

# AUFBRUCH ZU DEN PLANETEN UNSERES SONNENSYSTEMS

## Aktuelles von der Marsforschung

VON DR. KAI OLIVER DETKEN, GRASBERG

Nachdem im Heft Nr. 23 der Himmelspolizey vor gut zwei Jahren bereits die Marsforschung angesprochen wurde, mit ihren diversen Sonden- und Rover-Missionen[8], wird es Zeit eine neue Bestandsaufnahme vorzunehmen. Denn am 6. August landete ein Rover der neusten Generation auf dem Mars: die Curiosity (engl.: Neugier). Er ist nicht nur der größte seiner Art, der es bisher zum Mars geschafft hat, sondern er hat auch die spektakulärsten Experimente und Labormöglichkeiten mit an Bord. Bereits die Landung wurde in dieser Form noch nie durchgeführt und nahezu perfekt umgesetzt. Man darf also gespannt sein, was Curiosity uns an Bildern und Ergebnissen in den nächsten zwei Jahren liefern wird. Das ist die Dauer der Mission, die für den Rover vorgesehen worden ist. Man darf allerdings aufgrund der Erfahrungen mit seinen Rover-Vorgängern, durchaus auf weitere Jahre im Anschluss des Missionsendes hoffen. Mehr Zeit ist vielleicht auch notwendig, wenn man das Hauptziel der Mission erreichen will: den Nachweis vom Leben auf dem Mars zu erbringen.

Den Flug von der Erde bis zum Mars hat Curiosity in acht Monaten zurückgelegt. Gestartet war er vom US-Weltraumbahnhof Cape Canaveral auf einer Atlas-Trägerrakete, nahezu unbemerkt von der Öffentlichkeit. Schließlich sind Marsmissionen inzwischen fast alltäglich geworden. Die vielen Rückschläge der vergangenen Jahre haben die Amerikaner inzwischen durch eine fast routinemäßige Organisation und Umsetzung solcher Missionen ersetzt. Das ist auch gut so, da bei solchen Einsätzen sehr hohe Kosten anfallen. Bei Curiosity rechnet man mit 2 bis 2,5 Milliarden Dollar Gesamtkosten, die natürlich ihre Zweckmäßigkeit im engen Kostenrahmen der NASA erbringen müssen. Das höchste Risiko hat die Mission aber bereits überstanden: die Landung. Da der Rover zu schwer war, um ihn per Airbag abzubremesen, wurde eine schwebende Plattform konstruiert, die ihn sanft aufsetzen lassen sollte. Das ist eine bisher einmalige Leistung der NASA-Ingenieure und wird wahrscheinlich nach diesem Erfolg auch bei anderen Missionen künftig eingesetzt werden.

### Die Landung

Die Landung wurde penibel vorbereitet, um auch ja keine Störungen in dem sensiblen Ablauf zuzulassen. So wurde am 31. Juli mit Hilfe des noch auf dem Mars befindlichen Rovers Opportunity getestet, ob ein Signal

von Curiosity auch direkt auf der Erde empfangen werden kann. Anschließend wurde Opportunity im Voraus konfiguriert und geparkt, damit seine Funksignale die Kommunikation der Curiosity während der Landung nicht beeinflussen konnten. Nach der Lan-



Abb. 1: Der Sky Crane mit seinen acht Bremsraketen in Aktion [2]

derung des neuen Marsrovers hat die Opportunity ihre Arbeit dann ganz normal wieder aufgenommen.

Kurz vor dem Eintritt in die Atmosphäre löste sich die rund 732 kg schwere Kapsel mit dem Rover an Bord und glitt mit Hilfe eines Fallschirms in abschließend abgebremster Geschwindigkeit von 80 m/s in Richtung Marsoberfläche. Die Kapsel selber war durch einen Hitzeschild vor der Atmosphäre geschützt. Dann wurde der untere Teil abgesprengt und der Skycrane (Himmelskran) freigegeben. Dieser enthielt acht Bremsraketen und verlangsamte den Fall noch stärker als der vorher eingesetzte Fallschirm auf nunmehr 75 cm/s. Anschließend wurde der Rover mit Hilfe von Seilen in Richtung des Untergrundes abgelassen. Sobald der Rover den Untergrund berührte, wurden die 7,5m-Seile gekappt. Damit der Rover in keinsten Weise beschädigt werden konnte, flog der Skycrane abschließend einige hundert Meter davon und schlug dann in sicherer Entfernung auf dem Grund auf.

Die Landung klappte in nur sieben Minuten vorbildlich. Dabei besitzt Curiosity die Größe eines Geländewagens und ein Gewicht von immerhin 900 kg. Es ist damit laut der NASA das komplexeste Objekt, welches jemals von Menschen für eine solche Mission gebaut wurde. Entsprechend hoch war die Nervosität während der Landung, die von den NASA-Mitarbeitern auch als „Minuten des Terros“ bezeichnet wurde. Nach dem Abschied des Space Shuttles war die Landung von Curiosity erst einmal das letzte Highlight der NASA, da das aktuelle Sparprogramm weitere Exkursionen verhindert. Entsprechend groß wurde der Erfolg jetzt gefeiert. [1]

### Die Mission

Die Mission, die Curiosity zu erfüllen hat, nennt sich Mars Science Laboratory (MSL). Sie hat zur Aufgabe, den Mars hinsichtlich seiner aktuellen und vergangenen Eignung als Biosphäre zu untersuchen. Zur Analyse seiner Um-

gebung besitzt Curiosity zehn Instrumente, die in der Lage sind, Gestein, Atmosphäre und Strahlung zu erforschen. Zusätzlich hat Curiosity unterschiedliche Spektrographen, meteorologische Instrumente und Kameras mit an Bord. Gegenüber seinen Vorgängern ist der aktuelle Rover nicht nur wesentlich größer und schwerer. Er hat auch eine andere Energieversorgung spendiert bekommen. So ist Curiosity nicht mehr von Solarzellen abhängig, die wetter- und jahreszeitenbedingt nicht optimal arbeiten können bzw. auch durch den Marsstaub mit der Zeit verdrecken. Der Rover wird mit einer Radionuklidbatterie betrieben, die 4,8 kg Plutoniumdioxid enthält, das durch den  $\alpha$ -Zerfall des enthaltenen Plutonium-Isotops 2.000 Watt Wärmeleistung abgibt, die wiederum in 110 Watt elektrische Leistung umgewandelt wird. Die Halbwertszeit des Plutonium-Isotops entspricht 87,7 Jahren, wodurch die Energieversorgung auf mehr als das siebenfache der Missionszeit ausgelegt worden ist. Leider hat diese Konstruktion auch einen entscheidenden Nachteil: Das enthaltene Plutonium ist hochgradig giftig. Ein Sicherheitskonzept mit 8 Kapseln soll aber verhindern, das Plu-

tonium austritt. Die NASA hat die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls zwar mit 0,4% berechnet, aber ein Freisetzen des giftigen Stoffes würde auf der Erde (oder auch auf anderen Planeten) unabsehbare Folgen haben, weshalb dieses Antriebskonzept auch kritisiert wurde. Da man es aber auch schon in anderen Sonden erfolgreich eingesetzt hatte, wie z.B. bei Cassini-Huygens, maß man den Vorteilen einer wetterunabhängigen Energieversorgung größere Wichtigkeit bei.

Abbildung 3 zeigt die unterschiedlichen Marsrover-Generationen Sojourner, Spirit/Opportunity (baugleich) und Curiosity, während die Tabelle 1 den Größenvergleich auch durch Zahlen belegt. Wie man unschwer erkennen kann, ist Curiosity um einiges größer und leistungsfähiger als seine Vorfahren. Nur in der maximalen Geschwindigkeit zieht er gegen Opportunity, die im Gegensatz zu ihrer Schwester Spirit immer noch aktiv ist, knapp den Kürzeren. Ansonsten besitzt er eine wesentlich höhere Rechenleistung und Arbeitsspeicher sowie eine größere Anzahl wissenschaftlicher Instrumente. Die höhere Rechenleistung muss er auch haben, da er u.a. in

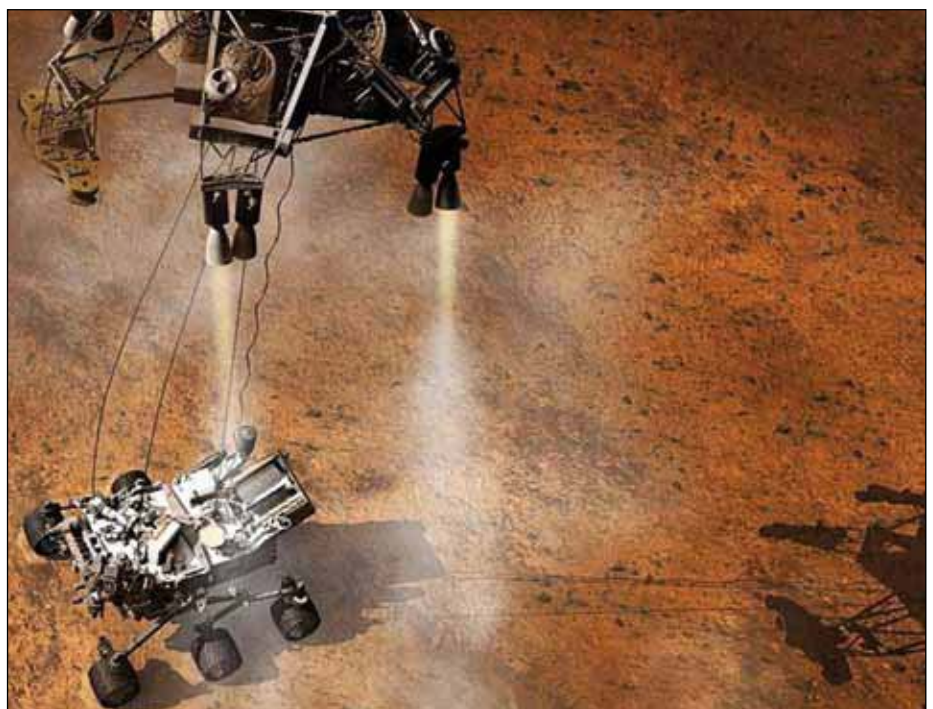


Abb. 2: Sanftes Ablassen der Curiosity auf den Marsboden [2]

der Lage, ist hochauflösende Bilder zu erstellen, die die Marsoberfläche zum ersten Mal in 3D-Auflösung abbilden können. Die 3D-Kamera wurde bei Astrium in Friedrichshafen am Bodensee entwickelt und half mit bei der Landung. Zusätzlich können dadurch auch HDTV-Videoclips erstellt werden. Die Übertragung eines solchen Videos würde dann aber trotz verbesserter Sendeleistung immer noch ein paar Wochen in Anspruch nehmen.

Als übergeordnetes Missionsziel wurde ausgegeben, dass die Curiosity das Landegebiet untersuchen soll, ob es ein potenzielles Habitat für Marsleben war. Der Landestandort wurde dementsprechend ausgiebig diskutiert. Ausgesucht wurde der Krater Gale, der einen Durchmesser von 154 km hat und dadurch auch gegenüber anderen Kratern im Sonnensystem eine stattliche Größe besitzt. Er hat eine Tiefe von 4,6 km unterhalb des Normalniveaus des Mars. Im Kraterinneren locken zahlreiche Sedimentschichten, die von flüssigem Wasser in unterschiedlichen Mars-Epochen abstammen könnten. Trotz eines Höhenunterschieds von fast 5 km zum Berg Aeolis Mons kann dieser gut „bestiegen“ werden, da er eine geringe Steigung aufweist. Durch die verbesserte Landetechnik war der Landeplatz Gale überhaupt erst mög-

lich geworden, da man bei geringerer Präzision auch leicht den Berg selbst hätte treffen können. [4]

Nach der Landung und den ersten Tests der Instrumente, war es dann soweit: Curiosity schickte sein erstes Panorama-Bild als 360-Grad-Aufnahme (Ausschnitt: siehe Abbildung 4) zur Erde. Erste Fotos gab es zwar bereits unmittelbar nach der erfolgreichen Landung zu sehen, aber nur in schwarzweiß und in geringer Auflösung. Durch die neue Auflösung der Kameras kommen anscheinend die Farben auch besser zur Geltung. Es lassen sich Unterschiede zwischen rot, braun, schwarz und dunkelblau ausmachen, wie die NASA-Wissenschaftler meinten. Allerdings spiegeln sie aus technischen Gründen nicht die echten Farben wider und geben auch keinen Hinweis auf die Zusammensetzung des Gesteins. Die Datenübertragung wird über Sonden im All vorgenommen, die sich um den Mars herum bewegen. Sie können nur übertragen, wenn sich die Sonden über dem Rover befinden, weshalb pro Tag nur einige Augenblicke zur Verfügung stehen. Über diesen Weg wird auch neue Software zum Rover hochgeladen und ausprobiert. Die Wissenschaftsteams arbeiten derzeit 16 Stunden am Tag, um ca. 1.000 Computerbefehle pro Tag an die Curiosity zu schicken. [6]

## Die Ausstattung

Um sich jederzeit einen Überblick über die Landschaft verschaffen zu können, besitzt Curiosity insgesamt vier Kameras. Zwei Kameras sind auf seinem Mast angebracht und in der Lage Einzelbilder als auch HD-Videos zu erstellen. Die dritte Kamera MARDI begann ihren Einsatz bereits während der Landephase und dokumentierte den Abstieg in HD-Qualität. Der Roboterarm beherbergt die vierte Kamera MAHLI. Alle Kameras besitzen bereits einen Chip für Farbaufnahmen, so dass die gemachten Fotos nicht erst mittels Farbfilter auf der Erde wieder zusammengesetzt werden müssen, wie dies bei früheren Missionen der Fall war. Fehlte beispielsweise ein Teil eines Einzelfotos, konnte man auch die anderen Bilder nicht mehr einwandfrei rekonstruieren. Die neue Kameratechnik verspricht daher weniger Fehler und eine neue Qualität der Bilder.

Ganz neue Messmethoden verspricht auch die ChemCam. Sie enthält einen Laser, der auf einen Punkt fokussiert werden kann, um so Material stark zu erhitzen. So könnte man beispielsweise die oberen Schichten eines Objektes entfernen, um die darunterliegenden Materialien untersuchen zu können. Auch kann das ChemCam die entstehenden Gase und Plasmen durch das optische

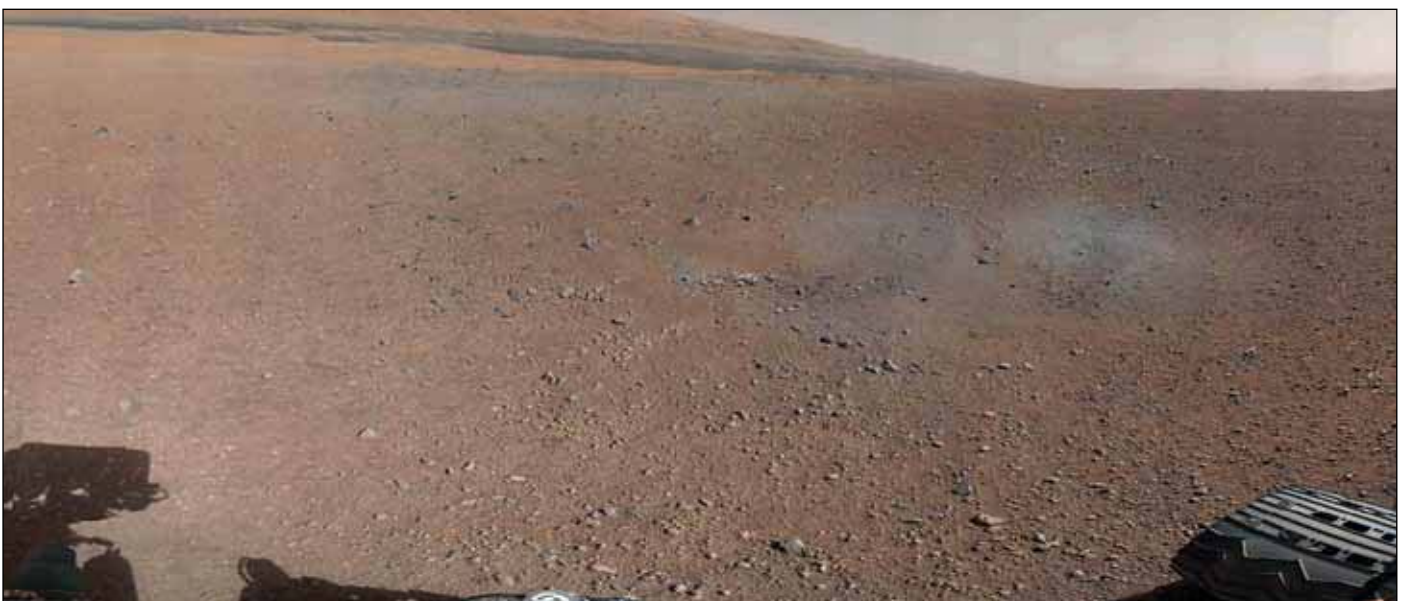


Abb. 4: Ausschnitt des ersten 360-Grad-Panorama-Bildes von der Curiosity [5]

Spektrometer auf die Zusammensetzung hin untersuchen. Die schnelle Identifizierung von Gesteinsarten ist seine Primäraufgabe.

Das schwerste und zugleich leistungsfähigste Instrument ist der SAM-Komplex, der ungefähr die Hälfte des gesamten Laborgewichts ausmacht. Das SAM kann sowohl Bodenproben als auch Gas aus der Atmosphäre analysieren, wobei das Material vorher entsprechend aufbereitet werden muss. Für Bodenproben steht das Sample Manipulation System (SMS) zur Verfügung, das mittels mehrerer Siebe das gefilterte Material in einen von 74 Auffangbehältern leitet. Wenn Stoffe aus den Proben verdampft werden sollen, so können das die zwei Öfen erledigen, die in der Lage sind eine Temperatur von bis zu 1.000 Grad Celsius zu erreichen. Anschließend gelangt das Gas in das Chemical Separation and Processing Laboratory (CSPL), das aus 50 Ventilen, 16 Ventilblöcken und mehreren Gasabsorbieren sowie vielfältigen Misch- und Trennsystemen besteht. Organische Verbindungen können separat im Gaschromatograph untersucht werden. Dieser besitzt sechs Trennsäulen, die jeweils auf eine bestimmte Untergruppe organischer Verbindungen spezialisiert sind. Abbildung 5 zeigt dieses komplexe Labor mit der Trommel des SMS und der links angeordneten Trennsäule des Gaschromatographen. Unter diesen Teilen befindet sich der Einlass für die Bodenproben und das CSPL. Der Vordergrund zeigt das Tunable Laser Spectrometer (TLS), welches weitere Analysen organischer Verbindungen vornehmen kann.

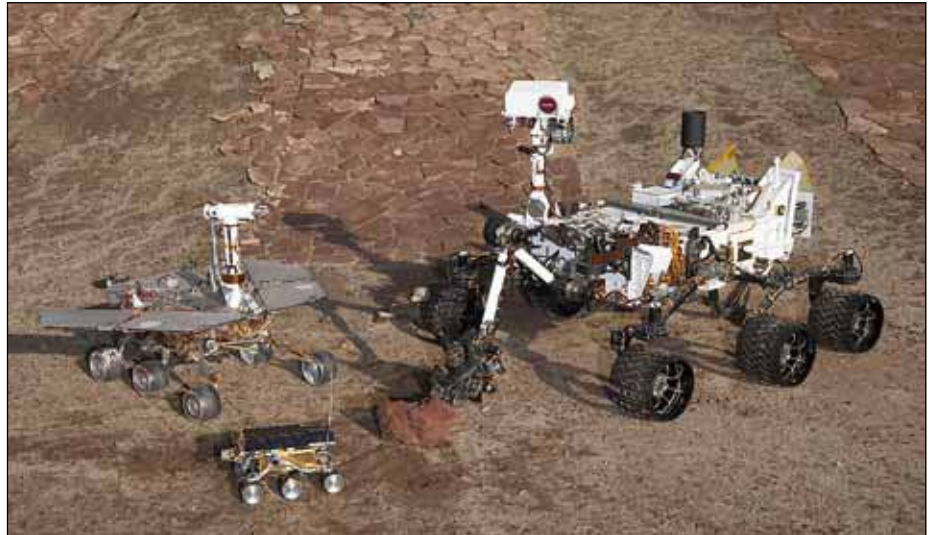


Abb.3: Größenvergleich der unterschiedlichen Marsrover-Generationen [3]

Die wissenschaftlichen Instrumente können wie folgt zusammengefasst werden:

**1. Mast Camera (MastCam)**

zwei hochauflösende Kameras, die am großen Mast befestigt sind. Mit ihnen sollen die Topologie, Oberflächenstrukturen und die Atmosphäre optisch im sichtbaren und nahem Infrarotspektrum untersucht werden.

**2. Chemistry & Camera (ChemCam)**

besteht aus einem leistungsstarken Laser, einem Spektrometer und einer speziellen Kamera. Diese Gerätekombination ist in der Lage, den Marsboden sowie Felsen und Geröll auf eine Entfernung von bis zu 7 m mit hoher Genauigkeit zu analysieren.

**3. Rover Environmental Monitoring Station (REMS)**

dient allgemein meteorologischen Messungen, wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung, UV-Strahlung, Bodentemperatur, Druck, Temperatur und Feuchtigkeit.

**4. Chemistry & Mineralogy (CheMin)**

ist ein weiteres Spektrometer, welches die gesammelten Bodenproben analysieren soll. Dies geschieht mit Hilfe einer Röntgenquelle, die die Probe bestrahlt und einen CCD-Sensor, der die Zusammensetzung ermittelt.

**5. Sample Analysis at Mars (SAM)**

stellt mittels drei kombinierter Sensorensysteme fest, inwieweit der Mars als Lebensraum geeignet war oder ist. Der Fokus liegt auf der Identifizierung und Analyse organischer Verbindungen und leichten Elementen sowie der Be-

Tabelle 1: Vergleich der Eigenschaften der verschiedenen Marsrover

Eigenschaften	Sojourner	Spirit/Opportunity	Curiosity
Startjahr	1996	2003	2011
Masse (kg)	10,6	174	900
Abmessungen (m)	0,7 x 0,5 x 0,3 (LBH)	1,6 x 2,3 x 1,5 (LBH)	3,1 x 2,7 x 2,1 (LBH)
Energieerzeugung (kWh/Sol)	0,1	0,3-0,9	2,9
Forschungsinstrumente	4	10	Max. Geschwindigkeit (cm/s)
	1	5	4
Datentransfer (MByte/Tag)	3,5	6-25	19-31
Rechenleistung (MIPS)	0,1	20	400
Arbeitsspeicher (MByte)	0,5	128	256

stimmung von Isotopenverhältnissen in der Atmosphäre.

### 6. Radiation Assessment Detector (RAD)

wird zur Messung kosmischer Strahlungen eingesetzt. Der Messbereich ist breit gefächert, so dass die gesamte mögliche Strahlungsdosis, die ein Mensch auf dem Mars aushalten müsste, ermittelt werden kann. Auch für Hypothesen, ob heute noch Leben auf dem Mars möglich ist, werden die Strahlungsergebnisse benötigt.

### 7. Mars Descent Imager (MARDI)

beinhaltet eine hochauflösende Kamera, die während der Abstiegsphase Bilder der Landezone angefertigt hat. Dadurch kann der genaue Landeort bestimmt und die unmittelbare Umgebung mit hoher Genauigkeit vermessen werden.

### 8. Alpha Particle X-ray Spectrometer (APXS)

ist ein Alphapartikel-Röntgenspektrometer, das am Arm des Rovers befestigt ist. Er benötigt einen nahen Kontakt zum Marsboden. Dessen Elemente werden durch abgestrahlte Radioaktivität in einen angeregten Zustand gebracht. Er kann dadurch eine Vielzahl von Elementen identifizieren, die in der Umgebung des Rovers vorhanden sind.

### 9. Mars Hand Lens Imager (MAHLI)

beinhaltet ebenfalls eine hochauflösende Kamera, die am vorderen Ende des Arms angebracht ist. Sie dient als eine Art Mikroskop und ist zur Untersuchung sehr kleiner Strukturen gedacht. Eine maximale Annäherung von 25 mm Abstand kann dadurch ermöglicht werden. Zur Kalibrierung ist u.a. ein Penny aus dem Jahre 1909 an der Vorderseite des Rover-Gehäuses angebracht. Durch zusätzliche LEDs können auch Nachtaufnahmen gemacht werden.

### 10. Dynamic Albedo of Neutrons (DAN)

ermittelt die Verteilung von wasserstoffhaltigen Verbindungen im Marsboden. Dies kann bis zu einer Tiefe von bis zu einem Meter erfolgen. Hierzu wird der Boden mit Neutronen beschossen, um dann das energetische Profil der zurückgestreuten Teilchen zu messen. Auf der Erde wird dieses Verfahren häufig angewandt. Auf dem Mars feiert es nun seine Premiere.

### Weitere Schritte zur Marsforschung

Nachdem Curiosity seine Instrumente und seine Umgebung zum ersten Mal überprüft hat, was einige Wochen andauerte, macht er sich nun auf den Weg zum ersten Ziel und hin-

terlässt dabei deutliche Spuren wie die Abbildung 6 zeigt. Die Primärmission, die jetzt begonnen hat, wird mindestens 687 Erdentage dauern (also ein gesamtes Marsjahr). Zuerst werden dabei Gesteinsproben auf der Tagesordnung liegen, die entweder gesammelt oder durch Bohrungen entnommen werden. Alle aktuellen Ergebnisse werden sofort im Internet veröffentlicht. Dazu sind diverse Webseiten eingerichtet worden [9], aber auch ein Twitter-Dienst wurde in Betrieb genommen. Hier meldet sich der Rover täglich in Ich-Form, um die neusten Erkenntnisse „menschlich“ an die Öffentlichkeit weiterzugeben. Der NASA ist es sehr wichtig, dass diese Mission positiv in der breiten Öffentlichkeit aufgenommen wird, um wieder in Zukunft mehr Rückendeckung für weitere Missionen zu erhalten. Denn die nächsten Kürzungen der USA sind geplant und der früheste Start einer weiteren Raumsonde ist erst im Jahr 2018 vorgesehen.

Da die USA immer mehr an der Raumfahrt spart, kommen jetzt auch andere Nationen zum Zuge. So wird die aufstrebende Wirtschaftsmacht Indien im kommenden Jahr eine eigene Marsmission starten. Nach den Planungen soll die Marssonde im September 2014 die Marsumlaufbahn erreichen. Die geplanten wissenschaftlichen Experimente werden der Erkundung der Oberfläche, des Bodens und der Atmosphäre dienen. Die Mission soll dabei nur 66 Millionen Euro kosten, also ein Bruchteil des aktuellen NASA-Budgets für die Curiosity. [11]

Bis es soweit ist, dass andere Nationen der USA den Rang ablaufen, wird es aber noch ein bisschen dauern. Kooperationen zwischen der NASA und der europäischen Raumfahrtbehörde ESA sind inzwischen Normalität und helfen bei der Einsparung von Kosten, die eine Nation alleine nicht mehr Willens ist zu tragen. Trotzdem werden solche Ereignisse, wie die des Marsrovers Curiosity, seltener werden. Ein Grund mehr sich an den bisherigen Ergebnissen zu erfreuen und die



Abb 5: SAM-Komplex [7]

## Literatur

der nächsten Jahre mit Spannung zu erwarten. Denn es werden noch einige Highlights von Curiosity gesendet werden - so viel ist sicher.

[1] Böhm und Ch. Fröhlich: Mars-Rover Curiosity: das rollende Hightechlabor. *stern.de GmbH*, 5. August 2012, [www.stern.de](http://www.stern.de), Hamburg 2012

[2] Lars Berg und Sabine Schaper: Nasa-Mission: Wie Curiosity zum Mars kam. [ftd.de](http://ftd.de), *FINANCIAL TIMES DEUTSCHLAND*, 06. August, Hamburg 2012

[3] Jet Propulsion Laboratory: Three Generations in Mars Yard, High Viewpoint. [URL: http://marsrovers.jpl.nasa.gov](http://marsrovers.jpl.nasa.gov), *NASA/JPL-Caltech*, 17. Januar 2012, Pasadena (USA) 2012

[4] Fischer, Daniel: Mit sechs Rädern auf dem Mars - der Marsrover Curiosity erreicht den Roten Planeten.

*interstellarum* 83, August/September 2012, *Oculum-Verlag*, Erlangen 2012

[5] Jet Propulsion Laboratory: PIA 16029 - Gale Crater Vista. [URL: http://photojournal.jpl.nasa.gov](http://photojournal.jpl.nasa.gov), *NASA/JPL-Caltech*, 09. August 2012, Pasadena (USA) 2012

[6] Becker, Markus: Roter Planet - „Curiosity“ schickt erstes Farb-Panorama vom Mars. *Spiegel Online*, 10.08.2012, Hamburg 2012

[7] NASA: NASA's Mobile Mars Laboratory Almost Ready for Flight. [URL: http://www.nasa.gov](http://www.nasa.gov), *NASA*, 10. August 2012, USA 2012

[8] Detken, Kai-Oliver: Aufbruch zu den Planeten unseres Sonnensystems: Aktuelles von der Marsforschung.

*Die Himmelspolizey*, Ausgabe 3/10, Heft-Nr. 23, *Vereinszeitschrift der Astro-*

*nomische Vereinigung Lilienthal e.V.*, ISSN 1861-2547, Lilienthal 2010

[9] Jet Propulsion Laboratory: Mars Science Laboratory Curiosity Rover. Homepage des Mars-Rovers, [URL: http://marsprogram.jpl.nasa.gov/msl/](http://marsprogram.jpl.nasa.gov/msl/)

[10] Welt Online: Die Spuren von Curiosity auf dem Weg zu Glenelg. 07. September 2012, *Axel Springer AG*, Berlin 2012

[11] FOCUS Online: Aufstrebende Wirtschaftsmacht plant Marssonde: Indien will mit eigener Weltraummission zum Mars. 15.

August 2012, *FOCUS Magazin Verlag GmbH*, München 2012

Dr. Kai-Oliver Detken

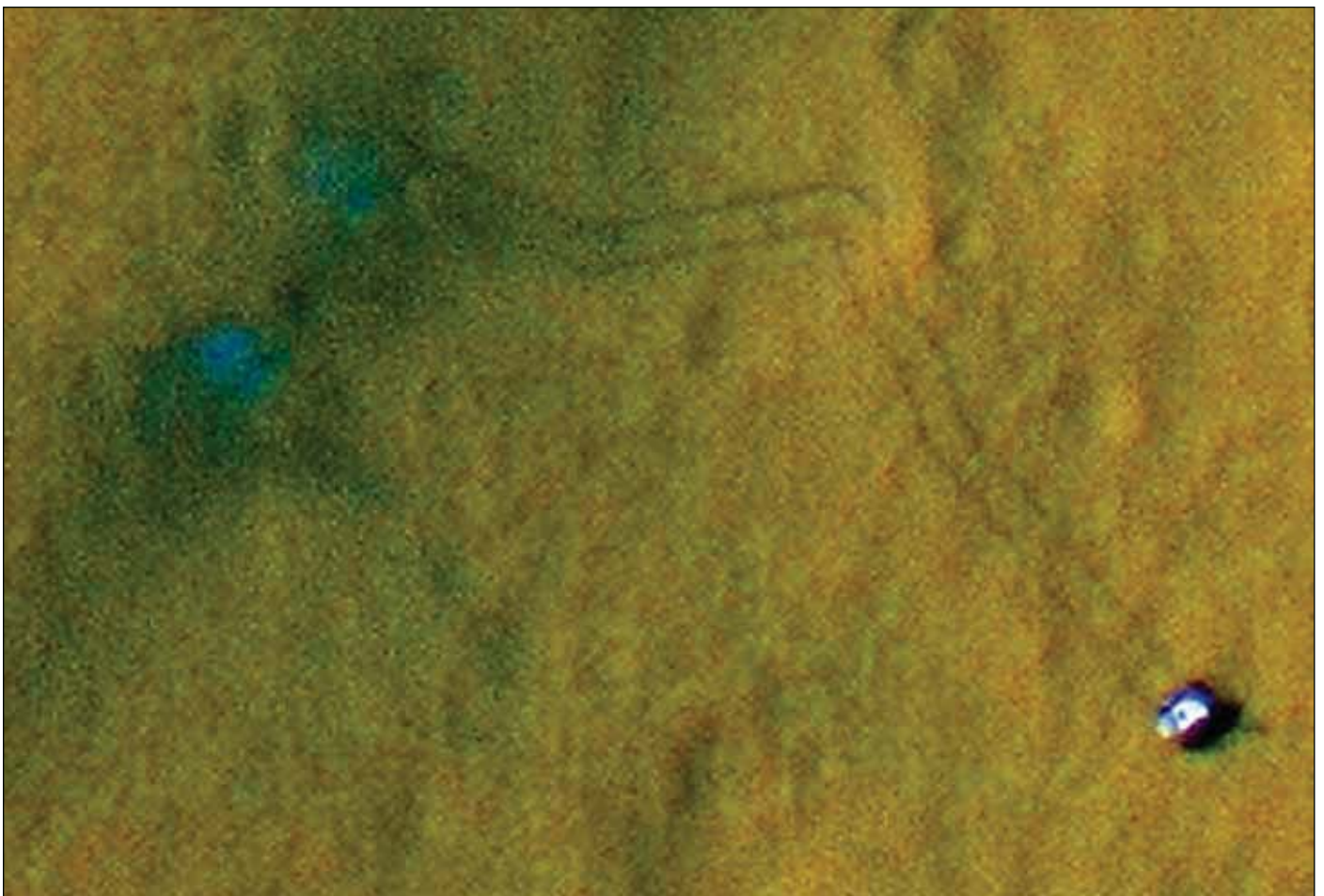


Abb 6: Mars-Rover Curiosity nimmt Fahrt auf [10]