



Ruimtevaart gaat delfstoffen opleveren

Maanbouw

Apollo-17- astronaut Jack Schmitt gebruikte in december 1972 een speciaal ontworpen jeep om het maanoppervlak te verkennen. Het hele landschap is bedekt met een laag maanzand. Geoloog Schmitt bepleit nu om terug te gaan naar de maan en uit dat zand nuttige grondstoffen als waterstof, zuurstof en helium-3 te winnen.

Maanbouw

"Vanaf 2020 kunnen we op de Maan beginnen met het op industriële schaal winnen van het zeldzame isotoop Helium-3." Dit is de op zijn zachtst gezegd optimistische voorspelling van Nikolai Sevastyanov, directeur van het Russische ruimtevaartbedrijf Energia. Science-fiction? Zeker niet, maar de economische haalbaarheid is het grote struikelblok. Al jaren wordt er, ook door de NASA, onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om grondstoffen te winnen op de Maan. Maar het is voor het eerst dat een hoge functionaris een concrete datum noemt voor de uitvoering van zo'n technisch complex project. Sevastyanov wil al in 2015 een permanente basis op de Maan vestigen om met de voorbereidingen te beginnen. Daarmee zouden de Russen zelfs nog eerder op de Maan zijn dan de Amerikanen, die op pas in 2018 zullen terugkeren op onze buurplaneet. De NASA zal pas in 2022 over een permanente maanbasis beschikken, en zelfs dat plan is nog niet definitief. De Russen ontwikkelen op dit moment een klein ruimteveer, Klipper genaamd, dat ook naar de Maan en terug moet kunnen vliegen. Volgens Sevastyanov moet een studie naar dit project voor 2010 klaar zijn.

Helium-3, een lichte variant van het 'gewone' helium, kan gebruikt worden voor kernfusie. Het is een zeer energierijke brandstof: 25 ton levert genoeg energie op om de hele Verenigde Staten een jaar lang van elektriciteit te voorzien. Het probleem is echter dat het op Aarde nauwelijks voorkomt. Cynisch genoeg komt het vooral vrij bij het onderhoud van kernwapens. De huidige strategische voorraad van de VS bedraagt slechts 29 kilo. Maar op de Maan komt helium-3 wel in grote hoeveelheden voor. Wetenschappers schatten de hoeveelheid op de Maan op minstens één miljoen ton, genoeg om de hele Aarde duizenden jaren van elektriciteit te voorzien. Een groot voorstander van Helium-3 winning op de Maan is niemand minder dan voormalig Apollo astronaut Harrison Schmitt. Hij is de enige geoloog die op de Maan heeft rondgelopen. Schmitt waarschuwt voor de trend in de wereld energiebehoefte. De verwachting is dat deze in 2050 acht maal zo groot zal zijn als vandaag. Zelfs als we alle mogelijke bestaande energiebronnen, inclusief kernenergie, benutten, zal er een tekort aan energie zijn. Dus moeten we wel aan Helium-3 gaan werken om aan de toenemende vraag naar elektriciteit te kunnen voldoen concludeert Schmitt.

Voor het opscheppen

Om helium-3 te winnen, zal er dus mijnbouw op de Maan gepleegd moeten worden. Gelukkig hoeven er geen diepe mijnschachten gegraven te worden want het benodigde materiaal ligt letterlijk voor het opscheppen. De oppervlakte van de Maan bestaat uit een metersdikke laag 'zand', regolith genaamd. Wie zich de beelden van de Apollo astronauten nog kan herinneren, weet dat ze een centimeters diepe voetafdruk achterlieten in het zachte maanoppervlak. Omdat de Maan geen atmosfeer en ook geen magnetisch veld heeft, is het oppervlak miljarden jaren blootgesteld geweest aan een bombardement van straling en deeltjes afkomstig van de zon - de zonnewind. De zon stoot onder andere waterstof en helium-3 uit dat zich in de loop der jaren aan het regolith heeft gehecht. Omdat het helium zich slechts aan het oppervlak gehecht heeft en niet chemisch gebonden is, kan het relatief gemakkelijk vrij gemaakt worden. Door het regolith te verhitten tot 700 graden ontwijkt het helium.

Om te kunnen bepalen of dit economisch zinvol is, moeten we weten hoeveel maanzand er afgegraven moet worden om één ton helium-3 te kunnen winnen. Een Nederlandse deskundige op dit gebied is ir. Paul van Susante die aan de Colorado School of Mines onderzoek doet naar maanmijnbouw. Al in 1999 tijdens zijn studie aan de TU Delft ontwierp hij een Maanbasis voor mijnbouwdoeleinden. "Laten we uitgaan van het gemakkelijke getal van een gehalte van 50 ppb He-3 (1 ppb is één deeltje He-3 per miljard deeltjes maanzand). Bij een 90 procent succesvolle winning heb je dan ongeveer twaalf kubieke kilometer maanzand nodig." Als je één meter diep graaft, heb je dus een oppervlakte van twaalf vierkante kilometer nodig- het grondgebied van een flink dorp. "Om een dergelijke hoeveelheid vervolgens tot 700 graden te verhitten heb je, uitgaande van een kernreactor van duizend megawatt, 270 dagen nodig. Omgerekend betekent

dat dat je een hoeveelheid regolith van 82 miljoen kilo per dag moet verwerken." Kortom een schier onmogelijke opgave. "Dit is erg moeilijk te realiseren momenteel" zegt van Susante met gevoel voor understatement, "tenzij we fabrieken op de maan bouwen die graaf- en verwerkingsmachines maken." Volgens hem is het hoe dan ook niet zinvol om helium-3 te gaan winnen want "er is geen markt voor". Hij is dan ook erg sceptisch over het Russische plan. "Ik zie het meer als propaganda, ik denk niet dat ze het financieel op kunnen brengen." En er zijn nog meer technische problemen te overwinnen. Een groot deel van het graafwerk kan onbemand maar voor het onderhoud van de machines zijn wel mensen nodig. Een belangrijk probleem daarbij is het maanstof. Dat is erg fijn en heel scherp. "Het is net gebroken glas" legt van Susante uit. "Daardoor verloopt de slijtage van materialen veel sneller dan op Aarde. De pakken van de Apollo astronauten waren na drie dagen al zo lek dat ze niet meer aan de veiligheidseisen voldeden" waarschuwt hij. Er zullen dus eerst betere ruimtepakken ontwikkeld moeten worden. Ex-astronaut Schmitt stelt echter dat bij elke ton aan helium-3 die op de Maan geproduceerd wordt, er tevens 6600 ton waterstof, 3300 ton water 3100 ton helium-4 ('gewoon' helium) en nog enkele andere stoffen vrijkomen. Dat maakt het economische plaatje een stuk gunstiger, maar exacte getallen geeft hij niet.

raketbrandstof

Wat volgens van Susante economisch wel haalbaar is, is het winnen van waterstof en zuurstof uit het maanzand. "Voor waterstof en zuurstof bestaat er een markt... raketbrandstof, of materiaal voor brandstofcellen voor de maanbasis. In mijn ogen op de kortere termijn veel nuttiger", aldus de maaningénieur. Hij is één van de onderzoekers die werkt voor het NASA project 'RESOLVE'. (Regolith and Environmental Science and Oxygen and Lunar Volatile Extraction). Dit project heeft tot doel om instrumenten te ontwikkelen voor het opgraven van regolith, het verhitten ervan om gassen eruit vrij te maken en deze te analyseren, het opvangen van eventueel aanwezig water dat hierbij vrijkomt, het bepalen van de samenstelling van het regolith en tot slot het rechtstreeks winnen van zuurstof uit het maanzand. Hij heeft in het kader van dit project een prototype van een graafmachine gebouwd. Deze weegt slechts tussen de vijftig en honderd kilo en kan 500 kilo maanzand per uur opgraven. Om de zuurstof hieruit te winnen moet het regolith wel tot 900 graden verhit worden. Het zuurstofgehalte van de maanbodem is maar liefst veertig procent dus zeker economisch winbaar. Het waterstofgehalte is veel lager, maar minstens tweeduizend maal hoger dan dat van helium-3, zodat de uitkomst van de berekening een stuk gunstiger uitvalt. Slechts vier van de door van Susante ontworpen robots zouden in 270 dagen genoeg maanzand kunnen opscheppen om er een ton waterstof uit te halen. De waterstof en zuurstof moeten dan ter plekke worden gecompriëerd om in een tank te kunnen worden opgeslagen. Het project gaat ervan uit dat er een kernreactor met een gewicht van 600 kilo samen met de graafmachine en overige apparatuur, zoals een compressor en een opslagtank, naar de Maan gebracht moet worden. "In totaal is er drieduizend kilo aan lading, iets wat met de huidige raketten goed vervoerd kan worden. Het project kost naar schatting een paar honderd miljoen dollar."

Elektromagnetisch kanon

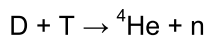
Grondstoffen winnen op de Maan is één ding maar daarna moeten ze ook naar hun bestemming vervoerd worden. In het begin zal dit met raketten gebeuren, maar als er echt een grootschalige productie op gang komt, is dit niet efficiënt. Al in de jaren zeventig is door de Amerikaanse natuurkundige Gerald O'Neill een betere methode bedacht, namelijk een massa-aandrijving zoals hij het noemt. Dit is een elektromagnetische lanceerinstallatie die als een soort kanon pakketjes vracht de ruimte in schiet. Hij bouwde samen met zijn collega Henry Kolm al in 1977 een prototype van twee meter lengte dat een versnelling bereikte van maar liefst 37g (37 keer de valversnelling op Aarde). Zo'n installatie werkt eigenlijk volgens hetzelfde principe als een magneetzweeftrein. De goederen zitten in een soort vrachtcapsules verpakt die vlak boven de rails zweven. Dat moet ook wel want door de enorme snelheid zouden wielen die contact maken met de rails domweg smelten. Als je weet dat de ontsnappingssnelheid van de Maan 2,4 kilometer per seconde bedraagt, kun je met wat eenvoudige middelbare school natuurkunde uitrekenen dat om die snelheid te bereiken je een rail nog hebt van ruim zeven kilometer lengte. Dat zou nog wat minder kunnen worden als een nog grotere versnelling gehaald zou kunnen

worden. Maar er is een grens. "Je kunt de versnelling niet te groot maken want dan moet je weer extra sterke materialen gaan gebruiken om te voorkomen dat de capsules uit elkaar vallen" legt van Susante uit. En dat betekent dat ze weer zwaarder worden. Toch is het bouwen van een rail van zeven kilometer geen onoverkomelijk probleem. Een andere factor waar ook nog rekening mee moet worden gehouden is de wisselende positie van de Aarde ten opzichte van de Maan. Om hiervoor te corrigeren moeten de vrachtcapsules met een klein stuurraketje worden uitgerust om na de lancering een geringe baancorrectie uit te voeren. Een andere mogelijkheid is om de baan van het maanoppervlak te corrigeren door een laser op de capsule af te vuren. Hierdoor verdampt een klein beetje van de buitenkant. Vanwege het principe van actie=reactie wordt de capsule door het gas de andere kant op geduwd. De massa-aandrijver kan zijn vracht rechtstreeks naar een baan om de Aarde schieten. Hier moet dan een opvanginstallatie aanwezig zijn om de pakketjes te verzamelen. Dit hoeft in feite niet meer te zijn dan een soort grote trechter die met een raketje is uitgerust om hem op zijn plaats te houden. Door de voortdurend er tegen aan botsende vrachtpakketten zou hij anders op drift raken. De waterstof- en zuurstoftanks hebben daarmee al hun doel bereikt. Raketten naar de Maan en verder kunnen in een baan om de Aarde van brandstof voorzien worden. Dat maakt de lancering van Maanmissies stukken goedkoper want er hoeven tonnen minder brandstof vanaf de Aarde de ruimte ingeschoten te worden.

Inmiddels hebben ook de Chinezen een begerige blik laten vallen op de helium-3 voorraden op de Maan. China wil in 2020 een eerste 'Taikonaut' op de Maan laten landen. Het kon dus nog wel eens dringen worden daarboven.

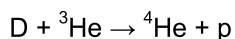
Kader: kernfusieprocessen

In de huidige (experimentele) fusiereactoren wordt deuterium en tritium, beide zware isotopen van waterstof, gebruikt. Hierbij komen grote aantallen snelle neutronen vrij die de reactor radioactief maken:

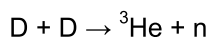


Om dit proces op gang te brengen is een temperatuur van 150 miljoen graden nodig. Bij die hitte bestaat alle materie alleen nog uit plasma, gas waarin de atoomkernen en elektronen los door elkaar vliegen. Omdat elk materiaal bij deze temperatuur zou verdampen, wordt het plasma opgesloten in een sterk magnetisch veld. Dit wordt opgewekt in een soort slakkehuisvormige constructie die Tokamak wordt genoemd omdat het een Russische uitvinding is. In 2020 moet de ITER (International Tokamak Experimental Reactor) in bedrijf komen in het Franse Cadarache. Dit wordt de eerste centrale die gedurende langere tijd een bruikbaar vermogen (500 MW) zal produceren. Een eerste commerciële fusiereactor van duizend megawatt wordt pas rond 2050 verwacht.

Het belangrijkste voordeel van helium-3 fusie is dat er bijna geen radioactieve straling vrijkomt in de vorm van neutronen. Bij de fusie van helium-3 met deuterium ontstaat helium-4 ('normaal' helium) en een proton (waterstofkern):



Door een nevenreactie tussen de grondstoffen ontstaan er toch enkele neutronen:



De hoeveelheid straling die vrijkomt is honderd keer lager dan in de huidige fusiereactoren. Het nadeel van helium-3 fusie is echter dat de benodigde temperatuur om de reactie te ontsteken tien maal hoger is dan bij 'conventionele' fusie. Dit is op laboratoriumschaal al gelukt. Voor een Helium-3 fusiereactor kan het plasma opgesloten worden in een elektrostatisch veld waarvoor geen grote en dure Tokamak nodig is. De Amerikaanse Professor Kulcinski van de Universiteit van Wisconsin heeft als enige een werkende Helium-3 fusiereactor gebouwd die niet groter is

dan een basketbal. Deze bestaat uit een bol van metaaldraad met daarbinnen een kleinere bol. De buitenste bol krijgt een positieve lading en de binnenste een negatieve. Hierdoor vliegen de positief geladen deeltjes met grote snelheid naar het centrum van de bollen waar ze op elkaar botsen en er fusie optreedt. De hoeveelheid opgewekte energie is echter slechts een miljoenste deel van het energieverbruik. Het zal dus nog lang duren voordat er een bruikbare fusiecentrale gebouwd kan worden die op helium-3 werkt.

Jan van Evert

Links

Space Studies Institute

<http://ssi.org>

Colorado school of mines

www.mines.edu