

Die Suche nach der Rolle des Wassers

Die Debatte um den Ozean

Mitte der 80er Jahre spekulierte der Planetologe Heinz-Peter Jöns, ob in den nördlichen Tiefländern des Mars einst ein Schlammozean existiert haben könnte. In den nächsten Jahren versuchten einige seiner Kollegen, dieser Idee Nachdruck zu verleihen: So suchte der NASA-Wissenschaftler Tim Parker nach mehr oder weniger eindeutigen Küstenlinien des vermuteten Ozeans. Er fand zwei mehr oder weniger geschlossene Linien, die seiner Ansicht nach einen größeren und einen kleineren Ozean markierten. Dies stellte sich jedoch dank MOLA und seiner extrem genauen Höhenmessungen als nicht haltbar heraus, da die Höhenlage der äußeren „Küstenlinie“ teilweise um mehrere Kilometer schwankt. Eine Küstenlinie muss aber immer die selbe Höhe haben, da der Meeresspiegel eine Äquipotentialfläche bildet, d.h. er muss an jeder Stelle gleich hoch sein. Es ist ebenso nur schwer vorstellbar, dass vulkanische und tektonische Prozesse diese Höhendifferenzen in einer ursprünglich ebenen Küste verursacht haben sollen. Die innere Küstenlinie jedoch folgt eher einem einheitlichen Höhenniveau. Und die Schwankungen treten besonders in Gebieten mit ehemals starker vulkanischer Aktivität auf. Es ist also durchaus möglich, dass Tim Parker hier einen ehemaligen Strand gefunden hat. Die Forscher fanden ebenfalls heraus, dass der Boden innerhalb der Küste wesentlich glatter ist als außerhalb. Dies könnte von Sedimentablagerungen im einstigen Ozean herrühren. MOLA-Direktor Mike Malin und seine Kollegen nahmen nun mit der hochauflösenden Kamera von MGS diese gefundenen Linien noch einmal unter die Lupe. Doch wo Parker einen Strand gesehen hatte, fanden sie nichts. Bis jetzt konnten sie diese Analyse aber erst bei einigen wenigen Stellen der vermuteten Küstenlinie durchführen. 1996 sah Carlton Moore, Leiter des Meteoriten-Zentrums der Arizona State University, 15 Jahre alte Messungen, die an basaltischen Meteoriten von der Erde dem Mond und von Asteroiden stammten. Was

Ehemalige Ausflusstäler

Eine weitere reichlich debattierte Frage ist die, wie die riesigen Täler und Canyons des Mars entstanden sind. Entdeckt vor 30 Jahren durch Mariner 9 ist ihre Herkunft bis heute umstritten. Allgemein favorisiert wird die These, dass die Täler (Valles Marineris, Dao Vallis, Nirgal & Harmakhis Vallis u.v.m.) uralte Ausflusstäler sind, die durch riesige Sturzfluten entstanden. Es gibt jedoch mit recht einige Zweifler an dieser Theorie. Bärbel Lucchitta vom U.S. Geological Survey stellte bereits vor 20 Jahren die These auf, die Täler seien zumindest teilweise durch Gletscher ausgeschürft worden. Jetzt verglich sie erneut MOC-Bilder mit LANDSAT-Bildern der Antarktis. Anhand bestimmter Details der Fließstrukturen in den Tälern glaubt sie nun nachweisen zu können, dass einige Täler durch Gletscher entstanden sein müssen. Einen weiteren Punkt, der gegen die Ausfluss-These spricht, ist, dass die Höhenlage in manchen Tälern talabwärts zunimmt. Dies konnte erst mit den MOLA-Aufnahmen festgestellt werden. Wasser kann nicht über eine größere Distanz aufwärts fließen, bei Gletschern wurde dies jedoch schon häufig beobachtet.

Unterirdischer Abfluss

Die Aufmerksamkeit anderer Marsforscher richtet sich auf die kleineren, weit verzeigten Täler der Südlichen Hochländer. Sie erinnern stark an irdische Gewässernetze und wurden deshalb in der Vergangenheit häufig als Zeugen eines wärmeren und feuchteren Klimas auf dem Mars gedeutet. Sollten diese Erosionsformen – analog zur Erde – durch oberflächlich abfließendes Wasser geformt worden sein, so wäre dies nur in einem warmen und feuchten Marsklima möglich, da Wasser bei den heutigen atmosphärischen Bedingungen auf dem Mars an der Oberfläche nicht stabil wäre: Aufgrund des in Bodennähe herrschenden Beinahe-Vakuums würde flüssiges Wasser explosionsartig verdampfen. Eine alte These, die nun durch MOC-Aufnahmen neu untermauert wird, besagt, dass einige dieser Täler auch durch unterirdisch abfließendes Wasser gebildet worden sein könnten. Wenn dies zuträfe, entfielen das Hauptargument für einen früheren feuchtwarmen Mars. Mike Malin und Mike Carr vom MOC-Team fanden in jüngster Zeit heraus, dass nahezu sich alle Täler durch einen Prozess gebildet haben könnten, bei dem Grundwasser an steilen Talwänden austritt und so den Boden immer weiter untergräbt (s. „Wasser auf Mars“ Abs. 2). Irgend wann wird der Überhang dann instabil, ein Stück der Wand bricht herab und der Prozess beginnt erneut. So kommt es zu einer rückschreitenden Erosion, die das Ausflussgebiet immer weiter talaufwärts wandern lässt. Charakteristisch für so entstandene Täler sind abrupte Senken am Beginn der Täler, deren konstante Breite und eine geringe Anzahl von Zuflüssen. Und genau so sehen die Täler aus, die Malin und Carr jetzt analysierten.

Ausflussgebiete und Wasserscheiden

Geht man nun einerseits von einem Ozean in den Nördlichen Tiefländern aus, beobachtet dagegen aber zahlreiche kleine Talsysteme, stellt sich die Frage, auf welchem Weg das Wasser in den hypothetischen

Ozean geflossen ist. Insgesamt gesehen muss es dem globalen Süd-Nord-Gefälle gefolgt sein. Die Präzision der MOLA-Höhendaten hat die Bestimmung von Wasserscheiden und Fließrichtungen möglich gemacht: Neben den nördlichen Tiefländern gibt es viele weitere „Entwässerungsbecken“. Bemerkenswert ist noch, dass in Bezug auf das Volumen nicht der nördliche Ozean, sondern das besonders tiefe Hellas-Einschlagbecken den ersten Rang einnehmen würde.

Flüssiges Wasser noch heute an der Oberfläche

Auf jeden Fall sprechen aber alle neueren Beobachtungen gegen große Mengen Wassers an der Marsoberfläche in jüngerer Vergangenheit. Umso überraschender kam deshalb die Meldung der MOC-Crew, Wasser sei noch vor sehr kurzer Zeit, möglicherweise noch heute, auf der Oberfläche des roten Planeten geflossen. Das Team um Mike Malin hatte Erosionsrinnen an steilen Abbrüchen beobachtet, die offensichtlich areologisch sehr jung waren (s. „Wasser auf dem Mars“ Abschnitt 2). Diese Formationen zeigen alle Merkmale, die man auch auf der Erde bei dieser Erosionsform findet: Eine Quellregion, wo das Wasser aus der Steilwand austritt, Haupt- und Nebenanäle als Transportwege, sowie ein Schuttfächer, in dem das transportierte Material abgelagert wird. Man nimmt an, dass eine Kombination aus Grundwasseraustritt, oberflächlichem Abfluss und Geröll- oder Schlammlawinen zu diesen Formationen geführt hat. Das Fehlen von Einschlagskratern in all diesen Erosionsrinnen deutet auf ein areologisch sehr junges Alter hin.. Mike Malin und Ken Edgett gehen davon aus, dass sie innerhalb der letzten einer Million Jahre entstanden sein müssen. Obwohl das Team Überlegungen anstellte, wie diese Formationen ohne Wasser entstanden sein könnten und obwohl an nahezu jeder Steilwand auf anderen MOC-Bildern Anzeichen für Hangrutschungen ohne Wasserbeteiligung zu sehen sind, stellen doch diese besonderen Erosionsrinnen eine Ausnahme dar, die morphologisch am besten durch Wasserfluss erklärt werden kann.

Die Mehrzahl der Rinnen-Formationen befindet sich in hohen südlichen Breiten (polwärts von 30° südl. Breite). Sie konzentrieren sich auf den der Sonne abgewandten Seiten der Hänge. Dies legt eine Beeinflussung der Rinnenbildung durch oberflächlich herrschende Umweltbedingungen nahe. Es herrscht des Weiteren kein räumlicher Zusammenhang zwischen den Rinnen und den bekannten vulkanischen und (areo)thermalen Zonen, so dass es unwahrscheinlich ist, dass derartige Prozesse an der Bildung der Rinnen ursächlich beteiligt sind. Auf der Basis all dieser Beobachtungen entwickelten die MOC-Forscher ein Szenario, dass die Bildung dieser Rinnen (vorläufig) erklären kann (s. „Ein Erklärungsmodell“).

Sedimentablagerungen

Im Dezember letzten Jahres folgte eine weitere bedeutende Entdeckung des MOC-Teams. Die Forscher hatte in einige Regionen des Mars geschichtete Oberflächenformationen gefunden. Derartiges hatten zwar bereits VIKING und MARINER 9 entdeckt, aber nicht in einer solchen Menge und Detailfülle, wie es diesmal der Fall war. Hauptsächlich im Innern alter Krater beobachteten Malin und Edgett solche den irdischen Sedimentablagerungen verblüffend ähnlich sehenden Formationen (s. „Wasser auf dem Mars“ Abschnitt 3). Die deutlichen Wechsel zwischen den einzelnen Schichten weisen auf episodische Veränderungen in der Marsvergangenheit hin. Malin und Edgett nehmen an, dass die Formationen entweder durch atmosphärische Ablagerungen oder durch Ablagerungen in Gewässern entstanden. Ihre Verteilung über den Mars ist nicht gleichmäßig, sie konzentrieren sich auf einige äquatornahe Gebiete, meist Einschlagkrater oder die Valles Marineris. Die Beobachtungen lassen darauf schließen, dass die einzelnen Schichten sehr feinkörnig und durchaus verhärtet, also „fest verbacken“, sind. Für diese Vermutung spricht vor allem das Vorhandensein von Klippen und steilen Abbrüchen, die man nicht in locker geschichtetem Material finden würde. Mike Malin: „Nie zuvor hatten wir derart überzeugende Beweise, dass Sedimentgesteine auf dem Mars weit verbreitet sind.“

Die größte Bedeutung hat diese Entdeckung jedoch für die Interpretation der Entwicklungsgeschichte des Mars: Ablagerung und Diagenese (Umwandlung des abgelagerten Materials in festes Gestein) scheinen sehr früh erfolgt zu sein. Dies lässt sich aus der Lage der Schichtablagerungen in den Wänden der Valles Marineris schließen: Sie liegen unter vulkanischen Gesteinen, die relativ auf etwa 3,5 Mrd. Jahre datiert wurden. Bei Altersangaben von Gesteinen, die nur auf Orbitalaufnahmen beruhen und von denen keine Proben vorliegen, muss man allerdings überaus vorsichtig sein. Da eines der Grundprinzipien der Geologie besagt, dass tiefer liegende Schichten als höher liegende, vermuten Malin und Edgett, dass die neuentdeckten Schichten in den ersten paar hundert Millionen Jahren der Marsgeschichte entstanden sind. Wie bereits erwähnt entstehen solche Schichtfolgen durch Ablagerung von Partikeln aus der Atmosphäre oder in Gewässern. In der Atmosphäre kann Material nach einer sehr heftigen vulkanischen Eruption, als Auswurfmaterial nach einem Meteoriteneinschlag oder durch Wind transportiert werden. Es ist allerdings fraglich, ob einer dieser Prozesse in der Lage war, Schichtablagerungen von solchen Volumina zu erzeugen. Weiterhin sprechen die große laterale Ausdehnung und die teilweise sehr regelmäßigen Schichtfolgen gegen diese Hypothese. Beim MOC-Team bevorzugt man daher die zweite Erklärung. Dabei gibt es wiederum drei Möglichkeiten der Ablagerung die berücksichtigt werden müssen: Material kann in fließendem Wasser (Flüsse), in stehendem Wasser (Seen oder Meere) oder in einem Übergangsbereich (Deltas)

abgelagert werden. Für eine Entstehung der Schichten in Flüssen oder Deltas fehlen jedoch die Anhaltspunkte in den MOC-Bildern. Daher favorisieren die Forscher eine Ablagerung in stehenden Gewässern. Für diese Interpretation spricht weiterhin, dass die Schichten hauptsächlich in geschlossenen Depressionen wie Kratern oder Schluchten auftreten. Allerdings sind nirgendwo in deren Nähe Anzeichen für einen Transport von Wasser und Sedimenten in die Depressionen hinein zu finden.

Die Polkappen

Ein wichtiges, noch heute existierende Wasserreservoir des Mars sind seine Polkappen. Aus den mit MOLA gewonnenen Höhendaten lässt sich nun die Menge des in ihnen gespeicherten Wassers ableiten: Die Nordpolkappe beinhaltet etwa 1,2 Mio. km³ Wasser bei einem Durchmesser von etwa 1200 km. Diese Menge entspricht weniger als der Hälfte der grönländischen Eiskappe und etwa 4% der antarktischen Eismengen. Das ist entschieden zu wenig für den von manchen Marsforschern postulierten Marsozean. Gleichzeitig lieferte MGS Bilder, die die Struktur der Südpolkappe in unerreichter Auflösung darstellen. Die Schichtlagen am Südpol gehören zu den verwunderlichsten Landschaften unseres Sonnensystems. Sie konservieren wahrscheinlich in einer Mischung aus Staub und Eis die klimatischen Schwankungen auf dem Mars in den letzten Jahrmillionen und sind daher von großer Bedeutung für die Entschlüsselung der Klimageschichte des Mars.

Warm oder kalt?

Michael Malin und Ken Edgett sehen aufgrund ihrer Beobachtungen ein geändertes Bild des frühen Mars. Bisher ging man davon aus, dass der Mars in seiner Frühzeit in globalem Maßstab dem gleichen Bombardement ausgesetzt gewesen sei wie der Rest des Sonnensystems. Danach seien die mit Kratern übersäten Oberflächen durch Erosion und Sedimentation modifiziert worden. Dieses Bild wird nun in Frage gestellt. Und zwar durch die Datierung der Sedimentablagerungen mit etwa 3,5 Mrd. Jahren. Das entspricht etwa der Zeit des großen Bombardements. Die Anzeichen für eine weitaus spätere Erosion der Krater sprechen auch dafür, dass die alten Hochländer des Mars mit ihrer hohen Kraterdichte nicht nur oberflächlich erodiert wurden, sondern dass enorme Gesteinsmengen bewegt wurden, um die darunter liegenden Schichten freizusetzen. In Malins und Edgetts Bild vom Mars ist das Klima zu dieser Zeit so beschaffen, dass flüssiges Wasser an der Oberfläche existieren kann. Sie stellen sich zahlreiche Seen und Meere vor, in denen die entdeckten Schichtablagerungen unter wechselnden Bedingungen entstehen. Die beiden betonen, dass diese Schichten ein lohnendes Ziel für zukünftige Missionen zum Roten Planeten sind, da man in den Seen, in denen sie entstanden, auch Spuren eventuell vorhandenen Lebens vermuten würde. Durch das vermutete hohe Alter der Schichten entfällt nun die Kontroverse, dass in der jüngeren Marsvergangenheit drastische Klimaschwankungen zwischen feuchtem, warmem und kaltem, trockenem Klima stattgefunden haben müssten.

Nun haben allerdings die Ergebnisse anderer Experimente an Bord von MGS einen weiteren Punkt aufgezeigt, der wiederum gegen das frühere Vorhandensein von reichlich flüssigem Wasser auf der Oberfläche des Mars spricht. Roger Clark und Todd Hoefen vom U.S. Geological Survey erstellten aus den Spektraldaten des Thermal Emission Spectrometer (TES) von MGS eine globale mineralogische Karte des Planeten. Dabei stießen sie auf erstaunlich viel Olivin, ein Mineral das bei Anwesenheit von Wasser chemisch schnell verschwinden würde. Es zeigen sich auch umgekehrt keine Spuren solch einer chemischen Verwitterung, die bei der Anwesenheit von Wasser eigentlich stattgefunden haben müsste. Die Verwitterung unter dem Einfluss von Wasser scheint also keine große Rolle gespielt zu haben. Dagegen sprechen wiederum die Ergebnisse des TES-Teams um Phil Christensen. Sie haben Hinweise auf eine grobkörnige Variante des Eisenminerals Hämatit in einer Region nahe des Äquators gefunden. Grobkörniges Hämatit entsteht auf der Erde jedoch in Verbindung mit geothermalen Aktivitäten, bei denen heißes Wasser in eisenhaltigen Gesteinen zirkuliert, das Eisen herauslöst und es bei seiner Abkühlung in Rissen und Spalten ablagert. Bisher wurde dieses Material nur an einer einzigen Stelle des Mars gefunden. Und weiterhin ist der oben beschriebene Entstehungsprozess für das Hämatit noch lange nicht gesichert, denn das TES-Team fand keine der anderen Mineralien, die bei diesem Prozess noch anfallen.

Die Frage nach einer feuchten Vergangenheit des Mars bleibt also weiter ungeklärt. PATHFINDER und GLOBAL SURVEYOR haben mit ihren Entdeckungen zwar viele Fragen beantwortet, aber auch mindestens genauso viele neu aufgeworfen. Nach den letzten beiden gescheiterten NASA-Missionen POLAR LANDER und CLIMATE ORBITER liegt das Augenmerk der Marsforscher nun auf MARS ODYSSEY, der den Mars am 24. Oktober erreichen soll und mit seinen Instrumenten nach Wasser suchen sowie eine Karte der Elementverteilung auf dem Mars erstellen soll.