

# Mobilität in der Teilautonomen Exploration und Manipulation

Visionen für (teil-) autonome Systeme auf Ihrem Weg ins All

Prof. Dr.-Ing Gerd Hirzinger  
Institut für Robotik und Mechatronik

## Abstract

In diesem Bericht werden die Aktivitäten am Institut für Robotik und Mechatronik des DLR am Standort Oberpfaffenhofen dargestellt, mit denen auch Grundlagen für eine roboterunterstützte Besiedelung von Mond und Mars und anderen Himmelskörpern gelegt werden. Die Kompetenzen des Instituts liegen dabei auf der Entwicklung und Qualifizierung von mechatronischen Komponenten, den Methoden zur Teleoperation von robotischen Systemen und Konzepten und Methoden zum teilautonomen Einsatz von Roboterarmen und mobilen Systemen in der Exploration und Manipulation. Insbesondere Aufbaumissionen auf Planeten erfordern neben der Exploration das Wissen über Teleoperation, Manipulation, d.h. physische Interaktion mit der Umgebung.

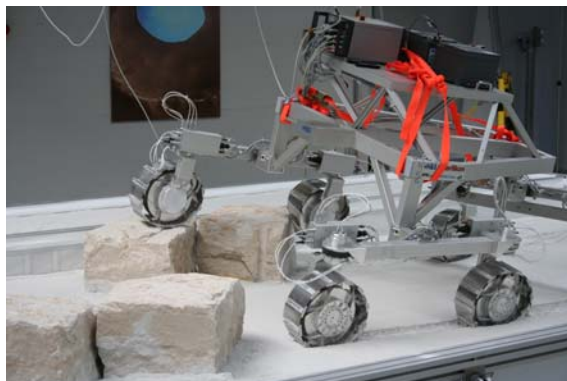


Abb. 1: EXOMARS Rover [Quelle: Oerlikon]

In der aktuellen ESA Mission **EXOMARS**, welche zum Ziel hat 2016 einen Orbiter mit Lander zum Mars zu fliegen, arbeitet das Institut intensiv mit einem Europäischen Konsortium zusammen. Innerhalb dieser Mission wird mittels eines Landmoduls ein Rover (vg. Abb. 1) auf der Planetenoberfläche u.a. zur Entnahme von Bodenproben abgesetzt wird.

In diesem Rahmen werden gemeinsame Aktivitäten mit der Französischen Raumfahrtagentur CNES auf dem Gebiet der autonomen Navigation und Manipulation durchgeführt. Ein erster Schritt war hier die Untersuchung eines laserbasierten Lichtschnittsensor, der Hindernisse im Bereich der

Räder detektieren und Ausweichstrategien vorschlagen soll. Dieses HazCam System wurde auch im Feldeinsatz im SEROM Testbed in Toulouse evaluiert.

Die Rekonstruktionsalgorithmen zur Erzeugung von 3D Umgebungsmodellen sowie die Methoden zur Selbstlokalisierung in unbekannter Umgebung sind notwendige Basiskomponenten für ein autonom navigierendes und operierendes Robotersystem.

Diese Verfahren erlauben es unseren Robotern in Echtzeit eine Repräsentation der Umgebung zu erstellen und aus diesen Modellen Objekte zu extrahieren, eine sichere Pfadplanung zu extrahieren (vgl. Abb. 2) und sich ohne a priori Wissen selbst zu lokalisieren.

Dynamische Simulationen der Fahr- und Bewegungsvorgänge dieser Roboter geben Aufschluss über mögliches Verhalten und dienen gleichzeitig den Regelungstechnikern als Echtzeitmodell der Kinematik. Die aufwendigen Simulationen im EXOMARS Projekt sollen insbesondere den Rad-Boden-Kontakt des Rovers auf der Marsoberfläche simulieren um ein Abschätzung über geplante Pfade vorab zu treffen, die dem teilautonomen Navigationsmodul die Parameter für die Bewertung der Navigierbarkeit geben (siehe Terrainklassifikation in Abb. 2).

Zur Verifikation der durch die Simulation gewonnen Parameter wurde Testbed von ca. 6mx10m im Labor entwickelt. Ausgestattet ist es mit einem externen Trackingsystem zur exakten Aufzeichnung der

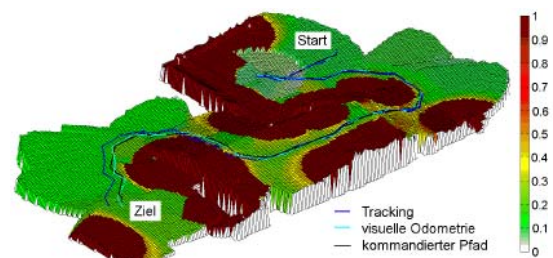


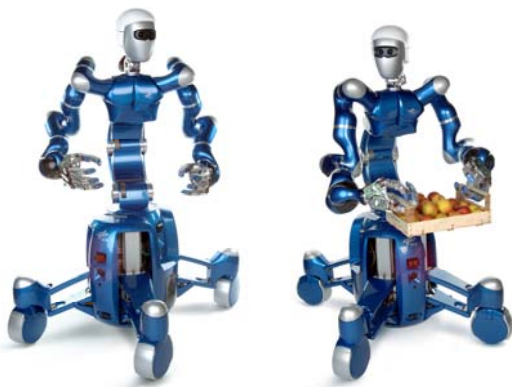
Abb. 2: Autonome Navigation mit 3D Kartengenerierung und Selbstlokalisierung in a priori unbekannter Umgebung. Die Umgebung wird auf Basis der mit Stereomethoden erstellten Karte auf Navigierbarkeit evaluiert.

Rovertrajektorien und zusätzlichen Kameras zur Erstellung eines digitalen Höhenmodells der Umgebung, d.h. der Planetenoberfläche. Mit diesem Testbed können Simulationen gegenüber realen Roboterverhalten in jedweder Umgebung von sandigem Untergrund über steinige Klippen verifiziert werden (siehe Vergleich der Trajektorien in Abb. 2). Auch wurde das Testmodell des EXOMARS Rovers mit Robodrive-Motoren aufgebaut.

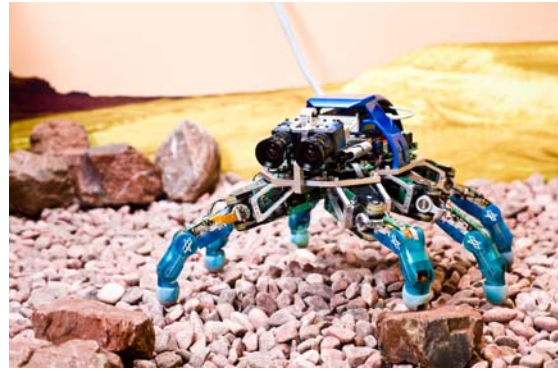
Weitere Arbeiten im Bereich **Mobile Systeme** beschäftigen sich mit mobilen Plattformen sowie mehrbeinigen Laufrobotern, wie dem sechsbeinigen Krabbler (siehe Abb. 2) oder dem mobilen Roboter Rollin' Justin (siehe Abb. 3). Diese Versuchsträger können sowohl autonom wie auch teleoperiert betrieben werden, und stellen somit eine wesentliche Komponente in der Vorbereitung von planetaren Baupmissionen, die im Gegensatz zu vorherigen Missionen Manipulation, d.h. Interaktion mit der Umgebung erfordern.

Auf Basis des mobilen Roboters "Rollin' Justin" kann der zukünftige Einsatz von Robotern zur Unterstützung von Astronauten im Weltraum, bei dem die Beherrschung von komplexen Manipulationsaufgaben erforderlich ist, vorbereitet werden.

Daher beschäftigt sich das Institut intensiv mit der Entwicklung von robusten Regelungsstrategien und intelligenten Handlungsplanungen für die beidhändige Manipulation. Der mobile Justin mit seinen beiden nachgiebig regelbaren Leichtbauroboterarmen und den beiden Vier-Fingerhänden stellt für diese Forschungen eine ideale Experimentierplattform dar. Die mobile Plattform ermöglicht den weiträumigen, autonomen Betrieb des Systems. Die ein- und ausfahrbaren gefederten Räder sind speziell auf die Anforderungen des Oberkörpers angepasst. PMD-



**Abb. 3:** „Rollin' Justin“ – ein mobiler Roboter als Experimentalträger zur beidhändigen Manipulation und autonomen Exploration zur Vorbereitung von planetaren Aufbaumissionen.



**Abb. 4:** Der „Krabbler“ - ein sechsbeiniger Roboter zur Erkundung von planetaren Oberflächen, der mittels Stereobildverarbeitung navigiert und exploriert.

Sensoren und Kameras erfassen die Roboterumgebung in 3-D und erlauben Justin so, selbstständig vorgegebene Aufgaben zu erfüllen.

Der DLR-Krabler ist ein sechsbeiniger **Laufroboter**, der auf Basis der Finger der DLR-Hand II entwickelt wurde. Er dient als Testplattform für die Entwicklung und Beurteilung verschiedener Lauf- und Regelungsstrategien sowie als Vorstufe zukünftiger laufender Explorationsroboter. Die Finger der DLR-Hand sind auf Grund ihrer Modularität sowie der Ausstattung mit Gelenk-Moment-Sensoren und Kraft-Momenten Sensoren mit sechs Freiheitsgraden in den Fingerspitzen sehr gut für diesen ersten Prototyp geeignet. Die umfangreiche Sensorik gestattet den Einsatz von kartesischen Impedanzreglern und Gelenkreglern mit aktiver Nachgiebigkeit.

In dem Projekt **DEXHAND** entwickelt das Institut im Direktauftrag eine weltraum-qualifizierbare Vier-Finger Hand, angelehnt an das Wissen aus der langjährigen Entwicklung von Händen am DLR.

Das Ziel von **ROKVISS** ist die Verifikation mechatronischer Leichtbau-Robotergerätenheiten (dargestellt in Abb. 5) für den Einsatz im On-Orbit Servicing (OOS). Zudem wird weltweit zum ersten Mal ein haptisch-visueller Telepräsenz-Betrieb auf der Basis einer direkten Funkverbindung zwischen der Raumstation und der Bodenstation durchgeführt und für das OOS qualifiziert. Der Roboter im Weltraum empfängt seine Bewegungskommandos vom Bediener am Boden. Ein kraftreflektierender DLR-Joystick dient dem Operateur als haptisches Eingabegerät. Die Kontaktkräfte, die während der Interaktion des Roboters mit seiner Umgebung auftreten, werden auf den Joystick am Boden übertragen. Gleichzeitig werden auch die Bilder der Stereo-Kamera an der Bodenstation dargestellt, der Bediener beobachtet und spürt die Interaktion.



**Abb. 5:** ROKVISS Arm auf der ISS [Quelle: NASA]

ROKVISS befinden sich seit 2004 auf der ISS und präsentiert eindrucksvoll die Leistungsfähigkeit der DLR Antriebsysteme und Steuerungskonzepte.

Die Beteiligung an der **MarsExpress** Mission, d.h. die Anwendung der High Resolution Stereo Camera (HRSC) zur Erstellung von 3D-Geländemodellen stellt eine weitere wichtige Komponente in der Vorbereitung von planetaren Missionen dar. Die Prozessierung der Daten in 3-D-Modelle wird am Standort Oberpfaffenhofen durchgeführt. Ähnliche mit Kameras aus dem Berliner Institutsteil ausgestattete Orbiter könnten zukünftige Missionen auf Mond, Mars usw. begleiten und mit genauen Geländemodellen mobile Systeme auf der Oberfläche unterstützen.

Zusammenfassend lässt sich darstellen, dass das Institut in seiner Strategie in der Weltraumforschung zum einen die mechatronischen Komponenten und Plattformen inklusive der Orbiter entwickelt und qualifiziert. Diese Systeme werden dann mit Hilfe von Methoden entsprechend der Anwendung für den autonomen Betrieb vorbereitet. Der Telepräsenzbetrieb und dessen Beherrschung bei Totzeiten spielt dabei eine wichtige Rolle. Die Erarbeitung von terrestrischen Konzepten und deren Erprobung und anschließende Portierung in weltraum-taugliche Module spielt dabei eine ebenso große Rolle wie der Transfer von Weltraum Know-How in Industrieapplikationen.