



„W“ er sagt uns eigentlich, dass wir nicht alle Marsianer sind?“, fragte 1996 kein spleeniger Science-Fiction-Schreiber, sondern Richard Zare, ein Wissenschaftler der renommierten Stanford University. Der Amerikaner hatte soeben auf einer Pressekonferenz die neuesten Forschungsergebnisse über einen Stein vom Mars vorgestellt: Der **Meteorit ALH 84001** ist etwa vier Milliarden Jahre alt, knapp zwei Kilogramm schwer und wurde 1984 im Eis der Antarktis entdeckt. Zare und seine Kollegen behaupteten nun, Spuren gefunden zu haben, die auf ein frühes, mikrobiologisches Leben auf dem Mars hinweisen

Mikroorganismen ab? Wohl kaum! Denn erstens sind die Ergebnisse des ALH 84001-Forschungsteams bis heute höchst umstritten, und zweitens existieren keinerlei Beweise dafür, dass sich Mikroorganismen über den Kosmos auszubreiten vermögen.

AUF DER SUCHE NACH DEM LEBENSQUELL

Prinzipiell jedoch gibt es wissenschaftlich durchaus ernst zu nehmende Hinweise, dass irgendwann einmal Leben auf dem Mars existiert haben könnte. In den vergangenen Jahren lieferten Raumsonden immer detailrei-

Expedition zum Mars – wie Forscher den Roten Planeten erkunden

– unter anderem Magnetit-Kristalle (Eisenoxid), wie sie auch bestimmte Bakterien auf der Erde erzeugen. Gelangte primitives Leben also irgendwann einmal mit Meteoriten vom Mars auf unseren Planeten? Und, stammen wir demzufolge alle von marsianischen

chere Bilder der Marsoberfläche. Darauf entdeckten die Forscher Landschaften mit gigantischen Kratern und Terrassen sowie offenbar ausgetrocknete Seen und versiegte



► Der Mars-Erkundungs-Rover bereitet Messungen an einem Stein vor. Sein beweglicher Arm trägt ein Werkzeug zum Abschleifen von Gesteinsproben sowie drei Instrumente, um die Proben genau zu studieren – dazu gehört auch ein chemisches Analysegerät mit dem Spitznamen „Schnüffler“.



→ Fluss-Systeme (s. Teilbild Abb. B), wie sie auf der Erde nur große Wassermassen erzeugen. Könnte es also sein, dass auf dem heute staubtrockenen Mars vor Milliarden Jahren ebenfalls Wasser floss? Ohne Wasser kein Leben – viele Marsforscher konzentrieren sich deshalb ganz auf das Aufspüren von Wasser, vor allem im Marsboden. Und sie suchen nach Erklärungen, warum der Rote Planet vor langer Zeit vielleicht riesige Wasservorräte barg, seine Oberfläche heute aber völlig ausgetrocknet erscheint.

VERLOREN IM ALL – KEINE NACHRICHT VON BEAGLE 2

2003 fiel der Startschuss für mehrere Marsmissionen. Denn im August war der Mars der Erde so „nah“ wie seit Jahrtausenden nicht mehr: 55,8 Millionen Kilometer. Am 2. Juni wurde das Weltraumfahrzeug *Mars Express* der *European Space Agency* (ESA) zusammen mit der kleinen Landestation *Beagle 2* auf einer russischen Sojus-Fregat-Trägerrakete ins Weltall geschossen. Nach knapp sieben Monaten, am 25. Dezember, kam *Mars Express* am Roten Planeten an (Abb. B). In den folgenden Tagen korrigierten Mitarbeiter des Bodenkontrollzentrums der ESA in Darmstadt den Kurs der Sonde bis diese im Januar 2004 ihre endgültige, stark elliptische polare **Umlaufbahn** erreicht hatte (die Abstände Sonde - Planet liegen jetzt zwischen 250 und 11.560 Kilometer). Trotz dieser geglückten Manöver hatten die europäischen Marsforscher nicht nur Grund zum Jubeln: Es gelang ihnen nämlich nicht, Funkkontakt zu *Beagle 2* herzustellen. Die kleine Landestation war zunächst planmäßig am 19. Dezember von *Mars Express* abgekoppelt worden und sollte sechs Tage

später auf der Oberfläche des Planeten aufsetzen. Alle Versuche, *Beagle 2* zu orten, schlugen jedoch fehl – der Roboter blieb verschollen.

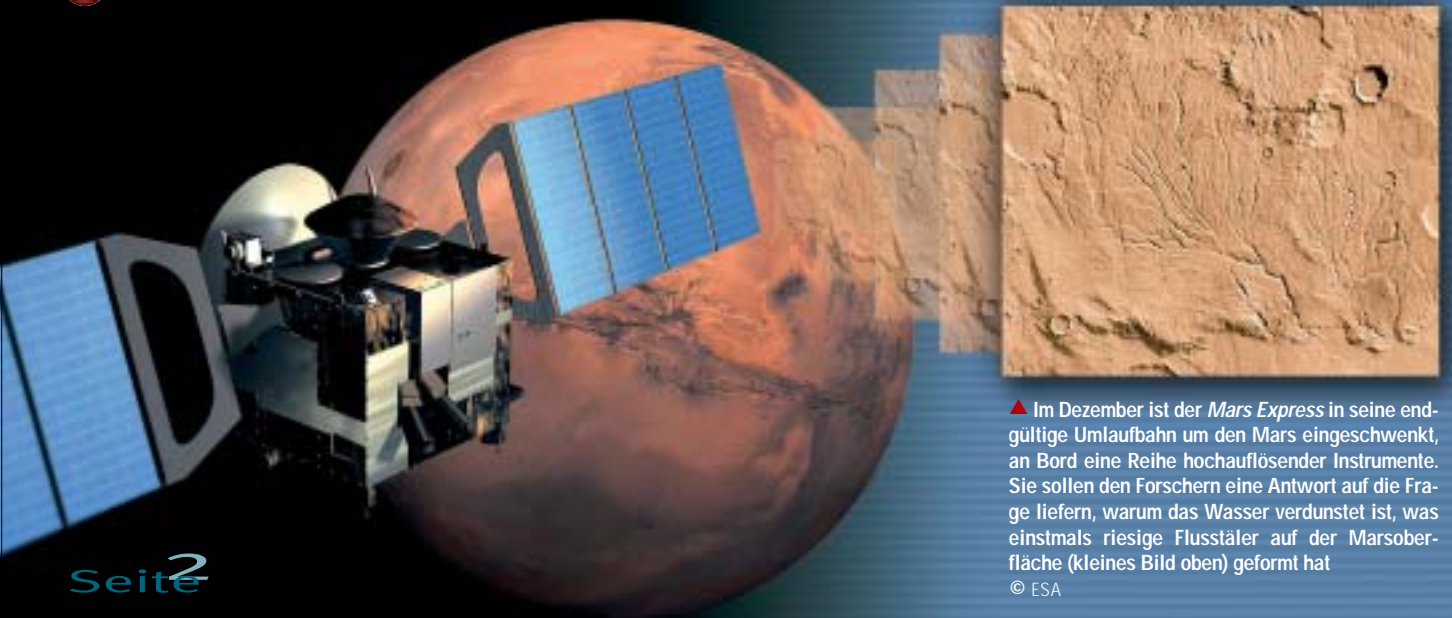
Mars Express soll von seiner Umlaufbahn aus mindestens ein Marsjahr lang – das entspricht zwei Erdjahren – den Forschern als „ausgelagertes“ Mini-Labor dienen. Dafür hat der Orbiter sieben verschiedene Messinstrumente an Bord, mit denen die Wissenschaftler Atmosphäre sowie Oberfläche und äußere Kruste des Roten Planeten untersuchen wollen. So ist *Mars Express* mit dem weltweit bislang einzigen Gerät bestückt, das vom All aus die Struktur eines Planeten bis in eine Tiefe von etwa fünf Kilometern analysieren kann. Das *Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionospheric Sounding* (MARSIS) arbeitet wie ein Radargerät: Es sendet Signale aus, die von der Planetenoberfläche und den verschiedenen Bodenschichten unterschiedlich reflektiert werden. Aus den Echos können die Forscher Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der oberen Marskruste ziehen. Mit einer hochauflösenden Stereokamera (*High Resolution Stereo Camera*; HRSC) liefert die Sonde außerdem Stereobilder der Marsoberfläche. Die Kamera wurde am DLR-Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung in Berlin-Adlershof entwickelt. Sie soll die gesamte Marsoberfläche mit einer Auflösung von 30 Meter pro Bildpunkt sowie die Hälfte der Oberfläche mit doppelter Auflösung kartografieren. Dort, wo es besonders interessant wird, können die Forscher sogar einen *Super Resolution Channel* (SRC) einschalten: Dann scannt die Kamera den entsprechenden Bereich mit 2,3 Meter pro Bildpunkt. Mit den

gesammelten Daten wollen die Astronomen schließlich ein detailliertes, digitales 3-D-Modell der Marsoberfläche schaffen.

FARBFILTER-PROGRAMM FÜR HIGH-TECH-KAMERA

Die Software zur Auswertung der digitalen Kameradaten wurde von Mitarbeitern des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Katlenburg-Lindau entwickelt. „Dabei stellt der Rote Planet seine ganz eigenen Anforderungen“, erklärt Horst Uwe Keller. „Um die Kamerabilder wissenschaftlich exakt auswerten zu können, müssen wir die Aufnahmen farbkorrigieren – ähnlich wie ein Fotograf, der durch einen Skylight-Filter den sonst auftretenden Blaustich auf seinen Gebirgsaufnahmen unterdrückt.“ Aus denselben Gründen, aus denen der irdische Himmel blau erscheint, ist der Marshimmel rötlich. Bilder vom Mars haben also einen Rotstich. Aber nur die natürliche Färbung der Marsoberfläche liefert Hinweise auf deren Zusammensetzung. Durch den Vergleich von Datensätzen, die mit unterschiedlichen quasi Farbfiltren gewonnen wurden, können die Wissenschaftler sogar einzelne Mineralien identifizieren. „Die Farbkorrektur der Bilder bieten wir gewissermaßen als Service für Geologen und Mineralogen“, sagt Wojciech Markiewicz, der ebenfalls am Katlenburger Institut arbeitet. „Wir selbst lernen dabei allerdings viel über die Atmosphäre des Mars.“ Denn um die Korrekturfaktoren berechnen zu können, müssen die Max-Planck-Forscher den Einfluss der **Marsatmosphäre** auf die Farbe der Bilder mittels Computer modellieren. Und das gelingt nur, wenn sie den Zustand der Atmosphäre relativ genau kennen – also ihre chemische Zusammensetzung, die Tempe-

B



▲ Im Dezember ist der *Mars Express* in seine endgültige Umlaufbahn um den Mars eingeschwenkt, an Bord eine Reihe hochauflösender Instrumente. Sie sollen den Forschern eine Antwort auf die Frage liefern, warum das Wasser verdunstet ist, was einstmals riesige Flusstäler auf der Marsoberfläche (kleines Bild oben) geformt hat

© ESA



C

▲ Mit ASPERA untersuchen Forscher den Einfluss des Sonnenwinds auf die Marsatmosphäre. Mitarbeiter des Max-Planck-Instituts für Aeronomie lieferten die Elektronik des Hauptsensors NPD (Neutral Particle Detector). Dieser misst auf Nanosekunden (10^{-9} s) genau die Flugzeit neutraler Teilchen, die mit einigen hundert Kilometern pro Sekunde auf den Detektor treffen (die Flugstrecke im Sensor beträgt ca. 4 cm).

ratur- und Druckverteilung etc. Besonders wichtig ist der Gehalt an Staub, welcher die Atmosphäre verfärbt. Die unterschiedlichen Himmelsfarben resultieren aus den verschiedenen Größen der Staubpartikel, an denen das Licht gestreut wird. Nun ändert sich jedoch die Staubbichte in der Marsatmosphäre ständig, fegen doch heftige Stürme zum Teil mit Windgeschwindigkeiten von bis zu 400 Kilometer pro Stunde über den Planeten hinweg. Die Forscher sind deshalb bei ihren Simulationen auf stets aktualisierte Daten angewiesen, die *Mars Express* zur Erde funkt. Per Computer lassen sich somit die vorübergehenden Eigenschaften der Marsatmosphäre und schließlich die entsprechenden Korrekturfaktoren für die Kamerabilder berechnen.

Aber wie erhalten die Wissenschaftler Daten über die Staubbichte? Sie nutzen dazu ein einfaches physikalisches Prinzip, das auch auf der Erde gilt: Im Schatten eines Gegenstands wäre es eigentlich stockfinster, gäbe es dort kein **Streulicht**. Die Intensität dieses Lichtes hängt von der Dichte der Teilchen ab, an denen es gestreut wird. Auf den Bildern vom Mars suchen sich die Forscher deshalb einen Punkt im Schatten, beispielsweise am Rand eines Kraters. Sie ermitteln die Lichtintensität in diesem Punkt und können daraus auf die Konzentration der streuenden Staubpartikel schließen – und damit die entsprechenden Korrekturfaktoren für die Aufnahmen von der Marsoberfläche berechnen. Wie viele Datensätze die Forscher in den nächsten Monaten auf diese Weise bearbeiten werden, hängt davon ab, wie viele Bilder *Mars Express* zur Erde funkt. Für einen Um-

lauf benötigt die Sonde zirka 7,5 Stunden. Lediglich bis zu einer Stunde wird in die Aufnahme der Bilder investiert, der Rest ist für deren Übertragung reserviert. „Die Übermittlung eines einzigen Digitalbildes wird rund ein bis zwei Stunden dauern,“ schätzt Markiewicz.

Ein weiteres Messgerät, das *Mars Express* mit sich trägt, ist der *Analyzer for Space Plasmas and Energetic Atoms*, kurz ASPERA (Abb. C). Mit ihm wollen die Forscher des Max-Planck-Instituts für Aeronomie den Einfluss des Sonnenwinds auf die Marsatmosphäre untersuchen. Dieses elektrisch geladene Gas (Plasma) besteht hauptsächlich aus Protonen und Elektronen sowie zu einem geringeren Teil aus Helium-, Sauerstoff- und anderen Ionen. Mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 400 Kilometer pro Sekunde strömt es von der Sonne ins Weltall. Obwohl es sehr dünn ist (ca. 10 Ionen/cm³), wirkt das Plasma äußerst „aggressiv“ – diesem ungeschützt ausgesetzt, würde ein Mensch erhebliche Strahlenschäden erleiden. Auf der Erde bewahrt ihn das **Erdmagnetfeld** davor; nur in den Polregionen gelangen regelmäßig Sonnenwindpartikel in die Erdatmosphäre und erzeugen eindrucksvolle Lichtspiele, die so genannten **Polarlichter**.

SONNENWIND SCHLEPPT GAS-TEILCHEN FORT

Nun hat der Mars im Gegensatz zur Erde kein globales Magnetfeld; der Sonnenwind dringt also ungehindert in die obere Marsatmosphäre ein. „Wir vermuten, dass dadurch große Mengen an Gasen aus der Atmosphäre verloren gehen,“ erklärt der Max-Planck-Wissenschaftler Joachim Woch. Und dafür gäbe es zwei Möglichkeiten: Entweder wird beim Zusammenstoß der elektrisch geladenen Sonnenwindpartikel mit den neutralen Atmosphärenteilchen soviel thermische Energie übertragen, dass die neutralen Teilchen die Marsanziehungskraft überwinden und schließlich die Marsatmosphäre verlassen, oder die neutralen Gasmoleküle werden selbst elektrisch geladen und infolge dieser Ladung vom Sonnenwind aus der Atmosphäre heraus „mitgeschleppt“.

Mit ASPERA möchten die Forscher genau diese Wechselwirkungen untersuchen. „Vor allem interessiert uns, wie wirksam diese Prozesse auf dem Mars sind,“ sagt Woch. Könnten die Forscher nachweisen, dass der



D

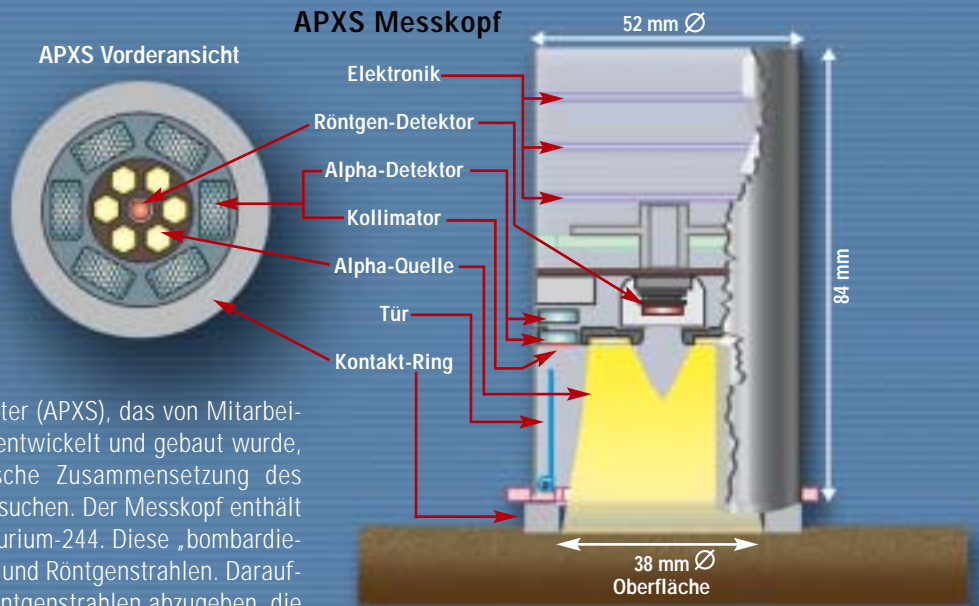
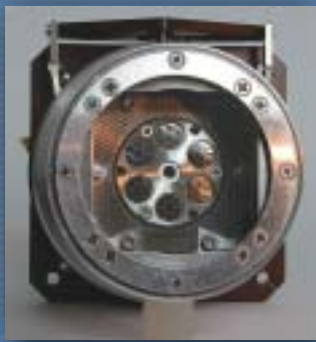
▲ Das Messgerät MARSIS soll auf dem Mars nach unterirdischem Wasser bzw. Eis suchen.

Sonnenwind tatsächlich große Mengen Neutralgas aus der Atmosphäre entfernt, wäre dies ein Argument für eine von vielen Experten vertretene Theorie: Danach besaß auch der Mars vor etwa vier Milliarden Jahren ein Magnetfeld, das ihn vor dem Sonnenwind schützte. Seine Atmosphäre war ähnlich dicht wie heute auf der Erde und auf seiner Oberfläche floss daher Wasser in Hülle und Fülle. Mit der Zeit jedoch nahm die Stärke des globalen Magnetfelds ab, durch die immer massivere Einwirkung des Sonnenwinds dünnte die Atmosphäre aus, das Wasser verdunstete.

Heute gibt es auf dem Mars tatsächlich noch Gebiete mit eigenen Magnetfeldern. Die Atmosphäre besteht zu 95 % aus Kohlendioxid. Je nach Region, Jahres- und Tageszeit schwanken die Temperaturen zwischen -125°C und $+10^{\circ}\text{C}$. Die Durchschnittstemperatur ist mit -68°C um etwa 80°C niedriger als auf der Erde. Weil die Atmosphäre des Mars heute rund hundertmal dünner ist als die der Erde, würde Wasser auf der Oberfläche des Planeten im „Mars-Sommer“ explosionsartig verdampfen – kein Forscher sucht hier deshalb nach intakten Flüssen oder Seen. Eine Sensation war jedoch die Entdeckung mit der NASA-Sonde *Mars Odyssey* im Jahr 2002: An den Marspolen, die hauptsächlich aus gefrorenem Kohlendioxid (Trockeneis) bestehen, scheinen unterirdisch große Mengen Wassereis zu lagern (Abb. D). Manche Forscher gehen davon aus, dass das Wasser nach seiner Verflüssigung ausreichen würde, um den Michigan-See zweimal zu füllen!

ZWEI SPÜRNASEN LANDEN AUF DEM MARS

Um direkt auf dem Planeten nach weiteren Beweisen für noch existierende oder frühere Vorkommen von Wasser zu suchen, hat die NASA Mitte 2003 im Rahmen der Mission →



Mit dem Alpha-Röntgen-Spektrometer (APXS), das von Mitarbeitern des MPI für Chemie in Mainz entwickelt und gebaut wurde, können die Forscher die chemische Zusammensetzung des Gesteins direkt auf dem Mars untersuchen. Der Messkopf enthält radioaktive Quellen des Elements Curium-244. Diese „bombardieren“ die Gesteinsproben mit Alpha- und Röntgenstrahlen. Daraufhin fangen die Proben selbst an, Röntgenstrahlen abzugeben, die das Gerät mit einem Detektor auffängt. Die so gewonnenen Spektren zeigen Linien, anhand derer sich einzelne chemische Elemente in der Probe identifizieren lassen, beispielsweise Natrium, Aluminium, Silizium, Kalium, Kalzium, Eisen und Zink.

E

Mars Exploration Rovers 2003 gleich zwei Landeroboter in Richtung Mars geschickt – Ankunftszeit: Anfang sowie Ende Januar 2004. Die beiden baugleichen Fahrzeuge tragen die Namen *Spirit* und *Opportunity*. Sie sollen in der Nähe des Äquators landen, allerdings auf den jeweils gegenüberliegenden Seiten des Planeten. Die NASA-Wissenschaftler haben diese Stellen ausgewählt, weil es hier Hinweise auf ehemalige Wasservorkommen gibt. So fanden die Forscher dort das eisenhaltige Mineral Hämatit, das normalerweise nur durch Einwirkung von Wasser entsteht. Generell wären alle Mineralien, die durch Wasser verändert, also hydratisiert wurden oder durch heiße Wasserquellen entstanden sind (hydrothermale Ablagerungen) ebenso Indizien für eine frühe Fluss- und Seenlandschaft auf dem Mars wie schichtweise abgelagerte Sedimente, die sich in Seen oder Ozeanen gebildet haben.

Mindestens drei Monate lang sollen die etwa anderthalb Meter langen und 185 Kilogramm schweren Rover der NASA die karge Marslandschaft erkunden (Abb. A). Quasi als mobile Feldgeologen sollen sie dabei bis zu 500 Meter weit fahren. Für Gesteinsanalysen haben sie einen beweglichen Arm, an dem ein Gesteinsschleifer und drei wissenschaftliche Instrumente montiert sind: eine Mikroskopkamera, ein Mössbauer-Spektrometer und ein Alpha-Röntgen-Spektrometer (engl. **Alpha Particel X-Ray Spectrometer**,

APXS). Letzteres wurde von Mitarbeitern des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz entwickelt und gebaut und trägt den Spitznamen „Schnüffler“ (Abb. E).

Die Messinstrumente werden von der Bodenstation aus ferngesteuert. Sobald die Forscher über die auf dem Rover montierte Mikroskopkamera vermeintlich interessantes Gestein entdeckt haben, können sie das entsprechende APXS aktivieren: Der Messkopf wird auf die Gesteinsoberfläche gedrückt, dadurch öffnen sich zwei Türen vor dem Kopf und dieser wird eingeschaltet. „Bereits nach einer halben Stunde Messzeit haben wir genügend Daten für sehr gute **Röntgenspektren**“, erklärt Johannes Brückner vom Mainzer Max-Planck-Institut. Die Rover möglichst oft anhalten und messen zu lassen, werde trotzdem nicht einfach sein, befürchtet der Forscher. Denn bei der Entscheidung, ob die Fahrzeuge ein möglichst großes Gelände relativ oberflächlich (viele „Fahr-Tage“) oder ein kleineres Terrain intensiv (viele „Mess-Tage“) untersuchen sollen, wird es angesichts der begrenzten Lebensdauer der Rover vermutlich Rangeleien unter den Kollegen geben.

Bahnbrechende Ergebnisse erwartet Brückner in jedem Fall. Denn detaillierte chemische Gesteinsanalysen direkt auf dem Mars konnten Wissenschaftler bisher nur 1997 mit dem Mini-Rover *Sojourner* der NASA-Mission

Mars Pathfinder vornehmen. Auch dieser hatte ein APX-Spektrometer aus Mainz an Bord. Für *Spirit* und *Opportunity* haben die Max-Planck-Forscher das Gerät allerdings weiter entwickelt und erheblich verbessert. Wenn alles planmäßig verläuft, sollen die Messergebnisse der neuen APXS-Generation einen großen Beitrag zur Lösung eines der wesentlichen Probleme der Marsforschung leisten: „Wir haben Tausende von Bildern von der Marsoberfläche, aber wir wissen nicht, auf welches Material wir schauen,“ sagt Brückner. So werden die mobilen Analyselabors *Spirit* und *Opportunity* ziemlich sicher neue und spannende Erkenntnisse liefern – ganz gleich, ob sie dabei auf Indizien für Wasservorkommen stoßen oder nicht.

Schlagwörter: Meteorit, Umlaufbahn, Marsatmosphäre, Streulicht, Sonnenwind, Erdmagnetfeld, Polarlichter, Röntgenspektren

Lesetipp: Rainer Eisfeld und Wolfgang Jeschke, Marsfieber, Droemer Verlag, 2003

Internet: <http://mars.jpl.nasa.gov/mer/>
<http://diotima.mpch-mainz.mpg.de/mer-apxs/aktuelles.htm>

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=9>

DIE „MAX“-REIHE

auch unter www.max-reihe.mpg.de

BIOMAX, GEOMAX und TECHMAX erscheinen jeweils zweimal im Jahr und berichten über aktuelle Forschungsergebnisse aus den Max-Planck-Instituten vor allem für Lehrer und Schüler. Weitere Exemplare können unter folgender Adresse kostenlos bestellt werden: