Rivieren vol water op Mars

door dr. Maarten Kleinhans
Departement Fysische Geografie, Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht
(www.geog.uu.nl/fg/mkleinhans, m.kleinhans@geo.uu.nl)

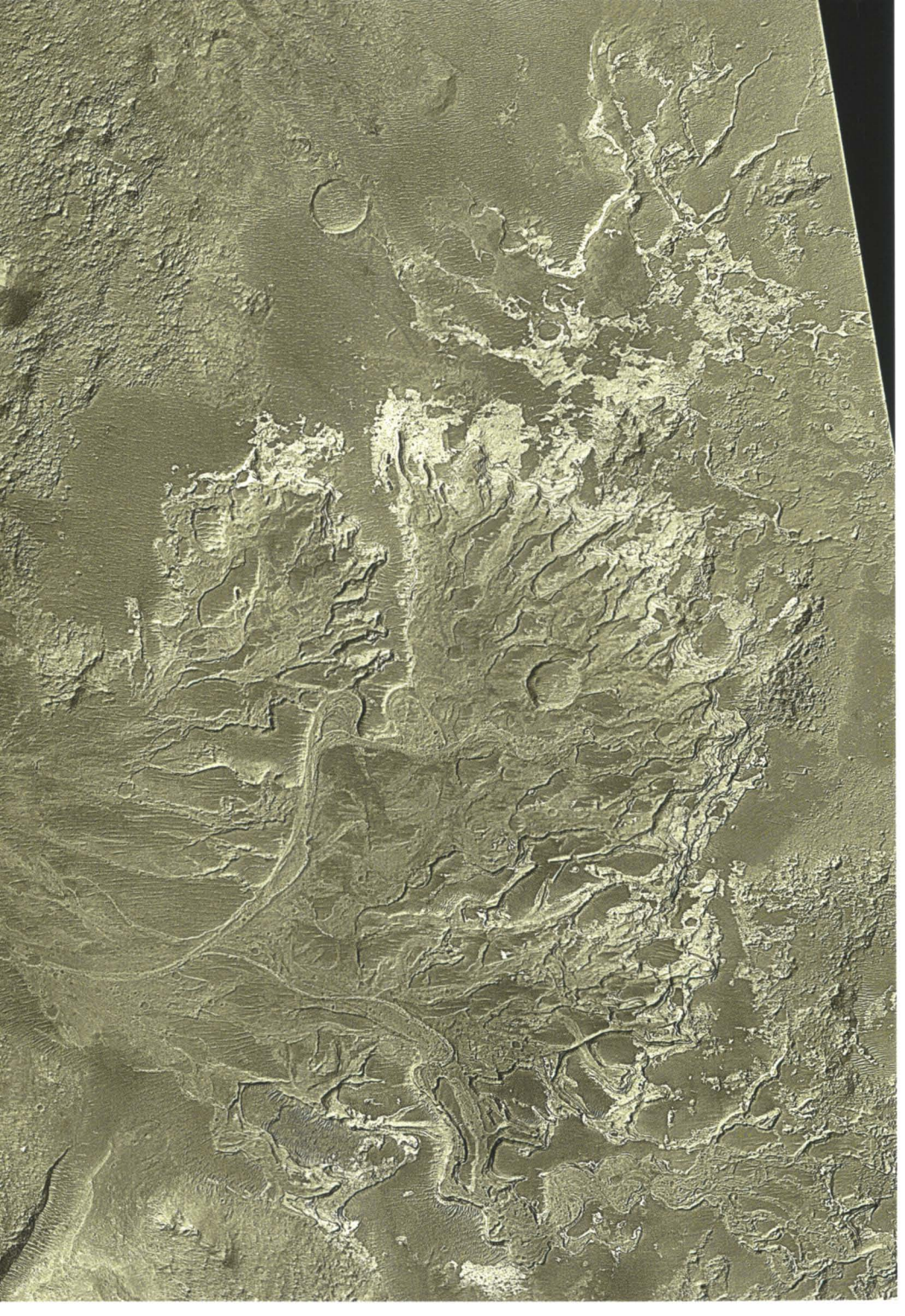
Het oppervlak van de planeet Mars laat veel sporen zien van stromend water. Er zijn kleine geulen, grote uitstroomdalen, afwateringsnetwerken, meren met resten van ijsschotsen en heuse rivierdelta's. Daarnaast zijn er ook sporen van bewegend ijs te vinden, zoals gletsjers en de overblijfselen daarvan: morenewallen, eskers en uitspoelingswaaiers. In dit artikel ligt de nadruk op de rivierdelta's. Daarvan zijn er honderden gevonden in inslagkraters op het zuidelijk halfrond van Mars. Deze kraters waren ooit gevuld met water. De rivieren voerden zand, grind en rotsen mee en sleten zo de rivierdalen uit. Het sediment kwam terecht in de kratermeren waarin zich delta's vormden (afb. 1). Stromend water is er niet meer op Mars, maar deze delta's zijn een onaangeboord archief van de klimaatveranderingen op Mars. In de afzettingen op de bodem van de meren ligt de geschiedenis opgeslagen over de variaties in de aanvoer van water en sediment naar de delta's. Maar helaas zijn diepe grondboringen op Mars vooralsnog niet beschikbaar.

Dikkere atmosfeer

Op de huidige Mars kan geen vloeibaar water voorkomen. De atmosfeer is er te dun. Hoog in de bergen op Aarde bijvoorbeeld gaat water al koken bij 80°C, omdat de luchtdruk daar lager is dan op zeeniveau. Op Mars is de luchtdruk tegenwoordig zo laag dat zelfs ijs al gaat koken tot het verdampt is. Daarom kan er nu alleen ijs voorkomen op Mars als het afgedekt is door stof of door een pak koolstofdioxidesneeuw. Om sporen van stromend water te verklaren, moet de atmosfeer van Mars vroeger dikker, warmer en natter geweest zijn. Dat is op zich geen probleem, want Mars heeft grote vulkanen die eruit zien alsof ze ooit massaal actief geweest zijn. Tijdens die periode van actief vulkanisme zal er, dankzij de vulkanische warmte en het broeikaseffect, ongetwijfeld een dikkere atmosfeer geweest zijn. Als dit klopt, dan moeten de grote uitstroomdalen op Mars gevormd zijn tijdens en na grote vulkaanuitbarstingen. De Martiaanse atmosfeer moet daarna ontsnapt zijn naar de ruimte – Mars is lichter dan de Aarde, zodat de atmosferische gassen sneller naar de ruimte ontsnappen – en het water is neergeslagen als ijs. Dit alles vond bijna vier miljard jaar geleden plaats. Veel recenter zal er waarschijnlijk nog wel af en toe vloeibaar water aan het oppervlak van Mars voorgekomen zijn. Er zijn veel kleine geultjes gevonden die er erg vers uitzien. Dergelijke korte, warmere perioden zijn mogelijk veroorzaakt door kleinere vulkaanuitbarstingen en door variaties in de baan die



Afb. 1. Omgeving van de delta in de krater nabij Holden (in het witte vierkant). In het noordoostelijke deel van de Holden krater heeft waarschijnlijk een meer gelegen waarin, vanuit geulen (midden), een delta (in witte vierkant) is gevormd. (NASA/JPL-Caltech)



Afb. 2. De delta in de krater ten noordoosten van de Holden krater. Hier zijn veel meanders uitgesleten in hardere sedimenten. Meanders zijn zeldzaam op Mars; zij zijn alleen in deze delta gevonden. De tussenliggende zachte sedimenten zijn in de loop van de tijd weggewaaid, zodat de harde riviergeulafzettingen nu uitsteken boven de rest van het landschap. Op de NASA-website staat deze landvorm als 'alluvial fan' aangegeven, maar latere interpretaties (die ik veel plausibeler vind) geven aan dat het een 'fan delta' is, een rivierdelta dus. (NASA/JPL-Caltech)

Mars om de Zon draait. Ook op Aarde kennen we een afwisseling van langdurige ijstijden en korte, warmere, perioden (waar we nu op Aarde van genieten) die te maken heeft met variaties in de baan van de Aarde om de Zon.

Hoeveel water?

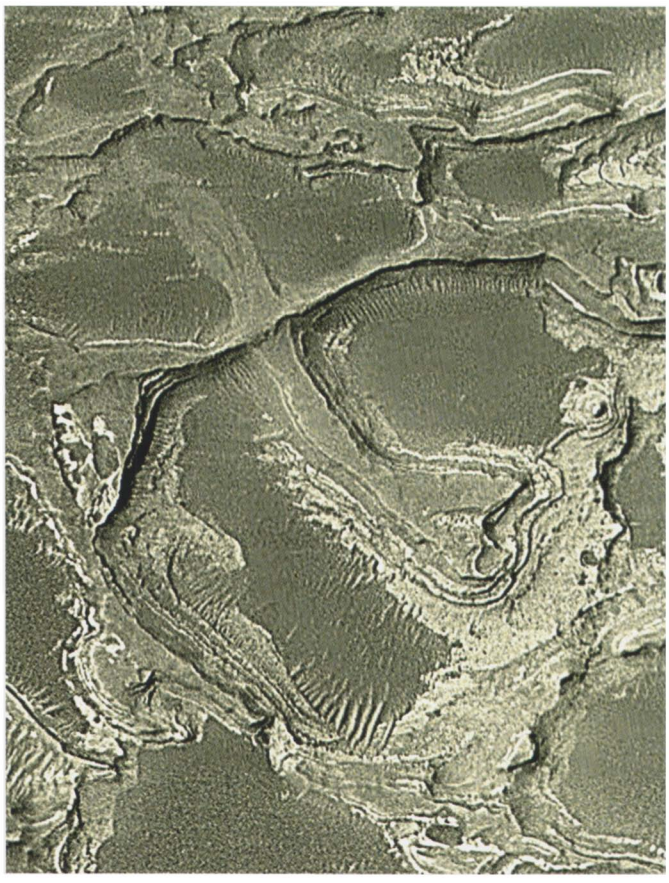
Aardwetenschappers zijn het niet eens over de vraag of het laaggelegen noordelijk halfrond van Mars vroeger een oceaan had. De drogere scenario's gaan er vanuit dat er wel water was op Mars, maar niet zoveel. Er was wel genoeg om geulen uit te slijten. Eenvoudig is het niet om te achterhalen hoeveel water er vroeger aanwezig was op Mars. Het is een belangrijk gegeven dat iets minder dan de helft van het oppervlak van Mars – het zuidelijk halfrond – bedekt is met inslagkraters. De meeste en grootste van die kraters zijn meer dan vier miljard jaar geleden ontstaan. Het water heeft daarom maar relatief kort, en heel lang geleden, de tijd gehad om het oppervlak af te schuren. De Aarde is vroeger ook zo zwaar gebombardeerd geweest met meteorieten, maar hier is het oppervlak onherkenbaar veranderd door de actie van water, wind, ijs, vulkanisme en platentektoniek. Wij moeten er dus van uitgaan dat Mars in elk geval niet zo lang een natte planeet geweest kan zijn.

Hoe snel de Martiaanse rivieren gestroomd hebben, kan natuurlijk niet meer gemeten worden. Toch is het wel mogelijk om nu nog te bepalen hoe hard en hoe lang het water gestroomd heeft. Om dit te berekenen worden dezelfde formules gebruikt die op Aarde getest zijn en gebruikt worden. Als je kunt uitrekenen hoeveel sediment er per jaar meegenomen werd door de rivieren en als je kunt berekenen hoe groot de delta's (in volume) zijn, dan is het mogelijk om uit te rekenen hoe lang er minimaal stromend water op Mars geweest moet zijn om de rivieren uit te slijten en de delta's op te bouwen.

De reconstructie

Voor de reconstructie van de rivieren op Mars worden dezelfde formules gebruikt die op Aarde gebruikt worden om de waterstanden van rivieren tijdens hoogwater te bepalen. Gegevens waarop dijkhoogten weer worden gebaseerd. Deze formules kunnen voor Mars worden aangepast voor de Martiaanse zwaartekracht. Die is minder dan de helft van de zwaartekracht op Aarde. Alles weegt dan ook minder dan de helft. Water op Mars stroomt hierdoor minder hard een berg af dan op Aarde, maar het sediment wordt juist makkelijker meegesleept.

De totale afvoer van water – het debiet of de flux – wordt bepaald door de waterdiepte, de breedte van de riviergeul en de stroomsnelheid. Op Mars worden daarvoor de diepte en de breedte van de droge geulen gebruikt. Deze aanname gaat goed op voor Aardse rivieren. Voor de geulbreedte en -diepte wordt een soort gemiddeld 'geulvormend' debiet genomen, dat verantwoordelijk is voor het grootste deel van het sedimenttransport. Het idee is dat dit gemiddelde representatief is voor zowel de lage debieten, die veel voorkomen maar slechts weinig sediment verslepen, en de hoge debie-



Afb. 3A. Uitvergroting van de delta in de Holden-NE krater in afb. 2. Deze uitstekende banen zijn oude riviergeulen opgevuld met zand en grind. Riviergeulen verlegden zich in de loop van de tijd over de hele delta, net als in Aardse delta's. De ruimten tussen de geulen waren opgevuld met fijner sediment, dat in de loop van de tijd door de wind is weggeërodeerd. Daardoor is het reliëf nu verkeerd om. (NASA/JPL-Caltech)



Afb. 3B. Uitvergroting van de delta in de Holden-NE krater. Deze slinger is een meander van een rivier, die zich in de loop van de tijd naar de buitenbocht toe (naar boven) heeft uitgebouwd, en vervolgens zichzelf door de binnenbocht heeft afgesneden. Het is zeer onwaarschijnlijk dat dit fenomeen veroorzaakt is door iets anders dan een rivier, omdat geen andere meanderende stromingen genoeg kracht hebben voor zulke afsnijdingen. (NASA/JPL-Caltech)

ten, die veel kracht hebben maar weer veel minder vaak voorkomen.

De grote onbekende is nu de stroomsnelheid. De stroomsnelheid hangt vanzelfsprekend af van de waterdiepte en het verval van de rivier, maar ook van de wrijving die het water ondervindt op weg naar beneden. Het verval van de rivieren op Mars kan weer gemeten worden in de huidige droge beddingen. De wrijving is moeilijker te bepalen; ook op Aarde is dat een lastig probleem. Nu moeten we de empirie – dat wat uit de praktijk bewezen is – uit de kast halen om meer over turbulente stroming te weten te komen. De standaard natuurkundige vergelijkingen zijn niet meer voldoende. De wrijving blijkt ruwweg af te hangen van de verhouding tussen de waterdiepte en de hoogte van de obstakels in de bedding. Dit zijn bijvoorbeeld ribbels en duinen op de bodems van zandrivieren, en de grovere blokken in een grindrivier (die hebben meestal geen ribbels en duinen). Door gegevens van zoveel mogelijk verschillende rivieren te combineren is een semi-empirische formule voor de wrijving gemaakt, waar de zwaartekracht netjes in verwerkt is. Deze vergelijking kan de stroomsnelheid in Aardse rivieren binnen een factor 4 voorspellen. Dat is tamelijk onnauwkeurig en het zou zeer onverstandig zijn om de dijkhoogten in Nederland en New Orleans daarop te baseren. Het gaat hier echter alleen om een schatting, dus voor Mars is dit goed genoeg.

We hebben nu de stroomsnelheid berekend, zodat we het debiet kunnen uitrekenen. Debiet wordt uitgedrukt in kubieke meters water per seconde. Het zegt echter niets over hoe lang het water gestroomd heeft. In één bijzonder geval op Mars (Ma'adim Vallis en de delta in de Gusev krater) weten we dat het water uit een enorm meer afkomstig was dat op catastrofale manier leegelopen is toen een deel van de oever doorbrak. Uit de overgebleven oevers kan worden afgeleid hoeveel water het meer bevatte. Nu we het volume en het debiet kennen, kan berekend worden hoe lang het water door de Ma'adim Vallis gestroomd moet hebben. Het gaat om een geul van 4000 m breed en 75 m diep, met een helling van 4 meter per kilometer. Het water moet gestroomd hebben met een snelheid van ca. 8-16 meter per seconde, wat vele malen sneller is dan de grootste rivieren op Aarde. Met een debiet van 2,4 miljoen kubieke meter per seconde, èn omdat het meer een inhoud had van ongeveer 17.400 kubieke kilometer, moet het meer heel snel, in slechts enkele jaren, leeggelopen zijn.

Sedimenttransport en deltavorming

Een dergelijk bovenstrooms meer is een uitzondering. Het is vrijwel nooit mogelijk om direct uit de waterstroom af te leiden hoe lang die geduurd heeft. De meeste kleinere rivieren op Mars kregen hun water niet uit een meer, maar uit een stroomopwaarts vertakkend stelsel van kleinere geulen. Deze geulen ontstonden meestal niet door regenwater, maar door grondwater dat aan de oppervlakte kwam er verder stroomde. Dit mechanisme is ook bekend op Aarde in de droge en zandige delen van Noord-Amerika en Egypte.

Als op een of andere manier is uit te rekenen hoeveel sediment werd meenomen door de rivieren, en als we dat vergelijken met de hoeveelheid sediment dat ligt opgeslagen in de

delta's, dan kunnen we meer zeggen hoelang de natte perioden geduurd hebben op Mars. Voor die berekeningen is het belangrijk om de afmetingen van de rivieren en de delta's te weten, zoals hun diepte en dikte. Op oudere foto's en beelden van Mars was dat niet te zien, maar de nauwkeurige hoogtegegevens van de Amerikaanse Mars Observer en de Europese Mars Express geven die informatie wel. Met name op de gedetailleerde beelden van de Mars Express zijn heel veel sporen van de werking van water te vinden. Op Mars komen riviergeulen voor die groter zijn dan de grootste rivieren op Aarde, maar er zijn ook veel kleinere. Afb. 2 en 3.

De hoeveelheid sediment die wordt meegenomen bij een bepaalde stroomsnelheid op Mars, kan worden berekend met formules die op Aarde zijn ontwikkeld en getest. Deze formules hebben een grote onzekerheid en verschillen sterk van elkaar. Toch kunnen we de orde van grootte van het sedimenttransport wel inschatten, en dat is nauwkeurig genoeg voor Mars. Over het algemeen hangt het transport af van de stroomsnelheid tot de derde of vijfde macht. Deze berekeningen moeten gecorrigeerd worden voor de Martiaanse zwaartekracht, de dichtheid van het gesteente en de dichtheid van de vloeistof. Zo is uitgerekend dat er in de Ma'adim Vallis 4000 kubieke meter sediment per seconde getransporteerd werd. Dat is zo'n duizend maal minder dan de hoeveelheid water die per seconde stroomde. Het is voor het eerst dat deze aangepaste Aardse methode toegepast is op Mars. De uitkomst is onverwacht. Eerder veronderstelde men simpelweg dat zo'n 30% van het debiet bestond uit sediment. Dat blijkt nu duidelijk veel te veel te zijn.

Het is mogelijk dat deze delta in enkele jaren tot enkele tientallen jaren opgebouwd is. De minimum tijd die nodig is om rivierdelta's te vormen op Mars blijkt te variëren van minder dan een jaar tot enkele tientallen jaren. Dat is extreem snel! Sommige delta's zouden zelfs binnen een jaar ontstaan kunnen zijn. Er hoeft op Mars dus maar een korte tijd water gestroomd te hebben, veel korter dan vroeger werd verondersteld. Toen dacht men aan enkele honderdduizenden tot tientallen miljoenen jaren.

Onzekerheden

Vroeger veronderstelde men dat de rivieren op Mars meer modderstromen waren met enorme hoeveelheden sediment. In de vormen van de delta's zijn echter geen aanwijzingen te vinden die duiden op dergelijke modderstromen. Het lijkt juist dat er water gestroomd heeft met weinig sediment. Veel delta's op Mars hebben namelijk een vrij vlakke bovenkant die met geulen bedekt is en een steile helling benedenstrooms: de zogenaamde Gilbert-type delta en fan delta. Een dergelijke steile helling is niet karakteristiek voor woeste modderstromen. Steile hellingen tot 35 graden zijn op Aarde zeer bekend, maar niet bij modderstromen. Zij komen voor wanneer droog zand (of zand in water) langzaam wordt uitgegoten. Dan ontstaat een bergje met een steile helling. Zandduinen bijvoorbeeld in de woestijnen op Aarde en Mars hebben diezelfde steile helling aan de lijzijde.

Wij hebben geen idee of het water continu gestroomd heeft bij de vorming van de Martiaanse delta's. Waarschijnlijk zal de toevoer van water aan de rivieren sterk variabel in de tijd geweest zijn. Voor de Ma'adim Vallis en de delta in de Gusev krater weten we wat er gebeurd is. Maar het Martiaanse meer bevatte echter niet voldoende water om in een keer de stroomafwaarts gelegen delta te hebben gevormd. Het meer moet dus bijgevuld zijn en enkele malen opnieuw zijn leeggelopen. Over de tijd die nodig was om het meer opnieuw te vullen is niets bekend. De tijd die nodig was om de delta te vormen zou dus veel groter kunnen zijn dan de paar jaar die nu uit de berekening volgen. Toch is een periode van bijvoorbeeld 10.000 jaar geologisch gezien nog zeer kort; veel korter dan tot nu toe voor Mars werd aangenomen. Zo'n korte duur is realistisch, zelfs voor de Aarde waar het er veel minder catastrofaal aan toe gaat. De Rijn-Maasdelta in Nederland, en vele andere delta's over de hele wereld, zijn ook in de laatste 8000 jaar gevormd.

Bovendien weten we niet of het Martiaanse sediment vooral uit fijn zand of grof grind bestaat. De landers van de NASA hebben de Marsbodem maar op enkele plaatsen van dichtbij genoeg kunnen fotograferen. Op de foto's is of fijn zand of grof grind te vinden, maar niet grof zand en fijn grind. De samenstelling van het sediment is van groot belang voor de uiteindelijke vorm van de delta's. In de toekomst willen we daarom delta's laten ontstaan in het geowetenschappelijke laboratorium in Utrecht. Zo kan worden onderzocht welke deltavorm hoort bij welke omstandigheden en welke sedimentmengsels. De delta's die in het laboratorium gevormd gaan worden, zijn goed te vergelijken met verschillende typen delta's op Aarde en op Mars. Deze interplanetaire vergelijking levert dan begrip op van delta's op Mars en Aarde.



Afb. 4. Druppelvormige eilanden in Kasei Valles, het grootste mega-uitstroomdal. De stroming was van beneden naar boven. (NASA)

Vergelijkbare grote rivieren op Aarde

De catastrofale gebeurtenissen in Ma'adim Vallis en in de grotere Martiaanse uitstroomdalen zoals Kasei Valles lijken eigenlijk veel meer op de *scablands* in Noord-Amerika en in Siberië, dan op rivierdelta's. Ook daar liepen aan het eind van de laatste ijstijd enorme meren catastrofaal snel leeg, waardoor er grote erosieve landvormen ontstonden.
Heel karakteristiek zijn de druppelvormige eilanden, die de stroomrichting aangeven (zie afb. 4). Eilanden en bochten die gevormd zijn door 'gewone' rivieren op Aarde zien er heel anders uit, omdat zij gevormd zijn door de afzetting van sediment, en niet door erosie van een stenige puinbodem.

Toen het fenomeen *scabland* in Noord-Amerika ontdekt werd, heeft het nog een hele tijd geduurd voordat het idee van een catastrofale uitstroom van water geaccepteerd werd.

Er waren in de jaren '70 nog weinig satellietbeelden beschikbaar en nog minder hoogtegegevens. Nu is het zelfs relatief makkelijk om dit landschap en vergelijkbare landschappen terug te vinden met Google-Earth (de oostelijke helft van de staat Washington bijvoorbeeld is bedekt met *scablands*). In *scablands* komen rotsblokken voor die een samenstelling hebben die niet in dat gebied thuishoort. Die rotsblokken zijn zo groot als kleine vrachtwagens; het is niet waarschijnlijk dat die door water zijn meegevoerd. Eerst dacht men dat ze door gletsjers waren meegevoerd, net zoals de zwerfstenen in Nederland. Inmiddels zijn er veel meer aanwijzingen dat de scablands door een catastrofale vloed zijn veroorzaakt toen een ijsdam smolt en een groot smeltwatermeer leegliep aan het einde van de laatste of voorlaatste ijstijd.

Op Mars kunnen die enorme hoeveelheden water vrijgekomen zijn toen grondwaterreservoirs smolten tijdens grootschalig vulkanisme. Kleinere rivieren op Mars zijn wel te vergelijken met Aardse rivieren die gewoon gevoed worden door regenwater. Het sediment op Mars is echter zo anders dan op Aarde dat de Martiaanse rivieren meestal niet lijken op de Aardse rivieren met zandbanken en meanders, maar meer op Aardse rivieren met dalen die zijn uitgesleten in hard gesteente.

Besluit

Onderzoek aan andere planeten is in de afgelopen decennia vooral verricht in de Verenigde Staten van Amerika. Er komt langzamerhand steeds meer belangstelling voor planeetonderzoek in Europa: met name in Duitsland, Italië en Frankrijk, maar ook in Nederland. Vorig jaar is het Nederlands PlanetologiePlatform opgericht, waarin het handjevol planeetonderzoekers in Nederland zich verenigd heeft. Voor studenten aardwetenschappen in Utrecht is het mogelijk om af te studeren op een planetologisch onderwerp, met name op een vergelijking van Aarde en Mars. Nederland gaat interplanetair!

Veel foto's en hoogtekaarten ('MOLA') zijn te vinden op:
http://photojournal.jpl.nasa.gov/figures/
http://www.msss.com/mars_images/
Meer informatie over de Mars Express van de ESA (met mooie beelden met sporen van water): http://www.dlr.de
Informatie over sterrenkunde in Nederland is te vinden via:
www.sterrenkunde.nl
Informatie over de studie aardwetenschappen in Utrecht is te vinden op:
www.geo.uu.nl

Geraadpleegde literatuur

Kleinhans, M.G. (2005), Flow discharge and sediment transport models for estimating a minimum timescale of hydrological activity and channel and delta formation on Mars, J. Geophys. Res., 110, E12003, doi:10.1029/2005JE002521

Dit artikel is te verkrijgen bij de auteur.

Kijken naar Mars: *bol of hol*

Kijk eens naar de foto van de opvallende centrale berg in de Nicholson-krater, afb. 1. Als de noordpijl omhoog wijst komt in dit geval de inval van het zonlicht van linksboven, het reliëf wordt dan op normale, realistische wijze weergegeven. Maar hebben we de foto gedraaid en wijst de N-pijl omlaag dan zien we dat het reliëf versprongen is: de kuilen van de kraters lijken omhooggerezen modderbellen en de berg komt over als een depressie.
Dit hol- of bol-effect is een vorm van gezichtsbedrog, dat vaak optreedt als op een afgebeeld object het opvallende licht van een andere kant dan linksboven komt. Linksboven is namelijk de richting van lichtinval die ons oog kennelijk als normaal ervaart.
Soms is het bepalen van het juiste reliëf niet eens gemakkelijk. Maar als je de foto zó oriënteert dat het licht van linksboven komt, dan zit je goed.
De Marsfoto's in deze Gea zijn praktisch allemaal zó geplaatst, dat ons oog het reliëf op de juiste manier ziet. Het is immers de bedoeling, dat we voor een geologische vergelijking een zo herkenbaar mogelijk landschapsbeeld voor ogen hebben.
Voor astronomen geldt een strictere oriëntatie, hun kraterfoto's zitten dan ook vaak vol boleffecten.

Joke Stemvers



Afb. 1. De centrale berg in de Nicholson-krater. Deze ligt in het NW van de Medusae Fossae. (Foto ESA).



Afb. 2. Bij draaien van 180º van afb. 1 zullen de meeste lezers het reliëf zien omkeren: de berg wordt een breed dal door een effect van gezichtsbedrog.