

De geologie van Mars aan de hand van de orbiterinstrumenten

door dr. Tanja Zegers^a en drs. Jan Kees Blom^b

^a Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht / SRON, Utrecht

^b Afdeling Geotechnologie, Technische Universiteit Delft

Tot zo'n vijf jaar geleden was onze geologische kennis van Mars zeer beperkt. De informatie die er was, kwam grotendeels van de Vikingmissies die de VS in de jaren '60-70 van de vorige eeuw hebben uitgevoerd. Deze missies bestonden uit zowel een satelliet die om Mars cirkelde, als een lander op de planeet zelf. De grootste bijdrage die deze missies aan de geologie van Mars leverden, waren de zwart-wit foto's met een resolutie van zo'n 100 meter per pixel. Dit fotomateriaal bedekt vrijwel heel het oppervlak van Mars, en is daarin nog steeds uniek. Maar met foto's alleen, zonder verdere informatie over de topografie, is het eigenlijk niet mogelijk om een realistische geologische interpretatie te

maken. Toch heeft de USGS, de Geologische dienst van de VS, de eerste geologische kaarten van Mars gemaakt met behulp van deze gegevens. Na een lange periode van rust – eigenlijk zou je moeten zeggen: van vele missies met een niet succesvol einde – werden rond de eeuwwisseling twee nieuwe Mars-orbiters gelanceerd door de NASA. In 2003 volgde daarop de eerste Europese orbitermissie naar Mars: de Mars Express. Deze drie ruimtevaartuigen cirkelen nog steeds om Mars en zorgen voor een ongekende rijkdom aan gegevens. Informatie die uitermate geschikt is voor geologische en morfologische interpretatie.

Geologische instrumenten

Op de drie huidige orbiters – de Mars Global Surveyor (MGS), de Mars Odyssey (MO), beide van de NASA, en de Mars Express (MEX) van de ESA – zit een aantal instrumenten die cruciaal zijn geweest voor het geologische begrip van Mars.

Mars Orbiter Camera, MOC (Mars Global Surveyor)

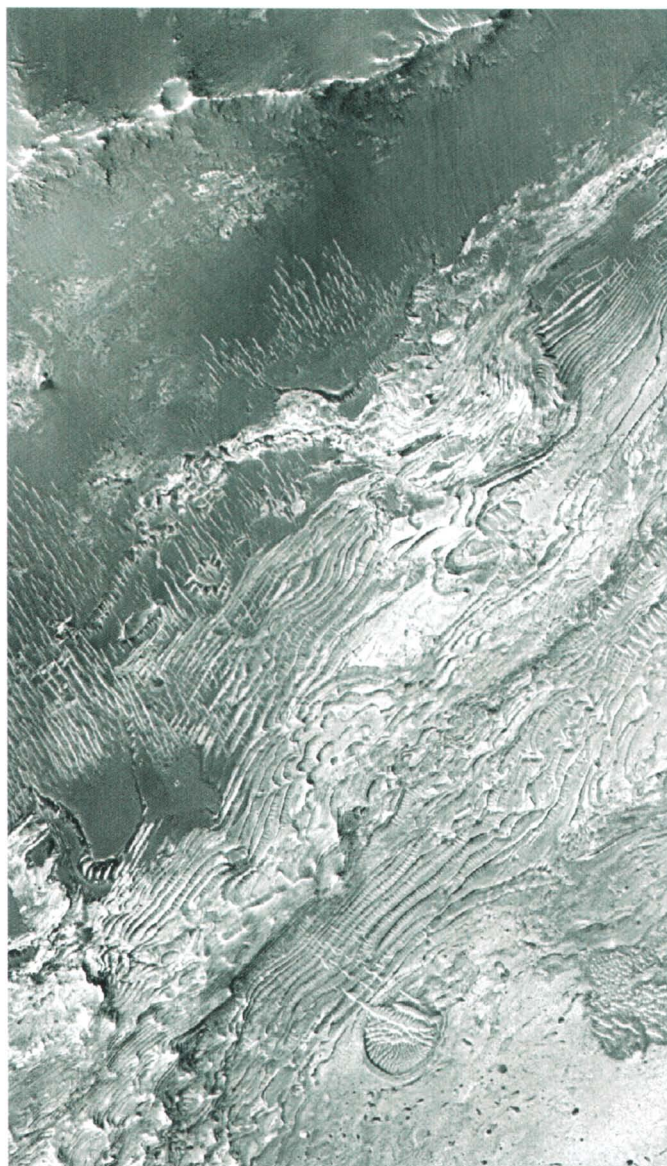
Dit instrument maakt zwart-wit foto's van het oppervlak van Mars met een ongekende resolutie: maximaal 2 meter per pixel! Dit geeft voor het eerst de mogelijkheid om de fijnere details van de geologische formaties te bestuderen. Hieruit blijkt onder andere dat een deel van de gesteenten op Mars een fijne (op meterschaal) gelaagdheid vertonen (afb. 1) (Malin en Edgett, 2000). Hoewel er meerdere interpretaties mogelijk zijn, werden deze formaties al snel toegeschreven aan sedimentaire processen. Dit veranderde het beeld van Mars volledig: van een door vulkanisme en impactkraters gedomineerde planeet, bleek het een planeet te zijn waar soortgelijke sedimentaire processen zoals die op Aarde voorkomen een rol hebben gespeeld. Overeenstemming bij de specialisten is er nog niet. De discussie over de gelaagde formaties op Mars is nog volop aan de gang.

Een nadeel van de MOC-beelden is dat ze slechts een klein oppervlakte bedekken. De breedte van elk beeld is twee kilometer, zodat maar een fractie van het oppervlak van Mars hiermee in beeld kan worden gebracht.

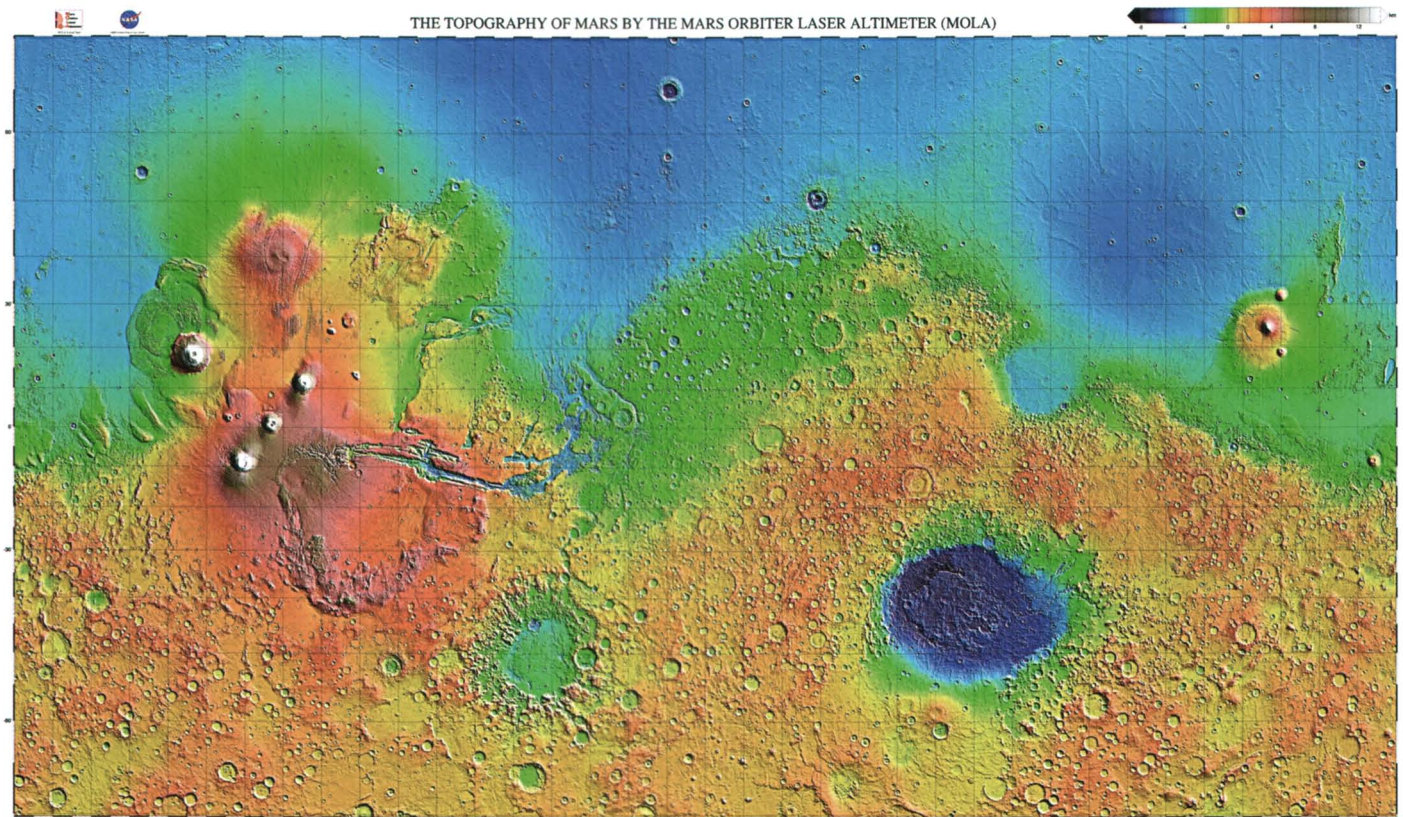
Mars Orbiter Laser Altimeter, MOLA (Mars Global Surveyor)

Tot de aankomst van de MGS met het MOLA-instrument was er vrijwel niets bekend over de topografie van Mars. De beperkte topografische kennis die er was, werd tot dan toe gehaald uit schaduwmetingen en uit enkele Viking-beelden waarbij stereoparen waren gefotografeerd van enkele geselecteerde gebieden. MOLA veroorzaakte een ware revolutie in de kennis over Mars: het was nu mogelijk om met een lasersysteem de hoogte te bepalen met een nauwkeurigheid van vijf meter (!). De meetpunten liggen zo'n 300 tot 800 meter uit elkaar. MOLA heeft voor de eerste nauwkeurige topografische kaart van Mars gezorgd (afb. 2).

En die topografie van Mars blijkt spectaculair: er is een hoogteverschil van bijna 31 km tussen het laagste punt in de grote Hellas impactkrater en de hoogste vulkaan op Mars, de Olympus Mons. Bovendien blijkt dat de Mars-dichotomie, de



Afb. 1. MOC-beeld van gelaagde gesteenten in een krater net ten noorden van Sinus Meridiani. Breedte van het beeld is 3 km. Verlichting van linksonder. (Foto NASA/JPL-Caltech)



Afb. 2. Topografische kaart van Mars, opgenomen door de MOLA aan boord van de Mars Global Surveyor. Hoogtekaart van het gehele oppervlak van Mars geprojecteerd op een rechthoek, gemaakt door de Mars Observer Laser Altimeter. De rode en bruine tinten zijn hoog; de groene en blauwe tinten zijn laag. De geografische provincies zijn duidelijk op deze schaal te zien. Van groot naar klein: het noordelijk bekken met de gladde bodem, de zwaar bekraterde zuidelijke hooglanden, de vulkanische Tharsishoogte (links) met de daar doorheen snijdende canyon Valles Marineris, de poolkappen (sterk uitgerekt in deze projectie), de twee zeer diepe inslagbekkens Hellas (rechts) en Agyre (midden) en tenslotte de mega-uitstroomdalen (uitgesleten door water) die de Tharsishoogte flankeren. Kraterdelta's zijn op deze schaal niet herkenbaar. Er zijn geen aanwijzingen voor platentektoniek zoals op Aarde. (NASA/JPL-Caltech)

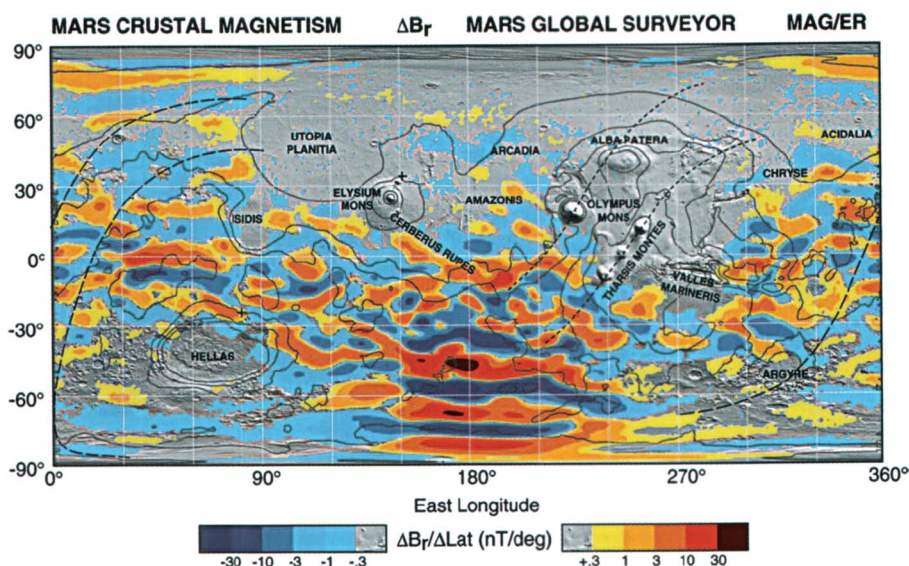
opvallende grens tussen het noordelijk en zuidelijk deel van Mars, ook duidelijk naar voren komt in de topografie. Mars kan grofweg verdeeld worden in een relatief vlak, laaggelegen noordelijk gebied, de *Northern Plains*, en een zuidelijk gebied dat zo'n vijf kilometer hoger gelegen is. De zuidelijke hooglanden zijn bezaaid met impactkraters, het noordelijke deel niet. De dichtheid van impactkraters is een maat voor de ouderdom van het oppervlak: hoe meer impactkraters, hoe ouder het oppervlak is. Op deze manier is uitgerekend dat de zuidelijke hooglanden ouder zijn dan vier miljard jaar en de noordelijke laaglanden jonger dan drie miljard jaar.

Hoewel de dichotomie van Mars een eerste-orde geologische observatie is, is het nog niet duidelijk wat de oorzaak is.

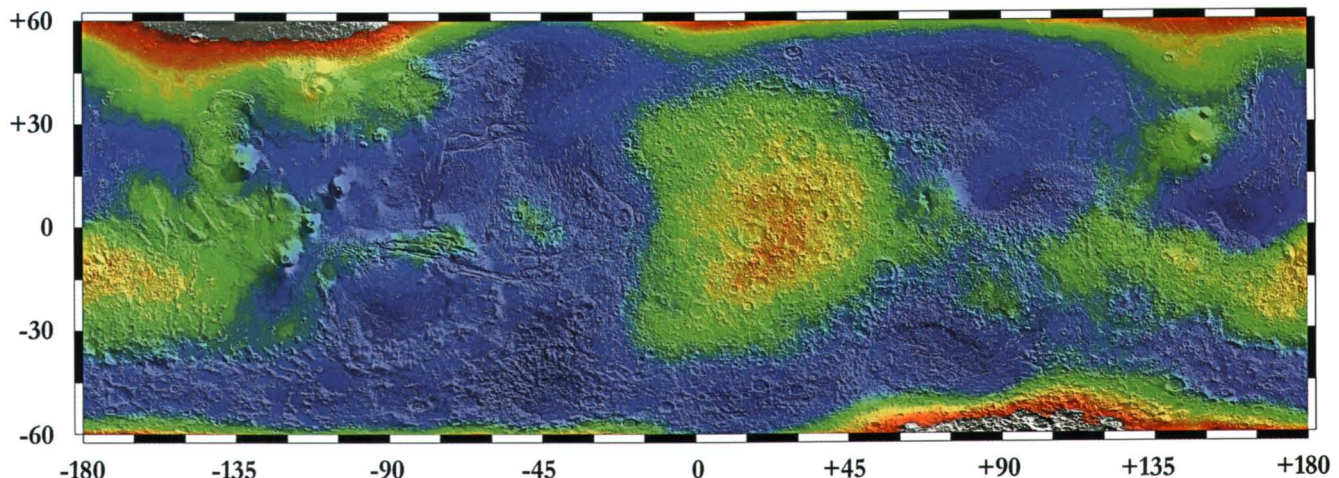
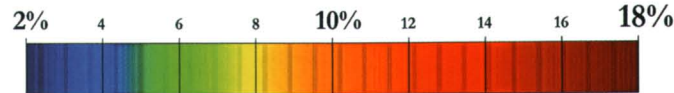
Magnetometer (Mars Global Surveyor)

Mars bezit geen actief magnetisch veld zoals de Aarde wel heeft. Desondanks heeft de magnetometer aan boord van de Mars Global Surveyor een aantal zeer belangrijke ontdekkingen gedaan. Bij aankomst bij Mars bleek dat er wel degelijk magnetische anomalieën gemeten werden (afb. 3). Deze magnetische anomalieën zijn het sterkste in de

zuidelijke hooglanden. In eerste instantie werd meteen de vergelijking gemaakt met de Aardse magnetische anomalieën parallel aan de mid-oceanische rug waar zich nieuwe oceanische korst vormt. De magnetische anomalieën op Mars blijken echter zo'n tien keer sterker te zijn dan haar Aardse equivalent. Bovendien is het patroon niet zo duidelijk lineair als op Aarde. De magnetische anomalieën op Mars worden nu toegeschreven aan 'remanente magnetisatie' van de korst (Connerney, 2005). Als een lava afkoelt in de aanwezigheid van een 'planeetwijd' magnetisch veld, dan bewaren de magnetische mineralen in het gesteente de magnetische veldrichting zoals het op

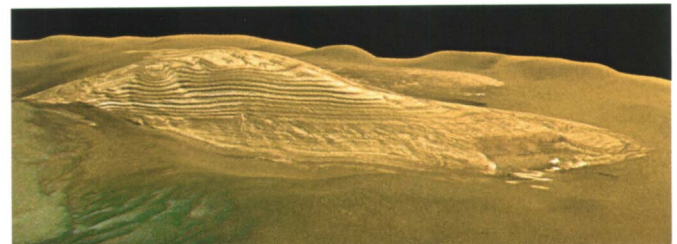


Afb. 3. Magnetische anomalieën op Mars zoals opgenomen door de magnetometer aan boord van Mars Global Surveyor. (NASA/JPL-Caltech)



Afb. 4. Kaart met de hoeveelheid waterstof (H) in de bovenste 30 centimeter van de korst van Mars, opgenomen door de High Energy Neutron Detector aan boord van Mars Odyssey. (NASA/JPL-Caltech)

dat moment heerst. Op Aarde wordt dit fenomeen gebruikt voor paleomagnetisch onderzoek. Het feit dat de korst van de zuidelijke hooglanden een remanente magnetisatie bezit, betekent dat Mars in het verleden wel degelijk een actief magnetisch veld moet hebben gehad! Uit verder onderzoek, onder andere aan Mars-meteorieten, blijkt dat dit actieve magneetveld al ongeveer vier miljard jaar geleden moet hebben opgehouden te bestaan. Het is niet duidelijk welk proces precies verantwoordelijk is voor de verdeling en de structuur van de magnetische anomalieën. Het zou mogelijk kunnen zijn dat er in de vroegste geschiedenis van Mars een soort plaattektonisch proces heeft plaatsgevonden (Van Thienen et al., 2004). De plaatverschuivingen, die als gevolg daarvan plaatsgevonden hebben, zouden een dergelijk magnetisch patroon op hebben kunnen leveren.



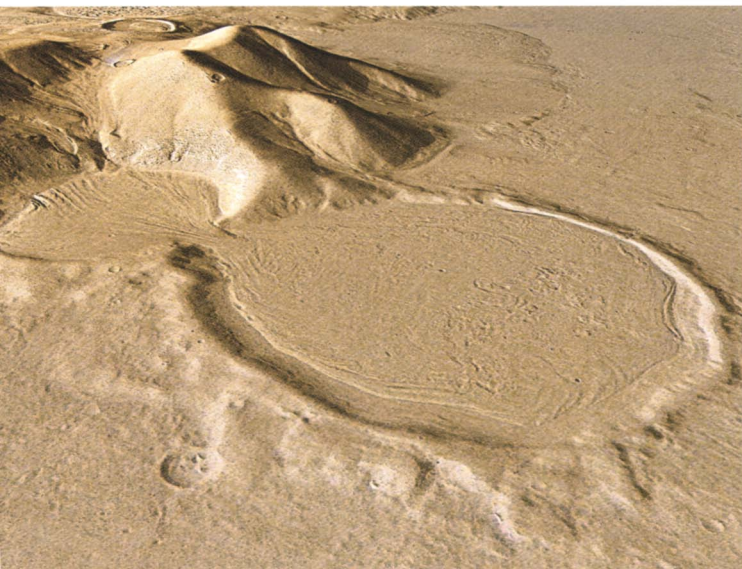
Afb. 6. Een 2500 meter hoge berg in Juventae Chasma. De laagdeheid bestaat deels uit gehydrateerde sulfaten. HRSC beeld. (Foto ESA)

High Energy Neutron Detector, HEND (Mars Odyssey)

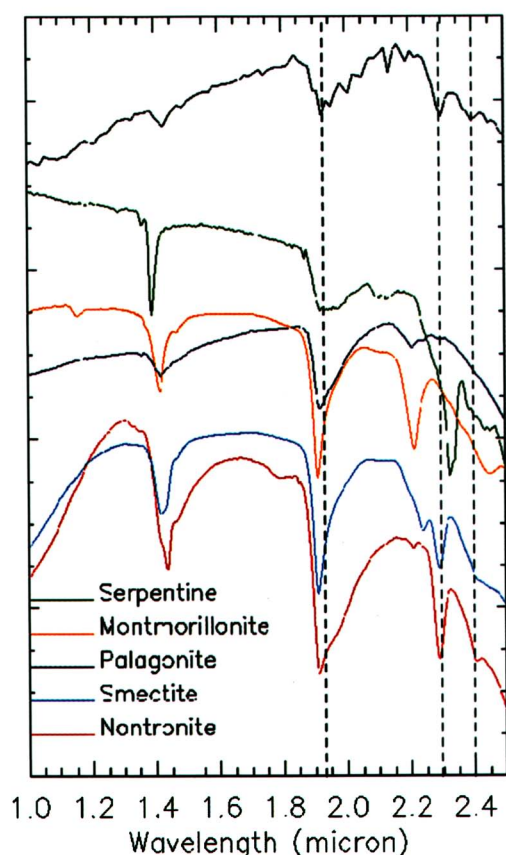
De neutronendetector aan boord van de Mars Odyssey meet de neutronen die afkomstig zijn van de bovenste 30 centimeter van Mars (Mitrofanov et al., 2002). Aan de hand van de neutronstralingsintensiteit en het -spectrum is te bepalen hoeveel H (waterstof) zich in de bovenste 30 centimeter van de korst bevindt. Tot grote verbazing van de onderzoekers bleek dat de concentratie waterstof in de bovenste laag vaak zo hoog is, dat dit alleen verklaard kan worden door de aanwezigheid van grote concentraties waterijs (afb. 4). Het extra bijzondere aan deze ontdekking is bovendien dat de hoge concentraties waterijs zich niet alleen beperken tot de poolgebieden. Rond de evenaar blijkt een uitgestrekt gebied te zijn waar de bovenste laag van de planeet tot 15 procent waterijs moet bevatten. Zo blijkt Mars niet zozeer een woestijn te zijn, maar een ijsplaneet, waar zich processen afspelen die vergelijkbaar zijn met permafrostgebieden op Aarde (afb. 5).

High Resolution Stereo Camera, HRSC (Mars Express)

De HRSC-camera aan boord van Mars Express maakt stereofoto's van het oppervlak van Mars. Dit zijn twee foto's die vrijwel identiek zijn, maar net vanuit een ander gezichtspunt genomen zijn. Hierdoor is het mogelijk om diepte te zien. Op Aarde worden stereofoto's al lang voor karteringen gebruikt. Voor Mars zijn ze nieuw. Ze bieden het enorme voordeel dat bij een geologische kartering meteen de derde dimensie meegenomen kan worden. Bovendien worden de beelden in verschillende kleuren (golflengtes) opgenomen, zodat subtiele kleurverschillen gebruikt kunnen



Afb. 5. Sporen van gletsjerachtige processen op Mars: Hourglass-crater aan de oostrand van het Hellasbekken. Vanaf een circa 3500 meter hoog berg-massief heeft een gletsjer een krater, met een doorsnede van 9 kilometer, tot de rand toe gevuld. Deze krater is daarna overgelopen in een 500 meter lager gelegen krater met een doorsnede van 17 kilometer. DTM op basis van stereofoto's genomen door de High Resolution Stereo Camera (HRSC) aan boord van de Mars Express. (Foto ESA)



Afb. 7a. Spectrum opgenomen door OMEGA (bovenste lijn) vergeleken met bekende spectra van phyllosilicaten op Aarde. Het mineraal dat op Mars aanwezig lijkt te zijn, is nontroniet ($\text{Na}_{0.3}\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$). (naar Poulet et al., 2005)

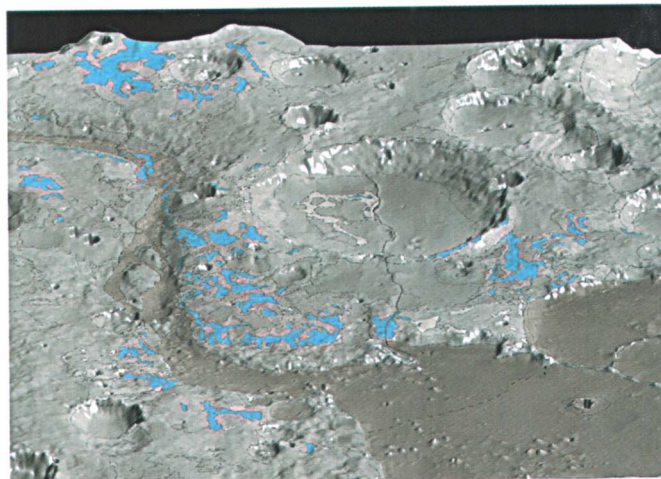
worden om geologische formaties van elkaar te onderscheiden. Behalve als stereopaar, om diepte te zien, worden de foto's ook gebruikt om de topografie te berekenen. Dit resulteert in een zogenaamde DTM (Digital Terrain Model). Door beeldinformatie te combineren met zo'n DTM is het mogelijk om een gebied in drie dimensies te bekijken vanuit verschillende richtingen (afb. 6).

OMEGA (Mars Express)

OMEGA – een instrument van Franse bodem – is een beeldvormende spectrometer. Dit apparaat neemt een opname van het oppervlak van Mars, waarbij voor elke pixel een compleet spectrum wordt opgenomen in het golflengtebereik van 0.5 tot 5 micron. Uit dit spectrum is op te maken welke mineralen voorkomen aan het oppervlak van Mars. Mars heeft als nadeel dat een groot deel van het oppervlak bedekt is met stof van een homogene samenstelling. Desondanks heeft OMEGA een aantal belangrijke ontdekkingen gedaan. Zo blijkt een deel van de gelaagde afzettingen uit sulfaten (gips) te bestaan (Bibring et al., 2005) en niet, zoals sommigen verwacht hadden, uit carbonaten. Recent heeft het OMEGA-team voor het eerst aangetoond dat er in de oude hooglanden phyllosilicaten (kleimineralen) voorkomen (Poulet et al., 2005), een feit dat erop wijst dat basaltisch gesteente met water heeft gereageerd (afb. 7 a en b).

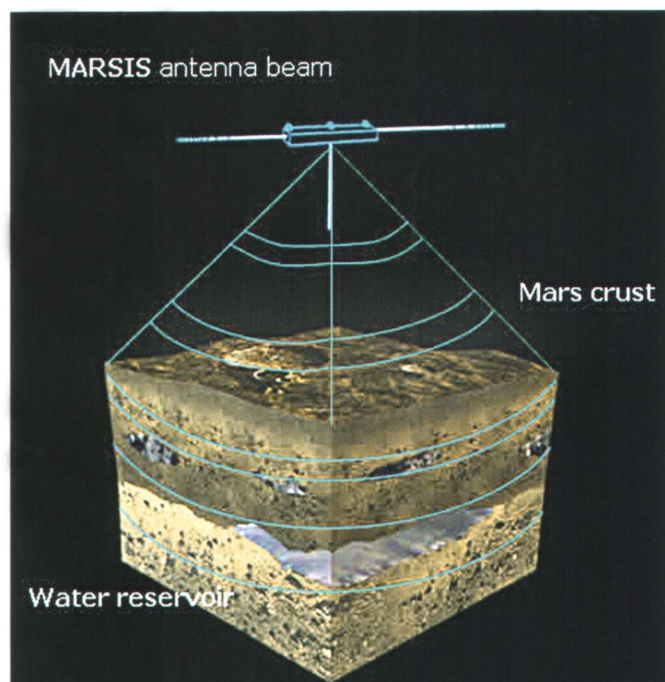
MARSIS (Mars Express)

De MARSIS is een geheel nieuw instrument in de planetaire ruimtevaart. Vanuit de orbiter zendt dit apparaat een lange-golflengte radarsignaal uit. Een deel van dit signaal dringt door in de ondergrond en weerkaatst op ondergrondse gesteenteovergangen. Dit weerkaatste signaal wordt weer



Afb. 7b. Combinatie van HRSC en OMEGA data. Phyllosilicaten zijn met blauw aangegeven. (naar Poulet et al., 2005)

opgevangen door de 20 m lange antennes van het instrument en geeft zo een beeld van de bovenste vijf kilometer van de ondergrond van Mars (afb. 8). MARSIS is pas sinds november vorig jaar 'in de lucht', maar het instrument heeft onder andere al geleid tot de vondst van een ondergrondse krater in de laaglanden, met een diameter van 200 kilometer, die gevuld is met waterijs (Picardi, 2005).



Afb. 8. Het principe van de werking van MARSIS aan boord van de Mars Express. (ESA)

Volgende missies

Met de huidige generatie instrumenten is een stroom van uitstekende data over Mars beschikbaar gekomen. Gegevens die al direct tot totaal nieuwe inzichten over de geologische opbouw en geschiedenis van Mars hebben geleid. De datastroom is nog lang niet tot stilstand gekomen, en de systematische verwerking van al die data staat nog in de kinderschoenen. De volgende Europese missie naar Mars, de lander ExoMars, is recentelijk goedgekeurd door de landen die deelnemen aan ESA. Vanaf 2013 zal deze missie op zoek gaan naar leven op het oppervlak van Mars.

Voordat dit zover is, zal er nog veel werk verricht moeten worden aan de huidige data om de geologische condities waaronder leven zou kunnen bestaan op Mars in kaart te brengen.

Voor meer informatie over de verschillende ruimteschepen, zie o.a.:

http://www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express/index.html

<http://www.dlr.de/mars>

<http://marsprogram.jpl.nasa.gov/mgs/>

<http://mars.jpl.nasa.gov/odyssey/index.html>

http://www.nasa.gov/mission_pages/MRO/main/index.html

Geraadpleegde literatuur

Bibring, J.P. et al., 2005. Mars Surface Diversity as Revealed by the OMEGA/Mars Express Observations.

Connerney, J.E.P., 2005. Tectonic implications of Mars

crustal magnetism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 102, 14970–14975.

Malin, M.C. en Edgett, K.S., 2000. Sedimentary rocks of early Mars. *Science*, 290, 1927–1937.

Mitrofanov, I., Anfimov, D., Kozyrev, A., Litvak, M., Sanin, A., Tret'yakov, V., Krylov, A., Shvetsov, V., Boynton, W., Shinohara, C., Hamara, D. en Saunders, R.S., 2002. Maps of Subsurface Hydrogen from the High-Energy Neutron Detector, Mars.

Picardi, G. et al., 2005. Radar Soundings of the Subsurface of Mars. *Science*, 310, 1925–1928.

Poulet, F., Bibring, J.-P., Mustard, J.F., Gendrin, A., Mangold, N., Langevin, Y., Arvidson, R.E., Gondet, B. en Gomez, C., 2005. Phyllosilicates on Mars and implications for early martian climate. *Nature*, 438, 623–627.

Van Thienen, P., Vlaar, N.J. en Van den Berg, A.P., 2004.

Plate tectonics on the terrestrial planets. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 142, 61–74.

Webtips

Verscheidene websites bieden mooie platen en interessante gegevens over Mars. In diverse artikelen werd er al een keus uit gemaakt. Hier volgen nog enkele sites die speciale aandacht verdienen.

<http://mapmachine.nationalgeographic.com/mapmachine/> voor Mars satellite map;

<http://themis.asu.edu/> Mars Odyssey Mission, onderdeel Thermal Emission; Imaging System; prachtige foto's van de dag;

http://www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express/SEMZLM8A9HE_0.html de ESA website; met veel mooie foto's plus informatie.

<http://www.lukew.com/marsgeo/> Dit is de site van de University of Illinois en heeft als titel The Geology of Mars met veel wetenswaardigs en toepasselijks.

Uiteraard kunt u ook <http://www.google.nl/> aanslaan. Tikt u daar in de zoekregel bijvoorbeeld de woorden Mars, geology, Illinois, University in, dan bent u direct in de buurt.