

Neue Einblicke in die Mars-Geschichte

Bisher war weitgehend unklar, wie die so genannte Krustendichotomie – die Teilung der Marsoberfläche in zwei äusserst unterschiedliche Landschaften auf den beiden Mars-Hemisphären – entstehen konnte. Geophysiker der ETH Zürich haben bestehende Modelle kombiniert und sind so auf interessante Resultate gestossen.

Nouvel aperçu de l'histoire de Mars

On ne savait pas très bien jusqu'ici d'où provient la dichotomie de la croûte de Mars – le partage de la surface martienne en deux paysages extrêmement différents d'un hémisphère à l'autre. Des géophysiciens de l'EPF Zurich ont obtenu des résultats intéressants en combinant des modèles existants.

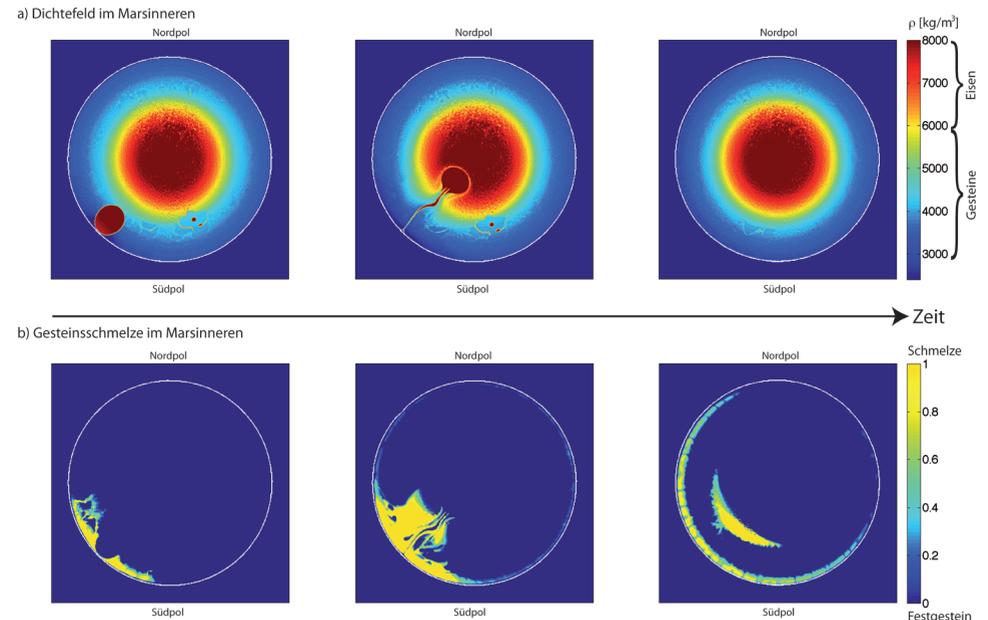
GREGOR GOLABEK, TOBIAS KELLER

Aufnahmen der Marssonde «Mariner 9» enthüllten in den frühen siebziger Jahren die Existenz der so genannten Krustendichotomie: Auf der Südhalbkugel des Mars und einigen Teilen der nördlichen Hemisphäre befinden sich uralte, mondähnliche Hochländer mit zahlreichen Meteoritenkratern. Auf der sedimentbedeckten Oberfläche der nördlichen Tiefebene finden sich viel weniger Krater, die Landschaft wirkt jünger. Die Krustendichotomie widerspiegelt damit einen Gegensatz in Topographie und Krustendicke zwischen der Nord- und Südhalbkugel. Auf der Erde oder anderen erdähnlichen Planeten gibt es nichts, das diesem Phänomen entspricht oder ähnlich sieht. Durch dieselben Aufnahmen wurde damals ausserdem die vulkanische Provinz Tharsis entdeckt, welche die grössten und höchsten Vulkane des Sonnensystems beherbergt.

Durch Kraterzählungen auf der Marsoberfläche fand man heraus, dass die

Des clichés pris par la sonde martienne Mariner 9 au début des années 1970 ont révélé l'existence d'une dissymétrie – dite « dichotomie » – de la croûte de Mars: l'hémisphère sud et quelques parties de l'hémisphère nord sont formés de hauts plateaux très vieux et cratérisés d'aspect lunaire, alors que les basses plaines septentrionales, d'allure plus jeune, sont recouvertes de sédiments et comportent beaucoup moins de cratères. La dichotomie de Mars souligne donc une variation de la topographie et de l'épaisseur de la croûte entre les deux hémisphères. Rien sur la Terre ni sur des planètes similaires ne ressemble de près ou de loin à ce phénomène. Les mêmes photos avaient aussi dévoilé à l'époque la province volcanique de Tharsis, qui héberge les volcans les plus grands et les plus hauts du système solaire.

Les chercheurs ont découvert, en comptant les cratères criblant la surface de Mars, que cette dichotomie de la croûte



Querschnitt durch das Marsinnere kurz nach dem grossen Einschlag: (a) Der Eisenkern des Einschlagskörpers sinkt durch den Mantel zum Kern. (b) Auf der Südhalbkugel heizt sich der Mantel auf (gelb) und schmilzt. Während des Ausfrierns ist auf der Südhalbkugel eine dickere Kruste entstanden. Coupe de Mars peu après le grand impact: (a) Le noyau de fer du corps céleste qui a percuté la planète s'est enfoncé dans le manteau jusqu'au noyau. (b) Le manteau s'est échauffé et a fondu dans l'hémisphère sud (en jaune). Puis une croûte épaisse s'est formée lors du refroidissement. (Grafik: Gregor Golabek)

Krustendichotomie bereits spätestens 400 Millionen Jahre nach der Entstehung des Planeten existiert haben muss. Für die Provinz Tharsis liess sich nachweisen, dass sie mindestens 3.8 Milliarden Jahre alt ist. Dazu wurde klar, dass in Tharsis bis vor wenigen Millionen Jahren vulkanische Eruptionen stattgefunden haben.

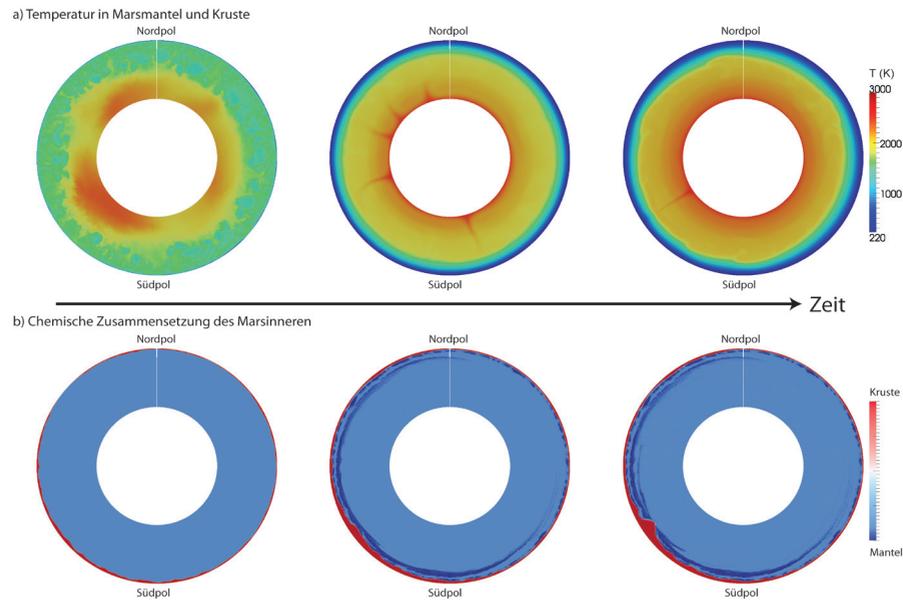
Erste Erklärungsansätze

Ein erstes Erklärungsmodell nahm den Einschlag eines Körpers von mehreren hundert Kilometern Durchmesser auf der Nordhalbkugel an. Dieser könnte einen Grossteil der dortigen Kruste herausgeschlagen haben. Laut diesem Modell stellen die flachen Bereiche der

deutet schon existieren zu müssen. Sie haben gezeigt, dass die Provinz Tharsis mindestens 3,8 Milliarden Jahre alt ist und dass es dort vor wenigen Millionen Jahren vulkanische Eruptionen gegeben hat.

Premières ébauches d'explication

Une première explication avait postulé l'impact d'un corps céleste de plusieurs centaines de kilomètres de diamètre dans l'hémisphère nord, dont il aurait arraché une grande partie de la croûte. D'après ce modèle, les régions plates de l'hémisphère septentrional correspondraient au fond d'un seul grand cratère d'impact. Mais des



Querschnitt durch das Innere des Mars: (a) Temperaturentwicklung im Inneren des Mars nach dem Einschlag bis in die Gegenwart. Aus der ursprünglichen Temperaturanomale in der Südhalbkugel entwickelt sich eine stabile Aufströmung, die langanhaltenden Vulkanismus ermöglicht. (b) Chemische Entwicklung des Mars. Die Kruste (rot) wächst nur auf der Südhalbkugel durch Vulkaneruptionen. Die Krustenmächtigkeiten bleiben damit bis in die Gegenwart auf beiden Hemisphären unterschiedlich. Coupe de Mars: (a) Evolution de la température à l'intérieur de la planète entre l'impact et la période actuelle. L'anomalie thermique initiale de l'hémisphère sud s'est muée en écoulement stable alimentant un volcanisme persistant. (b) Evolution chimique de Mars: la croûte (en rouge) a crû seulement dans l'hémisphère sud, suite aux éruptions volcaniques. Depuis lors, elle a conservé une épaisseur différente dans les deux hémisphères. (Grafik: Gregor Golabek)

Nordhalbkugel die Ebene eines einzigen grossen Einschlagkraters dar. Neuere Beobachtungen haben diese Erklärungen jedoch widerlegt, denn beide Hemisphären weisen in etwa das gleiche Krustenalter auf. Ebenso unklar bleibt in diesem Modell die Entstehung der Tharsisvulkane.

Ein anderer, alternativer Erklärungsansatz geht von heissen, aufwärtsgerichteten Mantelströmungen unter der südlichen Hemisphäre aus. Laut diesem Modell führen die im Mantel ausgelösten

observations récentes ont réfuté cette théorie, car la croûte a presque le même âge dans les deux hémisphères. De plus, ce modèle n'explique par la genèse des volcans de Tharsis.

Une autre explication avait invoqué la présence de mouvements ascendants du manteau sous l'hémisphère sud. D'après ce modèle, des processus de fusion initiés dans le manteau auraient généré une croûte épaisse sur cet hémisphère.

Les mouvements ascendants sous la province de Tharsis ont dû se réunir en un

Schmelzprozesse zu einer dickeren Kruste auf der betroffenen Hemisphäre.

Dieser Theorie zufolge haben sich die Aufströmungen unter Tharsis zu einem einzigen aufwärtsgerichteten Strom gebündelt – der dortige lang anhaltende Vulkanismus kann innerhalb dieses Erklärungsansatzes nur so begründet werden. Das Hauptproblem des Modells bleibt jedoch die Entstehungszeit der Krustendichotomie und der Tharsisvulkane: Berücksichtigt man den geologischen Zeitrahmen, so müsste zu Beginn dieses Modells von heftigen Mantelströmungen ausgegangen werden. Diese würden die Krustendichotomie langfristig betrachtet zerstören, denn durch anhaltenden, verbreiteten Vulkanismus wäre der Mars vollständig mit dicker Kruste bedeckt. Das widerspricht jedoch den Beobachtungen für den heutigen Mars.

Ein kombiniertes Modell

Forscher des Instituts für Geophysik der ETH Zürich kombinierten die beiden bisherigen Erklärungsansätze mittels computergestützter Modelle und erarbeiteten so einen neuen Lösungsansatz. Sie gingen hierbei davon aus, dass bereits gegen Ende der Marsentstehung ein grosser Einschlag stattgefunden haben muss – nicht erst mehrere hundert Millionen Jahre nach der Planetenentstehung. Astronomische Modelle sprechen für diese Annahme: Sie erklären den Abschluss des Marswachstums durch den Einschlag eines erdmondgrossen Körpers.

Theoretisch wird bei so grossen Einschlägen auch Material aus dem Planeten heraus geschlagen, die betroffene Hemisphäre wird während des Einschlags aber auch aufgeschmolzen, wodurch wiederum neue Kruste entstehen kann. Im verwendeten Modell schlägt der riesige Körper deshalb auf der Süd- statt auf der Nordhalbkugel ein.

seul courant si l'on suit cette théorie – c'est la seule manière d'expliquer la persistance du volcanisme local dans cette approche. Mais la durée nécessaire pour générer la dichotomie de la croûte et les volcans de Tharsis pose un problème: si l'on considère l'échelle de temps géologique, il devait déjà y avoir des courants mantelliques intenses au début du modèle. Or ils auraient fini par dissiper la dichotomie de la croûte, car un volcanisme persistant de grande extension aurait entièrement recouvert la croûte martienne d'une croûte épaisse, ce que réfutent les observations de la planète actuelle.

Un modèle combiné

Des chercheurs de l'Institut de géophysique de l'EPF Zurich ont combiné ces deux approches au moyen de modèles informatiques pour proposer une nouvelle solution. Ils admettent que la planète Mars a subi une importante collision peu après sa formation – et non pas plusieurs centaines de millions d'années plus tard. Cette hypothèse est étayée par des modèles astronomiques qui expliquent la dernière phase de la croissance de Mars par l'impact d'un corps céleste aussi volumineux que la Lune.

Théoriquement, lors d'une telle collision, des matériaux sont arrachés à la planète, l'hémisphère touché entre en fusion et une nouvelle croûte se forme. Ainsi dans le modèle proposé le bolide géant a percuté l'hémisphère austral et non septentrional de Mars.

Des roches qui fondent et des anomalies de température

Dans le nouveau modèle, le noyau de fer dense du corps percutant s'enfonce dans le manteau de Mars jusqu'au noyau (figure 2a). Les frottements engendrés pendant la descente dégagent énormément de

Schmelzende Gesteine und Anomalien

Im Modell sinkt der dichte Eisenkern des Einschlagskörpers durch den Mars-Mantel zum Kern (siehe Seite 19). Bei diesem Vorgang wird sehr viel Reibungswärme freigesetzt. Dadurch wird der Mantel der Südhalbkugel sehr heiss und schmilzt teilweise sogar auf. Die gegenüberliegende Nordhalbkugel verändert sich nicht. Im Modell überfluten die geschmolzenen Gesteine etwa die Hälfte der Planetenoberfläche. Anschliessend frieren sie aus. Das Volumen dieser Schmelzen ist so gross, dass auf der Südhalbkugel noch während des Abkühlens eine dickere Kruste als auf der Nordhalbkugel entstehen kann.

Aus der tiefliegenden Temperaturanomalie in der Südhalbkugel entwickelt sich im Weiteren eine langlebige Mantelaufströmung, die zu anhaltendem Vulkanismus führt, wie er für Tharsis charakteristisch ist (siehe Seite 20). Laut diesem Modell bleibt die Krustendichotomie bis in die Gegenwart erhalten, denn auf dem Mars finden keine plattentektonischen Prozesse statt, die zur Zerstörung von Krustenmaterial führen würden.

Geheimnisse ans Tageslicht geholt

Die Erdoberfläche wird im Gegensatz zum Mars ständig durch plattentektonische Prozesse verändert. Die früheste geologische Geschichte unseres Planeten ist deshalb nicht zugänglich. Die Freude über die Erkenntnisse auf dem Mars ist deshalb umso grösser: Die Krustendichotomie ermöglichte anhand des Computermodells faszinierende Einblicke in die Entstehungsgeschichte des Mars. Vielleicht versteht man durch diese Erkenntnisse irgendwann auch die geologische Frühgeschichte der Erde besser.

chaleur, qui échauffe le manteau de l'hémisphère sud au point de le faire fondre partiellement, tandis que l'hémisphère nord reste intact (graphique à la page 19). Des roches en fusion recouvrent environ la moitié de la surface de la planète, puis se solidifient. Le volume de la masse en fusion est tel qu'une croûte plus épaisse que celle sur l'hémisphère nord se forme sur l'hémisphère sud lors du refroidissement.

L'anomalie de température régnant dans les profondeurs de l'hémisphère sud déclenche un puissant mouvement ascendant du manteau, qui génère un volcanisme persistant comme celui de Tharsis (graphique à la page 20). Dans ce modèle, la dichotomie de la croûte martienne subsiste jusqu'à nos jours, car cette planète n'est pas sujette à une tectonique des plaques qui aurait détruit les matériaux de la croûte.

Des secrets percés

La surface de la Terre est constamment modifiée par la tectonique des plaques, contrairement à celle de Mars. C'est pourquoi nous n'avons pas accès à l'histoire géologique précoce de notre planète. La joie occasionnée par les découvertes sur Mars n'en est que plus grande: la dichotomie de sa croûte, étudiée au moyen de modèles informatiques, nous donne un aperçu fascinant de la genèse de cette planète voisine. Puissent ces découvertes nous aider à mieux comprendre un jour l'aube géologique de notre Terre.

Gregor Golabek, Tobias Keller
Laboratoire des Sciences de la Terre
Institut für Geophysik, ENS Lyon, ETH Zürich
gregor.golabek@ens-lyon.fr
keller@erdw.ethz.ch

Jugendliche im öffentlichen urbanen Raum

Jugendliche nutzen den öffentlichen städtischen Raum intensiv. Ein Projekt der Uni Zürich zeigt, wie Jugendliche öffentliche Räume erleben und wie Nutzungskonflikte ausgehandelt werden können.

SARA LANDOLT

Das Verhalten Jugendlicher im öffentlichen Raum wird gesellschaftlich breit diskutiert. Die Forschung ist das Thema aber bisher nur selten angegangen: In der deutschsprachigen Geographie ist kaum etwas darüber zu lesen. Die am Geographischen Institut der Universität Zürich verfasste Dissertation «Trinkräume und Treffpunkte Jugendlicher» setzt hier an. Im Mittelpunkt der Arbeit stehen Raumbeneignungen Jugendlicher und damit verbundene Nutzungskonflikte sowie der Alkoholkonsum von Jugendlichen im öffentlichen Raum.

Die empirische Grundlage dieser Arbeit bilden Gruppengespräche mit Jugendlichen zwischen 14 und 19 Jahren sowie eine Online-Befragung, an der gut 300 Jugendliche, die Gymnasial- oder Berufsschulklassen in der Stadt Zürich besuchen, teilnahmen. Daneben wurden Interviews mit Akteuren der städtischen Verwaltung und mit den Anwohnenden eines Quartierplatzes, an dem es zu Konflikten kam, durchgeführt. Teilnehmende Beobachtung in öffentlichen Räumen der Stadt Zürich ergänzte das Ganze aus einer anderen Perspektive.



Für die einen gehören solche Treffpunkte junger Menschen zur Entwicklung, andere fühlen sich durch deren Anwesenheit bedroht: Jugendliche, die sich auf öffentlichen Plätzen treffen, sorgen für heftige Diskussionen. (Foto: Bianca Guggenheim, gestellte Szene)