ook om het CO<sub>2</sub> gehalte op Venus terug te dringen door blauwalgen op de planeet te brengen. Door vermindering van CO<sub>2</sub> zal ook de druk en temperatuur verminderen. Doch nieuwe feiten, die uit nieuw onderzoek volgden, zetten oude hypothesen opzij of maken ze sterker. In het geval van Sagan werd zijn hypothese onderuitgehaald omdat zijn geschatte 4 bar druk op Venus 90 bar bleek te zijn. Doordat in de jaren 60 van de eenentwintigste eeuw was ondervonden dat de druk op Venus zo hoog was, en dit te veel problemen met zich meenam als het geterraformeerd zou moeten worden, is verder onderzoek maar op Mars gericht. Ook Sagan was een van de eerste onderzoekers die iets zag in de terraforming van Mars. Sagan veronderstelde dat door de Marspolen te bedekken met een donkere stoflaag de warmteopname van Mars groter zou worden en hierdoor het ijs op de poolkappen zou smelten. Zo zou de winter die op Mars heerste (zo werd toen verondersteld) in plaats van 50.000 jaar maar 100 jaar duren. Ook het gebruik van planten, die men dan op de poolkappen zou planten, waar aanwezig water de leefomstandigheden biedt, werd als eerste deel van de terraforming verondersteld, maar beide hypothesen zijn door nieuw onderzoek uitgesloten. In de jaren dat Sagan bezig was met zijn hypothesen rond terraforming dachten andere onderzoekers wel na over het onderwerp maar achtten het niet interessant genoeg, omdat het volgens hen pas over honderden jaren mogelijk zou zijn. De laatste tien jaar zijn de gedachten rond terraforming drastisch veranderd. Een van de meest actieve onderzoekers op dit moment is Dr. Chris McKay. De eerste echt serieuze uitgave van een artikel in “Nature” in 1991 kwam van deze man. Vanaf dat moment was terraforming onder geleerden een geaccepteerd onderwerp. In 1993 is zelfs het woord “terraform” in de Engelse woordenboeken opgenomen. In 1995 is het eerste technische tekstboek door Martyn Fogg uitgegeven. De laatste jaren wordt zelfs op ethisch vlak over terraformen nagedacht, deze ethische problemen en andere problemen behandel ik in een van de volgende hoofdstukken.

## DE BENODIGDHEDEN

Het leefbaar maken of ‘terraformen’ van Mars is niet iets wat van de één op de andere dag gebeurt. Het is een gecompliceerd en veelal nog theoretisch proces dat vele tientallen jaren zal kosten.

Het leefbaar maken van Mars heeft de volgende hoofdthema's.

Het opwarmen van Mars.

Het verdichten van de atmosfeer van Mars

Het introduceren van plantaardig leven op Mars

Het is niet zo dat deze thema's los van elkaar opereren. Geleidelijke gaan ze in elkaar over en overlappen elkaar ook. Zo zal het opwarmen van Mars bijvoorbeeld niet ophouden als er eenmaal een atmosfeer rondom de planeet is. De planeet heeft een gemiddelde temperatuur van 210 K of - 63°C, dus de periode dat Mars aan het opwarmen is zal een lange tijd in beslag nemen. Bijna samen met het opwarmen van Mars zal de atmosfeer ook verdikken en dus zullen deze processen bijna geheel samen vallen. Ook zal het eerst biologische leven op Mars al vrij snel geïntroduceerd kunnen worden; namelijk als er vloeibaar water is ontstaan. Maar dat wil niet zeggen dat de planeet dan niet meer hoeft op te warmen. Al deze processen helpen en ondersteunen elkaar. En uiteindelijk zal het moeten leiden tot een planeet vergelijkbaar met die van de huidige aarde waar van allerlei biologisch leven mogelijk is.

De drie thema's zullen één voor één in dezelfde volgorde als boven genoemd worden.



# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

We zullen beginnen bij het eerste fase. Ook al spelen de fases zich meer naast en door elkaar af dan één voor één toch zullen we het in fases beschrijven omdat er dan wat meer duidelijkheid en structuur in het verslag zal zitten.

## Het opwarmen van Mars

Er zijn enkele verschillende manieren om Mars op te warmen.

- Opwarming doormiddel van een spiegel
- De zuidelijk poolkap laten ontdooien
- Een broeikas effect creëren
- Bacteriën introduceren

De volgorde van deze manieren is niet willekeurig. Dit is de volgorde waarin Mars het beste kan worden opgewarmd. We zullen beginnen met de eerste manier *Opwarming van Mars doormiddel van een spiegel* te bespreken.

### De spiegelmethode:

Mondiale verwarming is geen optie bij het plaatsen van spiegels. De energie, mankracht, materiaal en het feit dat alles in de ruimte vervaardigd zal moeten worden omdat zo'n zwaar geraamte niet van de aarde af te krijgen zou zijn, is gewoon niet voldoende om zo'n omvangrijke spiegel te maken. Een meer praktische optie is een kleinere spiegel richten op de zuidpool. Zo hoeft de spiegel maar een beperkt gebied te verwarmen. Het doel is om de temperatuur van een bepaald gebied op Mars door het reflecteren van het zonlicht 4°C te laten stijgen. Deze stijging zou genoeg moeten zijn om een uitstoot van koolstofdioxidegas te veroorzaken vanuit de zuidpool. De Spiegel zou ongeveer 125 km in doorsnee moeten zijn, want een grotere doorsnee is niet nodig en omdat we het licht niet willen divergeren. De radius van 125 km voor deze spiegel is dus ook ongeveer de omvang van de zuidpool. Als we bijvoorbeeld uitgaan van een spiegel die 4 micrometer dik is zal er een spiegel ontstaan met een dichtheid van 4 ton per vierkante kilometer. Dat zal resulteren in een 200000 ton zwaar gevaarte. Dit geraamte zou dus veel te zwaar zijn om van de aarde af te tillen, maar om het in de ruimte of op één van de manen rondom Mars te vervaardigen is een serieuze optie. Maar het bouwen van zo'n spiegel is dus wel nog een speculatie. Namelijk een speculatie op de techniek die er nu niet is maar misschien over 40 a 50 jaar wel.

De totale hoeveelheid energie die voor zo'n productie nodig zou zijn is 120 MW-jaren. (MegaWatt-jaren). Deze hoeveelheid zou door ongeveer 5 MW nucleaire reactoren geproduceerd kunnen worden. Het klinkt als een vreselijke hoop energie wat op extreem geavanceerde wijze geleverd zal moeten worden. Maar relatief gezien valt het mee. De hoeveelheid energie is vrij makkelijk te genereren door nucleaire reactoren die nu ook al gebruikt worden voor het aandrijven van ruimtevaartuigen.

Als de spiegel nu op zo'n 218.000 km van Mars statisch naast de planeet wordt gestationeerd is de hoek die de spiegel maakt met de zon en Mars precies genoeg om 24 uur per dag energie te stralen op de zuidpool.

Spiegels zijn zeer belangrijk bij het leefbaar maken van Mars. Als bijvoorbeeld de spiegel zich op een kleiner gebied zou richten zou er 27 TerraWatt aan energie vrijkomen. Dat is genoeg om 3 miljoen ton water per jaar te laten smelten. Ook zou door het smeltproces ijsschotsen zich kunnen verplaatsen van de zuidpool en zich verspreiden over het droge midden gebieden van Mars. En het smelten van water is natuurlijk absoluut noodzakelijk voor het kunnen overleven van elk soort van biologisch leven.

### De zuidelijke poolkap ontdooien:

Het smelten van de zuidelijke poolkap op Mars heeft één voor de hand liggend maar ook één niet zo voor de hand liggend gevolg. Met onbemande reizen naar Mars heeft de NASA ontdekt dat er koolstofdioxide zit opgeslagen in de zuidelijke poolkap van Mars (figuur 1). Waarschijnlijk is er ook waterijs aanwezig. Het voor de hand liggende gevolg is natuurlijk het ijs op de zuidpool laten smelten zodat het vloeibare water wat daar ligt opgeslagen zich gaat verspreiden over de gehele planeet.

Het andere gevolg is dat door een geringe temperatuurstijging, wat ook al besproken is in het voorafgaande, een hoeveelheid bevroren koolstofdioxide zal ontsnappen en in de atmosfeer komen. Dit heeft een vrij mondiale verwarming tot gevolg, omdat door verdikking van atmosfeer er meer warmte binnen komt van de zon dan de planeet verlaat.

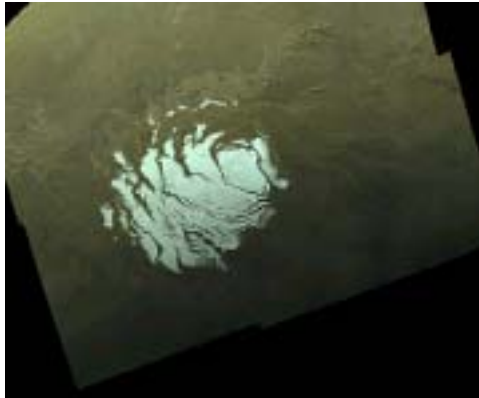
# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

Nu is er niet alleen op de zuidelijke poolkap bevroren koolstofdioxide aanwezig. Er zit ook  $\text{CO}_2$  (s) (bevroren koolstofdioxide) vast in de bodem van Mars. Maar dit is niet gemakkelijk uit te krijgen omdat het waarschijnlijk op enkele kilometers diep zit en ook door aardlagen heen zal moeten.



figuur 1: ijs op de zuidpool van Mars

## Een broeikaseffect creëren:

Deze methode berust zoals de naam eigenlijk al zegt op het introduceren van broeikasgassen op Mars. Op aarde ontstaat het broeikaseffect door de uitstoot van zogenaamde CFK's (chloorfluorkoolstoffen). Maar een neveneffect hiervan is dat de ozonlaag wordt aangetast. Om Mars leefbaar te houden moet er zeker een ozonlaag gecreëerd worden, zodat schadelijke straling van de zon tegen gehouden kan worden, dus een stof die deze juist afbreekt is zeker niet te gebruiken. Daarom is het veel verstandiger om PFK's (perfluorkoolstoffen) te gebruiken in plaats van CFK's.

- PFK's zijn op een aantal vlakken beter voor het opwarmen van Mars dan CFK's:
- Het effect is veel groter dan bij CFK's
- De PFK's gaan veel langer mee dan CFK's
- PFK's hebben geen negatieve effecten op levende organismen
- PFK's tasten de Ozonlaag niet aan

Door een grote hoeveelheid van deze PFK's in de atmosfeer van Mars te brengen zal de planeet langzaam opwarmen. Als deze eenmaal aan het opwarmen raakt zullen de ijskappen gaan smelten en zal er vanuit de zuidelijke ijskap nog meer in ijs neergeslagen koolstof vrijkomen dat het proces steeds sneller zal doen verlopen.

Een ander belangrijk niet ozon afbrekend gas is  $\text{FC}_4$ . Dit gas overleeft zeer lang in een agressieve omgeving. Op aarde is het gas stabiel voor ongeveer 10000 jaar in de bovenste atmosfeer. Dat is mooi want gassen die bijvoorbeeld maar een atmosferische levensspanne hebben van 100 jaar, moeten dus sneller worden vervangen en dat zou een langzamere temperatuurstijging tot gevolg hebben omdat de productie van broeikasgassen op Mars waarschijnlijk vrij constant zal blijven. Voor het introduceren van broeikasgassen op Mars is een bepaalde energiehoeveelheid nodig.

\* Tabel blz. 266 \*zie bronnenlijst

Om het voorbeeld van zo even opnieuw te gebruiken: Als je een gas met een atmosferische levensspanne hebt van 100 jaar moet er niet alleen energie worden gebruikt om deze hoeveelheid broeikasgassen op Mars te introduceren maar zal er ook nog eens ongeveer  $1/5^e$  van de waarden in tabel 9.2 worden gebruikt om de broeikasgasconcentratie op pijl te houden.

\* Tabel 9.2 blz. 266 \*zie bronnenlijst

Om zo veel broeikasgassen constant in de atmosfeer van Mars te houden zou er ongeveer 5000 MJ per dag nodig zijn. Ongeveer evenveel als in een stad als Chicago per dag aan energie verbruikt wordt. Een enorme taak maar dus niet onmogelijk.

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

## Bacteriën introduceren:

Dit principe berust op een bacterie op Mars introduceren die van waterstof en stikstof ammonia kan maken. Van stikstof is jammer genoeg nog niet daadwerkelijk aangetoond dat deze stof voorkomt op Mars, maar naar alle waarschijnlijkheid is deze stof wel aanwezig in de nitraatbedden verspreid over de aardkorst van Mars.

Andere bacteriën kunnen van water en koolstofdioxide methaan maken. Alleen is al het water op Mars nog neergeslagen in zijn vaste vorm, namelijk ijs. Het ijs zou dus eerst gesmolten moeten worden zodat er vloeibaar water vrij komt. Dit kan dan worden opgenomen door bacteriën en met de aanwezige CO<sub>2</sub> omgezet worden in methaan. Koolstofdioxide is natuurlijk geen probleem op Mars.

Reactievergelijking voor het maken van Ammoniak :  $N_2(g) + 3 H_2(g) \rightarrow 2 NH_3(g)$

Reactievergelijking voor het maken van Methaan :  $2 H_2O(l) + CO_2(g) \rightarrow 2 O_2(g) + CH_4(g)$

Beide zijn wel broeikasgassen, maar beide zijn ook lang niet zo effectief als CFK's bij ons op aarde, maar beide zijn wel duizenden keren effectiever dan koolstofdioxide. Alleen voor het overleven van bacteriën is wel vloeibaar water nodig én daarnaast óók een begin van een atmosfeer. De taaieste bacteriën kunnen wel enkele uren in kosmische straling overleven, maar ook niet langer dan enkele uren. Een atmosfeer weert die gevaarlijke straling af. Ook moet er voor eventuele planten koolstofdioxidegas in de atmosfeer zitten. Dus zal eerst een gedeelte van de bevroren koolstofdioxide moeten vrijkomen voordat er überhaupt iets van biologisch leven op Mars een kans zou hebben te overleven. Maar als in theorie ook maar 1% van Mars bedekt zou zijn met koolstofdioxide gas,

<< dat zou dan volgens de formule van de oppervlakte van een bol ( $4\pi r^2$ ) en met een straal van Mars van

3397 km;  $4 \cdot \pi \cdot 3397^2 / 100 = 1\%$  , geeft  $1,45 \cdot 10^6$  km<sup>2</sup> zijn >>

dan zou er per jaar, er van uitgaande dat de bacteriën met een efficiëntie van 0,1 % zonne-energie omzetten naar chemische stoffen, miljarden tonnen methaan en ammonia worden geproduceerd. En zou de planeet 10 graden stijgen in slechts 30 jaar. Een grote bonus daarbij is nog eens dat methaan en ammonia de planeet beschermen tegen ultraviolette straling. Maar bij het tegenhouden van deze uv-straling zal het methaan en de ammonia wel in enkele decennia worden vernietigd. Waarschijnlijk zullen de bacteriën wel genoeg produceren om dit op te vangen. Maar in principe moet in 30 jaar de temperatuur wel zo ver zijn gestegen dat er veel koolstofdioxidegas in de atmosfeer zit en dat zal ervoor zorgen dat er rondom Mars een ozonlaag zal ontstaan. Zelfs nu al heeft Mars een ozonlaag. Maar deze is 1/60° van die van de aarde. Hoewel dat relatief gezien nog onwaarschijnlijk hoog is omdat de atmosfeer van Mars 120 keer dunner dan die van de aarde is.

## Conclusie: Opwarmen van Mars

De beste manier om Mars op te warmen zal zijn alle opties die we hebben, te combineren. Zo zal er een spiegel nodig zijn om koolstofdioxide te laten smelten. Om het broeikaseffect dat door de toegenomen koolstofdioxide in de atmosfeer is gecreëerd te versnellen kunnen er fabrieken op Mars worden gemaakt die CFK's of PFK's produceren. Als er eenmaal vloeibaar water is ontstaan kunnen er bacteriën geïntroduceerd worden die op natuurlijke wijze methaan en ammonia zullen produceren, waardoor de opwarming van Mars weer versneld zal worden.



## Het verdichten van de atmosfeer van Mars

Om Mars warmer te maken is het creëren van een atmosfeer noodzakelijk. Zoals al eerder is vermeld is er al wel een hele dunne atmosfeer maar dat is lang niet genoeg om leven te ondersteunen. De atmosfeer moet dus worden verdicht; er moeten meer gassen in de atmosfeer.

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

Het makkelijkste is om de bevroren koolstofdioxide vrij te laten komen in de atmosfeer. Hoe meer koolstofdioxide (en waterdamp) in de atmosfeer hoe beter de warmte van de Mars wordt vastgehouden.

Het albedo, in- en uitgaande warmte, van de planeet wordt verlaagd. Doordat er minder warmte Mars verlaat en er nog steeds evenveel van de zon op de Mars terecht komt zal de planeet langzaam opwarmen.

Er is volgens berekeningen voldoende koolstofdioxide en water op Mars. Alleen moet het dus wel ontdooit worden.

In het voorafgaande is al beschreven hoe de bevroren koolstof-dioxide vrij kan komen in de atmosfeer. Als Mars dan langzaam opwarmt zal er ook hoe langer hoe meer koolstofdioxide in de lucht komen doordat de zuidpool en de neergeslagen koolstofdioxide enkele kilometers onder de oppervlakte van de planeet zullen ontdooien.

Natuurlijk is het vrij makkelijk om de poolkappen te laten smelten, gewoon een kwestie van gerichte warmte op de pool laten stralen en het ijs zal vanzelf dooien. Maar koolstofdioxide uit de bodem halen zal moeilijk worden omdat het daar vast zit tussen en in marslagen. Het hangt er zeer vanaf hoe goed de temperatuur die gecreëerd wordt aan de oppervlakte ook de bodem kan verwarmen en als die temperatuur in staat is de bodem te verwarmen hoe snel dit zal gebeuren. Gelukkig is de bodem van Mars vrij goed te simuleren door de op aarde bestaande droge bodem zoals bijvoorbeeld in de woestijn of op de steppes in noordelijke landen. Met dit verschil dat er misschien in de bodem van Mars ook ijs zit. En om de tijd te berekenen die de warmte er over zal doen een gegeven afstand in de bodem te bereiken bestaat een formule. De tijd die warmte nodig heeft om te geleiden over een gegeven afstand is recht evenredig met de wortel van de afstand.

Dus:  $t = k \cdot \sqrt{s}$ .

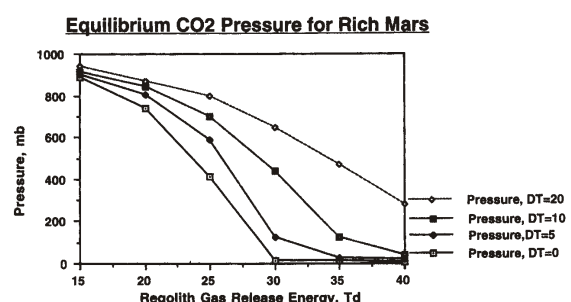
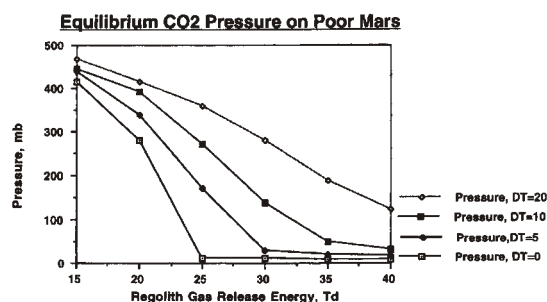
‘t’ is de tijd die nodig is om tot een bepaalde afstand in de aardkorst door te dringen en ‘s’ is de afstand die de temperatuur moet afleggen.

Op Mars is de tijd die nodig is één vierkante cm te verwarmen ongeveer 3,5 sec.

## Hoeveel koolstofdioxide is er aanwezig op Mars?

Volgens de onderzoeken die NASA heeft verricht aan de oppervlakte van Mars kan er vanuit gegaan worden dat er toch wel minstens  $5,0 \cdot 10^2$  mbar equivalenten op Mars aanwezig is. Daarvan zit er  $0,50 \cdot 10^2$  mbar equivalenten in de poolkappen en  $4,5 \cdot 10^2$  mbar equivalenten in de bodem. De poolkappen laten smelten heeft dus een kleiner effect dan het ontdooien van de bevroren koolstofdioxide die in de bodem aanwezig moet zijn.

Gaan we uit ervan uit dat Mars rijk is aan koolstofdioxide dan zal er waarschijnlijk  $1,0 \cdot 10^3$  mbar equivalenten totaal op de planeet aanwezig zijn: in de poolkappen  $1 \cdot 10^2$  mbar equivalenten en ongeveer  $0,9 \cdot 10^3$  mbar equivalenten in de bodem.



De aanwezigheid van koolstofdioxide op Mars is natuurlijk wel cruciaal voor het terraformeren ervan. En als het niet zeker is hoeveel koolstofdioxide er op Mars aanwezig is zou dit voor problemen kunnen zorgen. Gelukkig is er ook een theoretische manier om aan te tonen dat er koolstofdioxide op Mars aanwezig is. Die theorie luidt als volgt:

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

Zeoliet neemt koolstofdioxidegas op als het daarmee in aanraking komt en als de temperatuur wordt verlaagd naar een temperatuur die gelijk is aan die van Mars. Als zeolieten koolstofdioxidegas opnemen bestaat na die opname voor 20% het gewicht van het mineraal uit de opgenomen koolstofdioxide. Op Mars zijn zeer veel op zeolieten gelijkende mineralen aanwezig. Namelijk soorten klei die zeer goed te vergelijken zijn met zeoliet. Door een aantal stenen van Mars te verzamelen en het gewicht van een van deze stenen te meten voor én nadat de koolstofdioxide is vrij gekomen is gemakkelijk te berekenen hoeveel koolstofdioxidegas er in de steen zat en zo kan ook worden berekend hoeveel koolstofdioxide er in totaal op Mars aanwezig is.’

Een ander probleem dat wordt opgelost door het verdichten van de atmosfeer is het groter maken van de druk. De lage druk, 6.1 millibar is in vergelijking met aarde (1014 mbar) zeer gering. Dit is te wijten aan het feit dat Mars nauwelijks een atmosfeer heeft. De dichtheid van de atmosfeer van Mars is 0,02 kg/m<sup>3</sup>, terwijl die van de aarde 1,217 kg/m<sup>3</sup> is. De dichtheid en druk op Mars staan beiden met elkaar in verband. Het kleine beetje atmosfeer dat Mars rijk is bestaat uit koolstofdioxide. Op dit moment is het percentage koolstofdioxidegas in de atmosfeer van Mars minder dan 1 procent van datzelfde percentage op aarde. Als de koolstofdioxide uit de zuidelijke poolkap vrijkomt kan de druk oplopen van 6 a 10 mbar tot honderden mbar.

## Hoe gaan we het opwarmen van Mars aanpakken?

Om een temperatuurstijging tot stand te brengen zal er een hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer van Mars moeten komen. Over de manier waarop dat moet gebeuren zijn wel vele hypothesen, maar de feitelijke hoeveelheid om een temperatuurstijging tot stand te brengen is nog niet helemaal duidelijk. Gelukkig is daar een vrij eenvoudige vergelijking voor opgesteld.

Namelijk:  $\Delta p \text{ (mbar)} = c \cdot \sqrt{\Delta T}$

In woorden: De druk van de broeikasgassen (uitgedrukt in mbar) is gelijk aan de wortel van de temperatuursverandering (uitgedrukt in Kelvin)

## Het introduceren van plantaardig leven op Mars

Uiteindelijk is het natuurlijk het doel om mensen vrijelijk op Mars te laten rondlopen. Maar daarvoor zal er eerst plantaardig leven op Mars moeten worden geïntroduceerd.

Om een vegetatie op Mars te creëren zal er ook water nodig zijn. Het zal lang duren voordat de temperatuur van Mars boven het nulpunt zal stijgen en het ijs zal ontdooien. Momenteel is de temperatuur op Mars  $-63^{\circ} \text{C}$ , op de zuidpool (waar het meeste water ligt opgeslagen) zelfs  $-126^{\circ} \text{C}$ . Maar uiteindelijk als het broeikaseffect in werking treedt zal het omslagpunt van ijs naar water komen en zal er eindelijk weer vloeibaar water op Mars zijn. En zo dus een voorwaarde creërend voor het aanplanten van vegetatie.

Een aantal belangrijke stoffen voor het welzijn van planten op Mars zijn:



- CO<sub>2</sub> Een kleine hoeveelheid zit waarschijnlijk vast in de ijskap van de zuidpool en een grotere hoeveelheid is geabsorbeerd door de grond in de vorm van carbonaat.
- H<sub>2</sub>O Zit in de vorm van ijs in de poolkappen.
- N<sub>2</sub> Stikstof zit waarschijnlijk als nitraten in de grond. Samen met de carbonaten het grootste probleem van het leefbaar maken van Mars. De onderzoekers zijn er nog niet achter gekomen of er voldoende stikstof op Mars aanwezig is.

Niet alleen zijn deze stoffen noodzakelijk voor het overleven van planten op Mars. Maar ook de zwaartekracht, draaisnelheid, de hoek waarin de as staat ten opzichte van de zon en de afstand van de planeet tot de zon zelf. Nu wil het ‘toeval’ dat al deze variabelen genoeg lijken op die van de aarde en dus de mogelijkheid bieden om Mars leefbaar te maken.

Om de stap van het introduceren van planten op Mars te versnellen kunnen er ook micro-organismen op Mars worden vrij gelaten. En wel een heel speciaal micro-organisme.

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

Dit micro-organisme is terug te vinden op 's werelds barste plekjes, zoals in woestijnen, heet water bronnen en zelfs enkele meters diep in de bodem van Antarctica. De bacterie waar we het hier over hebben is de *Chroococcidiopsis*. De *Chroococcidiopsis* is zeer goed bestand tegen droge omstandigheden en wat mede zeer belangrijk is voor het proces van het leefbaar maken van Mars, het is een micro-organisme dat van fotosynthese gebruik maakt. Ook heeft *Chroococcidiopsis* een zeer hoge stralingsweerstand en kan het zijn eigen DNA na een periode blootgesteld te zijn aan ioniserende straling weer zelf repareren. Ook kan het als er eenmaal een beetje vloeibaar water aanwezig is aan de oppervlakte van Mars dit onder zich opslaan en zodoende de bodem geschikter maken voor planten.

Als Mars begint op te warmen zal de planeet het meeste lijken op de droge valleien van Antarctica. Maar zelfs daar is leven, net onder het oppervlakte. Het hangt vooral van de beschikbaarheid van stikstof af. Als er inderdaad nitraten in de bodem van Mars zitten zullen de micro-organismen die ontstaan na het opwarmen van Mars ook daadwerkelijk kunnen overleven. Stikstof is in de eerste plaats bouwstof voor de vorming van eiwitten. Met uitzondering van het inerte stikstof gas uit de lucht kunnen micro-organismen en algen alle andere vormen van stikstof gebruiken als energievoorziening of als bouwstof. Maar zoals al eerder vermeld hebben de onderzoekers via onbemande Marsexpedities nog niet kunnen achterhalen of er Stikstof in de bodem aanwezig is.

Maar veel effectiever dan ecosystemen van micro-organismen is een boom. Een boom produceert vele malen meer zuurstof dan microsystemen. Om te onderzoeken of en wanneer er in de ontwikkeling van de terraforming van Mars bomen kunnen leven wordt er in Mexico onderzoek gedaan. Want in Mexico is 's werelds hoogste boomgrens. Zelf zullen wij hier ook een aantal proeven over doen.

Om even te recapituleren:

Dus de volgende stappen moeten plaatsvinden om uiteindelijk een vruchtbare bodem en een goede leefomgeving voor planten te creëren:

- Het toenemen van de temperatuur op Mars.
- Er moet een atmosfeer met een ozonlaag op Mars zijn gecreëerd.
- Het ijs op Mars moet zijn omgezet in vloeibaar water.
- De droge woestijnachtige bodem op Mars moet vruchtbaar zijn gemaakt.

Nu kan het wel even duren voordat aan al deze voorwaarden is voldaan, maar als dat eenmaal is gebeurd, zijn de kansen zeer groot dat er een echte flora op Mars zal ontstaan. De bodem is er vruchtbaarder dan op de meeste plaatsen op aarde, omdat deze bodem zeer rijk is aan mineralen. Ook is de grotere afstand van Mars tot de zon (Het zonlicht niveau op Mars is 43% dat van de aarde) in combinatie met een dikke atmosfeer die ontstaan is na verwarming van de planeet ideaal voor de toekomstige flora. Ook al staat de zon dus verder weg, door de dikke atmosfeer wordt er meer warmte vastgehouden dan op aarde en ontstaat er dus een constant aangename temperatuur.

Als we uiteindelijk zo ver zijn dat we echt over voor mensen bewoonbare Mars kunnen gaan praten zullen hiervoor twee verschillende manieren zijn. We kunnen kiezen voor een vroege kolonisatie waarbij de mens nog in overdekte koepels zal moeten leven en in ruimtepakken zal moeten rondlopen (1.) En we kunnen kiezen voor een meer aards leven, waarop we vanzelfsprekend wel langer zullen moeten wachten. (2.) Natuurlijk zijn deze twee vormen van kolonisatie ook met elkaar te combineren. Namelijk eerst manier 1. die langzaam in manier 2. overgaat.

## **Manier 1. (Vroege kolonisatie van Mars)**

Een Mars waar planten en micro-organismen op kunnen leven. Daar zal dan een dikke atmosfeer voor nodig zijn. En deze atmosfeer zal voornamelijk uit koolstofdioxide moeten bestaan en ook een beetje stikstof en zuurstof. Koolstof is essentieel voor het voortbestaan van planten en het op temperatuur houden van de planeet. De laatste twee stoffen zijn voor het ademen. Op een dergelijke Mars zou een mens kunnen leven, maar wel in een ruimtepak.

## **Manier 2. (kolonisatie van Mars, waarbij het leven meer op dat van onze aarde lijkt)**

Een Mars waar mensen wel op kunnen leven. Dan zou er een mix van gassen in de atmosfeer moeten zijn (zoals op aarde) en in ieder geval een flink stuk minder koolstofdioxide in de atmosfeer moeten voorkomen (1%) en heel wat meer zuurstof. Maar zonder al dat koolstofdioxide zou Mars even koud blijven als het nu is -55 graden dus. Daar zou dan eerste een broeikaseffect moeten plaatsvinden. Maar het is nog maar de vraag of de atmosfeer op Mars wel blijft hangen.

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

## Conclusie:

Binnen enkele decennia zou Mars kunnen worden veranderd tot een in kleine mate vochtige en iets warmere planeet met gebruik van al deze methoden. Deze planeet zou dan in staat moeten zijn leven in stand te houden. De druk zal voor de mens draagbaar zijn, hoewel er te weinig zuurstof is om vrij adem te halen. Sommige geharde planten zouden er al zeker kunnen groeien. En die planten zullen dan de koolstofdioxide opnemen en omzetten in zuurstof. Dit zou dan wel een daling van de temperatuur tot gevolg hebben. Maar om dit te neutraliseren zouden er andere CFK's in de atmosfeer gebracht kunnen worden die de warmte toch vast blijven houden.

De eerste fase, het opwarmen van de planeet, zal het langst duren. De planeet zal niet ineens hele graden stijgen, langzaam; tiende graad voor tiende graad. En in het langzaam laten ontdooien van de permafrost in de zuidelijke poolkap en het laten ontsnappen van koolstofdioxide zal ook wel enige tijd gaan zitten, laat staan in het laten ontsnappen van koolstofdioxide uit de bodem. De planeet zal na deze eerste fase nog wel erg koud en droog zijn. Maar als er door temperatuurstijging eenmaal enig vloeibaar water is op de planeet kunnen er in het begin kleine taaie plantjes worden geïntroduceerd. Maar na verloop van tijd zullen er ook efficiëntere planten (die meer koolstofdioxide in zuurstof omzetten) en zelfs taaie diersoorten kunnen worden geïntroduceerd.

Jammer genoeg blijven de meeste theorieën over het terraformen van Mars berusten op speculaties. Er is simpelweg nog te weinig vastgesteld over Mars. Zo is nog steeds niet met zekerheid te zeggen of echt alle benodigde mineralen wel op Mars aanwezig zijn en of deze wel hetzelfde effect veroorzaken als op aarde. Daarnaast is ook nog steeds niet 100% zeker of er wel water op Mars te vinden is. Want de ijslagen die gevonden zijn zouden misschien ook wel alleen maar uit bevroren koolstofdioxide kunnen bestaan.

## ONMOGELIJK?

Er zijn al verschillende hypothesen over de mogelijkheden van terraforming. Verschillende manieren zijn al aan-gevoerd om Mars binnen een honderdtal jaren of zelfs minder om te zetten in een leefbare planeet voor mensen, dieren, planten en andere organismen. Toch is er een aantal problemen te overwinnen.

Ten eerste is de techniek nog niet zo ver gevorderd dat terraforming binnen een aantal jaar begonnen kan worden. Het brengen van stoffen naar de atmosfeer van Mars lijkt nog wel de meest voor de hand liggende optie, raketten hebben we genoeg en kunnen op makkelijke wijze gemaakt worden, broeikasgassen zijn ook op een goedkope manier te maken. Toch is van deze hypothese erg onzeker wat de hoeveelheid van de te vervoeren stoffen is al kunnen ze bijeengeperst worden verscheept. Grote hoeveelheden eisen erg veel raketten, dat is erg duur en waarschijnlijk duurt het zo ook erg lang om Mars te terraformen. Een volgende theorie van Chris McKay zegt dat een paar honderd fabriekjes op Mars die koolfluorcarbonaten in de lucht pompen genoeg moet zijn om Mars te terraformen zoals Lovelock al heeft geopperd in de voorgaande theorie. De grondstoffen zullen van Mars zelf komen. De theorie van McKay heeft al een betere grond, er worden namelijk grondstoffen van Mars zelf gebruikt, er worden niet miljarden eenheden aan energie verbruikt om gassen te transporteren. De techniek die ervoor nodig is om op Mars zelf uit het oppervlak de gassen te halen is ook al aanwezig op aarde. Deze theorie is nu alleen onmogelijk omdat deze fabrieken door robots of door mensen gebouwd moeten worden. Zeer intelligente robots hebben we nog niet, de mens heeft op Mars niet genoeg grondstoffen om er een aantal jaren te leven en zou veel op en neer moeten reizen. Robots, die net als de fabriekjes uit het oppervlak van Mars gassen produceren, die zichzelf nabouwen zijn ook nog toekomstmuziek aangezien de techniek er nog niet is. Een andere methode zoals het bombarderen van Mars met waterstofbommen blijkt niet in werkelijkheid te kunnen worden gedaan omdat er miljarden bommen voor nodig zijn om de gewenste hoeveelheid CO<sub>2</sub> vrij te laten komen. Ook de gigantische ruimtespiegels die het oppervlak van Mars zouden moeten verwarmen zijn technisch nog niet mogelijk.

Buiten de technische problemen zijn er nog meer moeilijkheden. Eerst moeten deze moeilijkheden goed onderzocht worden voordat begonnen wordt met de terraforming van Mars omdat anders een averechts effect kan ontstaan: er zouden zelfs catastrofale rampen kunnen voorkomen.

Als je Venus bestudeert zie je hoe de aarde er waarschijnlijk uit kan zien wanneer het broeikas effect op volle toeren loopt. Venus is verhit. Dit zou met Mars ook kunnen gebeuren, men kan nog niet helemaal precies berekenen hoe de atmosfeer van Mars precies reageert op een nagebootst broeikas effect. Eerst moet dus goed uitgezocht worden welke hoeveelheden CO<sub>2</sub> geproduceerd moeten worden, anders heb je twee planeten waarmee

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

terraforming niet meer mogelijk is.

Een tweede probleem is welk effect het opvoeren van druk en temperatuur op Mars voor effect heeft op de Marsstormen. De stormen op Mars die men om de tijd waarneemt ontstaan meestal in de periode dat Mars het dichtst bij de zon staat. Waarschijnlijk zijn de temperatuurverschillen op Mars de directe oorzaak. Overigens nemen de stormen erg veel stof met zich mee, door deze laag stof in de atmosfeer komt weer een broeikas effect wat dan weer tot nieuwe temperatuurverschillen leidt en dus een versterking van de storm. Wanneer de mens de temperatuur op Mars groter maakt en de hoeveelheid CO<sub>2</sub> meer maakt is niet zeker of de stormen versterkt zullen worden of afgezwakt. Wel is het zo dat er op Mars door een dichtere atmosfeer van CO<sub>2</sub> de temperatuur beter verdeeld wordt over dag en nacht, wel of geen zon, en hiermee worden de temperatuurverschillen minder, zo kan het zijn dat de stormen ook afnemen.

Een probleem is ook het oppervlak van Mars, deze bestaat uit “regolith” stenen en fijne stof, voor een deel bestaand uit geoxideerd ijzer. Waarschijnlijk is het ijzer geoxideerd door het water wat vroeger op Mars heeft gevloeid. Ook bevat het veel koolstof en wat mineralen. Deze Marsgrond is niet echt vruchtbaar. Om er planten te laten groeien na de eerste stap van terraforming moet de grond dus vruchtbaar gemaakt worden. Op aarde laat je dode organismen omzetten tot compost e.d door micro-organismen. Op Mars zou dit alleen kunnen gebeuren door er grote hoeveelheden micro-organismen te plaatsen die dan weer leven van elkaars afval (van dode micro-organismen).

Als mogelijk micro-organisme is al een bacterie aangewezen die op velerlei onbewoonbare plaatsen op aarde leeft. “Chroococcidiopsis” is de naam van deze bacterie. Deze bacterie behoort tot de cyanobacteriën en is een van de meest primitieve vormen ervan. De Chroococcidiopsis is gevonden in vulkanen, zoutmeren, woestijnen en op Antarctica. Overigens sterft deze bacterie wel uit wanneer het tegen andere micro-organismen op moet boksen.

De onderzoeker Juan Oro kwam met een probleem voor micro-organismen op Mars. Er zou waterstofperoxide gevormd worden in de atmosfeer van Mars door de straling. De waterstofperoxide, een erg agressieve stof, zou neerslaan op het oppervlak van Mars. Micro-organismen kunnen niet leven onder die omstandigheden, dit zou zelfs een probleem zijn voor Chroococcidiopsis. Uiteindelijk is de theorie rond de vorming van waterstof omvergeworpen door de onderzoeker Levin. Hij liet zien dat verschillende metingen op Mars geen spoor van waterstofperoxide aantoonde. Deze metingen zijn gedaan door de Mariner 9, door spectroscopie, in 1972 en onlangs door de telescoop van Kitt Peak. Ook de Pathfinder heeft vier jaar geleden niets aangetroffen dat duidt op een oxiderend milieu. Weinig ijzeroxide werd aangetroffen voor een oxiderend milieu. Wel werd er pyroxeen in grote mate gevonden. De Pathfinder en de Viking hadden ook onderzoek gedaan naar het magnetisme van de marsbodem, deze bleek veel magnetisch materiaal te bevatten. Sterk geoxideerd ijzer is niet magnetisch.

Veel problemen zijn er dus in theorie maar deze moeten eerst praktisch uitgezocht worden. Zo ook is er het probleem van de aantrekkingskracht van Mars. Heeft Mars genoeg aantrekkingskracht om een atmosfeer bijeen te houden welke we zoeken? Het bijeenhouden van de moleculen die rond Mars zweven (net zoals bij de aarde) wordt gedaan door zwaartekracht, wanneer deze niet groot genoeg is kan ze alleen de grootste moleculen bijeenhouden waartoe CO<sub>2</sub> misschien wel behoort, maar O<sub>2</sub> zeker niet. Zo is er ook het probleem of CO<sub>2</sub> wel de echte goede stof is om een broeikas effect mee te bereiken. Er zijn al genoeg bewijzen dat CO<sub>2</sub> niet de bepalende factor is in het broeikasprobleem wat de wereld kent. Zeker is dat water in de lucht een mindere hoeveelheid warmtestraling terug doorlaat dan CO<sub>2</sub>. Zo rijst de vraag op of een laag van 95% CO<sub>2</sub> rond Mars kan zorgen voor een toereikend broeikas effect.

Onbekende virussen kunnen de mens ook in de weg staan om terraforming te doen. Als blijkt dat het marsoppervlak op dit moment bewoonbaar is voor organismen, zouden er eventueel gevaarlijke micro-organismen van Mars kunnen komen. Een dergelijk iets moet worden voorkomen en dit kan alleen door goed bodemonderzoek op Mars. Er zullen dus eerst monsters moeten worden gehaald.

Als alle omstandigheden perfect blijken en de terraforming slaagt, blijft er nog een lange weg te gaan. Hoe moet de natuur opgebouwd worden en hoe richt men de maatschappij in? Dat zullen dan de twee grote problemen zijn. Mars biedt daarbij wel veel nieuwe mogelijkheden om een utopie te gaan maken, of moet Mars gelijk aan de aarde worden? We voorspellen dat er in ieder geval koloniale oorlogen zullen voorkomen. De grootste moeilijkheid blijft wel de opbouw van de natuur. Een perfect evenwicht zoals er op aarde geldt zou de mens moeten gaan nastreven, dit kan niet anders dan onmogelijk zijn. De mens zou moeten kiezen welk organisme in welke mate verspreid moet worden over dit grote gebied. De biotoop is er dus wel maar de levensgemeenschap



# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

moet gemaakt worden. De banden waarmee een levensgemeenschap in elkaar hangt mogen niet doorbroken worden. Een verandering in die banden brengt een voordeel voor bepaalde diersoorten in die levensgemeenschap en daarmee ook de overwinning van die diersoort, de overwonnen soort sterft uit. Nu de overwinnaar verder geen concurrentie meer heeft van de andere soort zal deze zich ongebreideld kunnen voortplanten en uiteindelijk leidt dit ook tot sterfte binnen die soort door voedseltekort. De soort die voedsel is voor de overwinnaar zal uitsterven omdat ze overrompeld worden door de grote van de overwinnaar die hun predator is. Zo kun je een kettingreactie verwachten en zullen uiteindelijk alle organismen die getransporteerd zijn naar Mars sterven.

Het laatste probleem is een ethisch probleem. Mag de mens voor God spelen? Deze kwestie is ook moeilijk te beantwoorden. De mensen die tegen zijn zullen als stelling aanvoeren dat Mars in stand gehouden moet worden voor wat hij is en er niet aangerommeld mag worden wanneer we onze eigen planeet niet eens goed kunnen regelen. De voorstanders zullen aanvoeren dat Mars alleen maar naar zijn oorspronkelijke staat terug wordt gebracht. En dat de rode planeet er alleen maar mooier op wordt. Gelukkig is het nog niet zover aangezien er eerst nog genoeg technische problemen te overwinnen zijn.

## PRACTICUM 1 (AFGEBROKEN)

Het Terraformen van Mars kun je in twee delen splitsen. Met het eerste deel van het Terraformen verander je de waarde van het  $\text{CO}_2$  - gehalte op Mars. Je verandert de druk daarmee omdat er een hogere concentratie aan stoffen in de atmosfeer is, je verandert daarmee ook de temperatuur omdat  $\text{CO}_2$  als een broeikasgas zal werken. De  $\text{CO}_2$  atmosfeer zal de warmte van het zonlicht dat binnenkomt binnen de atmosfeer houden. Door deze warmte zal ook het ijs op de poolkappen van Mars smelten en zal er waterdamp in de atmosfeer komen, en water op het oppervlak. Met het eerste deel van de terraforming maak je dus de fysiologische omstandigheden op planeet Mars zo, dat ze (bijna) gelijk aan die van de aarde zijn.

Met het tweede deel van de terraforming zorg je ervoor dat Mars leefbaar wordt voor mensen. Er moet zuurstof aanwezig zijn op de planeet. De zuurstof op Mars wil men creëren door planten op het marsoppervlak of bacteriën op het marsoppervlak zetten die  $\text{CO}_2$  omzetten in  $\text{O}_2$ . Ook zijn er andere dingen voorhanden, maar we willen het bij de proef op het biologische vlak houden. De vraag rijst welke planten we hiervoor dan willen gebruiken, of welke bacteriesoort? Nu willen wij onderzoeken of er op aarde een geschikte plant is die de fysiologische omstandigheden aankan en daarbij natuurlijk veel  $\text{O}_2$  produceert.

We nemen voor deze proef verschillende opgegroeide kiemplanten (waarvan al verschillende eigenschappen zichtbaar zijn). Deze planten willen we onderzoeken op:

bij verschillende druk (bar)

Wateropname

$\text{O}_2$  productie in 95%  $\text{CO}_2$  atmosfeer

Na dit te hebben onderzocht kunnen we een model voor de verschillende planten opstellen. Dit model moeten we dan vergelijken met het model dat we hebben opgesteld voor de perfecte terraformplant.

Voor de proef hebben we nodig:

Kipp  $\text{CO}_2$ -machine

Stolp

Drukmeter

$\text{O}_2$ -meter

$\text{CO}_2$ -meter

Verschillende plantjes

Nog niet zeker is of we de  $\text{O}_2$ -productie en de  $\text{CO}_2$ -afname in de stolp op een erg nauwkeurige manier moeten en kunnen meten. Een optie is om de  $\text{CO}_2$ -opname van een plant te meten aan de hand van het drooggewicht. Je neemt twee identieke plantjes en van de een meet je het drooggewicht. De ander zet je in de  $\text{CO}_2$ -atmosfeer en na een aantal dagen zal dit plantje  $\text{CO}_2$  hebben omgezet in  $\text{O}_2$  en glucose, je meet het drooggewicht en via scheikundige berekeningen meet je dan hoeveel  $\text{CO}_2$  er is opgenomen en omgezet. De proefopstelling komt pas bij het definitieve verslag.

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

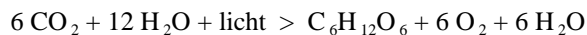
## PRACTICUM 2

Onderzoeksvraag:

Hoeveel koolstofdioxide verbruikt een plant om een hoeveelheid zuurstof aan te maken?

Doel van het onderzoek:

Wanneer we weten hoeveel koolstofdioxide een plant verbruikt voor de aanmaak van een bepaalde hoeveelheid zuurstof kunnen we uitrekenen in wat voor tijdsbestek de planeet Mars door (simpele) planten geterraformeerd kan worden (We gaan hierbij uit van het tweede deel van het terraform proces, de omstandigheden als temperatuur en druk zijn bijna gelijk aan die van de planeet aarde en dus leefbaar voor planten). Dit gegeven berekenen we met de basisformule voor de groei van een plant te weten:



Bij deze berekening moeten we een aantal kanttekeningen plaatsen aangezien de uitkomst wel erg globaal wordt omdat een aantal factoren zich erg moeilijk laat raden. Zo weten we nog niet wat de piek van CO<sub>2</sub> opname van een plant is, we hebben ook geen onderzoek kunnen doen met planten in een CO<sub>2</sub> rijke atmosfeer, op Mars is dit het geval. De piek van CO<sub>2</sub> opname heeft in ieder geval zeker te maken met de groei van een plantje, welke op een gegeven moment zijn top gewoonweg bereikt. Het probleem van het water blijft ook nog altijd bestaan, we weten niet of er erg veel water op Mars te vinden zal zijn. Overigens staan de opname van water en CO<sub>2</sub> in een dergelijk verband met elkaar dat wanneer er een gebrek is aan water er ook minder CO<sub>2</sub> wordt verbruikt. Hier zijn we achtergekomen nadat we een bak met plantjes een paar dagen zonder water hebben laten staan, deze planten hingen slap en groeiden niet, terwijl de andere bespoten planten goed doorgroeiden. Bij deze problemen komt dan ook nog dat de formule die we gebruiken nooit optimaal weergeeft wat er reëel in en uit de plant gaat, zo krijgen we ook het probleem dat we met erg grote hoeveelheden moeten gaan werken wanneer we berekenen hoeveel plantjes er op de poolkappen van Mars terecht kunnen. We nemen bewust de poolkappen omdat daar waarschijnlijk genoeg water aan en in het oppervlak te vinden is om de planten te laten groeien.

Benodigheden:

zaad van een simpel plantje (tuinkers)  
watten  
watersproeier  
microweger  
wit kopersulfaat  
TI 83



Fig. 1: zakje tuinkerszaad

**Hoe gaan we te werk:**

We nemen een kweek tuinkers, we laten de plantjes een tot twee centimeter opgroeien. We nemen een tiental tuinkersplantjes uit de kweek, we ontdoen deze van aanhangende zaadlobben. We drogen de plantjes in in een potje met wit kopersulfaat (hierbij komen de plantjes niet direct in het kopersulfaat te liggen). We meten na drie dagen indrogen het drooggewicht en delen dit door tien. Dit herhalen we met een tiental plantjes van de zelfde kweek die drie dagen langer zijn doorgegroeid. Het drooggewicht geeft het aantal C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> aan, nu kunnen we berekenen hoeveel glucose er is ontstaan. Met behulp van de formule bepalen we hoeveel CO<sub>2</sub> hiervoor verbruikt is en hoeveel O<sub>2</sub> daarbij is ontstaan via de molverhouding. De gegevens over de planeet Mars berekenen we voor een groot deel zelf. De straal van de planeet en sommige andere dingen hebben we opgezocht.

# Profielwerkstuk “Terraforming *hoogmoed of mogelijk?*”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

## Opstelling:



Fig. 2: 1<sup>e</sup> kweek tuinkers



Fig. 3: blauw en wit kopersulfaat



Fig. 4: uitgegroeide tuinkers



Fig. 5: indrogen van tuinkers

## Meetresultaten:

Het gemiddeld gemeten resultaat is hieronder vermeld:

Groep	Gemeten gewicht
1	16,33 µgram
2	18,24 µgram

Beide groepen bestaan uit 7 plantjes en beide groepen hebben 3 dagen gedroogd. Groep twee is drie dagen langer doorgroeid.

## Berekeningen:

Nu we de microgrammen van de ingedroogde plantjes hebben, kunnen we berekenen hoeveel CO<sub>2</sub> er is omgezet in O<sub>2</sub> door de tuinkers.



In 3 dagen is door het plantje  $18,24 - 16,33 = 1,91$  microgram glucose opgebouwd.

Per plantje dus  $1,91 / 7 = 0,27$  microgram ofwel  $0,27 \cdot 10^{-6}$  gram.

Glucose is 180 gram per mol. Dus is er  $0,27 \cdot 10^{-6} / 180 = 1,5 \cdot 10^{-9}$  mol glucose opgebouwd.

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

Via de molverhouding komen we tot glucose:  $\text{CO}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{O}_2 = 1 : 6 : 6$ . De hoeveelheid  $\text{CO}_2$  die wordt gebruikt wordt in gelijke molverhouding uitgestoten in  $\text{O}_2$ . Wil je de hoeveelheid  $\text{CO}_2$  en  $\text{O}_2$  uitgedrukt in mol, dan moet je het aantal mol glucose maal 6 doen.

$$(1,5 \cdot 10^{-9}) \text{ mol} \cdot 6 = 9 \cdot 10^{-9} \text{ mol}$$

Om het gasvolume hiervan te berekenen, van het aantal mol  $\text{CO}_2$  en  $\text{O}_2$ , moet je het getal maal 22,4 doen.

$$(9 \cdot 10^{-9}) \text{ mol} \cdot 22,4 \text{ dm}^3/\text{mol} = 2,016 \cdot 10^{-7} \text{ dm}^3$$

We hebben nu berekend hoeveel  $\text{CO}_2$  één tuinkersplantje in 3 dagen om heeft gezet in  $\text{O}_2$ .

Nu moeten we de inhoud van de marsatmosfeer gaan berekenen nadat het eerste deel van de terraforming is doorgevoerd. Momenteel is de hoogte van de marsatmosfeer 11 km. Nadat er  $\text{CO}_2$ -gassen vrij zijn gekomen uit het marsoppervlak wordt dit getal naar onze mening anders. We wilden dit berekenen met de volgende formule:

$$F_g = (G_c \cdot m_1 \cdot m_2) / R^2$$

Hierbij zijn:  $F_g$  = gravitatiekracht

$G_c$  = gravitatie constante

$m_1$  = massa mars

$m_2$  = massa  $\text{CO}_2$ -molecuul (95% tot meer van de atmosfeer bestaat daaruit)

We bedachten echter later dat de  $F_g$  afneemt naarmate je hoger in de atmosfeer komt. Zo bleven we met twee onbekende variabelen achter en hebben we een aangenomen grootte van de atmosfeer genomen.

De aangenomen hoogte is 15 km. De hoogte van de atmosfeer van de aarde t/m de ozonlaag is zo'n 30 km. Mars' diameter is ongeveer de helft van die van de aarde dus hebben we de helft van de aardse atmosfeer genomen om in verhouding te blijven.

De straal van mars is  $3,393 \cdot 10^7$  dm. We berekenen nu het volume van Mars met de formule voor de inhoud van een bol.

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (3,393 \cdot 10^7)^3 = 1,64 \cdot 10^{23} \text{ dm}^3$$

Nu moeten we de straal verlengen met 15 km (150000 dm) om de inhoud van de marsatmosfeer te krijgen.

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot ((3,393 \cdot 10^7) + (15 \cdot 10^4))^3 = 1,67 \cdot 10^{23} \text{ dm}^3$$

Het volume van de marsatmosfeer is dus  $1,67 \cdot 10^{23} - 1,64 \cdot 10^{23} = 0,03 \cdot 10^{23} \text{ dm}^3$ .

Nu gaan we berekenen hoeveel plantjes er op 1 marspool kunnen staan.

De marspool heeft een straal van 200 km.

$\pi \cdot 200^2 = 1,25 \cdot 10^5 \text{ km}^2$  om plantjes op te zetten. Er kunnen zo'n 10 plantjes per  $\text{cm}^2$  staan dus

$$1,25 \cdot 10^{15} \text{ cm}^2 \cdot 10 = 1,25 \cdot 10^{16} \text{ plantjes kunnen er ongeveer groeien.}$$

Hoeveel zet deze hoeveelheid plantjes nu om? We doen het aantal plantjes maal de hoeveelheid die ze in 3 dagen van  $\text{CO}_2$  naar  $\text{O}_2$  omzet.

$$1,25 \cdot 10^{16} \cdot 2,016 \cdot 10^{-7} = 2,5 \cdot 10^9 \text{ dm}^3 \text{ omgezet in drie dagen tijd.}$$

$$\text{In één dag tijd dus } 2,5 \cdot 10^9 / 3 = 8,3 \cdot 10^8 \text{ dm}^3/\text{dag.}$$

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

Nu willen we kijken hoeveel dagen het duurt voor de plantjes om de CO<sub>2</sub> in zuurstof om te zetten. We delen dus de totale hoeveelheid van de marsatmosfeer, voor ongeveer 99% bestaande uit CO<sub>2</sub>, door wat de plantjes in één dag omzetten.

$$0,03 \cdot 10^{23} \text{ dm}^3 / 8,3 \cdot 10^8 \text{ dm}^3/\text{dag} = 3,61 \cdot 10^{12} \text{ dagen.}$$

We kijken nu hoeveel jaar er dan over wordt gedaan.

$$3,61 \cdot 10^{12} / 356 = 1,01 \cdot 10^{10} \text{ jaar}$$

Er is waarschijnlijk minder tijd nodig, 25% zuurstof is voor mensen al voldoende, er is dan wel extra apparatuur voor nodig de zware CO<sub>2</sub> lucht uit je adem te verwijderen.

$$25\% \text{ van } 1,01 \cdot 10^{10} \text{ jaar is } 2,53 \cdot 10^9 \text{ jaar.}$$

## Conclusie:

Na de berekeningen te hebben gedaan, bleven we gedesilluseerd achter. Zo'n lange tijd om een planeet "bewoonbaar" te maken hadden we niet verwacht. Onze conclusie na deze proef luidt dan ook dat het verspilde moeite is om op een dergelijke manier aan terraformen te beginnen. Wanneer er betere technieken komen is er misschien wel op een mechanische manier zuurstof aan te maken, grotere planten gebruiken zou misschien een optie zijn maar verkort de tijd waarschijnlijk niet zo zeer dat het de moeite waard wordt.

## LOGBOEK

Week	Behandelde dingen
37	Gezamenlijk informatie gezocht, onderwerp bepaald
38	Planning begonnen, info ingedeeld, 1 <sup>e</sup> gesprek
39	PVA af, proef besproken, subvragen af, 2 <sup>e</sup> gesprek
40	Informatie indelen, in bibliotheek info gevonden nl. video
41	Video bekeken, proef ingestuurd naar TUE
42	Reply van TUE, proef veranderd
43	Groot deel werkstuk uitgeschreven
44	Over en weer mailen naar TUE, uiteindelijk besloten de proef op school te doen
45	Compoweek
46	Nieuw (voor school haalbaar) practicum opgesteld
47	Werkstuk verder uitgeschreven (grote lijn in te leveren in week 48)
48	Laatste hand aan werkstuk, met de heer Schoorel proef besproken, werkstuk inl.
49	Nieuwere proef opgesteld
50	Dingen die nodig waren voor proef gehaald
51	Proef begonnen
52	Voortzetting proef + evaluatie tussen leden van het werkstuk
1	Proef afgerond
2	Laatste stukken geschreven
3	Laatste berekeningen gemaakt aan lay-out gewerkt, uiteindelijke pws ingeleverd

# Profielwerkstuk “Terraforming hoogmoed of mogelijk?”

Rob Stalpers, Joni van der Ceelen, Max Robben

© havovwo.nl

---

## EVALUATIE

De samenwerking binnen onze groep verliep erg goed, we wisten allemaal van het begin af aan wat ons te doen stond, en zijn hier verder niet veel van afgeweken. We zijn vaak bij elkaar gekomen om de vorderingen en eventuele moeilijkheden of problemen waar we zelf niet meteen uitkwamen, samen aan te pakken. Iedereen bleef goed gemotiveerd, werkte goed door aan het werkstuk, en noteerde op tijd wat hij precies gedaan had. Een klein nadeel zou kunnen zijn dat de uitwisseling aan informatie niet helemaal goed verliep. Hij verliep niet slecht, maar deze zou geperfectioneerd kunnen worden. We stuurden het gemaakte werk wel naar elkaar, maar vaak pas relatief laat en in grote hoeveelheden. Het was misschien beter geweest wat vaker en minder informatie tegelijk te versturen. We hebben ons niet helemaal aan het plan van aanpak kunnen houden, hoewel dit een degelijk plan was wat we zorgvuldig hebben samengesteld. We hebben ons in grote lijnen wel aan het plan gehouden, maar helaas ondervonden we wat moeilijkheden betreffende ons practicum. We verwachtten wat meer van onze samenwerking met een docent op de universiteit in Eindhoven, die ons uiteindelijk redelijk liet zitten. Hierdoor raakte onze tijdsplanning enigszins uit balans, maar we hebben dit uiteindelijk nog redelijk op weten te vangen door een alternatieve proef te doen. Bij deze proef wilden we de touwtjes in eigen handen houden en er zeker van zijn dat hij goed verliep. Daarom was het zaak om van weinig factoren afhankelijk te zijn en nauwkeurig te werk te gaan, dit is uiteindelijk goed gelukt.

## BEGRIPPENLIJST

- Terravorming:** Een proces van het verbeteren van de capaciteit van de omgeving van een buitenaardse planeet. Het uiteindelijk resultaat zou moeten leiden tot een vrije planetaire biosfeer die gelijk is aan de biosfeer van de aarde, waar mensen hun leven kunnen leiden.
- Zeolieten:** Hydrosilicaataluminium mineralen die één of meer van de volgende stoffen bevatten: Sodium, potassium, calcium, strontium of barium.
- CFK's:** ChloorFluorKoolstoffen. Gassen die bij ons op aarde het broeikaseffect veroorzaken.
- PFK's:** PerFluorKoostoffen. Boeikasgassen. PFK's hebben de zelfde functie als CFK's, maar zijn vele keren effectiever en tasten de ozonlaag niet aan.
- Albedo:** Hoeveel warmte de planeet binnenkomt en hoeveel warmte de planeet verlaat.
- Chroococciopsis:** De bacterie met de meeste overlevingskans in een agressieve omgeving. Zeer geschikt om als eerste biologisch leven op Mars geïntroduceerd te worden.

## BRONNENLIJST

*\*The case for Mars:*

*'The plan to settle the red planet and why we must'*

*Robert Zubrin*

[http://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/thumbnail\\_pages/mars\\_thumbnails.html](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/thumbnail_pages/mars_thumbnails.html)  
<http://spot.colorado.edu/~marscase/Home.html>  
<http://www.users.globalnet.co.uk/%7Emfogg/index.htm/>  
<http://web.mit.edu/mmm/www/summary.html>  
<http://www.redcolony.com/>  
<http://www.compulink.co.uk/~vicarage/planets/>  
[http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/mars\\_colonize\\_terraform.html](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/mars_colonize_terraform.html)  
[http://www-curator.jsc.nasa.gov/wwwsites/Mars\\_links.htm](http://www-curator.jsc.nasa.gov/wwwsites/Mars_links.htm)  
<http://www.marssociety.nl/rogro.html>  
[http://www.utolantis.org/dutch/nl\\_goals.htm](http://www.utolantis.org/dutch/nl_goals.htm)  
<http://mars.jpl.nasa.gov/science/index.html>  
<http://www.sterrenkunde.com/mars.htm>  
<http://www.astronova.nl/zonnestelsel/mars/mars2.html>  
<http://members.ams.chello.nl/s.ball/mars.htm>  
<http://www.infoster.be/negepl/mars.html>  
<http://home.wanadoo.nl/~gjdekok/mars.htm>  
<http://mediatheek.thinkquest.nl/~11138/text/engine.php3?department=Ruimte&chapter=Operatie%20Mars>  
<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hangar/4031/>  
<http://www.users.globalnet.co.uk/~mfogg/zubrin.htm>  
<http://www.users.globalnet.co.uk/~mfogg/gjerde.htm>  
<http://www.marssociety.nl/terrafor.php>