

**Eerst is er een droom: te rug naar de maan. Pas daarna worden de redenen genoemd. De maan kan brandstof opleveren. En het is een ideale tussenstop voor de reis naar Mars.**

**Michiel Hegener**

TOEN PRESIDENT KENNEDY op 25 mei 1961 het plan lanceerde "om een mens op de maan te zetten en hem weer veilig terug te brengen naar de aarde", liet hij een belangrijke kwestie onaangeroerd. Waarom eigenlijk? Dat die man terug wilde naar de aarde begreep iedereen, maar wat moest hij op de maan? Een gedegen antwoord viel pas te verwachten na bestudering van de uitkomsten, maar die vielen wat tegen. Er bleken onvoldoende wetenschappelijke redenen om de kosten voor Apollo 18, 19 en 20 te rechtvaardigen. In december 1972 eindigde het project met Apollo 17. Een paar jaar geleden begon een nieuwe race naar de maan. Aanleiding was de eerste Chinese bemande ruimtevlucht in oktober 2003, en in januari 2004 zorgde president Bush voor een versnelling. Het Shuttle programma zou rond 2010 ten einde komen en in plaats daarvan kwam Constellation: een combinatie van een nieuw ruimtevoertuig, Orion, een bijbehorende raket, Ares I, en een veel grotere vrachtraket, Ares V. Ares I brengt Orion (4-6 zitplaatsen) in een baan om de aarde. De Ares V kan Orion vervolgens vanuit de aardebaan lanceren naar de maan. Bij terugkeer op aarde landt Orion aan parachutes, net als de Apollocapsules indertijd.

**BEMANDE BASIS** De eerstvolgende Amerikaanse maanlanding staat gepland voor 2020. Rond die tijd willen ook de Chinezen op de maan staan. De Russen hebben plannen. India zelfs. ESA wil graag – met robots of meedoen aan een bemande basis – maar moet daarvoor nog wel de fondsen lospraten, ondermeer bij de Nederlandse overheid. Nu al wordt de maan druk verkend. Later dit jaar vertrekken de Amerikaanse Lunar Reconnaissance Orbiter en de Indiase Chandrayaan-1. De Chinese Chang'e-1 en de Japanse Kaguya cirkelen sinds 2007 rond de maan.

De ruimtevaartindustrie en –organisaties zijn al jaren druk met het aanslepen van motieven voor maanexpeditie, waarbij enkele Apollo-astronauten meehelpten. De vraag wat we op de maan zouden kunnen doen heeft verrassend veel antwoorden opgeleverd die variëren op het thema overleven. Spinazie kweken op maanbodem, zuurstof en water winnen uit gesteente, beton maken uit maanzand, en meer in het algemeen hoe maanbases het best zijn in te richten. Maar vanwaar die bases? Wat heeft de maan ons te bieden, behalve avontuur?

Er zijn ruwweg vier redenen. Optische astronomie zonder hinder van een dampkring en radioastronomie zonder verstoring door aardse radiosignalen. De maan als lanceerplatform en tankstation voor reizen naar Mars. Onderzoek naar de klimatologische geschiedenis van de aarde, waarvan de maanbodem een archief herbergt. En het voor eens en voor altijd oplossen van ons energievraagstuk en het broeikaseffect. Dat laatste perspectief wordt geschaagd door een feit en een vermoeden. Feit: de zonnewind (die op aarde wordt tegengehouden door de magnetosfeer) heeft miljoenen jaren lang helium-3 op de maan gedeponeerd, helium maar dan met één neutron in plaats van twee. De aardse reserves bedragen nu omstreeks honderd kilo, maar in de losse bovenlaag van de maanbodem, de regolith, zit een paar miljoen ton. Verhijd de regolith tot 700 graden met zonnenenergie, vang het helium-3-gas af, verdicht het tot vloeistof en zend het naar de aarde.

Het vermoeden: helium-3 is de perfecte brandstof voor kernfusie, de postfossiele energiebron waarvan nog steeds veel wordt verwacht. In het handboek voor maankolonisten *The Moon – Resources, Future Development, and Settlement* (2008) heet helium-3 'een van de interessantste mogelijkheden voor het gebruik van mogelijke bronnen van de maan'. Niet iedereen ziet dat zo. "Zelfs als helium-3 gratis was zou ik het niet gebruiken", zegt professor Nick Lopes Cardozo, hoofd kernfusie bij het FOM Instituut voor Plasmafysica Rijnhuizen. Hij is nauw betrokken bij het ITER-project in Zuid-Frankrijk, de experimentele kernfusiereactor in aanbouw van de EU, de VS, de Russische Federatie, India, Japan, Korea en China. Na 2018 zullen in de ITER-centrale twee waterstofisotopen, deuterium en tritium, worden versmolten tot helium plus één vrijkomend neutron. Deuterium (zwaar water) is via elektrolyse makkelijk te winnen uit gewoon water. Tritium is wat lastiger. "Maar bij de fusiereactie komt ook tritium vrij dat



**ER ZIJN ALTIJD REDENEN TE BEDENKEN OM OPNIEUW EEN MAANMISSIE TE ONDERNEMEN**

# Verlangingen naar de maan



weer valt te gebruiken", aldus Lopes Cardozo. "Je hebt alleen een starthoogte nodig."

Brandstof is dus geen probleem bij D-T kernfusie, de oceanen zitten er vol mee. Probleem is wel die ene neutron die vrijkomt wanneer een D en een T molecuul fuseren. Om de paar jaar moeten robots de radioactief geworden wanden van het fusievat vervangen. Waar laat je ze? En dan zijn er de kosten van nieuwe wanden en een wekenlang stilliggende reactor.

Bij de reactie van deuterium met helium-3 komen geen neutronen vrij, alleen waterstof en het reguliere helium-4. Geen radioactief afval, dus de fusiecentrales kunnen door blijven draaien. Vijf middelgrote vrachtauto's met vloeistof

**Mars is eigenlijk alleen te bereiken vanaf de maan**

baar helium-3 zouden de hele wereld een jaar van schone energie kunnen voorzien. Als kernfusie nu werkte zou helium-3 omstreeks twee miljard dollar per ton doen.

**MAANENERGIE** De belofte van helium-3 is zo groot dat haast iedereen die graag naar de maan wil erover begint. President Bush refereerde er voorzichtig aan bij het bekendmaken van het nieuwe maanprogramma in 2004. Harrison Schmitt, de geoloog die tijdens de Apollo 17 missie drie dagen over de maan liep, prijst maanenergie aan in zijn boek *Return to the Moon: Exploration, Enterprise, and Energy in the Human Settlement of Space* (2006). De Chinezen noemen het als een motief voor hun maanprogramma (dat in de eerste plaats lijkt te dienen voor China's prestige). Tot de taken van Chang'e-1 horen niet alleen het uitzenden van *Het Oosten is rood* maar ook het lokaliseren van de helium-3 concentraties. "We zullen de nieuwe

• **Weergave van een plan voor het opstellen van een telescoop op de maan.** PAT RAWLINGS, SAIC/NASA

energievooruitzichten voor de hele mensheid gaan verkennen", aldus Ouyang Ziyuan, chef van het Chinese maanprogramma. En het publiek wil het helium-3-verhaal graag horen. Het maantnummer van het populair wetenschappelijke *Wetenschap in beeld* toonde op de omslag een maankolonie met als kop: Energie halen op de maan – zijn onze energieproblemen over 50 jaar voorbij?

Al die retoriek draait om neutronenvrije kernfusie – dankzij helium-3 en de maan! Maar Lopes Cardozo wimpelt dat idee weg als onrealistisch. "De reactie D-He3 is wel neutronenvrij, en dat is een groot voordeel, maar het vat zit half vol met deuterium dat met elkaar gaat fuseren. Bij de D-D reactie komen neutronen vrij en ook tritium, dat nog weer sneller met het aanwezige deuterium reageert en nog meer neutronen produceert. Per saldo is de neutronenproductie van D-He3 een derde van D-T." Alleen geheel neutronenvrije fusie zou echt interessant, zijn volgens Lopes Cardozo. Hij benadrukt ook dat het radioactieve afval van D-T fusie minimaal is vergeleken met kernsplijting. "Als de hele wereld op D-T kernfusie draaide was de hoeveelheid nucleair afval gelijk aan wat er nu uit Borssele komt." De kern van zijn helium-3-critiek is nog fundamenteel. Om het hete plasma bij elkaar te houden worden magnetische velden gebruikt. De "burn rate" is afhankelijk van de dichtheid van de brandstof in het kwadraat. De maximale druk die het magneetveld kan vasthouden is gelijk aan de dichtheid maal de brandtemperatuur. En die brandtemperatuur van D-He3 is 700 miljoen graden, vijf maal zo hoog als bij D-T. Bij gelijke energieproductie moet de reactor zo'n 25 maal groter zijn voor He3 dan voor D-T. Lopes Cardozo, wijzend op het meubel voor hem: "Als dat probleem kon worden opgelost door sterkere magneetvelden zou een D-T reactor die evenveel vermogen levert op deze tafel passen!" De sterkte van het magneetveld wordt bij ITER achtien Tesla, waarvan in het



fusievat, op een paar meter afstand van de magneten, zes Tesla resteert. En die achtien Tesla, stelt Lopes Cardozo, is het absolute maximum, hoger is natuurkundig onmogelijk. Is het helium-3 verhaal daarmee exit en zijn de Chinezen en Harrison Schmitt gek? Nee, stelt Bernard Foing, senior research coördinator bij de ESA. Hij is de geestelijke vader van *Smart-1*, de ESA observatiesatelliet die in 2004-2006 rond de maan draaide, en directeur van de International Lunar Exploration Working Group. Op zijn bureau bij ESTEC, de onderzoeksafdeling van ESA in Noordwijk, liggen boeken en rapporten over de maan, wanden hangen vol maankarten. Kernfusie met helium-3 is volgens Foing goed mogelijk: de winning duurt toch nog decennia en in die tussentijd gaat het fusieonderzoek gewoon door. Foing oppert dat het ITER-project misschien zo zwaar heeft ingezet op D-T fusie dat het helium-scenario wat onder-

belicht blijft. De bekendste pleitbezorger van helium-3-fusie, Gerald Kulcinski – lid van de Adviesraad van NASA, directeur van het Fusion Technology Institute van de Universiteit van Wisconsin waaraan ook Harrison Schmitt is verbonden – gaf onlangs nog een lezing op ESTEC, laat Foing enthousiast weten.

**ZONNEWIND** Nog enthousiaster is hij over de maan als archief van onze klimaatverandering en de mogelijkheid om de klimaatveranderingen beter te begrijpen. "We weten nu nauwelijks wat de gevolgen zijn van de zonnewind voor ons klimaat. Condensatiedruppels in wolken vormen zich rond stofdeeltjes. We vermoeden dat ook kosmische straling een rol speelt bij de vorming van wolken – en de kosmische straling wordt weer gemoduleerd door de zonnewind. Veranderingen in de zonnewind kunnen grote gevolgen hebben op ons klimaat. Maar welke? Die zonne-

• **Via de maan naar Mars is het doel van het Nasa-programma Constellation. Boven: de Ares V met maanlander (zonder beschermkappen) is met twee hulpraketten vanaf de aarde gelanceerd. Bij het Internationaal Ruimtestation ISS wordt de maanlander gekoppeld aan een later met Ares I gelanceerde bemanningscapsule: de Orion. Links: tekening van de Orion bij het ISS.** ILLUSTRATIES NASA

wind-deeltjes bereiken de aarde niet, maar ze slaan wel in op de maanbodem. Uit dieptemonsters van de regolith kunnen we de geschiedenis van de zonnewind gedurende de laatste eeuwen of millennia reconstrueren, en die gegevens dan koppelen aan klimaatveranderingen op aarde." Veel duidelijkheid bestaat over het nut van de maan voor astronomie. Ruimte-telescopen als Hubble hebben het voordeel van een atmosfeervrije blik – maar in het ritme van de omloopsnelheid (96 minuten) zit de aarde vaak in de weg en de omvang blijft toch beperkt. Hubble heeft een spiegel van twee meter. Bij de opvolger van Hubble, James Webb, te lanceren in 2013, wordt dat 6,5 meter. Foing en elf co-auteurs schreven voor een komend nummer van het *Astrophysical Journal* een gedetailleerd plan voor een telescoop op de maan met een vloeistofspiegel van twintig meter doorsnee, later zelfs een meter of honderd. Dan zie je nog eens wat: een keer of duizend meer dan met de James Webb, zodat de oudste sterren van het heelal in beeld komen. Zet de kijker in een krater waar nooit zonlicht komt, en temperaturen die altijd onder 100 graden Kelvin blijven maken uitzonderlijk precieze infraroodwaarneming mogelijk. De techniek is vrij eenvoudig. Een ronde, platte bak wordt gevuld met een reflecterende vloeistof – op aarde meestal kwik, op de maan een ionische vloeistof met een reflecterende bovenlaag – en dan met een paar rotaties per minuut rondgedraaid. Het vloeistofoppervlak verandert daardoor in een parabool.

• **Foto van de maan met links Mars, gefotografeerd vanuit het Internationale Ruimtestation ISS op 9 september 2003. De NASA wil een ruimtestation op de maan vestigen om van daar uit bemande vluchten naar Mars te ondernemen.**

Een sensor in het brandpunt vangt de beelden op en stuurt ze naar de aarde. Dankzij de geringe zwaartekracht, een zesde van de aardse, en de extreem lage temperatuur is magneetlagering met supergeleiders veel eenvoudiger dan hier. Het bezwaar van zo'n *liquid mirror telescope* is dat hij maar één kant op kijkt, loodrecht naar boven. Maar door plaatsing nabij een pool van de maan zorgt de 19-jarige rotatiecyclus van de maan voor een blikveld van zes graden. Over de beste locatie van maanobservatoria bestaat grote eensgezindheid: bij de noord- of de zuidpool in een kraterbodem. Behalve duisternis en kou is daar ook altijd stroom, want even verder, op de randen van maanpoolkraters, schijnt bijna steeds de zon. Kabeltje naar de kraterbodem en de telescopen, ook reguliere natuurlijk, kunnen elektrisch worden bediend. Wubbo Ockels, hoogleraar duurzaamheid bij Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek aan de TU Delft, coördineerde twee keer een ESA-onderzoek naar redenen voor al dan niet bemande maanreizen, laatstelijk in 1996. Voor dat project, *EuroMoon*, ging hij naar Amerika "om alle rakkers van Apollo te spreken en door te krijgen wat hun motivatie was. Waarom kon het toen zo snel? Dat was voor mij de grootste vraag." Het snelle antwoord: geen zinloze procedures, jonge mensen, transparant, flexibel.

In een werkkamer gedecoreerd met ruimteoveralls benadrukt Ockels de huidige stropigheid van NASA en ESA en de weerslag daarvan op de motivatie om te gaan. "Een brede visie op de toekomst van de mensheid kun je niet voorstellen zonder dat we de maan gebruiken. Het is ons achtste werelddeel, een gift. Maar mensen in de ruimtevaartindustrie zijn verlamd, ze merken dat het tien tot twintig jaar kost voordat iets is gerealiseerd."

Het hele waarom van maanreizen is volgens Ockels vooral het verleggen van grenzen. "Het motto van *EuroMoon* was: *The perspective beyond today's problems gives you the power to solve them*. Een zekerheid van maanreizen is dat je van alles kunt met de uitkomsten. Bij innovatie vragen ze tegenwoordig eerst: wat moet eruit komen? Dat is een paradox."

**MARS** Een praktische reden voor maanbases is dat Mars eigenlijk alleen voor mensen bereikbaar is vanaf de maan, stelt Ockels. Het idee van een Marsmissie met één raket, zoals Apollo steeds met één raket werkte, is geheel achterhaald. Een voertuig naar Mars wordt vrijwel zeker in delen gelanceerd en in een baan rond de aarde aangegekoppeld, net zoals straks met Orion en de laatste trap van de Ares V gaat gebeuren. Marsvoertuigen zullen voor vertrek in een baan rond de maan worden volgetankt. Want de snelheid die nodig is om van de maan weg te komen is 2,4 kilometer per seconde tegen 11,2 vanaf de aarde. Dat scheelt bijna een factor vijf en in termen van de vereiste voortstuwingsenergie mogen we die factor volgens Ockels kwadrateren. "Als we naar Mars gaan is dat niet met één sonde", aldus Ockels. "Dan willen we een researchbasis, zoals nu op Antarctica. En dat betekent dat je behoorlijk heen en weer moet, massaal en vanaf de maan." Het hele naar-Mars-vanaf-de-maan-scenario gaat uit van brandstofproductie op de maan, benadrukt zowel Ockels als Foing. Uit het veelvoorkomende maanmineraal ilminiet is vrij eenvoudig zuurstof te maken:  $\text{FeTiO}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . De vereiste waterstof zit ruimschoots in de regolith, het zerd net als He3 en andere gassen afgezet door de zonnewind.

Het vrijkomende water is met elektrolyse weer te splitsen in waterstof en zuurstof, samen een ideale raketbrandstof voor, bijvoorbeeld, Marsreizen. De brandstof tanks hoeven niet per raket naar een baan om de maan, het kan beter met een sleoep een magnetische geleiderail. Elektrische spoelen op korte onderlinge afstand rond de rail worden beurtelings onder stroom gezet, worden daardoor sterk magnetisch en trekken de sleoep naar zich toe. Zonnepanelen leveren de benodigde elektriciteit. Ockels: "Een door het ontbreken van luchtweerstand is een rail van een paar kilometer genoeg om een snelheid van twee kilometer per seconde te bereiken." Zo'n lanciersysteem is ook bruikbaar voor het naar de aarde verstoren van delstoffen of zakken kerstpost. En een groot voordeel: geen verdere vervuiling van de uiterst fragiele maanatmosfeer (totale massa: omstreeks tien ton) die nu al is aangetast door uitlaatgassen van Apollo en onbemande landingen.

Voor het zover is zijn eerst maanbases nodig, waar veel water wordt geproduceerd: voor raketbrandstof maar ook voor de spinazieteel en voor wat verder nodig is om daar prettig te leven. Ockels denkt daarbij ook aan zwembaden "waar je met één armbeweging je hele lichaam uit het water tilt. En dan met een boog er weer in!"