

Periglaciale verschijnselen op Mars

door dr. Wim de Gans
TNO Bouw en Ondergrond



Op Mars bevindt zich ijs en het is er koud. Er zijn dagelijkse en jaarlijkse variaties in de temperatuur. Ook komen er sedimenten voor. Zo rijst vanzelf de vraag of er op Mars dan ook 'eeuwig bevroren' bodems, of permafrost, aanwezig kunnen zijn. Daarna ga je je afvragen of er op foto's ook verschijnselen te zien zijn die verklaard kunnen worden door permafrost. Op deze vraag wordt in deze bijdrage nader ingegaan.

Permafrost op Aarde

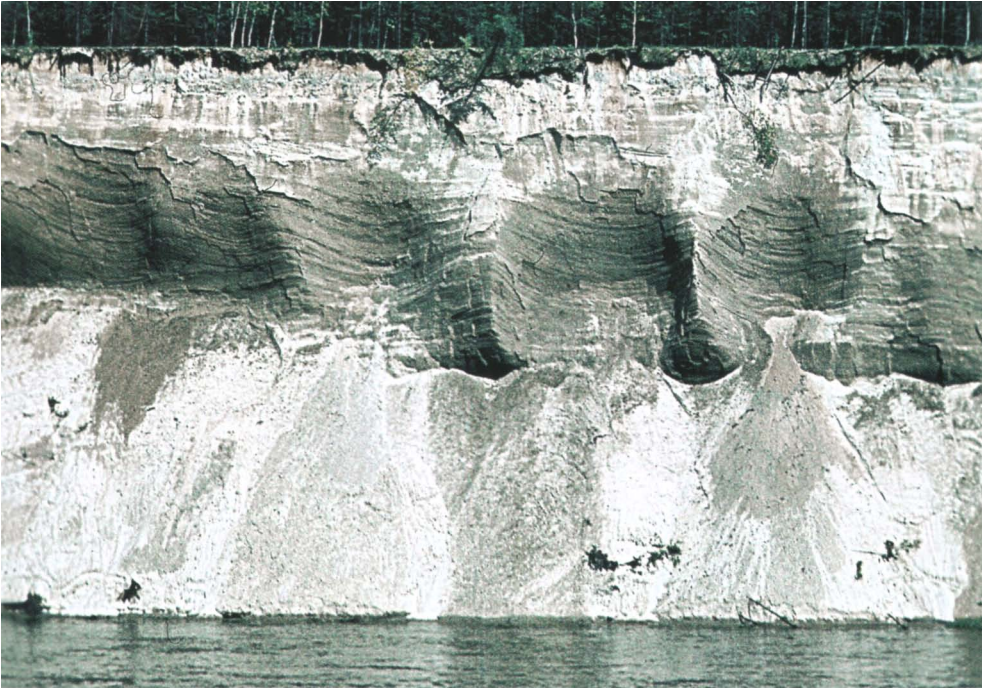
Geologische en geomorfologische verschijnselen die samenhangen met permafrost – ook wel periglaciale verschijnselen genoemd – zijn nog niet zo lang algemeen bekend. Pas na de Tweede Wereldoorlog, een periode die toepasselijk de 'koude oorlog' werd genoemd, kwam er aandacht voor. De aanleg van *early warning systems* in Alaska en Noord-Canada, in verband met de winning van aardolie in deze gebieden, maar ook de zogenaamde 'meerjarenplannen' in de toendra's en taiga's van Siberië zorgden voor een grote hoeveelheid kennis over deze tot dan toe onbekende verschijnselen.

In grote gebieden van Noord-Canada, Alaska en Siberië ligt de gemiddelde jaartemperatuur beneden de 0°C. Hierdoor is

Afb. 1. Permafrost met bodemijs langs de rivier de Aldan in Siberië. Boven het ijs bevindt zich de opdooilaag. Het bij de dooi vrijgekomen materiaal glijdt als een chaotische massa naar beneden door een combinatie van solifluctie en gelifluctie (opname W. de Gans).



Afb. 2. Gelifluctie met sorteringsverschijnselen evenwijdig aan de bewegingsrichting van de opdooilaag (Banks Island in Noord-Canada). Het patroon dat als gevolg van gelifluctie aan de aardoppervlakte optreedt, kan tal van verschillende verschijningsvormen aannemen (opname W. de Gans).



Afb. 3. Thermische erosie langs de rivier de Aldan in Siberië. De wand, die enkele tientallen meters hoog is, bestaat uit bevroren, ongeconsolideerd, materiaal en treedt door de dooi parallel terug. Aan de voet van de verticale helling ligt een laag door dooi vrijgekomen sediment (opname W. de Gans).

bodem (talik). In die laatste gevallen neemt, door de overmaat aan bodemijs, het volume van de bodem toe en kan het oppervlak omhoog komen. Als het bodemijs smelt, dan zakt het oppervlak als het ware weer in.

Gelifluctie

Hoe ver de bevroren bodem in permafrostgebieden 's zomers ontdooien zal – de *opdooilaag* – is afhankelijk van de hoeveelheid zonne-energie, de bodemsamenstelling, de hoeveelheid water en de vegetatie. Op een helling kan

de bodem enkele meters tot wel vele honderden meters diep bevroren (afb. 1). De streken waar de bodem het hele jaar door bevroren is, worden 'permafrostgebieden' genoemd. In deze gebieden is de diepere bodem dus continu bevroren, maar de bovenste laag van de grond dooit 's zomers op. Door het steeds weer opvriezen en ontdooien van de bovenste laag, spelen er specifieke processen en ontstaan er karakteristieke vormen (Clark, 1988; French, 1976). Ook uit het geologisch verleden zijn permafrostfenomenen bekend. In Nederland komen 'fossiele' permafrostverschijnselen, relictten uit de laatste IJstijd, veelvuldig in de ondergrond en aan de oppervlakte voor.

Bodemijs

Als er in een permafrostgebied water in de bodem voorkomt, dan zit dat – natuurlijk in bevroren toestand – in ongeconsolideerde sedimenten zoals zand, grind en klei. Meestal zit het water in de poriën van het sediment, maar er kan ook zoveel water in het sediment zitten, dat de bodem als het ware oververzadigd is met ijs. Er is dan meer ijs dan sediment. Ook kan er ijs in de bodem zitten in de vorm van platen of lenzen die ontstaan zijn door het transport van waterdamp via de aanwezige lucht, of door kwel van water uit de ondergrond; water dat afkomstig is uit niet-bevroren delen van de

de opdooilaag, afhankelijk van de hoeveelheid water die hij bevat, sneller of minder snel langs de helling naar beneden bewegen. Wanneer deze beweging het gevolg is van permafrost, dan spreekt men van *gelifluctie*. Meer algemeen wordt beweging van bodems *solifluctie* genoemd.

Ook door afwisselend vriezen en dooien kunnen er aan het aardoppervlak langzame processen hellingafwaarts plaatsvinden. Bij opvriezen wordt de opdooilaag loodrecht op de helling omhooggedrukt – ijs neemt meer volume in dan water. Bij het opdoeien – en dus het smelten van het ijs – zakt de laag weer naar beneden. Door het bijna 'oneindig' vaak herhalen van deze processen en de bijbehorende verticale en horizontale bewegingen kan er tenslotte zelfs sortering van het bewegende materiaal plaatsvinden (afb. 2).

Thermokarst

Door lokaal smelten van het in de bodem aanwezige ijs, kunnen specifieke landvormen ontstaan die men *thermokarst*verschijnselen noemt: dit zijn ronde of ovale meren, en lager gelegen gebieden met convexe randen en soms steile hellingen. Langs grote rivieren kan er in het zomerseizoen dooi van de bevroren oevers optreden, waardoor er steile hellingen ontstaan in de oeverwallen die parallel aan de rivier terugwijken (afb. 3).



Afb. 4a en b. Thermokarstmeren in Siberië. De meren zijn ontstaan door dooi van het bodemijs in de permafrost waarbij naast meervorming ook maaiveldverlaging optreedt. (opname W. de Gans).

Ook langs kleinere rivieren in permafrostgebieden kan plaatselijk, bijvoorbeeld in de buitenbochten van meanderende rivieren, versnelde dooi van de oevers optreden, waardoor er meren worden gevormd. Als er eenmaal een begin is, zal de thermische erosie steeds meer toenemen, zodat de meren snel groter worden en er brede dalvlakten ontstaan. Hierdoor ontstaan dalvlakten die afwisselend nauw en breed zijn. Dit worden ook wel 'paternoster'-meren genoemd: ronde tot ovale meren die, als kralen aan een snoer, achter elkaar liggen. Als het bodemijs helemaal verdwenen is, zal het nieuwe maaiveld lager liggen dan het oorspronkelijke aardoppervlak (afb. 4).

Polygonen

Als gevolg van steeds vriezen en dooien – en dus afwisselend ijs en water in de ondergrond – kunnen er door volumevermindering *vorstscheuren* ontstaan in de bodem (afb. 5). Dit is mogelijk in zowel 'natte' als 'droge' permafrostgebieden. In droge gebieden kunnen de vorstspleten worden opgevuld met zand. In 'natte' gebieden kunnen deze scheuren weer worden opgevuld met water afkomstig uit de opdooilaaag, dat lager in de permafrostzone weer bevroert. Zo ontstaan met ijs gevulde scheuren of spleten in de bodem die tot vele meters diep kunnen gaan. Van boven gezien vormen deze wiggen veelhoekige vormen, de zogenaamde *polygonen*.

Doordat dit proces zich steeds herhaalt, ontstaan steeds bredere vorstwiggen die de aarde aan weerszijden van de ijswig omhoogdrukken waardoor de polygonen in het midden lager komen te liggen. Die lage delen veranderen vaak in meren die door thermische erosie snel groter kunnen worden en typische ronde tot ovale depressies gaan vormen. De grootte van de polygonen is afhankelijk van variaties in temperatuur, de bodemsamenstelling en het vochtgehalte van de bodem. Er zijn polygoonlichamen waargenomen die een diameter hebben van meer dan 100 meter. De lage delen in het centrum van de spleten rond de polygoonlichamen kunnen in een later stadium dienst gaan doen als afwateringskanalen waardoor het hele systeem kan desintegreren.

Permafrost op Mars

Op Mars is de situatie anders dan op aarde. Dat komt omdat daar door de druk-temperatuurcondities, alleen waterijs (los CO₂- of 'droog ijs' daargelaten) en waterdamp voorkomen. De vloeibare fase – water – kan onder de huidige condities niet op Mars voorkomen. Door de temperatuurschommelingen per dag en per seizoen, zal er waarschijnlijk wel sublimatie optreden (als ijs direct overgaat in waterdamp) of rijping (als waterdamp direct overgaat in ijs). Op de polen van Mars komen dikke lagen ijs voor. Maar dit bestaat waarschijnlijk vooral uit 'droog ijs' of CO₂-ijs. Daarnaast is op Mars de zwaartekracht een stuk geringer, zodat processen van massabewegingen waarschijnlijk minder snel zullen verlopen.

Het gesteente dat op Mars voorkomt bestaat vooral uit basalten en verweerde basalten (Greeley, 1996), maar er is ook veel fijnkorrelig materiaal aanwezig en er komen waarschijnlijk ook kleimineralen voor (Gorlitz, 1979). Ori (2006) spreekt over sedimentpakketten die meer dan 200 meter dik zijn.

Het kan op Mars goed waaien. Er zijn veel beschrijvingen van duinen en duinvormen. Het lijken soms wel dekzanden. Er zijn zelfs foto's van Martiaanse windkanTERS gepubliceerd (Kargel, 2004).

Algemeen neemt men aan dat er op Mars permafrost voorkomt en dat het – vroeger wel aanwezige water – hierin is opgenomen. Turner (2003) vermeldt dat deze permafrost, die vlak onder de oppervlakte moet voorkomen, tussen de twee en veertien procent ijs zou bevatten. Kallenbach (2001) beschrijft hoe men, op grond van de morfologie van inslagkraters, meent dat er ijshoudende lagen voorkomen tot op



Afb. 5. Polygonen in de Mackenzie-delta in Noord-Canada. Door druk van de aangroeiende ijswiggen is het sediment aan weerszijden van de ijswig omhooggedrukt. In de laagtes midden in de polygoonlichamen zijn meertjes ontstaan die door thermische erosie (thermokarst) steeds groter worden (opname W. de Gans).

dieptes van vele honderden meters. Kargel (2004) suggereert dat de bovenste tien kilometer van de korst op Mars voor tien procent uit ijs bestaat.

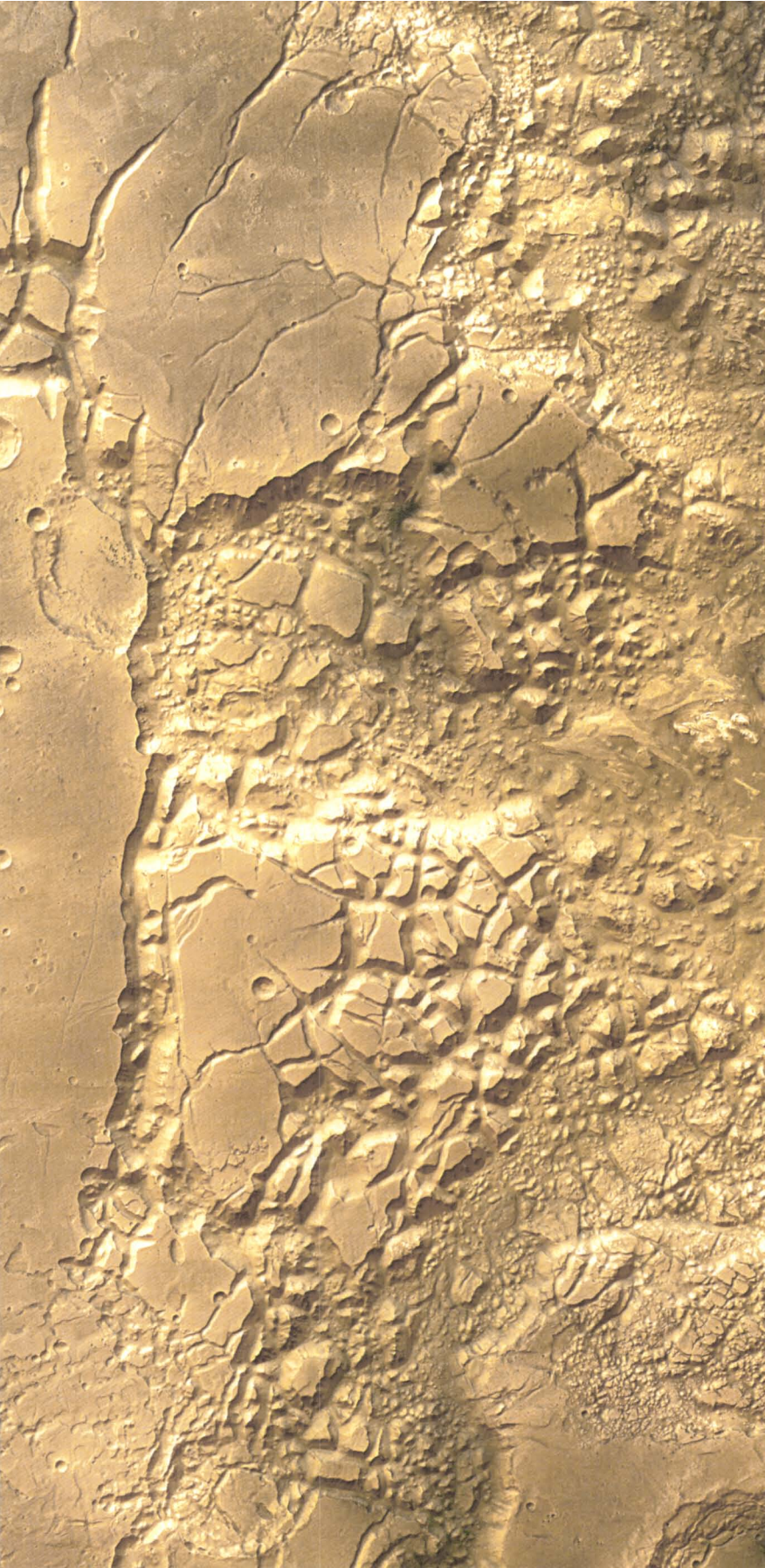
Permafrostverschijnselen op Mars

Verschillende auteurs hebben geschreven over periglaciaire of permafrostverschijnselen op Mars, vooral over polygonen. Een van de ideeën is dat de erosiegeulen die in sommige steile hellingen ingesneden zijn, het resultaat zijn van bronnen op deze hellingen. Deze bronnen zouden zijn ontstaan door het smelten van ijs in de permafrost onder invloed van geothermische warmte uit de ondergrond van Mars (Kallenbach, 2001). Dat zou in een ver verleden gebeurd moeten zijn.

De volgende foto's laten een aantal permafrostverschijnselen zien. Maar wel met alle restricties en met grote voorzichtigheid, want processen verlopen daar anders, de tijdschalen zijn nog niet goed bekend en, zoals gesteld door Gorlitz (1979), de processen vinden plaats 'on a scale unknown to us'.

Polygonen

Polygonen of *patterned ground* zijn meermalen beschreven op Mars (Gorlitz, 1979; Kargel, 2004). Vooral de laatste



Afb. 6. Aureum Chaos. De polygonen hier vertonen overeenkomsten met polygonen in permafrostgebieden op aarde. De schaal van de foto is onbekend. (Foto: ESA)

verschijnsel, moet een verband met permafrost – het ontstaan van krimpscheuren door sterke temperatuurveranderingen – niet worden uitgesloten.

Solifluctie

Op afb. 7, het gebied Tithonium Chasma, is op de voorgrond een gebied te zien waar de vorm van de lobben aan hellingprocessen doet denken, die mogelijk verband houden met permafrost en het veelvuldig voorkomen van temperatuurschommelingen (*gelifluctie*). Het opvallende aan deze foto is verder dat zich in dit gebied drie oppervlakten op drie verschillende niveaus bevinden. Het hoogste, en oudste niveau, is vlak. De hellingen tussen dit hoogste en het middelste vlak lijken niet zo steil. De helling bestaat mogelijk uit los materiaal dat zich uitbreidt over het middelste vlak. Het middelste vlak vertoont een zwak golvend reliëf. Onduidelijk is of dit het gevolg is van sedimentatie of van erosie. De helling tussen het middelste en het laagste vlak is veel steiler dan die tussen het middelste en het hoogste vlak. Op het laagste vlak komen vormen voor die op solifluctie of gelifluctie lijken. Dit zijn de jongste vormen in dit gebied. Of deze jongste vormen recent zijn, of ook al in een ver verleden zijn ontstaan, blijft vooralsnog onduidelijk.

Verticale hellingen en thermokarst

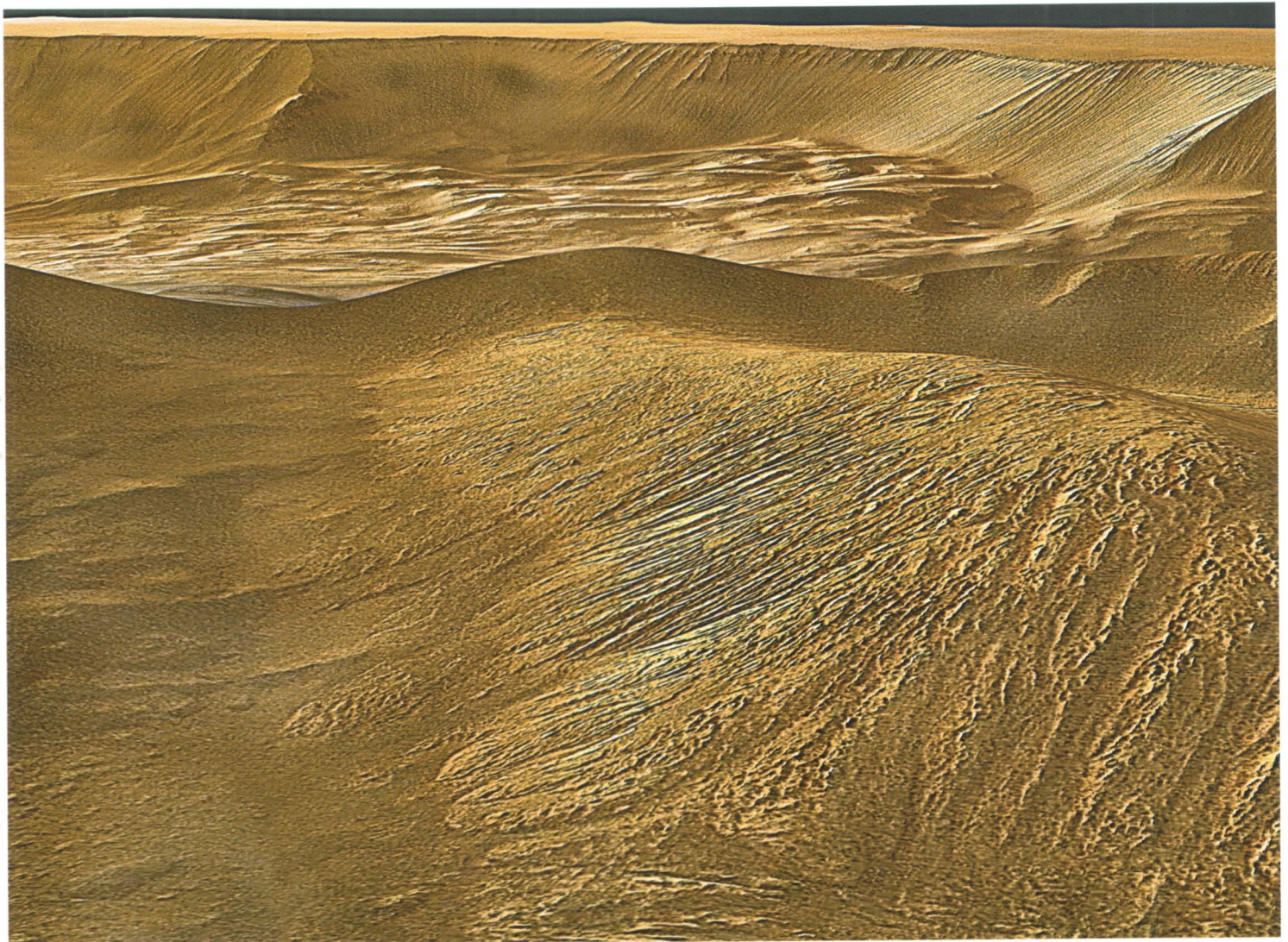
Op de Noordpool van Mars komen vlakke gebieden voor die beduidend lager liggen dan hun omgeving (afb. 8). De grens tussen 'hoog' en 'laag' wordt gevormd door steile, verticale, hellingen aan de voet waarvan puinwaaiers voorkomen. De hellingen hebben een concaaf verloop: het is net alsof er enorme happen uit genomen zijn. In detail (afb. 9) lijken de steile, bijna verticale, wanden op hun beurt weer een golvend oppervlak te hebben. Hoe hoog de helling is, blijft vooralsnog onduidelijk, maar het moeten honderden meters of zelfs kilometers zijn.

De puinwaaiers aan de voet van de hellingen zijn relatief klein. Ze gaan vrij snel over in een vrij vlak gebied dat op zijn beurt weer met een veel kleinere reliëfsprong (mogelijk enkele tientallen meters?) overgaat in een gebied met een onregelmatig reliëf. Mogelijk zijn dit duinen. Als we ervan uitgaan dat dit sediment is – en geen vast gesteente – dan is er een opvallende gelijkenis met de dalwanden langs de Aldan rivier in Siberië (afb. 3). Ook opvallend is het vlakke karakter van de bodem van het lager gelegen gebied. Er is geen spoor van versnijding door een rivier. Indien het geen structurele vlakke is, dan komt de vergelijking met een meer boven

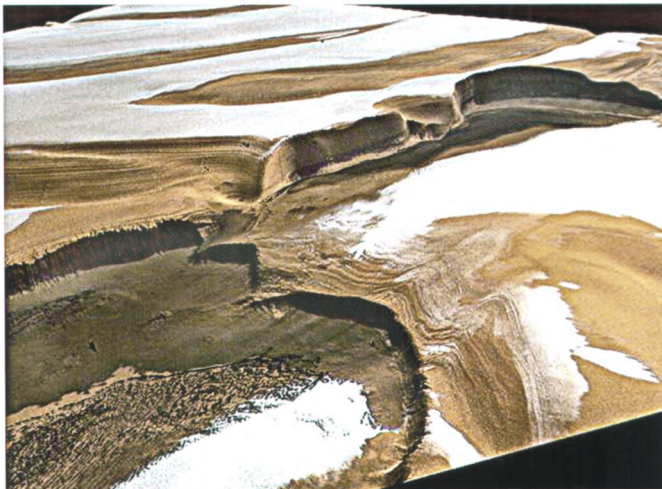
en zouden we te maken kunnen hebben met een voormalige meerbodem.

Ook de sterk wisselende breedten van de laaggelegen, en vlakke, gebieden, zoals waargenomen wordt bij de Ascræus Mons (afb. 10), tezamen met de steile hellingen eromheen, vertonen overeenkomsten met thermokarstverschijnselen zoals we die op Aarde kennen. Het zou om het parallel terugschrijden van hellingen kunnen gaan als gevolg van sublimatie, gevolgd door volumeverlies van het 'ontdooide

auteur laat prachtige voorbeelden zien. Ze zouden vooral voorkomen in de gebieden rond de polen. Afb. 6 laat structuren zien uit het gebied Aureum Chaos die lijken op polygonen. Op deze foto betreft het vooral vierhoekige structuren. Het is helaas niet duidelijk hoe groot deze vormen zijn. Opvallend is dat de veelhoekige vormen naar links toe lijken te desintegreren. Desintegratie als gevolg van *collapse of permafrost* wordt vermeld door Gorlitz (1979). Hoewel er meerdere verklaringen mogelijk lijken voor dit



Afb. 7. Tithonium Chasma. Hier zijn verschillende vlakken van verschillende ouderdommen te zien. Op de voorgrond zijn sedimentatielobben die aan massabewegingen doen denken, mogelijk solifluctie of gelifluctie. (Foto: ESA)



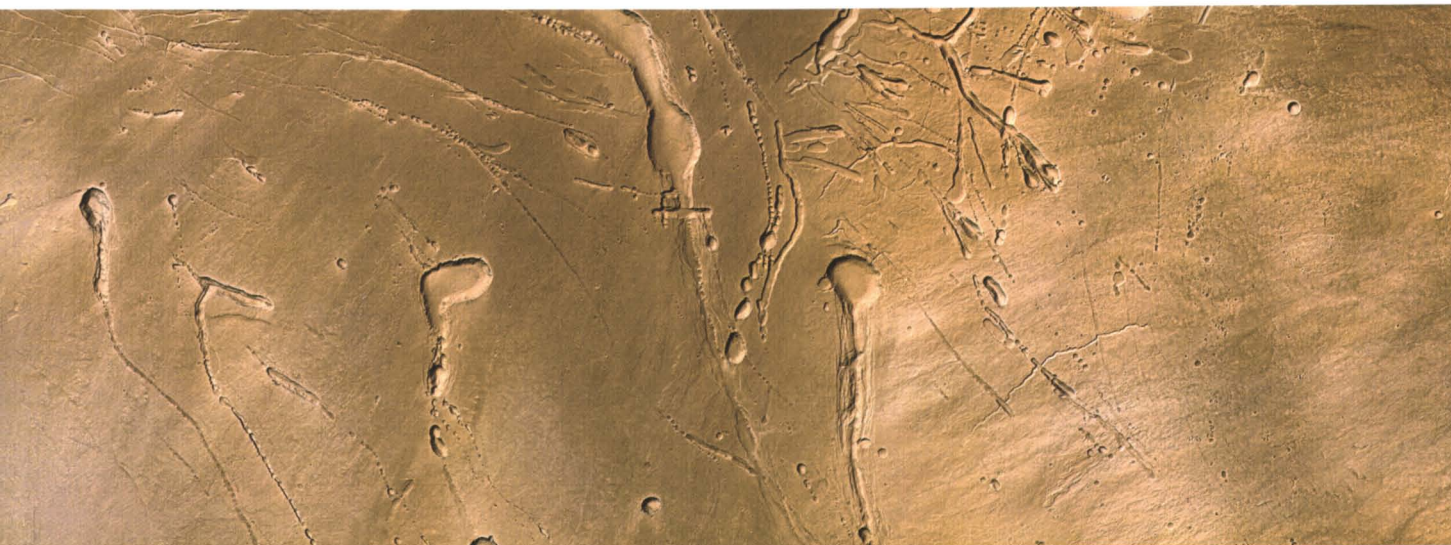
Afb. 8. Steile concave wanden rond vlakke gebieden. Dit zijn mogelijke thermokarstverschijnselen op de Noordpool van Mars. (Foto: ESA)

gebied' door het overgaan van ijs in damp. Het droge sediment kon vervolgens verwaaien (mogelijk in meerdere fasen) op de voormalige meerbodem. Het is ook mogelijk dat het een thermokarst is rondom een meer dat er ooit geweest is. Kargel (2004) beschrijft min of meer vergelijkbare vormen:



Afb. 9. Detail van afb. 8. (Foto: ESA)

door sublimatie terugwijkende wanden in gebieden met pakketten CO₂-ijs. Hij noemt het 'swiss cheese terrain'. Dit betreft wel vormen op een veel kleinere schaal. Dat de wanden terugschrijden, is hier bewezen door foto's uit verschillende perioden met elkaar te vergelijken.



Afb. 10. Ascreus Mons. De sterk wisselende diameter van de laagtes in deze dalen op Mars doen sterk denken aan thermokarstverschijnselen. (Foto: ESA)

Tenslotte zien we het verschijnsel mogelijk opnieuw beschreven bij de Dao en Niger Valles (afb. 11). Deze lage gebieden liggen in een grote breukzone. De vorm van de verschillende laagtes, die al of niet met elkaar in verbinding staan, en het op desintegratie lijkende oppervlak, kunnen ook wijzen in de richting van een permafrost.

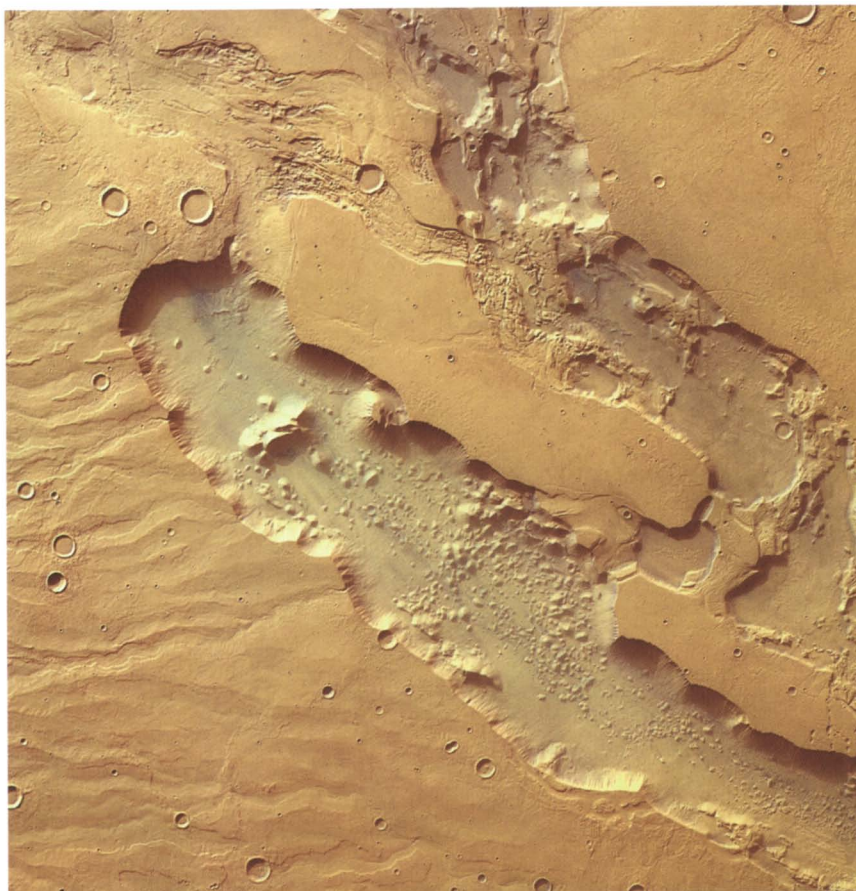
Conclusies

Algemeen nemen wetenschappers aan dat er permafrost in de bodem van Mars aanwezig is en dat er periglaciaire verschijnselen aan het Mars-oppervlak voorkomen. Door het ontbreken van (vloeibaar) water op Mars kunnen deze vormen (behalve de polygonen) fossiel zijn, maar ook gevormd zijn door het proces van sublimatie/rijping. Hoe sublimatie en rijping nu precies invloed hebben op het ontstaan van landschapsvormen, en of deze vormen recent of fossiel zijn, is nog niet duidelijk. Door foto's van permafrostverschijnselen op Mars te vergelijken met die op Aarde, lijkt het erop dat er overeenkomsten zijn. Onduidelijkheid is er nog over de juiste schaal van het reliëf, en er zijn lacunes betreffende de kennis over de opbouw van de bodem. Dat maakt het niet makkelijk om een juiste interpretatie te geven.

Geraadpleegde literatuur

Clark, M.J., ed., 1988. Advances in periglacial geomorphology. John Wiley, 481 pp.
 French, H.M., 1976. The periglacial environment. Longman, 309 pp.
 Gornitz, V., 1979. Geology of the Planet Mars. Dowden, Hutchinson & Ross, 414 pp.
 Greeley, R. en Batson, R., 1996. The Nasa

Atlas of the Solar System. Cambridge University Press, 369 pp.
 Kallenbach, R., Geiss, J. en Hartmann, W.K., eds., 2001. Chronology and Evolution of Mars. Kluwer Academic Publishers, 498 pp.
 Kargel, J.S., 2004. Mars. A Warmer Wetter Planet. Springer, 557 pp.
 Moore, H.J., Hutton, R.E., Clow, G.D. en Spitzer, C.R., 1987. Physical Properties of the Surface Materials at the Viking Landing Sites on Mars. United States Geological Survey, Professional Paper 1389, 222 pp.
 Ori, G.G., 2006. Martian sedimentary environments and earth analogues. Abstract Umbgrove Lecture. 13 februari 2006, Universiteit Utrecht.



Afb. 11. Verschillende laagtes met wisselende breedten en steile concave hellingen rond de Dao en Niger Valles. Zijn dit permafrostverschijnselen? (Foto: ESA)