

Curiosity und die Suche nach einem Heureka! im All

Weltraumforschung. Mit der Landung der Raumsonde Curiosity am 6. August 2012 auf dem Mars markiert die NASA einmal mehr einen Meilenstein in der Raumfahrt. Auch wissenschaftlich setzen die Amerikaner Maßstäbe: Sie wollen nun ernsthaft herausfinden, ob auf dem Mars Leben existiert haben könnte. Eine extrem spannende Frage! Auch der forschende Nachwuchs hierzulande ist bei der Suche nach Antworten aktiv.

VON ULRICH KÖHLER UND TILMAN SPOHN

Neugier ist es, was den Menschen immerzu antreibt. Diese Binse ist so wahr, dass wir sie allen Klischees zum Trotz hier wiederholen. Manchmal sollte man darauf hinweisen, dass die Wurzeln des Baums der Erkenntnis, der in den vergangenen Jahrhunderten zu gewaltiger Größe gewachsen ist, im fruchtbaren Boden der Neugierde von unzähligen Wissenschaftlern und Tüftlern gründen, den Galileis, Keplers, Newtons, Darwins, Einsteins, Kochs, Schliekmanns, Pasteurs und Plancks – und all ihren forschenden Zeitgenossen.

Neugier, Curiosity, ist auch der Name des neuesten amerikanischen Rovers auf dem Mars, eines Fahrzeugs, das auf Erden 900 Kilogramm wiegt und die Dimensionen eines VW Polo hat. Der Name wurde von der NASA mit Bedacht gewählt, denn mit dieser Mission soll die Neugierde, die allein schon bei der Erwähnung des Namens Mars geweckt wird, angestachelt werden. Oder etwas prosaischer: Mit diesem großen, freilich auch teuren Projekt sollen entscheidende Schritte in der Erforschung unseres kosmischen Nachbarn möglich werden. Nach den ersten Mona-

Die Autoren

Ulrich Köhler

Der Planetengeologe ist am Institut für Planetenforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Berlin-Adlershof tätig. Neben der „alten Liebe“ zum Mond erweiterte er seine Kenntnisse von den Planeten, Monden und kleinen Körpern des Sonnensystems durch die Beteiligungen des Instituts an zahlreichen internationalen Raumfahrtmissionen.



Tilman Spohn

Der Diplom-Geophysiker leitet das Institut für Planetenforschung des DLR in Berlin-Adlershof. Er lehrt an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster physikalische Planetologie. Er leitet und koordiniert die Forschungsallianz „Planetenenwicklung und Leben“. Darüber hinaus leitet er unter anderem den Bau einer Wärmeflusssonde für die nächste NASA-Marsmission InSight.



Fotos: DLR/M. Köhler



Illustrationen: A. Kostom

ten scheint dieses Vorhaben von Erfolg gekrönt zu sein. Wieder einmal hat die NASA also ihre Führung in der aktuellen Raumfahrt mit einem Paukenschlag unterstrichen. Alle zehn Instrumente funktionieren perfekt. Die zur Erde gefunkten Bilder sind brillant. Curiosity wird den Büchern der Marsforschung mit Sicherheit einige bedeutende Kapitel hinzufügen. Sind die Mittel für solch ein Projekt gerechtfertigt? Aus Sicht der Forschung war Curiosity jedenfalls eine ausgezeichnete Idee, nämlich die Untersuchung des Inneren eines Meteoritenkraters, in den einmal Wasser strömte und einen See bildete, in dem Sedimente abgelagert wurden. Schon entdeckte der Rover gerundete Kiesel, die in einem Flussbett abgeschliffen wurden: Zum ersten Mal sehen wir das auf dem Mars! Der Krater Gale ist eines der Gebiete, das als besonders „höflich“ für die Suche nach Lebensspuren gilt.

Antworten auf eine der großen Fragen der Menschheit

Beim Abwägen des Für und Widers eines solchen 2,5 Milliarden Dollar „schweren“ Projekts stellen jedoch

nicht nur der Raumfahrt eher distanzierende Zeitgenossen die berechnete Frage: Ist das wirklich eine so teure Mission wert? Für nur einen überschaubaren Kreis von Planetenforschern, die in „Science“ und „Nature“ und ihren Fachjournals mit kaum nennenswerter Auflage ihre Publikationen abliefern? Unsere Antwort lautet: Ja, absolut! Denn auch in breiten Kreisen der Öffentlichkeit wurde und wird Curiosity mit Begeisterung verfolgt. Sogar kritische Medien waren voller Respekt vor der großartigen technischen Leistung, fasziniert von der nun begonnenen Mission – und, da ist sie wieder! – voller Neugier darauf, was Curiosity denn alles herausfinden würde.

Gesucht werden organische Verbindungen, die im Krater Gale vor vielen Millionen oder gar Milliarden von Jahren möglicherweise abgelagert wurden. Das ist Forschung, die wir unter der Überschrift „die Suche nach Leben im Sonnensystem – und darüber hinaus!“ zusammenfassen: Wenn heute ein solches Thema nicht mehr faszinierend ist und Strahlkraft für den gesamten Nachwuchs in den Naturwissenschaften hat – was dann? Wenn nicht solche technische Per- >



fektion junge Ingenieure, Programmierer, Techniker begeistert – was dann? Die Suche nach Leben steht in einer Reihe mit den großen Fragen der Naturwissenschaften, den Fragen nach dem Woher und Wohin des Menschen und seines Heimatplaneten Erde.

Angenommen, bald würde die Frage, ob es auf dem Mars oder einem anderen Körper des Sonnensystems oder auf einem Planeten an einem ganz anderen Stern Leben gibt, mit „Heureka! Wir haben es gefunden!“ beantwortet werden – dies würde massive Diskussionen nicht nur unter Naturforschern, sondern auch in der Gesellschaft, selbst in den Geisteswissenschaften oder den Religionen auslösen: Das Thema „Leben auf dem Mars“ bei Anne Will? Philosophen, Forscher, Geistliche und Politiker in einer Runde vereint? Es täte der viel beschworenen „wissensbasierten Gesellschaft“ – was für ein Wortungetüm!, warum nicht einfach die „neugierige“ oder „wissenshungrige Gesellschaft“? – ganz gut, auch die großen Themen der Naturwissenschaften öffentlich zu diskutieren. Der Nachweis von Leben im All würde die kopernikanischen und darwinschen Revolutionen vollenden

und unsere irdische Existenz in einen größeren Zusammenhang stellen. Nicht nur wäre die Erde nicht mehr der Mittelpunkt des Universums; sie wäre auch nicht mehr der alleinige Mittelpunkt unseres kulturellen Universums. Enrico Fermi (1901-1954) empfand es als paradox, dass wir bei der großen Zahl von Sternen im Universum noch keine Spuren intelligenten außerirdischen Lebens gefunden haben. Der Mars würde dadurch nicht zur „zweiten Erde“, dazu sind die Unterschiede zu groß. Aber wäre er dann nicht der „Nachbar“, dem der Mensch über kurz oder lang sogar mal selbst einen Besuch abstatten sollte?

Neil Armstrong wäre von Curiosity begeistert gewesen

Der erste Astronaut auf dem Mond, der am 25. August verstorbene Neil Armstrong, war der Überzeugung, dass der Mensch bald schon Fußabdrücke auch im roten Staub unseres Nachbarplaneten hinterlassen würde. So weit sind wir, trotz enormer Fortschritte in der Raumfahrt, auch 43 Jahre nach „Houston: The Eagle has landed!“ freilich noch nicht. Und müssen es auch gar nicht sein: Neben den technischen, physiologischen und mentalen Herausforderungen sind vor allem die Kosten eines solchen Unternehmens noch viel zu hoch. Es bräuchte in den Demokratien der Erde mit bedrängten Haushalten und weiß Gott vielen anderen Prioritäten schon außergewöhnlich triftige Argumente und Überzeugungskraft, um ein solches Projekt stemmen zu wollen. Man muss schlicht auf nicht absehbare Zeit die Tatsache akzeptieren, dass der Mond nahe, der Mars aber sehr, sehr weit – mit heutigen Antriebssystemen mindestens ein halbes Jahr Flugzeit – entfernt ist.

Seit Gene Cernan vor fast genau 40 Jahren als bislang letzter Mensch einen dieser „großen“ Schritte auf dem Mond hinterlassen hat, haben die Menschen dennoch Gewaltiges in und mit der Raumfahrt erreicht – *giant leaps for mankind*, um es in Armstrongs berühmten Worten zu sagen. Fortschritte auch für die 99,999 Prozent der Menschheit, die den festen Boden niemals völlig losgelöst, schwerelos in einer Raumkapsel schwebend, verlassen wird. Das gilt für die bemannte Raumfahrt mit den großen Raumstationen, auf denen wichtige Grundlagenforschung betrieben wurde und wird, dies gilt noch viel mehr für die robotische Raumfahrt. Der Nutzen für die Weltbevölkerung, der auf den Signalen unzähliger Satelliten aus der Erdumlaufbahn beruht, ist tagtäglich mit Händen zu greifen. Sekundenschnelle globale Kommunikation,

präzise Navigation, zuverlässige Wettervorhersagen: All das ist so selbstverständlich, dass ein auch nur ein-stündiger Ausfall zu aufgeregtem Durcheinander führen würde. Und vielleicht am wichtigsten: Die großen Umweltfragen lassen sich besser denn je mithilfe von Satelliten anpacken, die um die Erde kreisen.

Raumfahrt ist unmittelbarer Nutzen, aber immer auch zukunftsorientiert. Umso schöner, dass Neil Armstrong die Landung von Curiosity noch erleben durfte, wenige Tage vor einer Herzoperation, an deren Folgen er starb. Kein Raumfahrtserfolg seit der Landung auf dem Mond oder dem ersten Start eines Spaceshuttles hatte ein derartiges Echo. Tausende Menschen versammelten sich in der Nacht vom 5. auf den 6. August auf dem New Yorker Times Square, um auf den riesigen Monitoren dort einem Manöver beizuwohnen, das – schon Vergangenheit war. Denn die Signale von Curiositys Landemanöver erreichten die Erde vom 248 Millionen Kilometer entfernten Mars erst nach 14 Minuten.

Millionen Menschen erlebten über Livestream die 100.000-Volt-Atmosphäre im Kontrollraum, wie innerhalb von sieben Minuten die Kapsel mit dem wertvollen Marsfahrzeug von 21.000 Stundenkilometern auf Helikoptergeschwindigkeit abgebremst wurde. Zuerst geschützt in einem Karbondiskus, der durch die Reibung in der Marsatmosphäre fast bis zur Weißglut erhitzt wurde, dann mit dem größten Überschall-Fallschirm, der je gebaut wurde. Und schließlich mit Düsen, die das Gespann über der Landestelle zum Stillstand brachten, ehe Curiosity an einem „Himmelskran“ mit Seilen aus acht Metern auf die Oberfläche abgelassen wurde. Das staubtrockene „*touchdown confirmed!*“ des Flugleiters löste einen gewaltigen Sturm des Jubels aus – nun durfte auch NASA-Chef Charles Bolden den Kontrollraum betreten und die Ingenieure beglückwünschen.

Der Mars eine zweite Erde? Oder die Erde ein Unikat?

Curiosity ist also an seinem Bestimmungsort und soll bis zum Ende des Jahrzehnts das trockene Seebett und Gesteinsschichten am über 5.000 Meter hohen Aeolis Mons im Krater Gale untersuchen, die geologische und klimatische Geschichte des Gebiets erkunden und mit seinen Instrumenten vielleicht organische Verbindungen aufspüren. Eine direkte Analyse von Lebensspuren, seien sie fossil oder aktuell vorhanden, kann die Sonde nicht erbringen; dazu werden erst Missionen nach 2020 in der Lage sein. Was ist denn nun über-

haupt so anders auf dem Mars als auf der Erde? Nun, die Erde ist außergewöhnlich. Das klingt anmaßend, ist aber zumindest für unser Sonnensystem zutreffend. Sie beherbergt, wie es der Nobelpreisträger Ilya Prigogine zum Ausdruck brachte, „die höchste Organisationsform von Materie“: Leben. Angesichts der großen Zahl von Sternen im Universum muss man jedoch vermuten, dass es belebte, erdähnliche Planeten mehrfach gibt. Die Frage, wie sich Leben ausgerechnet auf der Erde entwickelt hat, ist nicht einfach zu beantworten angesichts eines Planeten, dessen charakteristisches Merkmal seit 4,5 Milliarden Jahren der permanente Wandel der Oberfläche ist, hervorgerufen durch die dynamischen Prozesse der Plattentektonik. Die Frühgeschichte der Erde liegt unter anderem aus diesem Grund ziemlich im Dunkeln.

Auf dem Mars wurde die Oberfläche weniger dynamisch überprägt. Doch gerade die Plattentektonik könnte eine Voraussetzung für die Entwicklung des Lebens sein. Sie hat Gebirge und Ozeanbecken geformt und diese enorme Biodiversität hier auf der Erde erst ermöglicht: Stark vereinfacht ausgedrückt wirkt die Plattentektonik wie ein Thermostat, indem sie viele der Parameter, die auf der Erde wirksam sind, innerhalb einer gewissen Bandbreite in Balance hält. So entstanden durch die Plattentektonik thermisch relativ stabile Bedingungen, vor allem wurde dadurch der Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre geregelt und als Konsequenz letztlich der großräumige Transport von Nahrungsmitteln für primitive Lebensformen bewerkstelligt.

Denn auch die Atmosphären der Planeten sind mit dem Planeteninneren verknüpft. Der Austausch erfolgt von innen nach außen durch vulkanische Gase. Zum Beispiel wirkt der irdische Kohlenstoffzyklus mit langer Periode – viel länger als die gegenwärtig diskutierten Auswirkungen des menschengemachten CO₂-Eintrags in die Atmosphäre – moderierend auf das Erdklima. Auf der Erde erlaubt die Plattentektonik eine Rückkopplung, indem in Sedimentgestein gebundenes Kohlendioxid, die „Kalksteine“ und Kalksedimente der Ozeanböden, in das Erdinnere zurückgeführt werden kann. Plattentektonik ist also vielleicht eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Entwicklung des Lebens über primitivste Formen hinaus.

Mehr noch: Die Plattentektonik kühlt durch das Abtauchen relativ kalter oberflächennaher Schichten effektiv das tiefe Erdinnere. Dies sichert langfristig die Existenz unseres Magnetfelds. Dieses Magnetfeld schützt die Erde vor dem Sonnenwind und Teilen >

der kosmischen Strahlung und trägt letztlich zur Stabilität der Atmosphäre bei. Gleichzeitig wirken die Tausende Kilometer langen Vulkanketten beispielsweise des „Feuerrings“, der den Pazifischen Ozean umgibt, wie Ventile, um die Gase, die beim Wiederaufschmelzen der hinabgezogenen Kruste mobilisiert werden, wieder in die Atmosphäre zu blasen.

Auf der fast gleich großen Venus ist dies anders: Die Oberfläche besteht nur aus einer einzigen Krustenplatte, und die Wärme, die sich darunter – aus dem Gesteinsmantel der Venus gespeist – anstaut, brannte sich ihre „Ventile“ wie mit einem Schweißbrenner in Form von über 10.000 (heute vermutlich allesamt inaktiven) Vulkanen durch die Kruste, ähnlich den Hot-Spot-Vulkanen der Hawaii-Inselkette. Man sieht: Wir sprechen bei der Erde von einem höchst komplexen und eben nach heutigem Wissensstand einmaligen System.

Leben könnte auf dem Mars auch heute noch möglich sein

Erde und Mars, auch die Venus, unterscheiden sich also ziemlich deutlich in den Prozessen, die fast die gesamten viereinhalb Milliarden Jahre ihrer Existenz abliefen. Die Voraussetzungen für Leben sind also zunächst sehr unterschiedlich. Wenn wir nach dieser planetaren Sicht auf die Dinge nun zum Mikroskop greifen, können wir eine molekulare Betrachtung des Lebens und seiner möglichen Entstehung vornehmen. Bei einem hypothetischen Leben, welches dem auf der Erde chemisch ähnelt, müssten wir als Grundbausteine Kohlenstoffverbindungen annehmen und als Lösungsmittel Wasser. Als physikalische Bedingungen für die Habitabilität, das heißt für das Potenzial eines Planeten, „belebbar“ zu sein, müsste Wasser aufgrund des herrschenden Drucks und der Temperaturen an der Oberfläche oder in ökologischen Nischen stabil sein.

Die Erde bietet diese Bedingungen mannigfaltig. Wir finden Leben in eisigen Bohrkernen der Polkappen und an Vulkanschloten am Meeresgrund, aus denen eine heiße, in Wasser gelöste chemische Suppe quillt und an denen „extremophile“, also an extreme Lebensräume angepasste Organismen üppig wachsen und gedeihen. Das macht deutlich, dass mikrobiologisches Leben nicht an Temperaturen zwischen dem Gefrierpunkt bei null Grad Celsius und kurz vor dem Siedepunkt gebunden ist. Wir wissen auch, dass, wenn Leben einmal vorhanden ist, es dort so schnell nicht wieder verschwindet (oft hält es sich dort am längsten, wo wir es gar nicht gerne haben, zum Beispiel hinter dem Gummi der Kühlschrantüre ...).

Wenn wir hier also „extremophiles“ Leben betrachten, wird auch der Mars wieder interessant. Zwar sind dort die großen Rahmenbedingungen wie Plattentektonik, dichte Atmosphäre oder Magnetfeld (heute) nicht mehr gegeben und folglich sollte die Wahrscheinlichkeit, dort Lebensspuren zu finden, eher klein sein. Aber inzwischen konnte auch gezeigt werden, dass sich Mikroben bei Temperaturen bis zu -20 Grad Celsius vermehren können und dass Wasser unter Marsbedingungen, also bei nicht einmal einem Hundertstel des irdischen Atmosphärendrucks, bis etwa -40 Grad Celsius flüssig sein kann. Dann nämlich, wenn Salze oder Bakterien den Schmelzpunkt des Wassers herabsetzen. Experimente zeigten ferner, dass Biofilme – das sind Matten oder hauchdünne Filme aus Mikroben – Wasser auch aus geringster Luftfeuchtigkeit ziehen können.

In den viele Tausend Meter tiefen Canyons auf dem Mars könnte durch den Tag-und-Nacht-Rhythmus der winzige Anteil an Wasserdampf in der Marsatmosphäre aus der nachts auf sehr tiefe Minusgrade abgekühlten Luft dann morgens, wenn die Temperaturen wieder über null Grad Celsius ansteigen, am Gestein kondensieren und sich Mikroben an diesem marsianischen Tau laben. Mineralstoffe wie Schwefel, Magnesium, Phosphor oder Eisen zum besseren Gedeihen hat es allemal, da zum einen die meisten Gesteine auf dem Mars dem auch auf der Erde häufigen Vulkangestein Basalt gleichen. Außerdem wurden in der Frühzeit des Planeten Mineralsalze ausgefällt und abgelagert. Dies lässt vermuten, dass es auf dem äußerlich extrem trockenen Mars auch heute noch Habitate für Mikroorganismen geben könnte!

Wo könnten auf dem Mars solche Lebensräume zu finden sein? Einige Planetologen vermuten, dass es auf dem frühen Mars deutlich wärmer und feuchter als heute war. Modellrechnungen zeigen tatsächlich, dass der Planet früher eine dichte Atmosphäre mit moderaten Lebensbedingungen gehabt haben könnte. Aber wie wurde die Atmosphäre dann bis zum heutigen Zustand ausgedünnt? Dies bleibt ein Rätsel. Die geologischen Evidenzen sprechen ohnehin eher für ein ziemlich trockenes, wüstenähnliches Klima mit kaum Niederschlag. Zwar hat es Seen und Flüsse in bedeutender Zahl auf dem frühen Mars gegeben: Der damalige Mars ähnelte aber eher den trockenen Kaltgebieten der heutigen Erde und nicht den gemäßigten Zonen. Wasser wäre vermutlich eher sporadisch und nicht permanent über die Oberfläche geflossen. Bei der Suche nach potenziellen Lebensräumen wählte die NASA deshalb

– übrigens auf der Grundlage von 3-D-Geländemodellen, die mit einer vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) betriebenen Stereokamera an Bord des europäischen Orbiters Mars Express erstellt wurden – völlig konsequent den Krater Gale als Landestelle für Curiosity aus. Denn dort war Wasser wohl über einen längeren Zeitraum vorhanden.

Viel Biomasse erwarten wir nicht auf dem Mars ...

Zuletzt noch eine Betrachtung der Frage der Energie, die das Leben benötigt. Das Leben der Erde bezieht diese im Wesentlichen von der Sonne. Dies war nicht immer so. Erst vor etwa 2,5 bis 3 Milliarden Jahren „erfanden“ Lebewesen die Fotosynthese, die Umwandlung nach der Formel „Kohlenstoff aus der Luft + Wasser + Energie = energiereiche Biomasse + Sauerstoff“. Danach ist die Biomasse enorm angewachsen und hat dabei die Zusammensetzung der Erdatmosphäre nachhaltig verändert: Statt von Kohlendioxid ist unsere Atmosphäre heute vor allem von Sauerstoff und Stickstoff geprägt.

Die Atmosphären der Venus und des Mars sind aber heute noch CO₂-Atmosphären. Vor der Erfindung der Fotosynthese bezog das Leben seine Energie nämlich vom Planeten selbst! Neben der chemisch in Mineralen gespeicherten Energie war dies vor allem geothermische Energie. Wir müssen vermuten, dass dies auf dem Mars auch so war. Unter anderem aus diesem Grund wird die nächste NASA-Mission zum Mars, InSight, den Wärmefluss aus dem Planeten messen mithilfe der Sonde HP³, die vom DLR entwickelt wird. Die Zusammensetzung der Marsatmosphäre ist also ein Indiz dafür, dass es dort der Fotosynthese nie gelang, sich entscheidend durchzusetzen.

Wir suchen fossiles oder heutiges Leben auf dem Mars daher dort, wo Wasser und die Wärme erloschener oder so gut wie inaktiver Vulkane zu finden sind. Allerdings dürfte die Menge an Biomasse, die entdeckt werden könnte (der Marsforscher lebt mit dem Konjunktiv ...) sehr

überschaubar sein. Wiewohl die glückliche Forschergruppe, der es einst gelingen sollte, Leben auf dem Mars nachzuweisen, schon bei der Entdeckung einer einzigen Zelle eines Organismus' aus dem Feiern so schnell nicht wieder herauskommen würde.

Trotz der Forschungsfahrt von Curiosity wird diese Party mit einiger Sicherheit wohl noch eine Weile auf sich warten lassen. Aber wenn sich das potenzielle Leben auf dem Mars nicht verdammt gut versteckt hält (was auch der Fall sein kann), dann könnte das Heureka! der Entdeckung von Leben jenseits der Erde in nicht mehr allzu ferner Zukunft um die Welt gehen, vielleicht in den beiden kommenden Jahrzehnten, vielleicht sogar noch in dieser Dekade.

Mit diesen Überlegungen, so hoffen wir, ist zumindest ein wenig deutlich geworden, dass eine große Faszination von diesem Thema ausgeht. Schließlich beteiligen sich auch in Deutschland und Europa viele Forschungsgruppen an der Suche nach dem Leben im All. Großartig ist, dass dabei zahlreiche junge Wissenschaftler mit von der Partie sind, mit vielen außergewöhnlichen Ideen, spannenden interdisziplinären Ansätzen und einer Mega-Portion Neugierde! ■



Ein Video über die Curiosity-Mission finden Sie in der Tabletausgabe.

