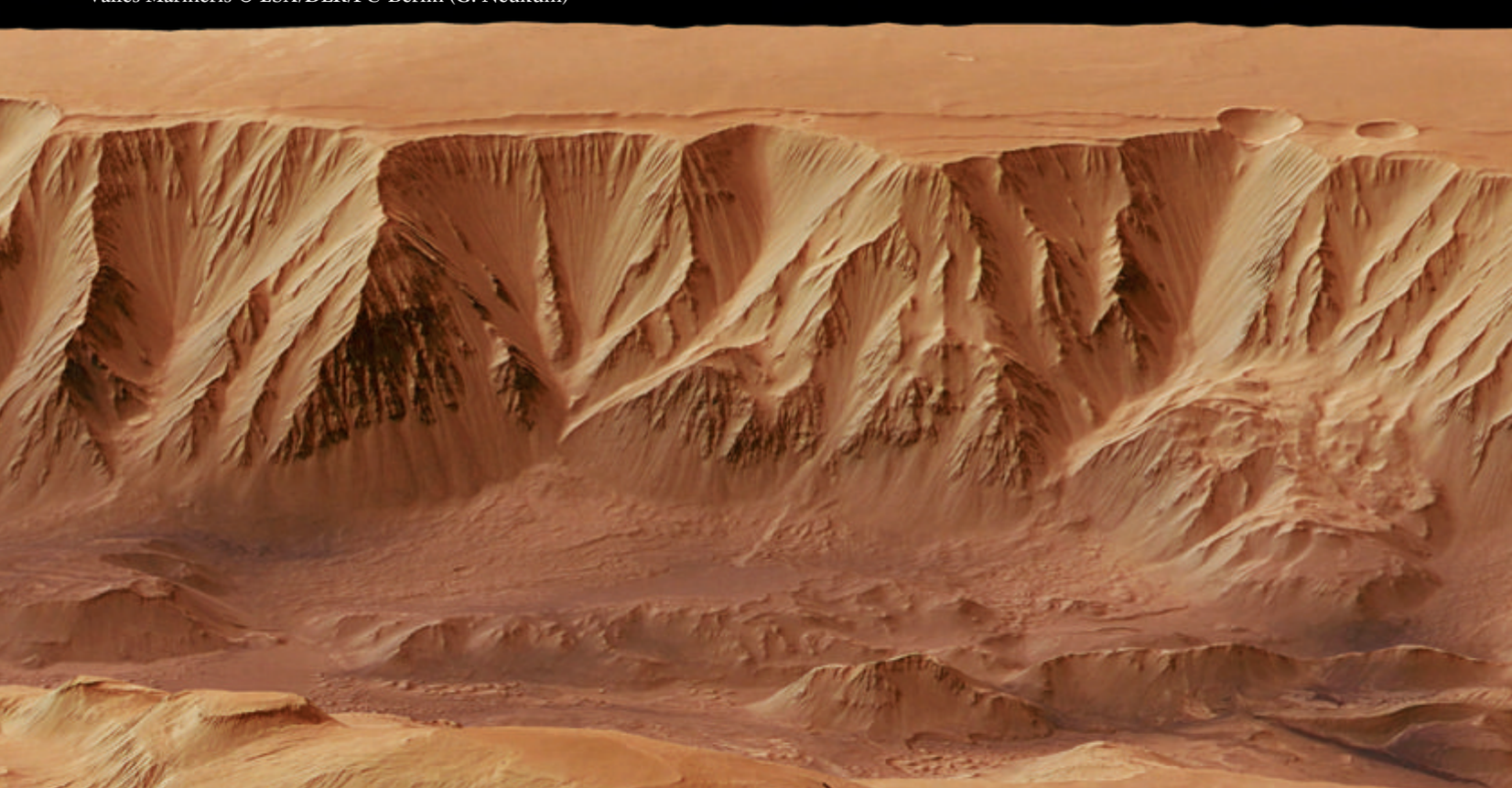
De planeet Mars onder de loep van Belgische wetenschappers

Véronique Dehant en Frank Daerden

Inleiding

De planeet Mars staat dicht bij de aarde en heeft meerdere soortgelijke kenmerken als onze planeet. Wetenschappers bestuderen een breed scala aan eigenschappen van deze planeet, en onderzoeken bijvoorbeeld de atmosfeer, het oppervlak en de mogelijke aanwezigheid van water in het verleden van Mars. Wetenschappers van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) en van de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB) nemen ook deel aan dit onderzoek en zijn vooral geïnteresseerd in het modelleren en begrijpen van de atmosfeer (BIRA) en de inwendige structuur en evolutie van Mars (KSB). Ze zijn ook betrokken bij het ontwerpen van instrumenten en bij de verwerking van gegevens van spectrometers op ruimtevaarttuigen (BIRA) en van radio-experimenten (KSB), met de bedoeling informatie te verwerven over de atmosfeer, de ondergrond en het diepe inwendige van Mars. BIRA en KSB hebben een internationaal erkende expertise verworven op het gebied van ruimteonderzoek en planetaire wetenschappen, en dat mede dankzij de voortdurende steun van het Federaal Wetenschapsbeleid sinds reeds meer dan 20 jaar

Valles Marineris © ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)



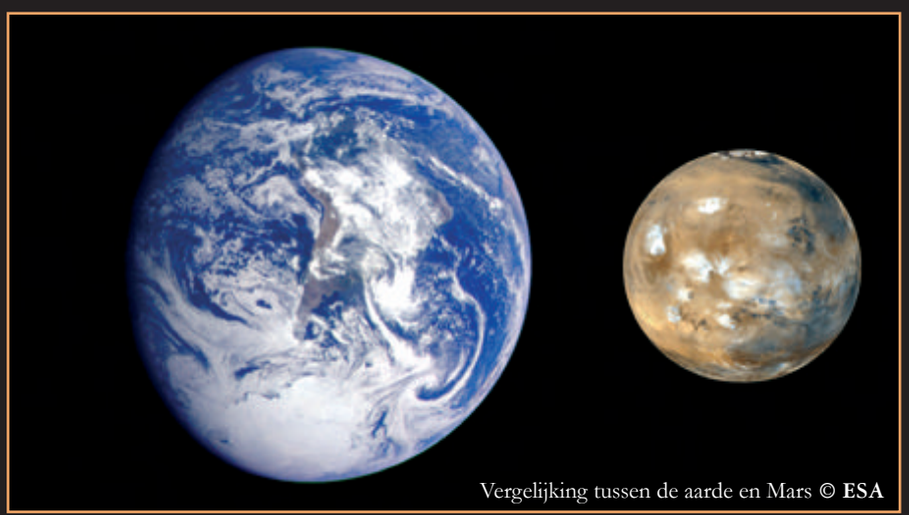
De verkenning van Mars, een korte samenvatting

De ruimtemissies naar Mars begonnen in 1960 met de lancering van een Russische sonde. De Verenigde Staten volgden in 1964 met de lancering van de Mariner 4, die de eerste beelden van het dorre oppervlak van Mars naar de aarde stuurde. Vanaf dan volgden meerdere Russische en Amerikaanse missies om de planeet te bestuderen. Hoewel veel van deze projecten mislukten, waren er ook veel successen. De eerste nauwkeurige kaarten van Mars en de eerste relevante analyse van de chemische samenstelling van de atmosfeer zijn, onder andere, te danken aan de Mariner 9 (gelanceerd in 1971). De eerste poging om leven op Mars te ontdekken werd gedaan door de Vikingsondes (gelanceerd in 1975). Een ander opmerkelijk succes was de Mars Pathfinder (gelanceerd in 1996), een sonde van 259 kg met een klein automatisch wagentje (of 'rover'), de 'Sojourner', dat de bodem van Mars rond de landingsplaats onderzocht en fotografeerde (een model op ware grootte van Pathfinder is te zien op de tentoonstelling *Bestemming Mars*). De NASA-orbiters Mars Global Surveyor (MGS), Mars Odyssey en Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), en de orbiter MarsExpress van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA hebben al een hele hoop onverwachte gegevens opgeleverd, die nog steeds verder geïnterpreteerd worden. De bijdragen van deze missies zijn van groot belang voor het verbeteren van onze kennis over Mars en het zonnestelsel en helpen ook de aarde zelf beter te begrijpen door vergelijkende studies van dynamische, fysische en chemische processen. In 2003 heeft de NASA nogmaals twee rovers gestuurd, de Mars Exploration Rovers (MERs) 'Spirit' en 'Opportunity' (modellen op ware grootte van de MERs staan eveneens op de tentoonstelling *Bestemming Mars*). Deze rovers hebben beelden en metingen van kraters en rotsen doorgestuurd bij hun tochten op Mars.

Waarom Mars? Het belang van vergelijkende planetologie.

Mars is een zeer interessante planeet voor de studie van processen rond de vorming en de evolutie van de aardse planeten, waartoe de aarde, Mars, Venus en Mercurius behoren. Mars is kleiner dan de aarde, met een diameter die ongeveer de helft bedraagt dan die van onze planeet, maar heeft een vergelijkbare chemische en mineralogische samenstelling, en een gelijkaardige globale interne structuur met een ijzeren kern, een mantel en een korst. Kort na hun ontstaan, hebben de aarde en Mars misschien erg op elkaar geleken.

Maar tegenwoordig vertonen deze buurplaneten ook veel verschillen. Mars heeft bijvoorbeeld een ijle en koude atmosfeer met bijna geen zuurstof. De eerste spectroscopische metingen van Mars werden gedaan vanaf de aarde met grote telescopen (zowel in zichtbaar licht als in microgolven) en toonden aan dat zijn atmosfeer vooral bestaat uit kooldioxide (CO_2, 95%). Dit in tegenstelling tot de aardse atmosfeer, die grotendeels bestaat uit stikstof (N_2, 78%) en zuurstof (O_2, 21%). De eerste succesvolle ruimtemissies naar Mars ontdekten daarbij slechts beperkte sporen van stikstof (2,7%), zuurstof (0,13%), argon (1,6%) en nog enkele andere chemische stoffen. Uit de temperaturen gemeten in situ bleek dat Mars, in vergelijking met de aarde, een koude wereld is waar temperaturen boven 0°C uitzonderlijk zijn. Op een typische warme dag op Mars stijgt de temperatuur niet boven -30°C! Wetenschappers merkten eeuwen geleden al met hun telescopen dat er wolken op Mars waren, ruimtemissies konden later bevestigen dat deze waren samengesteld uit waterijs, zoals de cirrus of stratosferische wolken op de aarde. Recent werd zelfs sneeuwval op Mars ontdekt. De algemene samenstelling van de atmosfeer geeft aan dat Mars zowel geologisch als biologisch een dode planeet is, zonder actief vulkanisme aan het oppervlak en zonder directe tekens van leven. Terwijl op aarde de ozonlaag de biosfeer beschermt, is ozon op Mars veel minder overvloedig aanwezig (100 keer minder), wat maakt dat de UV-straling overdag aan het grootste deel van het oppervlak dodelijk is voor aardse organismen. De afgelopen jaren werden er echter, zeer verrassend, sporen van methaan ontdekt in de atmosfeer van Mars. Deze waarnemingen hebben belangrijke implicaties voor de studie van het leven (zie paragraaf over Leven op Mars).



Vergelijking tussen de aarde en Mars © **ESA**

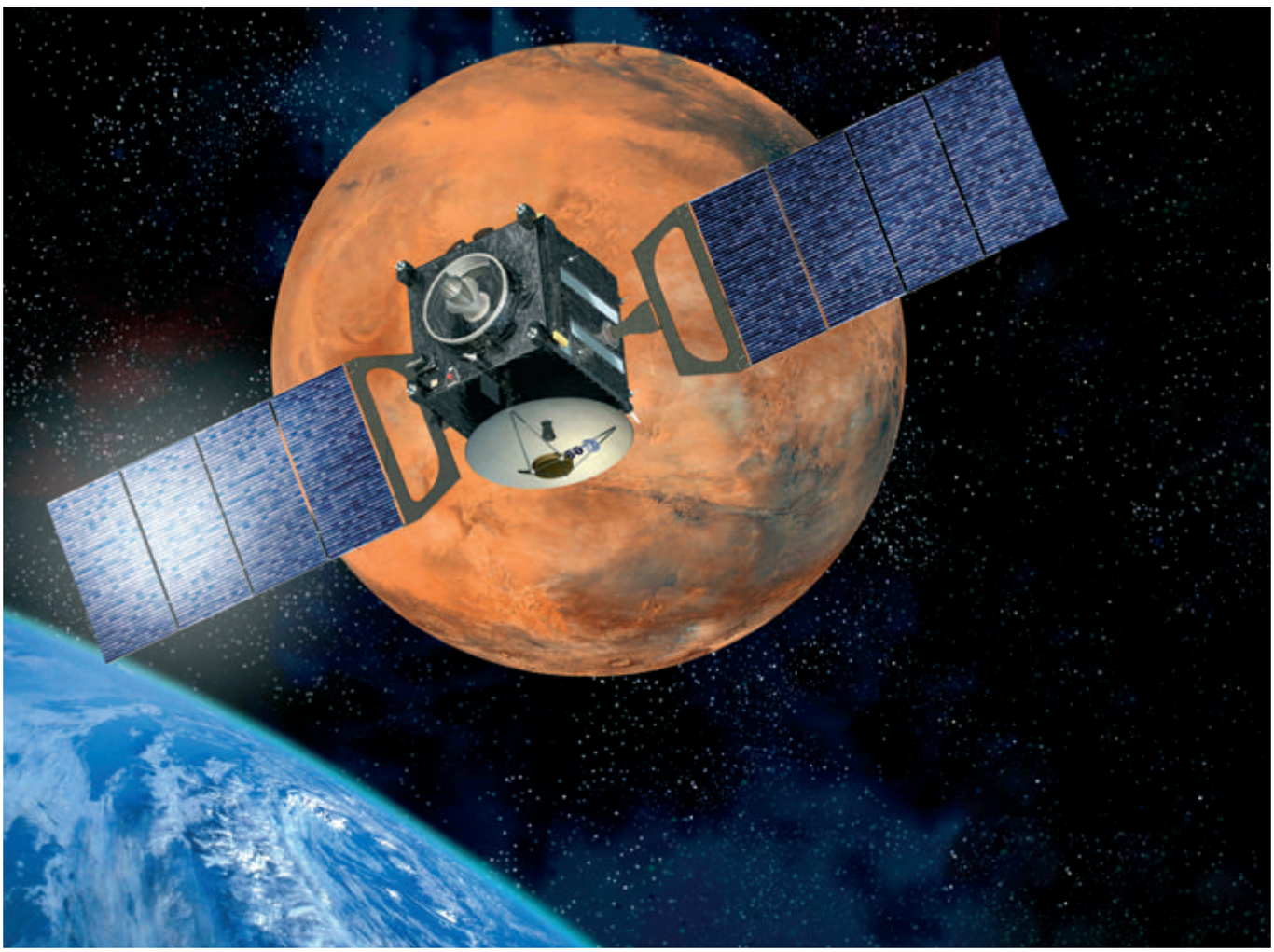
Het oppervlak van Mars is heel droog, zonder blijvend vloeibaar water, en ontstond heel lang geleden, in tegenstelling tot het aardoppervlak dat

continu wordt gerecycleerd door tektonische bewegingen. Door het gebrek aan plaattektoniek lijken vulkanische 'hot spots' (zoals op aarde bijvoorbeeld in Hawaï) van cruciaal belang in de evolutie van de planeet te zijn geweest. Vulkanisme op Mars lijkt nu echter uitgestorven, en de laatste grote vulkaanuitbarstingen hebben waarschijnlijk al 100 miljoen jaar geleden plaatsgevonden. Dit geeft aan dat beide planeten ook intern verschillen. De aarde is een dynamische planeet, met grootschalige bewegingen in de kern, mantel en korst. Mars, aan de andere kant, is op dit moment een veel rustigere planeet. Het is heel interessant vanuit een vergelijkend perspectief te onderzoeken hoe en waarom Mars zo verschillend van de aarde evolueerde.

Leven op Mars

De mogelijkheid om biotische processen te identificeren op Mars is een andere reden voor het bestuderen van deze planeet. Net als de aarde lijkt Mars een planeet die alleszins in het begin van haar geologische evolutie gunstige voorwaarden heeft ontwikkeld voor de verschijning van leven. De aanwezigheid van vloeibaar water op, of net onder, het planeetoppervlak lijkt een noodzakelijke voorwaarde voor de ontwikkeling van leven. Recente waarnemingen wijzen op tekenen van oude riviersystemen en geulen. Wetenschappers zijn het niet unaniem eens over de interpretatie van hun oorsprong, maar veel van hen speculeren dat Mars rivieren en zelfs een oceaan zou kunnen gehad hebben, waarin primitieve levensvormen konden bestaan, net als wat de aarde heeft gekend met de 'oersoep'.

De recente ontdekking van methaan in de atmosfeer van Mars kan ook indirect gerelateerd zijn aan de vraag naar het ontstaan van leven op Mars, omdat dit betekent dat er op dit moment toch een zekere mate van geologische of zelfs biologische activiteit op Mars gaande is. Op aarde heeft het meeste atmosferische methaan een biologische oorsprong. Samen met de ontdekking van ondergrondse water-ijs-reservoirs, kan de detectie van methaan wijzen op de aanwezigheid van een vorm van microbisch leven onder het oppervlak. Aangezien methaan niet kan worden gevormd door fotochemische reacties in de atmosfeer, waar het wel waargenomen wordt, moet het noodzakelijk gevormd worden 'buiten' de atmosfeer. De verklaring van de bron van het atmosferisch methaan zou dan naar de eerste ontdekking van leven buiten onze eigen planeet kunnen leiden. Dit zijn enkele van de thema's die behandeld worden op de tentoonstelling *Bestemming Mars*.



© ESA

Onderzoek aan het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA)

De vroege Marsverkenning

Reeds in de late jaren 1980 nam het BIRA deel aan de Sovjetmissie Phobos die metingen van de fysisch-chemische structuur van de atmosfeer van Mars heeft uitgevoerd. Een van de meest verbazingwekkende resultaten was de ontdekking van een organische verbinding in de atmosfeer, die waarschijnlijk ontstaat uit oxidatie van methaan: formaldehyde (CH_2O). Deze ontdekking is vandaag de dag nog steeds een raadsel. Op hetzelfde moment ontwikkelden BIRA-wetenschappers ook het eerste numeriek model in twee dimensies (hoogte en breedte) ter wereld om de aeronomie van Mars beter te begrijpen.

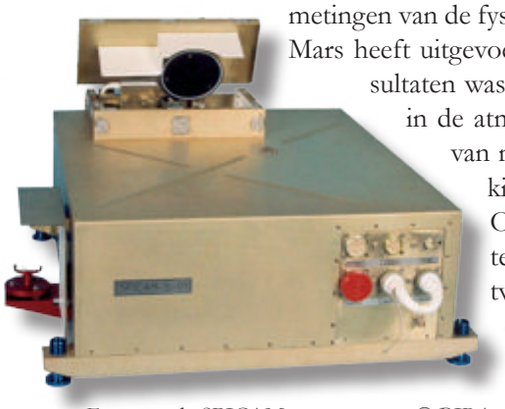


Foto van de SPICAM-spectrometer.© BIRA

Impressie van het MARS96-ruimtetuig. © ESA

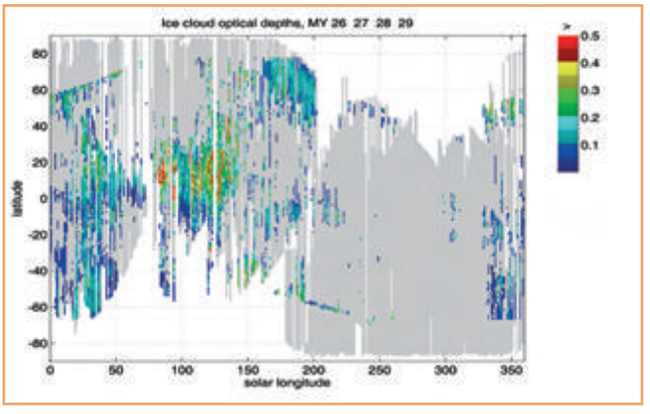
Impressie van het MarsExpress-ruimtetuig. © ESA

MarsExpress

Een foto van SPICAM-Light.© BIRA

Na de mislukking van de Mars96-missie, met aan boord een SPICAM-instrument van het BIRA, voor de studie van de fysica en de chemische samenstelling van de Marsatmosfeer met een infrarood- (IR) en een ultravioletkanaal (UV), en om de investeringen gedaan door de verschillende ruimtevaartorganisaties niet helemaal verloren te laten gaan, stelde ESA de missie MarsExpress voor op basis van de expertise verworven voor MARS96. Daar de wetenschappelijke lading aanzienlijk beperkt werd, en de massa van de oorspronkelijke SPICAM moest verminderen van 46 tot iets meer dan 8 kg, werd het nieuwe instrument nu 'SPICAM-Light' genoemd. De metingen begonnen eind 2003 en op dit moment werkt het instrument nog steeds nominaal. De veelzijdigheid in observatiemodi (nadir en limb, stellaire en zonne-occultaties) maakten het mogelijk om belangrijke wetenschappelijke aspecten te onderzoeken, zoals het ozon en de koppeling ervan met water, de studie van de stabilisatie van de huidige atmosfeer, de aerosolen, de verticale atmosferische thermische en chemische structuur, en de detectie van minderheidsbestanddelen.

Het UV-kanaal van SPICAM is zeer gunstig voor de detectie van ijswolken op Mars. Het BIRA analyseerde de distributie van waterijswolken op Mars tijdens de verschillende seizoenen en kon zo het watergehalte in de wolken inschatten. Dit verbetert onze kennis van de algemene atmosferische circulatie en het klimaat op Mars. Ook de eigenschappen van stof in het UV-domein werden bestudeerd met SPICAM. Dit is belangrijk om het vermogen in te schatten van de UV-straling om het oppervlak te bereiken. Astrobiologen gebruiken dergelijke berekeningen om de overlevingskans van verschillende microorganismen op Mars te bepalen.

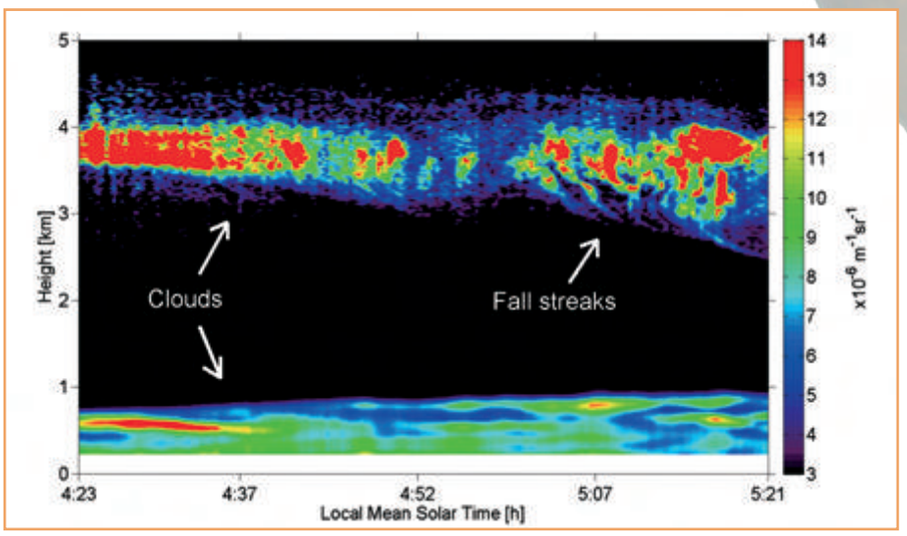


Optische diepte van ijswolken op Mars zoals gemeten door SPICAM. Deze zonaal gemiddelde kaart (breedtegraad versus de tijd van het jaar, uitgedrukt als 'zonne-lengtegraad') bestrijkt de periode vanaf het begin van de lente tot het einde van de noordelijke winter. De gegevens werden verkregen gedurende 4 Marsjaren. [Mateshvili et al. Planet. Sp. Sci., 2009].

Sneeuw en de weersvoorspelling op Mars

In 2008 stuurde de NASA met succes de Phoenix-lander naar het noordelijke poolgebied van Mars. Aan boord was een Canadees weerstation dat wolken kon detecteren. Toen dit instrument actieve sneeuwval ontdekte, ontwikkelde het BIRA een gedetailleerd numeriek model om dit proces te simuleren en te begrijpen.

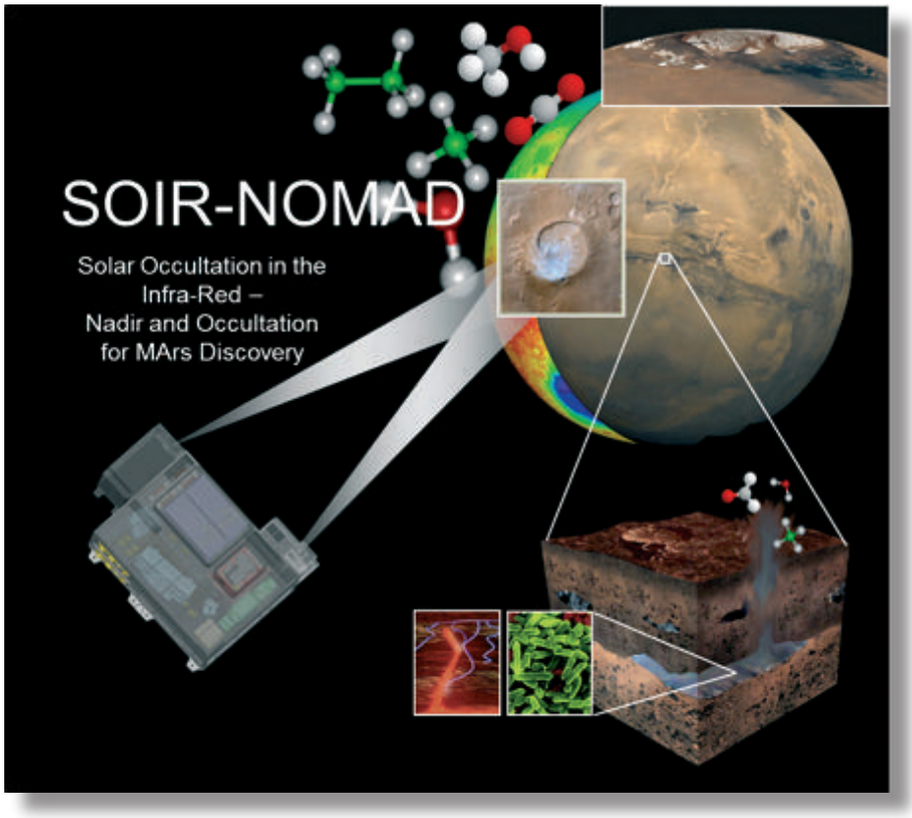
Het BIRA ontwikkelt ook een numeriek model om het weer op Mars te simuleren en te voorspellen, in samenwerking met de universiteit van York in Canada. Dit 3D-model beschrijft de meteorologie, de circulatie, het stof, de wolken, het water, de poolkappen, de straling en de atmosferische chemie van het oppervlak tot 170 km hoogte.



Detectie van waterijswolken op lage hoogte en neerslag op Mars door de Phoenix-LIDAR. Deze metingen kunnen worden verklaard door het BIRA-computermodel [Daerden et al., Geophys. Res. Lett., 2010].

De toekomst: ExoMars

Na de ontdekking van methaan op Mars door MarsExpress, besloten ESA en NASA om hun krachten te bundelen om dit mysterie op te lossen met een nieuwe ambitieuze missie: ExoMars. In 2016 zal de ExoMars Trace Gas Orbiter (EMTGO) naar Mars worden gestuurd. Twee jaar later volgen nog twee rovers.
Het BIRA heeft bijgedragen aan de voorbereiding van EMTGO, en ook een nieuw instrument voorgesteld NOMAD (Nadir and Occultation for MArs Discovery). NOMAD is gebaseerd op SOIR (Solar Occultation in the Infra-Red, een Belgisch instrument momenteel actief op Venus Express) en een lichte UV- en zichtbaar-licht-spectrometer (UVIS). UVIS is de erfgenaam van het instrument RADEX voorgesteld na de Phobos-missie en oorspronkelijk ontwikkeld voor de ExoMars rover. NOMAD zal niet alleen naar de zon kijken (zoals SOIR doet), maar ook rechtstreeks naar de oppervlakte doorheen de atmosfeer van Mars. Dit zal op een unieke wijze de minderheidsbestanddelen van Mars in kaart brengen, om zo te kunnen zoeken naar de plaatsen waar methaan zou kunnen vrijkomen in de atmosfeer, en dus naar de plaatsen waar leven of actief vulkanisme aanwezig zou kunnen zijn op Mars.



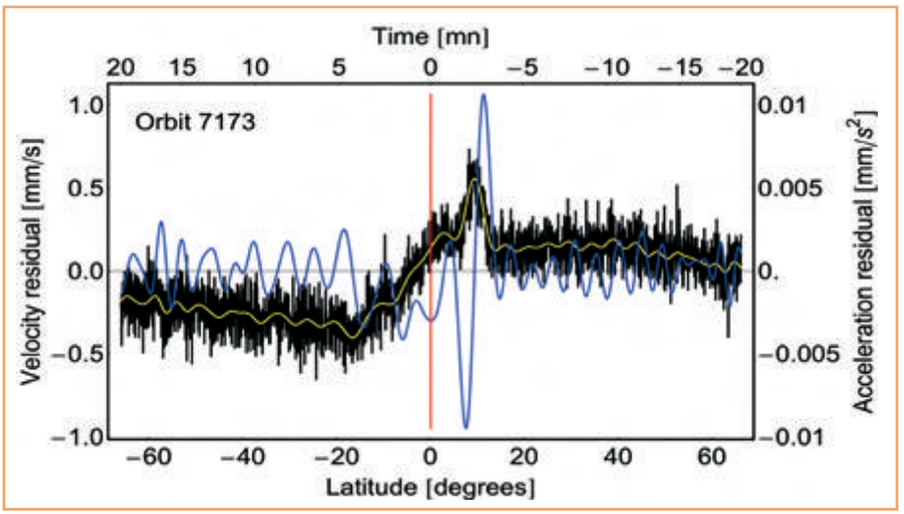
Het SOIR-NOMAD-experiment op ExoMars TGO.

ESA en NASA hebben het NOMAD-experiment geselecteerd als een belangrijk onderdeel van EMTGO. Het experiment heeft de volledige steun van het Federaal Wetenschapsbeleid en wordt geleid door een Belgische PI (*Principal Investigator*) of hoofdonderzoeker, Dr. Ir. Ann Carine Vandaele van het BIRA. Het internationale NOMAD-consortium staat onder Belgische leiding en telt bijdragen uit Spanje, Italië, het VK, de Verenigde Staten en Cana-

Onderzoek aan de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB)

De Koninklijke Sterrenwacht van België neemt deel aan het experiment MaRS (MarsExpress Radio Science) van de ruimtemissie MarsExpress. In dit experiment worden veranderingen in frequentie (Dopplerverschuivingen) gemeten van radiosignalen die tussen MarsExpress en de aarde worden uitgezonden. De frequentieveranderingen zijn te wijten aan de relatieve beweging tussen de ruimtesonde en de aarde. Aan de hand van de Dopplerverschuivingen worden de positie en de baanbeweging van de ruimtesonde bepaald. Omdat de baanbeweging van MarsExpress afhangt van de gravitationele aantrekkingskracht van Mars kunnen zo het globale en lokale gravitatieveld van Mars, en de tijdsvariaties ervan, gekarakteriseerd worden. Op die manier verkrijgen we informatie over de atmosfeer, de poolkappen, het oppervlak en het diepe inwendige van Mars.

Voorstelling van het MarsExpress Radio Science experiment (MaRS)© ESA



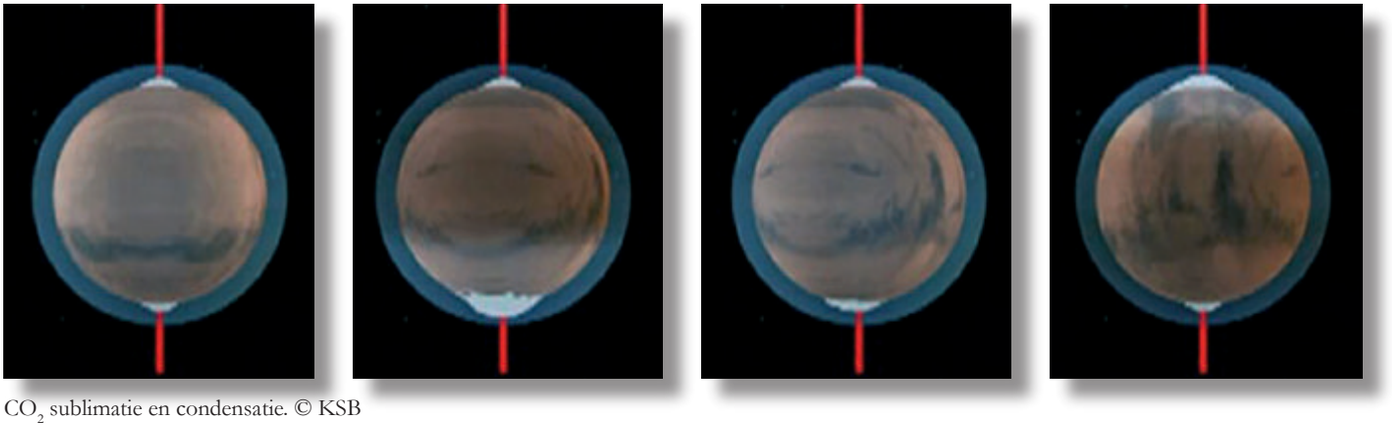
Verschil in gemeten en voorspelde snelheid van MarsExpress (zwart: ruwe data; geel: gefilterde data) tijdens een passage van MarsExpress boven Olympus Mons. De versnelling is in het blauw weergegeven. De positie van de dichtste nadering tot het oppervlak van Mars (pericenter) is aangeduid met een rode vertikale lijn.

'Gravity on target'

Doordat MarsExpress tot dicht bij het oppervlak van Mars kan komen (265–334 km), kan de sonde gebruikt worden als een gevoelige meter van de lokale gravitatiekracht, wat informatie oplevert over de lokale structuur van de korst en de lithosfeer. Uit een reeks gravitatie-experimenten tijdens vluchten over de grote vulkanen van Mars heeft men geleerd dat het gestolde lava een hoge massadichtheid heeft en dat de vulkanen ondersteund worden door een heel starre lithosfeer van lagere

Variaties van het gravitatieveld in de tijd

De seizoensgebonden cyclus van kooldioxide (CO_2) op Mars gaat gepaard met een globale herverdeling van massa in de atmosfeer en de poolkappen. Ongeveer een vierde van de totale massa van het atmosferische CO_2 condenseert aan de polen in de winter en sublimeert terug in de atmosfeer tijdens de zomer. De hiermee verbonden veranderingen in het gravitatieveld zijn gemeten via de Dopplerwaarnemingen van alle ruimtetuigen in een baan rond Mars. Deze methode geeft de meest directe metingen van de globale massacyclus van de atmosfeer.



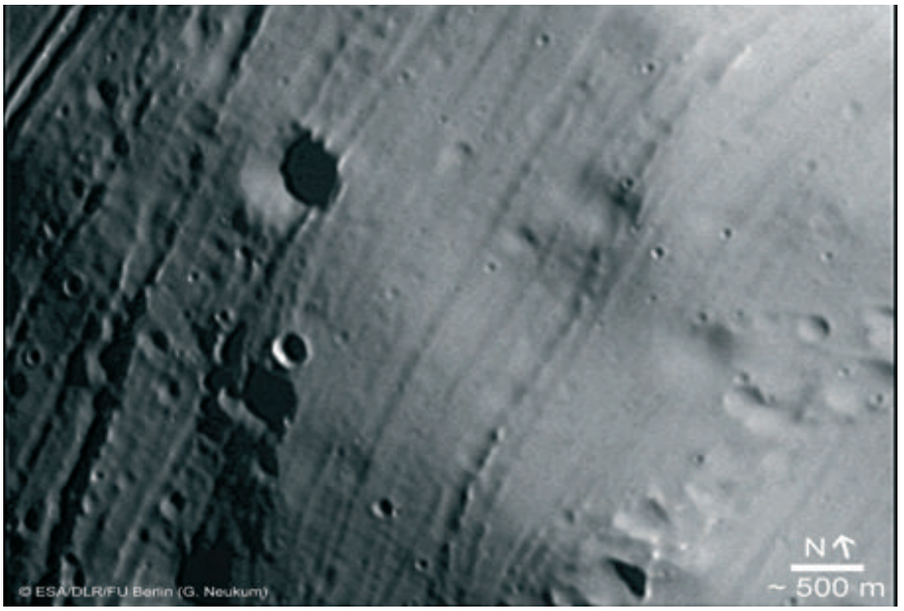
CO_2 sublimatie en condensatie. © KSB

Het gravitatieveld van Mars verandert ook in de tijd door getijdenvervormingen van de planeet. De KSB heeft een nauwkeurig model ontwikkeld van de inwendige structuur van Mars en heeft onderzocht hoe getijden afhangen van het inwendige. Voor een nauwkeurige bepaling van de getijden moeten we nog wachten op toekomstige radio-sciencewaarnemingen met een betere precisie en op metingen aan het oppervlak van Mars met een seismometer. Radio-sciencegegevens worden ook verwerkt door wetenschappers van de KSB om de rotatie en oriëntatie van Mars te bepalen en op die manier meer te leren over het diepe inwendige van Mars. Ook in het dagelijkse leven wordt gebruik gemaakt van rotatie om eigenschappen van het inwendige te achterhalen: denk maar aan een rauw ei dat anders draait dan een gekookt ei.

Phobos

Vroegere en huidige missies naar Mars hebben heel wat informatie opgeleverd over Phobos en Deimos, de twee manen van Mars, maar het is nog steeds onduidelijk hoe ze ontstaan zijn. Metingen van de spectrale kenmerken van het oppervlak en studies van de evolutie van de baanbeweging leiden tot tegenstrijdige scenario's voor hun oorsprong. Ofwel zijn de manen ingevangen asteroïden ofwel zijn ze ter plaatse gevormd. De dichtheid van Phobos werd recent opnieuw met hoge nauwkeurigheid bepaald aan de hand van scheervluchten van MarsExpress. De dichtheid is minder dan twee maal de dichtheid van water, wat weinig is voor een rotsachtig hemellichaam. De lage dichtheid wijst op een grote porositeit (of holtes) in het inwendige van Phobos, zoals voor veel kleine asteroïden.

De maan Phobos



De Phobos-Grunt missie, die in 2011 gelanceerd zal worden, zal het oppervlak en het inwendige van Phobos van dichtbij bestuderen. De KSB neemt deel aan deze missie en zal het inwendige van Phobos onderzoeken door de rotatie en het gravitatieveld van Phobos op te meten.

Conclusies

Zoals kan worden gezien zijn de onderzoekers van de Pool Ruimte, en in het bijzonder het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie en de Koninklijke Sterrenwacht van België, betrokken bij diverse internationale projecten gericht op het beter begrijpen van onze directe buurplaneet. Of het de inwendige structuur van de planeet betreft of de structuur van de atmosfeer, al deze studies kunnen ons begrip van de verschijnselen die erin plaatsvinden vergroten. We durven te wedden dat toekomstige missies nieuwe bronnen zullen zijn van verbazingwekkende ontdekkingen. □

De auteurs

Voor de KSB: Véronique Dehant, Mikael Beuthe, Aurélien Hees, Ozgur Karatekin, Sébastien Le Maistre, Collin Nkono, Lê Binh San Pham, Attilio Rivoldini, Pascal Rosenblatt, Tim Van Hoolst, Marie Yseboodt
Voor het BIRA: Frank Daerden, Cédric Depiesse, Rachel Drummond, Stéphanie Fratta, Didier Fussen, Didier Gillotay, Nina Mateshvili, Didier Moreau, Christian Muller, Lori Neary, Eddy Neefs, Séverine Robert, Tim Somers, Ann Carine Vandaele, Yannick Willame, Valérie Wilquet.

Meer

De Koninklijke Sterrenwacht van België:
http://planets.oma.be
Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie:
http://planetary.aeronomie.be