

Hightech für den Mars

Das Spiegelteleskop im Marsrover Curiosity erfordert eine hohe Fokussiergenauigkeit. Dies gewährleistet ein ausgeklügeltes Mikro-Positioniersystem.

Jürgen Gallus

Der Marsrover Curiosity soll die Frage klären, ob es einst Wasser oder sogar Leben auf dem roten Planeten gab. Eines seiner Instrumente, genannt Chemistry & Camera oder kurz ChemCam, soll Gesteinsbrocken fotografisch und spektroskopisch erfassen, bevor diese ausführlicher analysiert werden. Besondere Anforderungen werden dabei an das Spiegelteleskop gestellt, dessen Sekundärspiegel sich mit einer Genauigkeit von wenigen Mikrometern positionieren lässt.

Am Morgen des 6. August verfolgten viele Menschen weltweit live, wie sich die Freude im Kontrollzentrum des NASA Jet Propulsion Laboratory in Pasadena sowie in anderen Weltraumforschungszentren weltweit überschlug. „Touchdown confirmed“ war die nüchterne Meldung, die das weiche Aufsetzen der Forschungssonde „Curiosity“ auf der Marsoberfläche um 7:31 h MEZ bestätigte. Dieser Erfolgsmeldung vorausgegangen waren der Start der Sonde an Bord einer Atlas V-Trägerrakete am 26. November 2011, ein achtmonatiger Flug durchs All und ein spektakuläres Abbremsmanöver bei der Ankunft auf dem roten Planeten. Ein Fallschirm, mehrere Bremsdüsen sowie ein Abseilmechanismus, genannt Himmelskran, kamen nacheinander zum Einsatz, um den Rover von der siebzehnfachen Schallgeschwindigkeit auf Null abzubremsen. Diese sanfte Landung war wichtig, da der sechsrädrige Marsroboter hochempfindliche Forschungsgeräte und Messinstrumente mit sich führt.

Der Rover Curiosity (Abb. 1) verfügt über zehn wissenschaftliche

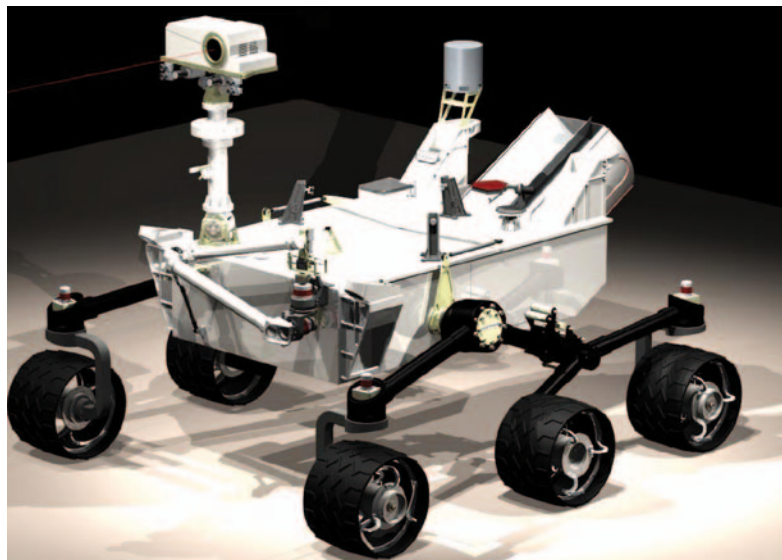


Abb. 1 Der Rover Curiosity verfügt über zehn wissenschaftliche Instrumente.

Instrumente, angefangen bei optischen Kameras bis hin zu einem kompletten Mini-Labor, in welchem sich Bodenproben chemisch aufbereiten und gaschromatographisch sowie massenspektrometrisch analysieren lassen. Ziel der Mission ist es, über Bodenanalysen die Klimageschichte des Mars zu erforschen und damit die Frage zu klären, ob es einst Wasser und damit verbundenes Leben auf dem roten Planeten gab oder noch gibt.

Einer dieser zehn Instrumentenkomplexe wurde vom Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) in Toulouse entwickelt und nennt sich Chemistry & Camera (kurz ChemCam). Ein leistungsstarker Laser in Kombination mit einem optischen Spektrometer bilden den einen (Chem), eine optische Spezialkamera den anderen Teil (Cam) dieses Aufbaus, der die Lage und Beschaffenheit von Gesteinsbrocken in Distanzen bis zu sieben Metern zum Rover fotografisch bzw. spektroskopisch erfassen kann. Dadurch sollen Bodenproben lokalisiert und

auf ihre Eignung zur weiteren, ausführlichen Analyse ausgesucht werden. Um eine hohe Flexibilität zu erreichen, sind Laser und Kamera auf dem Mast des Rovers untergebracht (Abb. 2). Die Kamera nimmt dabei den Ort der Untersuchung mit hoher räumlicher Genauigkeit auf, der Laser erhitzt das Gestein. Das vom so erzeugten Plasma emittierte Licht wird spektroskopisch untersucht (Laser Induced Breakdown Spectroscopy, LIBS).

Ein wichtiger Bestandteil dieses Komplexes bildet ein kompaktes Schmidt-Cassegrain-Spiegelteleskop (Abb. 3), das ebenfalls im Mastaufbau integriert ist. Ihm kommt eine Dreifachfunktion zu: Erstens wird der Laser auf sein Zielobjekt fokussiert, zweitens wird das Licht des vom Laser erzeugten Plasmas gesammelt und über eine Glasfaser zum Spektrometer geleitet, und drittens dient es quasi als Objektiv für die Kamera. Dabei muss das Teleskop sehr hohe Ansprüche erfüllen: Zur Erzeugung des Plasmas ist eine hohe Leis-

Dr. Jürgen Gallus,
PI miCos GmbH, Frei-
burger Straße 30,
79427 Eschbach

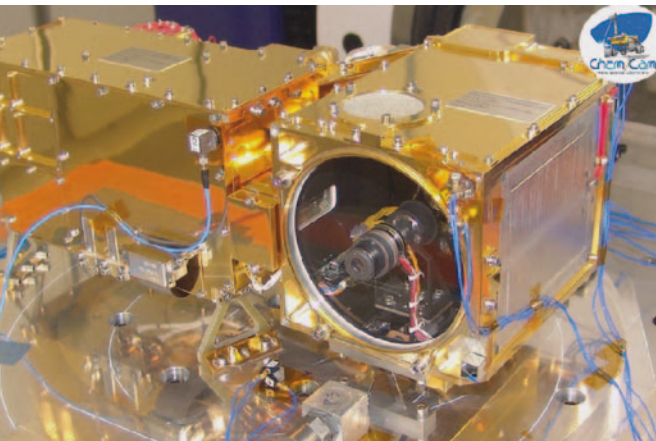


Abb. 2 Das Instrument ChemCam befindet sich auf dem Mast des Rovers.

tungsdichte erforderlich, und das in einem kleinen Punkt erzeugte Plasmalicht muss auf eine 300 μm -Faser abgebildet werden. Ferner muss bei einer Schärfentiefe von nur 20 cm auf 10 m und einer Auflösung von 0,1 Milliradian das Kameraobjektiv exakt eingestellt sein. Dies erfordert unter dem Strich eine Fokussiergenauigkeit von einem Prozent.

Um diese Genauigkeit zu erreichen, kommt folgender Autofokus-Mechanismus zum Einsatz: der Primärspiegel des Teleskops bleibt fix, der Sekundärspiegel ist auf einem Mikro-Positioniertisch montiert und lässt sich somit in Richtung der optischen Achse verschieben. Der Tisch soll sowohl möglichst kleine Abmessungen und eine kleine Masse als auch eine hohe Genauigkeit und einen möglichst langen Verfahrensweg aufweisen. Zudem muss er bei Temperaturen zwischen $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ funktionsfähig sein und im Vakuum möglichst wenig ausgasen. Diese Anforderungen in einem Tisch zu vereinigen ist anspruchsvoll und wurde zuvor noch nie in einem weltraumtauglichen System realisiert.

Aus alt mach neu

Der zeitlich und finanziell gesteckte Rahmen des Projekts ließ keine Neuentwicklung eines Verschiebelements zu. Daher entschied sich CNES für den Standardtisch MT-40 der Firma PI miCos (ehemals miCos), der in Zusammenarbeit

mit PI miCos auf Weltraumtauglichkeit aufgerüstet wurde (Abb. 4). Mit seinen knapp 300 g und Abmessungen, die nur wenig über denen einer Zigarettenpackung liegen, passt der MT-40 ideal in das Teleskop. Er lässt einen Verschiebeweg von bis zu 15 mm zu und fährt die gewünschten Positionen mit einer Genauigkeit von unter 5 μm an (ohne Messsystem). Mit diesen Parametern werden sowohl die geforderte Genauigkeit als auch der Fokussierbereich des Teleskops zumindest bei Standardbedingungen erreicht. Seine Stromaufnahme von unter 150 mA im Betrieb macht nur einen geringen Anteil der Energiebilanz des Gesamtsystems aus. Zudem ist dieser Positioniertisch auch in einer vakuumtauglichen Variante erhältlich. Allerdings war der MT-40 zum damaligen Zeitpunkt noch nicht in einem weiten Temperaturbereich erprobt, und zu äußeren mechanischen Beanspruchungen, wie starken Vibrationen oder Erschütterungen, lagen auch keine ausreichenden Erkenntnisse vor. Aus diesen Gründen führte CNES mit verschiedenen Ausführungen des MT-40 zahlreiche Tests durch.

Der Mikro-Positioniertisch hat bei Standardbedingungen allen Ansprüchen für das Positionieren der Optik genügt. Insbesondere die Linearität sowie die Rotations- und Translationsfehler des Schlittens senkrecht zur Vorschubrichtung lagen gut in den tolerierbaren

Grenzen. Ferner wurden Tests im ausgedehnten Temperaturbereich zwischen $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ gefahren. Naturgemäß bewegen sich bei größeren thermischen Veränderungen die mechanischen Toleranzen in einem weiten Rahmen, was sich hier insbesondere nachteilig auf die Linearität des Tisches auswirkte. Konkret führte die unterschiedliche thermische Ausdehnung der Edelstahlführungen im Vergleich zum Aluminiumgehäuse des Tisches zu einem vergrößerten Abstand der Führungselemente zueinander. Hier hat CNES zusammen mit miCos eine Kombination von Bauelementen aus verschiedenen Materialien erarbeitet. Der Abstand der Führungen ließ sich dadurch auf einen optimalen, d. h. spielarmen und zugleich stromsparenden Lauf einstellen. Somit reduzierten sich die temperaturabhängigen Fehler auf ein Minimum. Um dennoch unabhängig von sich über die Dauer einschleichenden Fehlern zu sein, wurde ein Algorithmus für den Fokussiermechanismus entwickelt, der aus einer Reihe relativer Schritte besteht, also unabhängig von absoluten Markierungen ist, und nur durch den optimalen Fokus am gewünschten Zielpunkt bedingt wird. Insgesamt war damit eine Genauigkeit möglich, die in beinahe 98 Prozent der durchgeführten Positioniertests die geforderten 5 μm erreichte. 87 Prozent der Tests waren sogar mit weniger als 1,25 μm fehlerbehaftet.

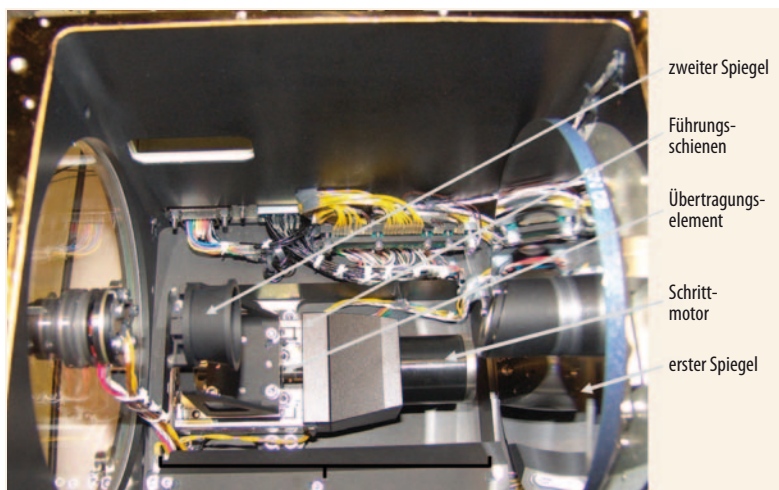


Abb. 3 Das kompakte Schmidt-Cassegrain-Spiegelteleskop muss sehr hohe Ansprüche erfüllen.

Eine weitere Optimierung des Tisches wurde an den Endanschlägen der Rollenkäfige vorgenommen. Bei größeren Abständen der Führungen, hervorgerufen durch beispielsweise extreme Temperaturen, können sich die Rollenkäfige so weit an das Ende der Führungen schieben, dass speziell bei starken Vibrationen die Gefahr des Herauslösens einzelner Rollen besteht. Um dies zu verhindern, hat miCos an die Enden der Führungen individuelle Anschläge angebracht.

Zur Untersuchung des Langzeitverhaltens des MT-40 fanden beinahe 30 000 Autofokus-Zyklen statt, was bei einer erwarteten Zahl von etwa zwölf Zyklen pro Tag einer Betriebsdauer von über sechs Jahren entspricht. Hierbei wurde das Lastmoment bei verschiedenen Temperaturen verfolgt. Zu Beginn des Tests nahm das Lastmoment bei fallenden Temperaturen stark zu. Dieses Verhalten war zum Testende hin ausgeglichener, was zum

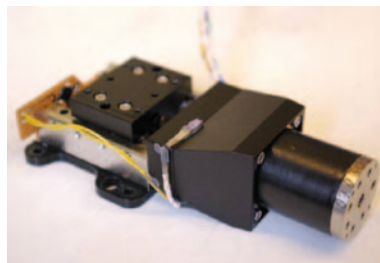


Abb. 4 In dem Teleskop kam ein Positioniertisch MT-40 zum Einsatz.

einen auf das Einfahren des Tisches zurückgeht und zum anderen auf den entstandenen Abrieb des Spindel/Mutter-Systems. Im Schnitt betrachtet blieb das Lastmoment annähernd konstant. Ferner gab es keinen einzigen Ausfall der Positioniereinheit über den Langzeittest.

Mittlerweile hat „Curiosity“ den ersten Lasertest erfolgreich durchgeführt. Wir sind zuversichtlich, dass viele weitere Untersuchungen folgen. Gegen Ende dieses Jahres, wenn weitere Testergebnisse vorliegen, wird PI miCos einen Workshop zum Thema Positionierung

unter Extrembedingungen und Vakuum durchführen.⁺⁾

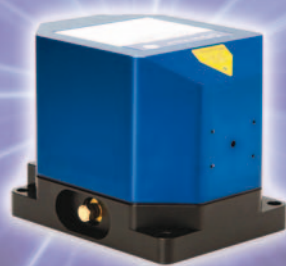
Schließlich sei an dieser Stelle die sehr gute Zusammenarbeit mit dem Team des CNES erwähnt, was unseres Erachtens ein wichtiger Baustein zum Erfolg des Projektes war.

Best of

+) Nähere Informationen erhalten Sie auf unserer Homepage www.pimicos.com.

Der neue Vortex™ Plus von New Focus

Jetzt im blauen Wellenlängenbereich

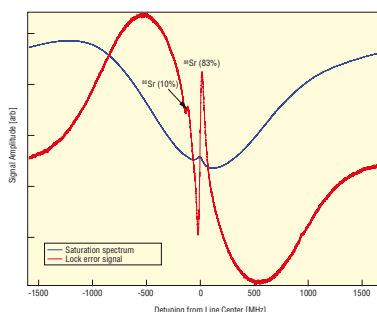


New Focus.
Simply Better™ Photonics Solutions

Newport Spectra-Physics GmbH
Guerickeweg 7 – 64291 Darmstadt – Germany
Telefon: +49 (0) 61 51 / 708 – 0 • Telefax: +49 (0) 61 51 / 708 – 217 oder – 950
E-Mail: germany@newport.com

Die präzise durchstimmbaren Diodenlaser von New Focus gibt es jetzt auch im blauen Wellenlängenbereich. Der Vortex Plus verbindet hohe Leistung mit bewährter Zuverlässigkeit, modensprung-freier Durchstimmbarkeit und schmaler Bandbreite. Außerdem ermöglicht ein SMA-Anschluss eine direkte Modulation des Diodenstroms mit hohen Frequenzen.

Der neue Vortex Plus von New Focus - eine leistungsstarke Alternative zu kostenintensiven und komplexen SHG-Systemen. Für weitere Informationen besuchen Sie unsere Webpage: www.newport.com/vortexplus oder rufen Sie uns an unter **06151 708 – 0**.



◀ Sättigungsspektroskopie von Strontium mit einem Vortex Plus Laser von New Focus. Die Daten sind von AOSense (Sunnyvale, CA) zur Verfügung gestellt.

[V] New Focus™
Eine Marke der Newport Corporation

© 2012 Newport Corporation.