



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Organics on Mars : Laboratory studies of organic material under simulated martian conditions

Kate, Inge Loes ten

Citation

Kate, I. L. ten. (2006, January 26). *Organics on Mars : Laboratory studies of organic material under simulated martian conditions*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4298>

Version: Corrected Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4298>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Chapter 7

Nederlandse samenvatting

In dit proefschrift staan de resultaten beschreven van onderzoek naar de reacties van bepaalde aminozuren en micro-organismen op condities die op het oppervlak van Mars heersen. Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de planeet Mars alsmede van de geschiedenis van het Marsonderzoek. Het derde deel van dit hoofdstuk is gewijd aan het onderzoek dat in dit proefschrift is beschreven.

1 DE GESCHIEDENIS VAN HET MARSONDERZOEK

Sinds mensenheugenis kijkt de mens naar de sterren en planeten aan de nachtelijke hemel. Eén van de meest fundamentele vragen die men zich daarbij stelde en stelt, is: „Is er leven buiten de aarde?” Mars, de volgende planeet in ons zonnestelsel, heeft altijd een grote rol gespeeld in het beantwoorden van deze vraag. Ons zonnestelsel bestaat uit 10 planeten, ongeveer 100 manen bij deze planeten, en een groot aantal kleinere objecten zoals kometen en asteroïden. De planeten kunnen grofweg worden onderverdeeld in rotsachtige aardse planeten Mercurius, Venus, aarde, Mars, en reusachtige gasplaneten Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus. Deze planeten draaien om de zon in een min of meer circulaire baan. Daarnaast zijn er Pluto en de pas ontdekte tiende planeet (tijdelijke naam: 2003UB313). Deze twee planeten bestaan uit een combinatie van rotsen en ijs en bewegen zich in een zeer elliptische baan om de zon. Van de vier aardachtige planeten is Mars de planeet die het meest op de aarde lijkt en aan welke de grootste kans op het eventueel herbergen van leven (vroeger of nu) wordt toegedicht.

In 1892 en 1902 publiceerde Camille Flammarion het boek “La Planète Mars” (in twee delen), waarin hij de tot dan uitgeoefende waarnemingen van Mars bundelde en become tarteerde. Hij veronderstelde onder meer dat de kleur aan Mars werd veroorzaakt door begroeiing en hij speculeerde over kanalen, gebouwd door een ontwikkelde beschaving. Dit idee is waarschijnlijk gebaseerd op waarnemingen van Mars door Giovanni Schiaparelli in 1877. Schiaparelli zag patronen van rechte lijnen die hij ‘canali’ noemde. Hierbij doelde hij op verbindingen in het algemeen, en niet zozeer op kunstmatig aangelegde kanalen. Zo werd het echter wel vertaald in het Engels (canals i.p.v. channels), wat leidde tot groot aantal nieuwe onderzoeken gericht op Mars. Schiaparelli’s waarnemingen inspireerden ook Percival Lowell, die onmiddellijk zijn eigen observatorium liet bouwen. Hij publiceerde tekeningen die honderden rechte lijnen (‘kanalen’) en hun kruispunten lieten zien (‘oases’ genoemd door Lowell), en volgens hem gebouwd door een vroegere beschaving. Lowell beschouwde de lichte vlekken op het oppervlak van Mars werden door als woestijnen en de donkere als begroeiing, die werd bevoeid door smeltwater dat van de polen door de kanalen stroomde. In 2002 werd een verklaring gepubliceerd voor de vermeende kanalen van Lowell. Lowell heeft waarschijnlijk het diafragma van zijn telescoop zo vernauwd dat hij een oftalmoscoop¹ creëerde waarmee hij de reflectie van de aderen in zijn oogbol geprojecteerd zag op het beeld van Mars. Desondanks hielden een aantal van zijn overige theorieën lange tijd stand. In ‘Physics of the Planet Mars’, een overzicht van het Marsonderzoek tot de jaren ‘50 van de twintigste eeuw, schreef Gérard de Vaucouleurs op

¹ oogspiegel (Van Dale), instrument om de binnenkant van het oog te bekijken.

basis van waarnemingen van Lowell dat Mars een atmosfeer had van stikstof, met een atmosferische druk van 85 mbar (ongeveer een tiende van de luchtdruk op aarde); dat het er koud was maar met een te verdragen temperatuur, dat er verschillende seizoenen waren die waarschijnlijk veroorzaakt werden door begroeiing en dat de poolkappen gevormd werden door waterijs.

In 1960 luidde de toenmalige Sovjet Unie een nieuw tijdperk in het Marsonderzoek in met een poging tot het sturen van een sonde naar Mars, de Mars 1960A. Helaas mislukte deze missie evenals zijn 5 opvolgers, zodat de Amerikaanse missie Mariner 4 in 1965 de eerste werd die Mars bereikte (zie tabel 2, hoofdstuk 1). Mariner 4 naderde Mars tot op ongeveer 9900 km hoogte en maakte foto's van ongeveer 1% van het oppervlak, die een gekraterd maanachtig uiterlijk vertoonde. Uit metingen werden een atmosferische druk van 4 tot 7 mbar (vergelijk aarde: 1014 mbar) en een dagtemperatuur van rond de -100 °C afgeleid, evenals de afwezigheid van een magnetisch veld. Mariner 6 en 7, gelanceerd in 1969, naderden Mars tot op ca 3400 km en legden 20 % van het oppervlak vast, waarmee ze onder andere lieten zien dat het oppervlak van Mars juist heel anders is dan dat van de maan, met veel minder kraters en meer vlakke gebieden. Bovendien lieten ze zien dat de zuidpoolkap voornamelijk bestond kooldioxide ijs (CO₂-ijs), in tegenstelling tot wat de Vaucouleurs een paar jaar eerder nog gepubliceerd had.

In 1971 stuurde de Sovjet Unie twee missies naar Mars, beide bestaande uit een satelliet en een lander, Mars 2 en 3. Ondanks het mislukken van beide landingen waren deze

missies toch succesvol door de hoeveelheid gegevens van de satellieten. Deze missies leidden tot de ontdekking van onder meer bergen (vulkanen) tot zeker 22 km hoog, water in de atmosfeer, zij het 5000 keer minder dan de hoeveelheid water in de aardse atmosfeer, en stofdeeltjes die door stofstormen tot zeker 7 km hoogte in de atmosfeer werden opgewerveld. Ook maten ze een oppervlaktetemperatuur van 160 tot 290 K (-113 tot +17 °C). Mariner 9 (1971) was de eerste missie die in een baan om Mars gebracht kon worden. Hierdoor werd het mogelijk zeer gedetailleerde foto's van de vulkanen, van Valles Marineris, de poolkappen en beide manen van Mars, Phobos en Deimos, te maken. Mariner 9 deed bovendien ook atmosferisch onderzoek en nam de tot nu toe langst durende stofstorm waar, die de hele planeet bedekte. Nog meer gegevens over het oppervlak en de atmosfeer werden verzameld door de gedeeltelijk gelukte Sovjet missies Mars 5 en Mars 6 (1975). Het eerste tijdperk in Marsonderzoek vanuit de ruimte werd afgesloten door de Amerikaanse Viking missie, de onafhankelijk van elkaar gelanceerde Viking 1 en Viking 2.

Viking 1 en 2 bestonden beide uit een satelliet en een landingsmodule. De landingsmodule van Viking 1 landde in juli 1976 en die van Viking 2 in september van hetzelfde jaar. De belangrijkste doelen van de missie waren om zeer gedetailleerde foto's te maken van het Marsoppervlak, die duidelijkheid moesten geven over de bodem en de atmosfeer van Mars, en het zoeken naar 'tekens van leven'. Zowel de satellieten als de landers hadden een pakket instrumenten aan boord, waarvan die voor biologisch en moleculair onder-

zoek de meest in het oog springende instrumenten waren. Van deze vier instrumenten was er één die de mogelijke aanwezigheid van bacteriën aantoonde aan de hand van stoffen die gevonden werden bij de analyse van Marsgrond. Omdat de overige drie instrumenten echter geen tekenen van leven vonden, is dit resultaat uiteindelijk uitgelegd als veroorzaakt door stoffen in de bodem (zie hoofdstuk 2 voor een gedetailleerde beschrijving van instrumenten en resultaten). De Viking 1 lander heeft na het beëindigen van de experimenten uiteindelijk nog tot 1983 als weerstation gefungeerd.

Na de Viking missie duurde het meer dan 10 jaar voordat er weer een missie richting Mars gestuurd werd. De Sovjet Unie lanceerde in 1988 de Phobos missie, eveneens twee na elkaar gelanceerde satelliet-lander combinaties. Phobos 1 ging al verloren op weg naar Mars. Phobos 2, met twee landers aan boord, heeft Mars wel bereikt, maar ging verloren door communicatieproblemen vlak voordat de landers losgekoppeld zouden worden. Sinds 1990 zijn er dertien missies naar Mars gelanceerd, waarvan er 6 mislukten om uiteenlopende redenen. De meest opvallende was de Amerikaanse Climate Orbiter, waarbij in de besturingssoftware internationale eenheden (meters) en Engelse eenheden (inches) door elkaar waren gebruikt. De overige 7 missies leverden daarentegen wel spectaculaire gegevens op. De in 1996 gelanceerde Mars Global Surveyor (MGS) ontdekte onder andere relatief (geologische gezien, d.w.z. rond de 10.000 jaar) jonge 'gullies', geulen in onder andere canyonwanden (zie Fig. 5, hoofdstuk 1), en andere karakteristieken in het landschap die kunnen wijzen op de mogelijke aanwezigheid van vloeibaar water

op het oppervlak. De eerste volledig succesvolle landing na Viking 1 en 2, was de Mars Pathfinder, die in 1997 landde en bedoeld was om te testen hoe instrumenten het best naar en op het Mars oppervlak getransporteerd konden worden. Deze missie bestond uit een vaste lander met het karretje Sojourner dat vanaf de aarde bestuurd werd. Samen maakten lander en voertuig meer dan 17.000 foto's en deden 15 geologische en chemische experimenten om de samenstelling van de bodem en de rotsen te bepalen. Sojourner vond onder andere silicaatrijke rotsen en ronde en uitgeslepen rotsen, wat zou kunnen wijzen op vloeibaar water in het verleden. De samenstelling van de bodem bleek te lijken op die van de plaatsen waar Viking 1 en 2 waren geland. Naast het geologische onderzoek deed Pathfinder metingen aan wervelwinden en aan waterijswolken, die 's ochtends in de atmosfeer voorkomen en verdampen zodra de temperatuur oploopt. De eventuele aanwezigheid van water werd nog eens benadrukt door de resultaten van de 2001 Mars Odyssey, die grote hoeveelheden waterstof aantoonde net onder het oppervlak, die kunnen wijzen op waterijs.

In 2004 brak er een drukke tijd aan in het Marsonderzoek. Eind 2003 was de Europese satelliet Mars Express reeds gearriveerd in een baan om Mars, samen met de Beagle 2 lander, die de landing helaas niet overleefde. In januari en februari 2004 landden de twee Amerikaanse Mars Exploration Rovers, Spirit en Opportunity. Mars Express had zeven instrumenten bij zich, en detecteerde onder meer sporen van methaan in de atmosfeer, vond meer aanwijzingen voor de aanwezigheid van water en maakte zeer gedetailleerde stereofoto's van het

oppervlak. Ook Spirit en Opportunity waren uitgerust met een instrumentenpakket, waaronder een camera, een microscoop en instrumenten waarmee stukjes rots konden worden afgeslepen voor analyse. De rovers hebben gedetailleerde analyses gemaakt van de samenstelling van de bodem en van rotsen. Verder hebben zij aanwijzingen gevonden die wijzen op de aanwezigheid van water (zie sectie 2, dit hoofdstuk). De missies van zowel Mars Express als de Mars Exploration Rovers zijn verlengd tot in ieder geval eind 2006, een uitbreiding van de levensduur van bijna 2 jaar voor de rovers en een jaar voor Mars Express. Inmiddels is er in augustus 2005 weer een satelliet richting Mars gelanceerd, de Mars Reconnaissance Orbiter, die verder zal zoeken naar water en onder meer het klimaat op Mars en stof en water in de atmosfeer zal bestuderen.

2. ALGEMENE WETENSWAARDIGHEDEN OVER MARS

Mars is de 4^e planeet in ons zonnestelsel gezien vanaf de zon (zie fig 1 hoofdstuk 1) en de 7^e in grootte, ongeveer half zo groot als de aarde. Omdat de baan van Mars om de zon veel ellipsvormiger is dan die van de aarde, zijn er grote temperatuurverschillen tussen het perihelium (het punt waar Mars het dichtst bij de zon staat) en het apohelium (waar de afstand tussen Mars en de zon het grootst is). In Tabel 1 zijn een aantal karakteristieke kenmerken van Mars en de aarde weergegeven.

Geologisch gezien is Mars opgebouwd uit een gedeeltelijk vaste en gedeeltelijk vloeibare kern met een diameter van

Tabel 1. Karakteristieken van Mars. Deze gegevens zijn afkomstig van <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html>

Karakteristieken	Mars	aarde
Straal	3397 km	6378 km
Massa	0.64×10^{24} kg	5.97×10^{24} kg
Valversnelling	3.71 m s^{-2}	9.80 m s^{-2}
Gemiddelde dichtheid	3933 kg m^{-3}	5515 kg m^{-3}
Gemiddelde afstand tot de zon	227.9 miljoen km of 1.52 AE	149.6 miljoen km of 1 AE (astronomische eenheid)
Ellipticiteit van baan om de zon	0.09	0.02
Inclinatie	1.85	0.00
Omlooptijd om de zon	686.98 dagen	365.26 dagen
Rotatietijd om eigen as	24 uur 37 min	23 uur 56 min
Oppervlakte-temperatuur	140 - 300 K (-133 °C - +25 °C) gem.: 210 K (-63 °C)	184 - 330 K (-89 °C - -57 °C) gem.: 288 K (15 °C)
Samenstelling van de atmosfeer	95.3 % CO ₂ , 2.7 % N ₂ , 1.6 % Ar, 0.15 % O ₂ , 0.08 % CO, 0.03 % H ₂ O	78.1 % N ₂ , 20.9 % O ₂ , 0.9 % Ar, en sporen van CO ₂ , CH ₄ , Ne, He, Kr, H
Atmosferische druk	gemiddeld 6.36 mbar (4-9 mbar)	gemiddeld op zeeniveau 1014 mbar
Natuurlijke satellieten	Phobos (straal ~11 km, afstand ~7700 km) Deimos (straal ~6 km, afstand ~22000 km)	Maan (straal ~3500 km, afstand ~400000 km)

ongeveer 1700 km, omgeven door een gesmolten stenen mantel en een dunne korst. Omdat de dikte van de mantel en de korst van Mars alleen bepaald zijn via indirecte metingen bestaan er uiteenlopende schattingen en modellen over hun verhoudingen (tussen de 1500 en 2100 km voor de mantel en 9 en 130 km voor de korst). Mars heeft in vergelijking met de overige aardse planeten een relatief lage dichtheid (ongeveer 4000 kg m^{-3} , tegenover ongeveer 5400 kg m^{-3} van Mercurius, ongeveer 5200 kg m^{-3} van Venus en ongeveer 5500 kg m^{-3} van de aarde), wat erop kan wijzen dat de planeet voor een relatief groot deel bestaat uit elementen lichter dan ijzer en nikkel, waaruit de aarde voornamelijk is opgebouwd, zoals bijvoorbeeld zwavel. Er zijn echter meerdere combinaties van elementen en van de verhouding tussen de hele kern en het vaste en vloeibare deel mogelijk, die de dichtheid van de planeet kunnen verklaren. Wat de mineralogische samenstelling betreft lijkt Mars op de aarde.

De korst van de aarde bestaat uit losse platen die als het ware drijven op het vloeibare gedeelte van de mantel (de lithosfeer) en de beweging van deze platen (plaattektoniek) zorgt onder andere voor vulkanisme en aardbevingen en hierdoor voor vernieuwing van de aardkorst. Daarnaast is plaattektoniek verantwoordelijk voor de circulatie van CO_2 in de atmosfeer, wat bijdraagt aan het broeikaseffect. Dit broeikaseffect is op aarde een van de belangrijkste voorwaarden voor het (blijven) bestaan van leven. Mars koelde door zijn kleinere afmetingen veel sneller af dan de aarde, waardoor de lithosfeer veel dikker werd. Dit had tot resultaat dat de tektonische activiteit op Mars al 3 tot 4 miljard jaar geleden tot stilstand kwam.

Het oppervlak van Mars verschilt hemelsbreed van dat van de aarde. Het noordelijk halfrond van Mars, bestaat uit relatief jong laagland, verschilt heel erg van het zuidelijk halfrond, dat gekenmerkt wordt door oude gekraterde hoogvlakten, een verschil dat benadrukt wordt door het abrupte hoogteverschil van 2 tot 4 km waarmee de halfronden van elkaar gescheiden worden. Daarnaast heeft het oppervlak van Mars nog een aantal opvallende kenmerken, waaronder de vulkaan Olympus Mons (met 24 km de hoogste berg in ons zonnestelsel), Tharsis (een 4000 km lange bult, die 10 km boven de rest van het omliggende oppervlak uittorent), Valles Marineris, (een canyonsysteem met dieptes tussen de 2 en 7 km), en Hellas Planitia (een 6 km diepe inslagkrater met een doorsnede van 2000 km).

Mars herbergt de grootste vulkanen in ons zonnestelsel. Deze vulkanen blijven zo enorm door het ontbreken van plaattektoniek. Nieuwe data van Mars Express lijken te wijzen op "recente" vulkanische activiteit met een cyclus van zo'n 2 miljoen jaar.

Ook erosie speelt op Mars een rol. Verschillende processen doen zich op het oppervlak voor, zoals verwering, landschuiving en erosie door wind en stofstormen.

Beide polen van de planeet zijn bedekt met ijskappen die variëren met de seizoenen. Zowel de noord- als de zuidpool wordt in de winter bedekt door een laag CO_2 -ijs. Daaronder verschilt de samenstelling van de polen. De noordpoolkap bestaat in de zomer vrijwel volledig uit waterijs, waar de zuidpoolkap bestaat uit bevroren mengsel van stof, water en CO_2 . Meer aanwijzingen voor de aanwezigheid van water

op het oppervlak zijn gevonden tijdens recente Marsmissies. Zowel Spirit als Opportunity hebben mineralen gevonden, zoals hematiet en jarosiet, die op aarde gevormd worden in de aanwezigheid van water. Ook vonden ze kleine rond-geslepen bolletjes en groeven in rotsen. Deze vormen sterke aanwijzingen voor de aanwezigheid van vloeibaar water op het oppervlak van Mars in vroegere tijden.

Mars is omgeven door een ijle atmosfeer. Deze atmosfeer is zeer verschillend van die van de aarde (zie tabel 1). Het grootste deel (95 %) bestaat uit CO₂ en de luchtdruk is slechts 7 mbar, minder dan 1 % van de aardse atmosferische druk. Dit wordt veroorzaakt door de lage zwaartekracht, die niet sterk genoeg is om de atmosfeer vast te houden.

3. CONTEXT VAN HET ONDERZOEK

De zoektocht naar leven op Mars wordt op verschillende manieren uitgevoerd; door middel van onderzoek met satellieten en landers, maar ook met behulp van simulaties en experimenten in laboratoria. Eén van de takken van onderzoek kijkt naar de aanwezigheid van organische moleculen, die op aarde als bouwstenen fungeren van levende cellen. Circa 140 moleculen zijn gedetecteerd in de ruimte. Onlangs is ook het eerste aminozuur, glycine, aangetoond in de ruimte, in zogenaamde 'hot molecular clouds'. Daarnaast zijn 70 verschillende aminozuren en een heel scala aan andere organische moleculen aangetoond op het enige harde bewijs uit de ruimte dat we hebben, meteorieten. Grotere organische mol-

eculen, zoals PAKs (polycyclische aromatische koolwaterstoffen) en kerogenen (amorfe netwerken), zijn aangetoond op interplanetaire stofdeeltjes en meteorieten. Vermoedelijk komen ze ook voor in de vrije ruimte (het interstellair medium). PAKs en kerogenen worden niet snel afgebroken door de UV straling die aanwezig is in de ruimte. Daardoor kunnen ze lange tijd overleven en door middel van inslagen intact op het oppervlak van een planeet terecht komen. Aangezien er ook aminozuren in meteorieten op aarde zijn aangetroffen zouden deze eveneens op het oppervlak van Mars terecht kunnen zijn gekomen.

Een andere richting van onderzoek richt zich op het zoeken naar vormen van leven, in extreme omgevingen op aarde, bijvoorbeeld op Antarctica, in 'hot springs' (heet water bronnen) in Yellow Stone Park, en in 'hydrothermal vents', geisers op de oceaانبodem. Hieruit blijkt dat microscopisch leven heel goed in staat is zich aan te passen aan vrijwel elke omgeving op aarde, waardoor het vermoeden ontstaat dat ook op Mars leven op bacterieniveau mogelijk is. Tot op heden zijn er op Mars geen aanwijzingen gevonden voor de aanwezigheid van organisch materiaal, leven of de overblijfselen daarvan, hoewel er in het verleden omstandigheden zouden kunnen zijn geweest waarin leven zou kunnen zijn ontstaan. De Vikingmissie (1976) was echter de enige missie tot op heden die gericht was op het zoeken naar leven.

Verskillende hypothesen zijn geopperd om de afwezigheid van organisch materiaal op Mars zoals gemeten door Viking te verklaren. Afgezien van de meest voor de hand liggende

verklaring dat de instrumenten van Viking niet gevoelig genoeg waren, bestaat ook de mogelijkheid dat organisch materiaal is afgebroken door de oppervlakte condities, maar zich wel kan bevinden op plaatsen waar tot op heden niet gezocht is, onder rotsen of onder het oppervlak. Een cruciale vraag is welke rol (eventueel) aanwezig water hierin speelt.

4. HET ONDERZOEK

Het onderzoek beschreven in dit proefschrift heeft zich gericht op de stabiliteit en de afbraaksnelheid van organisch materiaal op het oppervlak van Mars. Hierin spelen UV straling, de atmosfeer en temperatuur een rol. Het effect van deze condities is zowel apart als in combinatie onderzocht. In de hoofdstukken 3 en 4 zijn de effecten van straling-, atmosferische en temperatuurcondities op onbeschermd dunne laagjes van diverse aminozuren bestudeerd. Vervolgens zijn in hoofdstuk 5 de effecten van deze condities op aminozuren in grondmonsters bestudeerd, die qua samenstelling lijken op de bodem van Mars. Hoofdstuk 6 is gewijd aan halofiele archaea, micro-organismen die in hoge zoutconcentraties leven, en de effecten van UV en zichtbaar licht in de samenstelling zoals deze gemodelleerd is voor het oppervlak van Mars op de overleving van deze organismen.

4.1 Aminozuren

Het effect van UV licht in het golflengtegebied dat het oppervlak van Mars bereikt, namelijk boven de 190 nm, is ge-

meten op onbeschermd aminozuren. Om het spectrum van zonlicht dat het Marsoppervlak bereikt zo goed mogelijk na te bootsen, is een deuterium lamp gebruikt. De emissie van deze lamp in het gebied tussen 190 en 300 nm komt goed overeen met het spectrum van de zon op het Marsoppervlak. De aminozuren die gebruikt zijn in deze experimenten, glycine en D-alanine, worden geleverd als kristallen. Omdat effecten van UV straling op kristallen moeilijk te meten zijn, zijn dunne laagjes (ongeveer 200 nm) gemaakt. Dit is gedaan door de aminozuren te sublimeren die vervolgens neersloegen op silicium schijfjes. Deze sublimatie werd uitgevoerd in een speciale tank onder vacuüm (in de orde van 10^{-5} mbar), waarbij de groei van de laagjes tijdens de sublimatie met behulp van een laser werd gevolgd (zie Fig. 2, hoofdstuk 3). Met deze met aminozuren bedekte schijfjes zijn drie verschillende soorten experimenten uitgevoerd die hieronder kort worden beschreven.

UV & vacuüm op kamertemperatuur

In de eerste serie experimenten werden de samples blootgesteld aan de UV straling, terwijl ze zich onder vacuüm bevonden. Na korte intervallen van UV bestraling werden infrarood spectra opgenomen (zie Fig. 5, hoofdstuk 3). De infrarood absorptiekenmerken in de spectra verdwijnen naarmate er langer bestraald wordt. Hieruit kan de afbraaksnelheid van de aminozuren berekend worden.

UV & CO₂ op kamertemperatuur

Op Mars heerst echter geen vacuüm, maar is er een atmosfeer van ongeveer 7 mbar voornamelijk bestaand uit CO₂. De

tweede serie experimenten werd daarom uitgevoerd terwijl de opstelling gevuld was met ongeveer 7 mbar CO₂. De effecten werden op dezelfde manier gemeten.

UV & vacuüm op 210 K

De volgende conditie op het oppervlak van Mars die nagebootst werd, was de temperatuur. De gemiddelde temperatuur op het oppervlak van Mars is ongeveer 210 K (-60 °C). Om de afbraak van aminozuren onder invloed van UV te meten bij die temperatuur, werd een nieuwe opstelling gebruikt. Deze was vergelijkbaar met de eerste, met als toevoeging dat de samples afgekoeld konden worden (zie Fig. 1, hoofdstuk 4). Op deze manier kon gemeten worden of de aminozuren onder afgekoelde omstandigheden anders op UV licht zouden reageren dan op kamertemperatuur.

Resultaten

De eerste serie experimenten ('alleen-UV') is uitgevoerd met dunne laagjes glycine en D-alanine, de volgende experimenten zijn uitgevoerd met alleen glycine. Glycine, het meest eenvoudige aminozuur, komt voor op meteorieten en als losse moleculen in 'hot molecular cores' in de ruimte, en is goed gekarakteriseerd, wat vergelijking met andere onderzoeken mogelijk maakte. De afbraaksnelheid van de aminozuren is gemeten, waaruit vervolgens de halveringstijd en levensduur kan worden berekend. In tabel 2 zijn resultaten van de experimenten op glycine weergegeven per conditie. Omdat de gebruikte UV lamp een lagere intensiteit heeft dan de UV straling van de zon op het oppervlak van Mars, is ook de levensduur in dat geval uitgerekend. In de tweede kolom

Tabel 2. Halveringstijd van glycine bij bestraling door UV in vacuüm op kamertemperatuur, in vacuüm op 210 K en in een CO₂ atmosfeer op kamertemperatuur.

Conditie	Halveringstijd in het lab (s)	Halveringstijd bij Mars UV intensiteit (s)	(uur)
UV in vacuüm	$1.5 \pm 0.8 \times 10^6$	$1.3 \pm 0.8 \times 10^5$	36 ± 22
UV in CO ₂	$1.5 \pm 1.4 \times 10^6$	$1.3 \pm 0.6 \times 10^5$	36 ± 17
UV op 210 K in vacuüm	$0.8 \pm 4.2 \times 10^7$	$0.9 \pm 7.5 \times 10^6$	250 ± 2083

staan deze waarden.

Bij een gemeten halveringstijd van 36 uur en een beginconcentratie van 1 microgram aminozuren per gram bodem materiaal, is in 4×10^7 (40 miljoen) jaar, de hoeveelheid afgenomen tot 1 op 10^9 . Dit is de detectielimiet van de apparatuur op de volgende Marsmissies in 2009 en 2011, die op Mars het oppervlak zullen onderzoeken op het voorkomen van aminozuren.

4.2 Aminozuren in grondmonsters

De volgende fase in het onderzoek betrof aminozuren die zich in grondmonsters bevonden. Twee verschillende typen aardse grondmonsters zijn gebruikt, die wat samenstelling betreft lijken op de samenstelling van de bodem op Mars. Het ene monster, JSC Mars-1, is afkomstig van het gebied tussen de Mauna Loa en Mauna Kea vulkanen op Hawaii, en lijkt wat samenstelling, korrelgrootte, dichtheid en magnetische eigenschappen op Marsgrond. Wat chemische samenstelling

betreft lijkt het monster op de grondanalyses die de Vikings hebben gedaan, over de mineralogische overeenkomst is echter niet veel bekend. JSC Mars-1 is in verschillende Mars-gerelateerde studies gebruikt. Salten Skov, het tweede grondmonster, is afkomstig uit de omgeving van Salten Skov, Midden Jutland, Denemarken, en bevat een grote hoeveelheid ijzeroxide. Salten Skov heeft vooral qua korrelgrootte (zeer fijn) en magnetische eigenschappen overeenkomsten met de grond op Mars. Over de chemische samenstelling van de JSC en Salten Skov grondmonsters is maar beperkte kennis aanwezig. Ondanks deze onbekende factoren zijn betere analoge monsters niet beschikbaar, omdat ook de exacte samenstelling van Marsgrond niet bekend is. Deze twee grondsoorten zijn direct als uitgangsmateriaal gebruikt in de experimenten, zonder enige reinigende of steriliserende behandeling vooraf. Het JSC Mars-1 monster kon onderverdeeld worden in een deel grote en een deel kleine korrels, die elk afzonderlijk als proefmonster dienden en beide met behulp van een vijzel tot korrels van poedergrootte werden gemalen om een grotere gelijkenis met Mars te verkrijgen. In totaal zijn er zo drie grondmonsters gebruikt, Salten Skov, Mars-1 grof en Mars-1 fijn. Als vierde is er een controle monster aan toegevoegd dat bestond uit zeer fijn gemalen Pyrex (hittebestendig glas), dat voor het begin van de experimenten wél gesteriliseerd was (ontdaan van alle bacteriën en aminozuren door 3 uur lang verhitten op 500 °C). Vooraf is van alle bodemonsters een extract gemaakt, dat op aminozuren geanalyseerd is met behulp van HPLC². In dit geval is er gekeken naar de hoeveelheden en soorten aminozuren in de grondmonsters.

Drie experimenten zijn uitgevoerd. In het eerste experiment werden de monsters op kamertemperatuur in vacuüm gedurende 24 uur bestraald met UV. Het tweede experiment was een herhaling van het eerste met een bestralingstijd van een week. In het derde werden de monsters wederom een week bestraald, deze keer in een CO₂ atmosfeer van 7 mbar en afgekoeld tot 210 K. Na elke behandeling werd door middel van extractie en HPLC analyses de hoeveelheid aminozuren bepaald en vergeleken met de hoeveelheid in de originele monsters. Voor deze experimenten is een opstelling gebouwd (zie Fig. 3, hoofdstuk 5), die vacuüm gepompt kon worden en gevuld met gassen zoals CO₂. Als testexperiment is een siliciumschijfje met een dun laagje glycine bestraald met UV, waarna de afbraak werd vergeleken met experimenten uit sectie 4.2 (dit hoofdstuk), die zijn uitgevoerd in een andere opstelling. De resultaten komen overeen, waaruit kan worden afgeleid dat de hoeveelheid UV die de grondmonsters bereikt te vergelijken is met de hoeveelheid UV die de plaatjes bestraalde in de eerste experimenten.

Na bestraling met UV onder vacuüm bleek de hoeveelheid aminozuren in de monsters te zijn toegenomen. De bestralingsduur (24 uur en 7 dagen) had geen invloed op de resultaten. Dit zou erop kunnen wijzen dat de toename van de aminozuren al in het begin van het bestralen plaatsvond. Misschien is deze toename veroorzaakt door fotolyse van bacteriën die zich in de monsters bevonden. Afbraak van aminozuren door UV werd in deze experimenten niet waargenomen. Wanneer de resultaten van de bestraling van koude monsters (210 K) in CO₂ worden vergeleken met die van de

² HPLC - High Performance Liquid Chromatography - een techniek waarmee de verschillende componenten van vloeistoffen worden gescheiden, om de samenstelling van de vloeistof te achterhalen.

monsters bestraald op kamertemperatuur in vacuüm, zien we een afname van de hoeveelheid aminozuren. Bij vergelijking met de originele monsters blijkt de hoeveelheid ook licht te zijn afgenomen. Deze afbraak zou veroorzaakt kunnen zijn doordat het beetje water dat zich in de opstelling bevond, vastgevroren is op de monsters en op die manier reactieve stoffen vormden, die de aminozuren afbraken. Details van de processen die in deze experimenten een rol speelden konden echter niet bekeken worden.

4.3 Halofielen

De derde fase in het onderzoek, was de analyse van de effecten van de marsachtige condities op levende organismen. Het hiervoor gebruikte organisme is het halofiele archaeon *Natronorubrum* sp. strain HG-1 (*Nr.* strain HG-1). Dit is een zogeheten "zoutminnend" (halofiel) micro-organisme, dat alleen kan groeien bij hoge zoutconcentraties. Verder zou dit organisme bestand zijn tegen een bepaalde mate van uitdrogen, en zou zo langere periodes van droogte, bijvoorbeeld in aardse zoutmeren, kunnen overleven. Ook bevat het een pigment dat het DNA beschermt tegen onder andere beschadiging door UV straling en waterstofperoxide, waarvan gedacht wordt dat het voorkomt op het oppervlak van Mars. Gezien de droogte op het oppervlak van Mars én de mogelijke aanwezigheid van zouten op het oppervlak, zou dit type micro-organisme een model kunnen zijn voor de overleving van bacteriën op bepaalde plaatsen waar water is geweest. In deze studie is gekeken naar het effect van UV (190-400 nm) en zichtbaar (400-700 nm) licht op *Nr.* strain HG-1 in suspensie

in groeimedium en in ingedroogde toestand. Gebruikt zijn de reeds beschreven deuterium UV lamp en een xenonlamp met filter, die een redelijk nauwkeurige weergave geeft van het spectrum van de zon op Mars. De xenonlamp straalt licht uit met een golflengte van 200 tot 1500 nm. In het UV deel van het spectrum zendt de xenonlamp voornamelijk licht uit in het langere golflengtegebied (250-300 nm), waar de deuteriumlamp licht uitzendt aan de korte kant (195-250 nm). Door het effect van de twee lampen te vergelijken, kan bekeken worden welke golflengtes het fataalst zijn voor dit type bacterie. Hiernaast is gekeken naar het effect van bevriezing en van vacuüm op de cellen. Effecten van de verschillende condities zijn gemeten als de mate van reproduceerbaarheid van de cellen nadat ze aan deze condities zijn blootgesteld. Uit de resultaten blijkt dat ingedroogde *Nr.* strain HG-1 cellen resistenter zijn tegen UV bestraling dan wanneer *Nr.* strain HG-1 cellen zich in suspensie bevinden. Licht boven de 300 nm heeft geen invloed op de reproduceerbaarheid van de cellen. Vergelijking van de resultaten van bestraling met de deuterium- en de xenonlamp suggereert dat lagere golflengtes UV licht een groter effect hebben op de reproduceerbaarheid van *Nr.* strain HG-1. Bevriezing heeft een groter effect op de reproduceerbaarheid dan vacuüm, met respectievelijk 30 % en 50 % overlevende cellen.

5. CONCLUSIE

In het onderzoek beschreven in dit proefschrift is gekeken naar het effect van UV straling op twee aminozuren, onder

verschillende omstandigheden. Bovendien is het effect van UV, lage druk en bevroering op een archaeon, die wat eigenschappen betreft model zou kunnen staan voor eventuele micro-organismen op Mars. Uit de resultaten van de onderzoeken hier beschreven zou geconcludeerd kunnen worden dat de omstandigheden op het oppervlak van Mars niet geschikt zijn voor leven. Aan de andere kant blijkt uit de aanwezigheid van organismen op de meest uiteenlopende plaatsen op aarde dat de aanwezigheid van leven nooit geheel uitgesloten kan worden.

Dit proefschrift beschrijft slechts een zeer klein deel van alle mogelijke processen die zich voordoen en voor zouden kunnen doen op het oppervlak van Mars. Behalve meer laboratoriumonderzoek en modelering, zijn ook metingen ter plaatsen noodzakelijk om een beter beeld te krijgen van de planeet Mars.

