



# NATIONALE KONFERENZ ZUR RAUMFAHRT-ROBOTIK 2012

Raumfahrt-Robotik – Motor modernster  
Technologie-Entwicklungen



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie



DLR

# Raumfahrt-Robotik – Motor modernster Technologie-Entwicklungen



Bundesminister Dr. Philipp Rösler

## Schirmherrschaft

Die Robotik ist eine Schlüsseltechnologie, die Weltraum-Missionen in Zukunft risikoärmer, nachhaltiger und kosteneffizienter macht. Mit der Übernahme der Schirmherrschaft unterstreicht der Bundesminister Dr. Philipp Rösler den hohen Stellenwert, den die Bundesregierung der Robotik für die moderne Raumfahrt und für die Entwicklung des Wirtschaftsstandorts Deutschland beimisst.

## Ziel der Konferenz

Raumfahrt-Robotik ist ein Schwerpunkt im Nationalen Programm für Weltraum und Innovation. In ihrer im November 2010 verabschiedeten Raumfahrtstrategie hebt die Bundesregierung die Bedeutung von Automation und Robotik für die Zukunft der Raumfahrt, aber auch für Innovationsimpulse zu vielfältigen Anwendungen auf der Erde hervor.

Die Fachtagung soll das seit 2009 auf diesem Gebiet Erreichte vor dem Hintergrund der raumfahrtpolitischen Ziele der Bundesregierung reflektieren und die aktuelle programmatische Planung des DLR Raumfahrtmanagements vorstellen. Ziel ist es, mit den Teilnehmern die Fortführung, künftige Ausrichtung und Ziele sowie das Transferpotenzial der Raumfahrt-Robotik zu diskutieren.

## Programm

Raumfahrt-Robotik ist interdisziplinär angelegt. Sie vernetzt Technologieentwicklungen aus den Gebieten der Materialwissenschaften, der Informations- und Kommunikationstechnologie, der Sensorik und der Mechatronik. So werden technische Lösungen geschaffen, die auch extremen Systemanforderungen genügen. Damit ist Raumfahrt-Robotik auch ein erstklassiges Fundament für Innovationen, die auch auf der Erde Technologie-sprünge etwa in der industriellen Produktion, der Exploration von Bodenschätzen, im Bereich von Sicherheitsanwendungen oder der Medizintechnik möglich machen.

Hochrangige Vertreter der deutschen Wissenschaft und Industrie aus der Raumfahrt, aber auch dem Nicht-Raumfahrtbereich werden ihre Projekte und Ideen vorstellen. Unter anderem wird Prof. Dr. Hirzinger, Direktor des DLR-Instituts für Robotik und

Mechatronik in Oberpfaffenhofen, zu Beginn des Konferenzdiners des ersten Tages in seinem Eröffnungsvortrag einen Überblick über 25 Jahre Raumfahrt-Robotik in Deutschland geben. Auf der Konferenz bietet sich ausreichend Gelegenheit zum Gedanken- und Ideenaustausch, zu neuen Kontakten und möglicherweise zu Kooperationsgesprächen.

Begleitet wird die Konferenz von einer fünfwöchigen Sonderausstellung im Deutschen Museum Bonn, in der aktuelle Arbeiten, Forschungsergebnisse und Produkte aus der Raumfahrt-Robotik präsentiert werden.

# Konferenz-Programm

## 6. März 2012

<b>ab 9:30</b>	<b>Registrierung</b>
<b>10:00</b>	<b>Eröffnung</b>
10:05	<b>Begrüßung</b> Bundesminister für Wirtschaft und Technologie Dr. Philipp Rösler
10:15	<b>Die Bedeutung des Förderprogramms Raumfahrt-Robotik für den Hightech-Standort Deutschland</b> Dr. Gerd Gruppe, Vorstand Raumfahrtmanagement, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
10:25	<b>Raumfahrt-Robotik – wichtiger Technologieschwerpunkt im DLR</b> Prof. Dr. Johann-Dietrich Wörner, Vorstandsvorsitzender Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
10:35	<b>Bundesminister Dr. Philipp Rösler eröffnet (virtuell) die Ausstellung „Roboter – unsere Wegbereiter ins Weltall“ im Deutschen Museum Bonn via Telepräsenz</b>
10:50	Kaffeepause und Postersession – Gelegenheit zum fachlichen Austausch
<b>11:30</b>	<b>Präsentation von Ergebnissen des Fachprogramms Raumfahrt-Robotik im DLR Raumfahrtmanagement</b>
11:30	<b>Robotik-Kompetenz in Deutschland</b> Prof. Dr. Alexander Verl, Direktor des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
	<b>Fachvorträge Orbitales Servicing</b>
11:45	<b>Die DEOS-Mission – Leistungsdemonstration der Raumfahrt-Robotik in Deutschland</b> Detlef Reintsema, DLR Raumfahrtmanagement Klaus Landzettell, Institut für Robotik und Mechatronik (DLR)
12:15	<b>Intelligentes Baukastenkonzept für das On-Orbit-Satelliten-Servicing</b> Jana Weise, TU Berlin
12:30	<b>Optische Sensoren für On-Orbit-Servicing und Weltraumrobotik</b> Dr. Klaus Michel, Jena-Optronik GmbH
12:45	<b>KARS und KontiPlan – Controller und Planer für autonome Raumfahrtsysteme</b> Hans-Jürgen Herpel, Astrium Satellites GmbH
13:00 – 14:15	Mittagspause

<b>14:15 – 15:30</b>	<b>Fachvorträge Exploration</b>
14:15	<b>Mobile Roboter auf Planeten</b> Sebastian Bartsch, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)
14:30	<b>Robotergestützte Planetenexploration: Semantische Umweltmodellierung und VisualGPS</b> Oliver Stern, Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e.V.
14:45	<b>Erfassung und Verarbeitung der Bodeninteraktion für komplexe mobile Explorationssysteme</b> Jakob Schwendner, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)
15:00	<b>Technologien zur weichen und präzisen Landung auf planetaren Oberflächen</b> Robert Buchwald, Astrium Space Transportation GmbH
15:15	<b>Robotische Planetare Exploration im RMC des DLR</b> Dr. Bernd Schäfer, Institut für Robotik und Mechatronik (DLR)
<b>15:30 – 16:30</b>	<b>Fachvorträge Test- und Betriebseinrichtungen</b>
15:30	<b>Missionskontrollkonzepte für Weltraumrobotik</b> Dr. Markus Plura, SCISYS Deutschland GmbH
15:45	<b>PRISMA – Flugbetrieb durch das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum</b> Ralf Faller, German Space Operation Center (GSOC)
16:00	<b>Virtual Crater – Entwicklung einer virtuellen Simulations- und Demonstrationsumgebung zur planetarischen Exploration mit Fokus auf extraterrestrische Krater</b> Dr. Jan Paul, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)
16:15	<b>INVERITAS – Technologien für zukünftige Robotikmissionen</b> Dr. Bernd Mädiger, Astrium Space Transportation GmbH
16:30 – 17:00	Kaffeepause und Postersession – Gelegenheit zum fachlichen Austausch
<b>17:00 – 18:30</b>	<b>Fachvorträge Technologietransfer</b>
17:00	<b>Das Virtual Space Robotics Testbed: Kristallisationspunkt für den Technologietransfer</b> Dr. Michael Schluse, Institut für Mensch-Maschine-Interaktion (RWTH Aachen)
17:15	<b>Von der Raumfahrt-Robotik zur irdischen Anwendung</b> Ingo Scholz, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)
17:30	<b>Radar-Vision für die Raumfahrt-Robotik</b> Prof. Dr. Viktor Krozer, Goethe Universität Frankfurt
17:45	<b>Multi-Core-Prozessoren für Robotik-Anwendungen in der Raumfahrt</b> Friedrich Schön, Fraunhofer-Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik (FIRST)
18:00	<b>Zusammenfassung und Ausblick auf Tag zwei der Konferenz</b> Ralf Dittmann, DLR Raumfahrtmanagement
19:00	<b>Konferenz-Dinner</b> Festrede „25 Jahre Raumfahrt-Robotik in Deutschland“ Prof. Dr. Gerd Hirzinger, Direktor des Instituts für Robotik und Mechatronik (DLR)

# Konferenz-Programm

## 7. März 2012

<b>10:00 – 15:10</b>	<b>Tag zwei</b>
<b>10:00</b>	<b>Eröffnung</b>
10:00	<b>Begrüßung</b> Peter Hintze, Parlamentarischer Staatssekretär beim Bundesminister für Wirtschaft und Technologie und Koordinator der Bundesregierung für Luft- und Raumfahrt
10:10	<b>The Canadian View on Space Robotics</b> , Jean-Claude Piedboeuf, B.Ing., Ph.D., Director, Space Exploration Development, Canadian Space Agency CSA
<b>10:30</b>	<b>Perspektiven/Empfehlungen zu Entwicklung, Qualifikation und Demonstration</b>
10:30	<b>Transferpotenzial der Raumfahrt-Robotik: Von der Hardware zu eRobotics</b> Prof. Dr. Jürgen Roßmann, Institut für Mensch-Maschine-Interaktion (RWTH Aachen) und Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e.V.
10:50	<b>Technologie-Entwicklungen und Transfer-Effekte</b> Prof. Dr. Gerd Hirzinger, Institut für Robotik und Mechatronik (DLR)
11:10	<b>Robotische Exploration des Sonnensystems</b> Prof. Dr. Frank Kirchner, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) und Universität Bremen
11:20	<b>Bodensegment für Robotische Missionen</b> Prof. Dr. Felix Huber, German Space Operations Center (GSOC)
12:00 – 13:30	Mittagspause und Postersession – Gelegenheit zum fachlichen Austausch
<b>13:30</b>	<b>Podiumsdiskussion</b> Raumfahrt-Robotik – Innovationstreiber für Raumfahrt und Anwendungen auf der Erde Vertreter aus Forschung, Industrie, BMWi und DLR Raumfahrtmanagement, Moderation und einführende Statements durch den Moderator Claus Kruesken
	Forschung: Prof. Dr. Hansjörg Dittus, DLR Prof. Dr. Klaus Brieb (TU Berlin)
	Industrie: Dr. Johannes von Thadden, Astrium Satellites GmbH Klaus-Jürgen Breikopf (Kayser-Threde GmbH)
	Bundesregierung: MR Franz Burger, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
	DLR-RFM: Christoph Hohage (DLR Raumfahrtmanagement)
	Technologietransfer: Dr. Frank-Dietmar Richter, ehem. Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen
14:30	<b>Ziele/Meilensteine im Zeitraum bis zur nächsten Robotik-Konferenz</b> Dr. Gerd Gruppe, Vorstand Raumfahrtmanagement Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
15:00	<b>Abschluss der Konferenz und Verabschiedung</b> Dr. Sven Halldorn, Abteilungsleiter Technologiepolitik Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

**Moderation:** Claus Kruesken,  
Bayerischer  
Rundfunk

**Aula:** Vorträge und  
Podiumsdiskussionen

**Vestibül:** Erfrischungen  
und Kaffee in den  
Pausen und  
Mittagsimbisse

**Konferenzraum 1:** Pressebriefing

**Fax- und PC-Raum:** Konferenz-  
sekretariat

Die Konferenz wird ausgerichtet vom Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

# Referenten der zweiten nationalen Konferenz zur Raumfahrt-Robotik 2012



**Prof. Dr. Alexander Verl**  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, IPA

## Robotik-Kompetenz in Deutschland – was uns heute bewegt und morgen erwartet

Der Vortrag behandelt die technologischen Herausforderungen, die für die Robotik aus den Megatrends unserer Zeit resultieren. Es wird aufgezeigt, welche neuen technologischen Lösungen in den verschiedenen Branchen durch die Robotik möglich werden. Die Märkte für Industrierobotik sowie die gewerbliche und private Servicerobotik werden beleuchtet. An Beispielen wird herausgearbeitet, welche Rolle bei der Entwicklung dieser Märkte Forschungseinrichtungen wie Fraunhofer und DLR spielen können.

**Detlef Reintsema, DLR Raumfahrtmanagement,**  
**Klaus Landzettel, DLR-Institut für Robotik und Mechatronik**

## Die DEOS Mission – Leistungsdemonstration der Raumfahrtrobotik in Deutschland

Seit dem Start des Sputnik am 4. Oktober 1957 ist die Anzahl von Satelliten in den Erdumlaufbahnen stetig gestiegen. Satelliten sind mittlerweile technologisch hochkomplexe Systeme, bei denen es, trotz hoher Qualitätsanforderungen, während des Betriebs jederzeit zu Problemen oder Systemausfällen kommen kann. Eine manuelle Reparatur oder Instandsetzung, wie bei technischen Systemen auf der Erde üblich, ist derzeit die Ausnahme, da die Konstruktion der Raumfahrzeuge und die erreichbaren Erdumlaufbahnen den Einsatz von Astronauten limitieren. Bis heute fehlen praktikable On-Orbit-Servicing-Lösungen. Eine wichtige Konsequenz ist die zunehmende Behinderung unserer Raumfahrtaktivitäten durch defekte, manövrierunfähige oder ausgediente Satelliten und große Raketenoberstufen.

Ein technologisches Schlüsselement bei der Bereitstellung von Serviceleistungen im Weltraum ist die Raumfahrt-Robotik. Verglichen mit den Fähigkeiten eines Astronauten in seinem Raumanzug hat die Leistungsfähigkeit moderner Roboter eine Technologiereife erreicht, die eine Bereitstellung von vergleichbaren Serviceleistungen ermöglichen kann. Die Deutsche Orbitale Servicing Mission – DEOS als nationale Technologiedemonstration zur Wartung, zum gezielten Bergen und Rückführen von ausgedienten Satelliten aus niederen Erdumlaufbahnen ist ein entscheidender Schritt. Mit ihm wird der hohe Reifegrad der deutschen Raumfahrtrobotik nachgewiesen und zugleich die Einführung nachhaltiger orbitaler Infrastrukturen und deren Betrieb vorbereitet.

Seit vielen Jahren – beginnend mit ROTEX 1993 – werden in Deutschland die zum On-Orbit-Service notwendigen Technologien konsequent erarbeitet. So stehen mittlerweile leistungsfähige Steuerungsmethoden für Teleoperation und Automatikbetrieb zur Verfügung. Die Modellierung der dynamischen Interaktion zwischen Manipulator und Satellitenplattform, ein Schlüsselement zum Greifen frei fliegender Gegenstände, wurde

in einem Experiment verifiziert. Das Experiment ROKVISS liefert wesentliche Beiträge zur Konstruktion zuverlässiger Robotik-Hardware für zukünftige Raumfahrtanwendungen.

Diese technologischen Bausteine stellen die Grundlage zur Deckung des ständig wachsenden Bedarfs an orbitalen Servicing-Leistungen im Weltraum dar. Der Bedarf ergibt sich aus hoheitlichen Aufgaben wie der Sicherung und Wartung teurer Wissenschaftssatelliten, der Entsorgung von Weltraummüll oder der Vorbereitung von Explorationsmissionen ebenso wie aus dem privatwirtschaftlichen Bereich.

DEOS eröffnet die Chance, die Brücke hin zu kommerziellen On-Orbit-Serviceleistungen (OOS) in den Umlaufbahnen zu bilden. Für die deutsche Raumfahrtindustrie ermöglicht OOS auf Basis deutscher Spitzentechnologie die nachhaltige Sicherung und den Ausbau von Arbeitsplätzen sowie die Erschließung neuer Märkte.



**Jana Weise,**  
Technische Universität Berlin

## Ein intelligentes Baukastenkonzept für das On-Orbit-Satelliten-Servicing

Das Ende der operativen Phase eines Satelliten durch Fehlfunktionen geht einher mit der Frage nach der weiteren Verfahrensweise. Hier gewinnt das On-Orbit-Servicing (OOS) von Raumfahrtssystemen zunehmend an Relevanz. Einerseits erfüllt die kontrollierte Rückführung und Entsorgung funktionsunfähiger Systeme zur Vermeidung von Weltraummüll gemäß dem Code of Conduct eine wichtige Forderung, andererseits bieten sich durch robotisch unterstützte OOS-Aktivitäten greifbare Möglichkeiten zur Verlängerung der Lebensdauer der Raumfahrtssysteme.

Aktuelle internationale Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, wie die DEOS-Mission, konzentrieren sich in erster Linie auf das Servicer-System. Leitgedanke des hier vorgestellten Konzepts ist hingegen die Entwicklung eines wartungsfreundlichen Designs für den Client-satelliten als notwendige Grundlage für die Umsetzung von technologisch wie wirtschaftlich sinnvollen OOS-Missionen. Im Rahmen einer Kooperation der TU Berlin, des FZI Karlsruhe und der RWTH Aachen wurde ein Konzept für einen modularen und rekonfigurierbaren Clientsatelliten erarbeitet. Der verfolgte Ansatz basiert auf der Zerlegung eines konventionellen Satellitenbusses in standardisierte, intelligente Bausteine.

Durch die abgestimmte Modularisierung auf System- und Strukturebene bieten sich neue Möglichkeiten für die industrielle Fertigung von Standard-Satellitenkomponenten und damit

eine Perspektive für den kostengünstigeren, wirtschaftlichen Aufbau und Betrieb von Satellitensystemen. Als Bestandteil eines modularisierten Gesamtsystems verfügt jeder Baustein, ausgerüstet mit entsprechenden Subsystemkomponenten etwa für AOCS, Kommunikation etc., über eine dedizierte Funktion. Auch auf Softwareebene findet sich eine konsequente Fortführung des angesprochenen Modularitätsgedanken: Ein neues modulares, verteiltes Framework gestattet es, die einzelnen Softwarekomponenten eines Satellitensystems flexibel und beliebig auf vorhandene Rechnerkomponenten zu verteilen.

Die Integration standardisierter mechanischer, elektrischer und Datenschnittstellen, die im Rahmen der Arbeiten untersucht und ausgelegt wurden, gewährleistet in der Folge einen hohen Grad an Flexibilität und Konfigurierbarkeit des Satelliten. Die notwendigen Kriterien für die Verortung des einzelnen Bausteins im Gesamtsystem, die sich aus den Missionszielen und funktionalen Anforderungen der Subsystemkomponenten ergeben, werden mit Hilfe eines eigens entwickelten Planungstools betrachtet, um geeignete Optionen für den Zusammenbau des modularen Bausteinsatelliten zu erhalten und einen Großteil des Systementwurfs eines solchen Systems zu automatisieren. Der vorgestellte Beitrag gibt einen Überblick über das Gesamtkonzept zur Entwicklung eines wartungsfreundlichen Satelliten basierend auf einem Baukastenprinzip.

*Co-Autoren: K. Brieß, Technische Universität Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt, A. Adomeit, RWTH Aachen, Lehrstuhl und Institut für Leichtbau, H.-G. Reimerdes, RWTH Aachen, Lehrstuhl und Institut für Leichtbau, M. Göller, FZI Forschungszentrum Informatik, Interaktive Diagnose- und Servicesysteme, R. Dillmann, FZI Forschungszentrum Informatik, Interaktive Diagnose- und Servicesysteme*

**Dr. Klaus Michel,**  
Jena-Optronik GmbH

## Optische Sensoren für On-Orbit-Servicing und Weltraumrobotik

Robotische Weltraumanwendungen wie On-Orbit-Servicing, Rendezvous und Docking und Space Debris Removal erfordern ein breites Spektrum an Sensoren, um Einsatzumgebung und Zielobjekte zuverlässig erfassen zu können. Die Sensordaten stellen die wesentliche Grundlage für die Durchführung von robotischen Weltraummissionen dar.

Im Rahmen des Schwerpunkts Weltraumrobotik des DLR werden von der Jena-Optronik mehrere Projekte zum Thema optische Sensoren durchgeführt, sowohl für Kamerasysteme mit variabler Brennweite als auch für leistungsfähige 3-D-LIDAR-Sensoren.

3-D-LIDAR-Sensoren bestimmen die Entfernung zu einem Zielobjekt durch Messung der Lichtlaufzeit und erlauben die dreidimensionale Erfassung eines Zielobjekts bzw. einer Szene durch eine geeignete Scanvorrichtung. Im Rahmen des Vorhabens LiQuaRD wird dabei ein scannender 3-D-LIDAR-Sensor aufgebaut, der die Grundlagen schafft, um im DEOS-Szenario einen nicht-kooperativen Zielsatelliten auf große Entfernung zu erfassen und 3-D-Daten für einen automatischen Annäherungsvorgang zur Verfügung zu stellen. Kritische Kernkomponenten des Sensors

werden dabei Umwelttests unterzogen, um den Technologiereifegrad des Systems zu erhöhen. Im Vortrag sollen Randbedingungen für den späteren Einsatz des Sensors sowie Designaspekte diskutiert und die resultierenden Hardwarekomponenten des Sensorsystems vorgestellt werden.

Neben LIDAR-Sensoren stellen Kamerasysteme eine wesentliche Komponente robotischer Weltraummissionen dar. Für die 3-D-Erfassung eines Zielobjekts ist dabei ein Stereokamerasystem erforderlich, um über spezielle Algorithmen die beiden Einzelbilder zu einem 3-D-Bild zusammenzufügen. Da für unterschiedliche Entfernungen des Zielobjekts auch unterschiedliche Brennweiten der Kameraobjektive erforderlich sind, summiert sich die Anzahl der notwendigen Einzelkameras sehr schnell. Ein Ausweg aus dieser Situation bieten Kameras mit variabler Brennweite, die in der Lage sind, mehrere Einzelkameras unterschiedlicher Brennweite zu ersetzen. Im Rahmen des ZoomOb-Projekts wurde ein Konzept für einen afokalen Sehfeldwechsler mit drei Brennweiten entwickelt, das sich durch hohe Einfachheit und Robustheit bei gleichzeitig hoher Bildqualität auszeichnet. Der Vortrag stellt das ZoomOb-Konzept vor und zeigt mögliche Einsatzszenarien im Bereich der Weltraumrobotik sowie einen Ausblick auf die Weiterentwicklung und Vertiefung des Konzepts im Rahmen des ZoomOb-II-Projekts.

*Co-Autoren: F. Kolb, M. Röbler, Jena-Optronik GmbH*



**Hans-Jürgen Herpel,**  
Astrium GmbH

## KARS und KONTIPLAN – Controller und Planer für autonome Raumfahrtsysteme

Bei zukünftigen Raumfahrtmissionen zeichnet sich ein Trend zur Erhöhung der Autonomie an Bord eines Raumfahrzeugs ab, das heißt Funktionalität, die bisher am Boden realisiert war, wird nun in die bordseitige Software/Hardware verlagert. Dies hat unmittelbar Auswirkung sowohl auf die benötigte Rechenleistung, die an Bord des Raumfahrzeugs bereitgestellt werden muss, als auch auf die Komplexität der Software.

Neue Softwareansätze sind notwendig, um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden. Komponentenbasierter Entwurf, Time & Space Partitioning sind einige der Ansätze, die wachsende Software-Komplexität beherrschbar zu machen.

Die Deutsche Raumfahrtagentur hat daher Anfang 2010 das Projekt KARS gestartet, das für zukünftige Missionen grundlegende Dienste bezüglich Datenspeicherung, Datenaustausch, Fehlerdetektion und -behandlung bereitstellen soll. Diese Softwareschicht verbindet die Anwendungen (Thermalkontrolle, Lage-/Bahnregelung, Robotik usw.) mit den bereitgestellten Rechnerressourcen (CPU-Kerne, Speicher, E/A-Kanäle). Des Weiteren soll es möglich sein, durch strikte Trennung der Anwendungen und Kontrolle der von den einzelnen Anwendungen genutzten Ressourcen (CPU-Zeit, Speicherplatz), sicherheitskritische und nicht sicherheitskritische Anwendungen auf einem Rechner auszuführen (Time & Space Partitioning).

Eine vielversprechende Möglichkeit, den Autonomiegrad eines Raumfahrzeugs zu erhöhen, besteht darin, Methoden der künstlichen Intelligenz einzusetzen. Das vom DLR geförderte Verbundvorhaben KONTIPLAN soll für die oben skizzierte Umgebung ein aktionsbasiertes Planungssystem bereitstellen, das in komplexen Entscheidungsbäumen sinnvolle Lösungen generiert. In der Analyse fokussiert KONTIPLAN zwei Szenarien: eine Explorationsmission mit Landung auf einem unbekanntem Himmelskörper und eine Erdbeobachtungsmission.

Beim „Lander Szenario“ sollen sichere Landeplätze autonom angesteuert werden, wobei das Planungssystem die Dynamik, die Ressourcen und Aktionsmöglichkeiten des Landers sowie umweltbedingte Randbedingungen (Kollisionsvermeidung, wissenschaftliche Kostenfunktionen etc.) berücksichtigen soll. Planungsalgorithmen sollen auch in der Missionsplanung von Erdbeobachtungs-Missionen zum Einsatz kommen. Die Optimierung der Satellitensteuerung (Tasking) zur Beobachtung von unter Umständen schnell variierenden Zielgebieten unter Berücksichtigung aktueller Sichtbedingungen (Wolkenbedeckung) und der agilen Satellitendynamik ist ein herausforderndes Planungsproblem, dessen Komplexität bei Konstellationen mit mehreren Satelliten noch erhöht wird. Diese Aufgabe soll mit Hilfe von probabilistischen Planungsalgorithmen gelöst werden. Die modulare und auf Time & Space Partitionierung ausgelegte Architektur von KARS ermöglicht es, diese Planungskomponente von KONTIPLAN problemlos zu integrieren und im Systemkontext zu testen.

*Co-Autor: G. Willich, Astrium GmbH*

**Sebastian Bartsch,**  
Deutsches Forschungszentrum für  
Künstliche Intelligenz (DFKI)

## Mobile Roboter auf Planeten

Die planetare Exploration mit mobilen Robotern erfordert Systeme, die in der Lage sind, unwegsame Umgebungen zu überwinden, um in wissenschaftlich interessante Regionen vorzudringen. Mehrbeinige Roboter bieten aufgrund ihres flexiblen Bewegungsapparates die Möglichkeit, ihr Laufverhalten an eine Vielzahl unterschiedlicher Untergründe und Umgebungsstrukturen anzupassen und können damit einen hohen Grad an Mobilität erreichen.

In dem Vorhaben SpaceClimber wurde ein sechsbeiniger Laufroboter entwickelt, der in der Lage ist, sich in unstrukturierten und steilen Umgebungen wie Geröllfeldern und Kraterwänden fortzubewegen. Sowohl bei dem mechatronischen Design als auch bei dem Konzept zur Steuerung der Fortbewegung wurden bereits Anforderungen berücksichtigt, die sich bei einem System für den extraterrestrischen Einsatz ergeben.

Im Rahmen des Projekts RIMRES wird SpaceClimber weiterentwickelt und als Scout in einem heterogenen Mehrroboter-System genutzt. In RIMRES wird ein hybrider Schreit-Fahrover entwickelt, der für den sicheren Transport des hochmobilen Laufroboters zum Rand eines lunaren Polkraters verantwortlich ist. Am Krater angekommen, wird die Verbindung zwischen Rover und Scout gelöst, damit der Scout mit dem Abstieg in den Krater beginnen kann. Ziel ist der Nachweis von Wassereis an ewig in Dunkelheit liegenden Stellen der lunaren Polgegenden.

**Oliver Stern,**  
RIF e. V. Dortmund

## Roboter-gestützte Planetenexploration: Semantische Umweltmodellierung und VisualGPS

Eine wichtige Fragestellung bei der Exploration fremder Planeten durch in großen Teilen autonom agierende mobile Roboter ist die Bestimmung der absoluten Position dieser Systeme auf dem Planeten. Kann diese Frage auf der Erde in den meisten Fällen durch den Einsatz von GPS-Empfängern gelöst werden, müssen für die Planetenexploration völlig neue Lösungsansätze erarbeitet werden. Die Projektpartner der Projekte SELOK und FastMap haben hierfür das neue „VisualGPS“-Verfahren entwickelt. Hier erfasst der mobile Roboter mit eigener Sensorik wie etwa Laserscannern oder (Stereo-) Kameras seine Umgebung vom Boden aus, bestimmt aus diesen Sensordaten eine lokale Umgebungskarte, vergleicht seine Beobachtungen mit einer globalen Navigationskarte und schätzt hieraus seine aktuelle Position. Hauptbestandteil sowohl der lokalen Umgebungs- als auch der globalen Navigationskarte sind sowohl im Landeanflug als auch vom Boden aus in den Sensordaten eindeutig identifizierbare Umgebungsmerkmale, welche neben ihrer Position durch charakteristische Eigenschaften beschrieben werden und in verschiedene Klassen „semantischer Landmarken“ eingeordnet werden. Beispiele hierfür sind Krater, Gesteinsbrocken oder auch Bergkuppen.

Die automatische Erstellung der Navigationskarte, welche korrekte und präzise Informationen über das Landegebiet liefert, ist Aufgabe des Projekts FastMap. Hierzu wird zunächst aus der Bildfolge, welche eine Kamera während des Landeanflugs erfasst, mit Hilfe effizienter Algorithmen (zum Beispiel „Structure from Motion“) ein digitales Elevationsmodell (DEM) erstellt.

Anschließend werden sowohl das Höhenmodell als auch die während des Abstiegs erfassten Bilddaten mit neu entwickelten Algorithmen zur „Semantischen Umweltmodellierung“ zu semantischen Landmarken fusioniert. Zusammen mit dem DEM bilden diese die Navigationskarte, die Explorationsrobotern dann zur Selbstlokalisierung zur Verfügung steht. Hierzu werden sämtliche Elemente der Navigationskarte in einer Datenbank gespeichert, die als aktiver Kommunikationsknoten auch die Schnittstelle zwischen den einzelnen Modulen des Prozesses der Kartenerzeugung bildet.

Diese Navigationskarte ist dann Grundlage für die Arbeiten im Projekt SELOK. Hier wird untersucht, wie die Landmarken von einem mobilen Roboter abhängig von der Roboterposition unter anderem mit neu entwickelten Laserscannern aus verschiedenen Perspektiven erfasst werden und zu einer lokalen Umgebungskarte zusammengefasst werden können. Die Selbstlokalisierung durch Vergleich dieser „lokalen“ Landmarken mit der „globalen“ Navigationskarte erfolgt dann sowohl über das Anordnungsmuster der erfassten Landmarken als auch über ihre identifizierbaren Merkmale und semantischen Eigenschaften.

Alle Daten und Algorithmen werden im Virtual Space Robotics Testbed, dem zentralen Kristallisationspunkt für die Entwicklungen zur Planetenexploration, zusammengeführt, um durch eine virtuelle Erprobung aller zur Erstellung und Nutzung der Navigationskarten notwendigen Schritte und Verfahren in realistischen Anwendungsszenarien sowohl die Entwicklungsgeschwindigkeit als auch die Robustheit der Implementierungen zu steigern. Im praktischen Betrieb soll das Virtuelle Testbed physikalische Mockups nicht nur weitgehend ersetzen, sondern auch die „Extrapolation“ auf Missionsvorhaben erlauben, für die ein physikalisches Mockup nur schwer oder unter hohen Kosten realisierbar ist.

**Jakob Schwendner,**  
Deutsches Forschungszentrum für  
Künstliche Intelligenz (DFKI)

## Erfassung und Verarbeitung der Bodeninteraktion für komplexe mobile Explorationssysteme

Mobile robotische Systeme sind schon heute essenziell für die Exploration unseres Sonnensystems. In Zukunft werden diese Systeme auch in anderen Missionsszenarien eine wichtige Rolle spielen. Um sich sicher und zuverlässig durch bekanntes und unbekanntes Gelände zu bewegen, müssen diese Systeme Sensorinformationen über die Umwelt in den Bezug zum eigenen Körper stellen. Die bisher in der Forschung verfolgten Ansätze nutzen vor allem visuelle Sensordaten für diese Aufgabe. Anhand der bisherigen Ergebnisse aus dem Projekt iMoby soll gezeigt werden, dass sich auch nicht-visuelle Informationen für diese Aufgabe einsetzen lassen und visuelle Methoden ergänzen können. Wie solche „embodied“ Sensordaten mit hoher Dichte und eingebettet in die Struktur der Systeme erzeugt werden können, wird anhand des Projekts iStruct dargestellt.

Durch die Entwicklung solcher innovativer Technologien wird der Einsatz von autonomen, mobilen und zur Manipulation fähigen robotischen Systemen für den anspruchsvollen Einsatz in komplexen Missionsszenarien vorbereitet.

**Robert Buchwald,**  
Astrium GmbH

## Technologien zur weichen und präzisen Landung auf planetaren Oberflächen

Die Fähigkeit zu einer weichen und präzisen Landung ist eine Kernvoraussetzung für künftige autonome Landungen auf Planeten, Monden und anderen Körpern in unserem Sonnensystem. Schwerpunkte sind hier die Technologiebereiche Navigation und Avionik, das Antriebssystem und das Landesystem. Obwohl sich europaweit zahlreiche Technologievorhaben mit diesen Themen befassen, ist noch erheblicher Entwicklungsbedarf vorhanden, um die Technologien auf einen für die zukünftigen Missionen (zum Beispiel ESA Lunar Lander) notwendigen Reifegrad zu heben.

Das F & E Projekts LaTech diente der Erarbeitung eines Qualifikations- und Verifikationsplans für Technologien zur weichen und präzisen Landung auf planetaren Oberflächen und liefert einen geschlossenen Ansatz für die anstehenden Aufgaben der Technologieentwicklung. Dies schließt neben Toolentwicklung und Simulation auch Test- und Verifikationsschritte auf Subsystemebene und der bestmöglichen Systemverifikation in Großtestanlagen ein. Die Untersuchung zeigt auf, dass in Deutschland sowohl die Kompetenz als auch die Kapazität für die erforderlichen Test- und Demonstrationsschritte vorhanden ist. Entsprechende Vorschläge und Vorhabensbeschreibungen, die kurzfristig umsetzbar sind, wurden

hinsichtlich der technischen Inhalte aber auch der programmatischer Planungsgrundlagen entwickelt.

Das Projekt LaTech wurde vom DLR unter dem Kennzeichen 50 RA 1022 gefördert, als Projektpartner waren beteiligt die DLR-Institute für Robotik und Mechatronik in Oberpfaffenhofen, für Raumfahrtsysteme in Bremen und für Flugsystemtechnik in Braunschweig.

Der bei der Landetechnologie als kritisch identifizierte Moment des autonomen Aufsetzens und Ausrichtens einer Landeplattform mit Landebenen wird seit 2009 im Rahmen der Triple-A Studie detailliert untersucht. Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der experimentellen und numerischen Untersuchung robotischer Elemente als Ergänzung zu existierenden und bewährten passiven Systemen. Seit 2011 wurden diese Aufgaben als direktes Spin-off der LaTech Studie noch um Technologien zur zuverlässigen Bestimmung des Bodenkontaktes beim Aufsetzen erweitert. Ziel ist in beiden Bereichen die Demonstration der technologischen Reife bis TRL 4-5 und die konsolidierte Bewertung der Leistungsfähigkeit auf Basis statistischer Analysen.

Die Triple-A Studie wird seitens des DLR unter dem Förderkennzeichen 50 RA 1030 gefördert. Als Projektpartner sind das Institut für Leichtbau der RWTH Aachen, die MSC Software GmbH und die Firma Schütze Stäbe beteiligt.

Co-Autor: Dr. P. Kyr,  
Astrium Space Transportation GmbH



**Dr. Bernd Schäfer,**  
DLR-Institut für Robotik und Mechatronik

## Robotische Planetare Exploration im RMC des DLR

Intelligente Mobilität, geschickte Manipulationsfähigkeiten und vermehrte Autonomie sind Schlüsseltechnologien für die weiträumige und effiziente Oberflächenerkundung von Monden und Planeten. Diese unter dem Begriff „Robotische Planetare Exploration“ zusammengefassten Themen werden am Robotik und Mechatronik Zentrum des DLR seit vielen Jahren untersucht und ihre Entwicklungen zur Anwendung in der Raumfahrt gebracht. Die Mobilität spielt dabei die zentrale Rolle bei Exploration, Probenaufnahme und -transport zu vorhandenen Landevorrichtungen. Und auch der Zusammenbau von Strukturen mit robotischen Mitteln für den zukünftigen Aufbau von permanenten Basisstationen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Bisherige Fahrzeuge auf dem Mars sind sehr erfolgreich von der NASA betrieben worden (Sojourner, Spirit, Opportunity), und noch in diesem Jahr soll ein weiterer Rover der NASA (Curiosity) seine etwa zweijährige Missionsdauer auf der Marsoberfläche vollziehen. Für 2018 ist dann ein europäisches sechsrädriges Fahrzeug für die Erkundung der Marsoberfläche geplant (ESA, ExoMars). Trotz allem Erfolg der drei bisherigen und auch des zu erwartenden Erfolgs der beiden zukünftigen Marsrover fehlen all diesen Systemen doch herausragende Eigenschaften, die eine weit größere Oberfläche in wesentlich kürzerer Zeit explorieren lassen, und damit den wissenschaftlichen Output enorm steigern können. Diese sind: neuartige und leichtgewichtige Antriebskonzepte, neuartige kinematische Strukturen für die Radaufhängung bei rädergetriebenen Fahr-

zeugen und erhöhte Autonomiefähigkeiten während des Fahrens über komplex beschaffene Oberflächen. Darüber hinaus kann der Einsatz von beinartigen Vehikeln mit und ohne Räder bei gegebener Geländegeometrie (Krater, steile Wände, Felsblöcke) die Erkundung sehr sinnvoll ergänzen oder überhaupt erst ermöglichen. Auch das Zusammenwirken mehrerer Vehikel unterschiedlichen Typs (Räder, Beine) für die Erkundung von großflächigen und komplexen Oberflächen ist zu beachten. Die weitgehende Autonomie für das erfolgreiche Erkundungen und das Zusammenspiel verschiedener Vehikel ist ohne On-board Sensorik und ihre intelligente Verarbeitung nicht möglich. Der fahrzeuggestützten Bilddatenverarbeitung kommt hierbei eine Schlüsselrolle zu, um vor allem die Umgebung ständig zu kartieren (3-D-mapping) und sich sicher in dieser Umgebung zu bewegen.

Ausgehend von einem ersten Entwurf stützt sich die Auslegung neuartiger mobiler Systeme dabei sehr erfolgreich auf Optimierungsmethoden und umfangreiche Mehrkörpersimulationen, die das dynamische Verhalten der Fahrzeug- bzw. Krabblerbewegungen in beliebigem Gelände sehr realitätsgetreu darstellen können, auch und gerade unter Berücksichtigung intelligenter Regelungsalgorithmen für das sichere Fahren. Einige dieser aufgelisteten Schlüsseltechnologien haben in RMC zur Beteiligung bei unterschiedlichen Raumfahrtprojekten mit Schwerpunkt auf Mobilität und Autonomie geführt. Die wichtigsten dieser Projektbeteiligungen (ExoMars, NLL-MPE, Mascot, ROV-E, ROB-MPC, HGF-Allianzen) zusammen mit ihren Schlüsselthemen werden in diesem Vortrag vorgestellt.

*Co-Autor: M. Suppa,*  
DLR-Institut für Robotik und Mechatronik



**Dr. Markus Plura,**  
SCISYS Deutschland GmbH

## Missionskontrollkonzepte für Weltraumrobotik (MIKKRO)

Das Vorhaben „Missionskontrollkonzepte für Weltraumrobotik (MIKKRO)“ wird von den Projektpartnern SCISYS Deutschland GmbH (vormals VCS AG), DLR-RMC und DLR-GSOC durchgeführt. Hierbei wurden die Betriebskonzepte vergangener und zukünftiger Missionen im Hinblick auf Gemeinsamkeiten analysiert mit dem Ziel, ein repräsentatives Missionskontrollkonzept für robotische Missionen zu erarbeiten. Bestehende Betriebskonzepte, Verantwortlichkeiten, Informationsflüsse und Missionsphasen wurden berücksichtigt.

Die Analysen basieren auf der Expertise der Projektpartner in jeweils unterschiedlichen Bereichen. Das DLR German Space Operations Center (GSOC) und Robotics & Mechatronics Center (RMC) waren in die Vorbereitung und Durchführung unterschiedlicher Missionen involviert und verfügen über umfangreiches Know-how aus dem Betrieb vorangegangener robotischer Missionen. SCISYS bringt Erfahrungen im Bereich der M&C-Systeme für die Columbus- und Galileo-Bodensegmente ein.

Neben der konzeptuellen Analyse wird im Rahmen des Vorhabens ein Demonstrationsprototyp implementiert, der eine Überprüfung des entwickelten Missionsbetriebskonzepts an einem realistischen System inklusive eines simulierten Raumsegments zulässt. Das Design und der aktuelle Integrationsstand des am DLR-Standort Oberpfaffenhofen implementierten Systemdemonstrators wird im Vortrag erläutert.

Durch die Verwendung dieses Systems können Aspekte wie die Übergabe zwischen verschiedenen Missionsphasen und deren Auswirkungen auf Rollen und Verantwortlichkeiten untersucht werden. Besonders für den Fall, dass Echtzeit-Robotik angewendet wird (Telepräsenz), werden neue Anforderungen in Bezug auf die Kommunikationsarchitektur, aber auch die Prozesse zur Entscheidungsfindung gestellt. Lösungsansätze hierfür werden vorgestellt.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Implementierung neuer Komponenten wie einem integrierten Missionskontrollsystem für die Satellitenplattform und die robotische Komponente, Assistenzsystemen für den Operator und neuen Kommunikationskomponenten.

**Ralf Faller,**  
DLR, Raumflugbetrieb und Astronautentraining,  
Oberpfaffenhofen

## PRISMA – Flugbetrieb durch das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum

Zukünftige Raumflugmissionen mit robotischen Aufgabenstellungen werden besondere Anforderungen an die Betriebseinrichtungen stellen. Die Fähigkeiten, engsten Formationsflug sowie autonome Rendezvousmanöver durchzuführen, sind dabei die grundsätzlichen technologischen Voraussetzungen. Die multinationale Demonstrationsmission PRISMA, bestehend aus den beiden Satelliten MANGO und TANGO, hatte neben der Erprobung von neuen Technologien diese Aufgabenstellung. Das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum GSOC war bereits seit Projektbeginn im Jahr 2005 als Bereitsteller von Satellitenkomponenten und Software sowie als einer der Experimentatoren an der Mission beteiligt, doch ergab sich zudem kurzfristig die Möglichkeit, den Flugbetrieb der beiden Satelliten für die Dauer von fünf Monaten zu übernehmen.

Die besondere Schwierigkeit des Vorhabens ergab sich zum einen aus der extrem kurzen Vorbereitungszeit, denn zum Zeitpunkt des Einstiegs des GSOC-Flugbetriebs in das Projekt stand PRISMA bereits kurz vor dem Start der Satelliten. Zum anderen war die Mission ursprünglich nicht für eine Übernahme durch ein anderes Kontrollzentrum vorgesehen und demzufolge nicht entsprechend ausgelegt. Trotz dieser suboptimalen Rahmenbedingungen bot sich die un-

erwartete Möglichkeit, im Hinblick auf Missionen wie DEOS, wichtige, operationelle Betriebserfahrungen zu sammeln.

Für die Missionsübernahme wurde innerhalb von 14 Monaten in Oberpfaffenhofen ein Flugbetriebsteam aufgestellt und trainiert, sowie die notwendigen Kontrolleinrichtungen und ein Bodenstationsnetzwerk eingerichtet, um im März 2011 den PRISMA-Flugbetrieb zu übernehmen. Die Mission wurde erfolgreich über den geplanten Zeitraum durch das GSOC betrieben und im August 2011 wieder an das ursprüngliche Kontrollzentrum in Solna, Schweden, zurück übergeben. In dieser Zeit wurden am GSOC verschiedene Experimente mit einem großen Spektrum an Formationen betrieben, darunter sehr enge Formationen mit einem Abstand von weniger als 10 Metern und auch diverse Rendezvous-Szenarien. Dabei stand grundsätzlich GPS-basierte Navigation zur Verfügung, es wurden aber auch Experimente durchgeführt, in denen die Formation basierend auf Kameradaten bestimmt wurde, was einem Anflug auf ein unkooperatives Zielobjekt entspricht. Das Vorhaben wurde dabei im Rahmen einer Zuwendung des Bundeswirtschaftsministeriums gefördert.

Dieser Vortrag gibt eine Übersicht über die Mission, die besonderen Anforderungen und Rahmenbedingungen, die durchgeführten Maßnahmen sowie die erzielten Ergebnisse.

*Co-Autoren: B. Schlepp, A. Ohndorf, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Raumflugbetrieb und Astronautentraining, Oberpfaffenhofen*

**Dr. Jan Paul,**  
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)

## Virtual Crater – Entwicklung einer virtuellen Simulations- und Demonstrationsumgebung zur planetarischen Exploration mit Fokus auf extraterrestrische Krater

Das Ziel des Projekts „Virtual Crater“ (DLR Fkz: 50 RA 0903) ist die Entwicklung einer virtuellen Testumgebung, die es ermöglicht, Robotersysteme kostengünstig in einer realitätsnah simulierten, lunaren Kraterlandschaft zu programmieren, zu testen und zu optimieren. Eine Besonderheit dieses Projekts ist der Abgleich der geplanten virtuellen Testumgebung mit einer im DFKI aufgebauten realen, lunaren Kratertestumgebung. In diesem Rahmen arbeiten das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH und die Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e.V. als Partner zusammen.

Virtual Crater ist eine umfassende Simulationsumgebung, die es ermöglicht, Missionen zur Erforschung der Mondoberfläche zu programmieren und zu testen sowie neue Konzepte vorzuführen. Damit sich diese Testumgebung so realitätsnah wie möglich verhält, müssen verschiedene Parameter und Prozesse präzise identifiziert werden, um vielseitige Simulationskompo-

nenten daraus abzuleiten. Um dies zu erreichen, werden umfassende physikalische Experimente durchgeführt, um diese mit analogen simulierten Experimenten zu vergleichen. Diese Experimente werden Referenzexperimente genannt. Die Simulation wiederum kann – zusammen mit speziellen Optimierungswerkzeugen – verwendet werden, um Hardware zu optimieren, Explorations-Szenarien aufzubauen und entsprechende Missionen zu simulieren. Möglich ist dabei auch die Integration des Roboter-Controllers in die realen und virtuellen Testumgebungen. Hierbei ist es wichtig, die Robotersteuerung ohne Anpassungen sowohl an das Simulationssystem als auch an das reale Testbed anbinden zu können, sodass der virtuelle Roboter wie der reale programmiert und insbesondere durch denselben Programmcode gesteuert wird. Um eine Verbesserung des Eindrucks der „Immersion“ in die virtuelle Welt zu erreichen, wird das Simulationssystem auf einem stereoskopischen Mehrschirm-Rückprojektionssystem (CAVE) eingesetzt.

Wichtig sind hierbei Echtzeitfähigkeiten, um die Konstruktion der Systeme intuitiv zu unterstützen, ausgearbeitete Boden-Kontaktmodelle sowie die Identifikation der entsprechenden Parameter für die Simulation. In der Praxis lässt sich zeigen, dass ein mathematisches Modell, das mit Hilfe von Adams/Matlab aus einem physischen Aktuator abgeleitet und dann zu einem numerischen Modell vereinfacht wurde, in der Echtzeitsimulation VEROSIM verwendet werden kann.



**Dr. Bernd Mädiger,**  
Astrium GmbH

## INVERITAS – Technologien für zukünftige Robotikmissionen

Inveritas ist ein Verbundprojekt der Partner DFKI-Robotics Innovation Center Bremen, Jena-Optronik und Astrium Space Transportation, welches durch das DLR gefördert wird (Förderkennzeichen 50 RA 0908). Ziel des Projekts ist die prototypische Realisierung eines breit einsetzbaren Rendezvous und Capture (RvC)-Systems und die Entwicklung der dazugehörigen Kerntechnologien im Sinne des Anhebens des jeweiligen Technology Readiness Level (TRL) bis zur Demonstration am Boden (TRL 4).

Ausgangspunkt der Entwicklungen war der erreichte Entwicklungsstand für die Rendezvousoperationen von ATV, zum Beispiel für kooperative Ziele, die im Rahmen des Projekts auf nicht-kooperative Objekte, wie zum Beispiel ausgefallene Satelliten, erweitert werden. Die ausgewählten Kerntechnologien umfassen neben multimodalen Sensorsystemen sowohl Nahbereichs-GNC-Methoden als auch die zugehörigen Steuerungsarchitekturen zur Integration der verschiedenen intelligenten Subsysteme, wie Satellitenbus- und Manipulatorsteuerung. Daneben wurden neuartige Greifprinzipien und Leichtbaumechanismen untersucht.

Ein besonderer Schwerpunkt des Projekts ist die intensive Überprüfung und Verifikation der entwickelten Verfahren in einer möglichst relevanten Umgebung. Hierzu dienen mehrere technologiespezifische Testbeds als auch ein Systemdemonstrator, mit dem die entwickelten Verfahren im Systemzusammenhang im geschlossenen

Regelungskreis getestet werden können. Dieser Systemdemonstrator, der in der Explorationshalle des DFKI aufgebaut ist, besteht aus einem Industrieroboter mit dem Rendezvous-Zielobjekt und einem seilgeführten Roboter, der die Bewegung des Servicers beim Rendezvous nachvollzieht. Mit den außerdem in der Halle verfügbaren Beleuchtungs- und Steuerungseinrichtungen lassen sich durch die insgesamt vorhandenen 10 Bewegungs-Freiheitsgrade auch komplizierte Satellite-Servicing-Missionen, zum Beispiel mit taumelndem Zielsatellit, oder auch Mondlandemissionen unter verschiedensten Randbedingungen nachstellen. Durch intensive Kalibrierungs- und Abgleichsarbeiten konnte eine weitgehende Übereinstimmung des Bewegungsverhaltens zwischen den Simulatoren bei Astrium-ST und dem Systemdemonstrator erreicht werden.

Die nach Inbetriebnahme des Systemdemonstrators durchgeführten Tests haben bereits umfangreiche Ergebnisse, zum Beispiel über Messeffekte bei typischen Satellitenmaterialien oder über die Leistungsfähigkeit der Objekt-Matchingverfahren, erbracht. Diese Ergebnisse erlauben eine wesentliche Reduzierung des Risikos und des Entwicklungsaufwands für zukünftige Missionen, wie beispielsweise für die deutsche Satelliten-Servicing-Mission DEOS.

Neben Satelliten-Servicing-Missionen sind die entwickelten Technologien auch für andere robotische Missionen anwendbar. So bilden sie die Basis für Kernfunktionalitäten beim Landeanflug oder bei der Rovernavigation in Mondlandemissionen und auch für vollkommen neue Missionsklassen, wie Debris Removal Missionen.

*Co-Autoren: M. Windmüller, Jena-Optronik GmbH;  
J. Müller, ASTRIUM GmbH*

**Dr. Michael Schluse,**  
Institut für Mensch-Maschine-Interaktion  
RWTH Aachen

## Das Virtual Space Robotics Testbed: Kristallisationspunkt für den Technologietransfer

Virtuelle Testbeds schaffen die Grundlagen für die Realisierung neuer Kristallisationspunkte zur effektiven und effizienten Zusammenführung komplexer Entwicklungsvorhaben, gleich ob es sich um industrielle Produktentwicklung oder um angewandte oder sogar Grundlagenforschung handelt. Sie ermöglichen die Etablierung neuer Entwicklungsmethodiken, die insbesondere für Weltraumvorhaben von entscheidender Bedeutung sind. Neben den prinzipiell großen technologischen Herausforderungen kann hier häufig das Gesamtsystem nicht final verifiziert werden: Die Mission ist gleichzeitig der erste Gesamtsystemtest. Ferner müssen großräumig verteilte und häufig interdisziplinäre Entwicklungsteams koordiniert und die Ergebnisse über Projektgrenzen hinaus ausgetauscht werden. Darüber hinaus ist ein möglichst zeitnaher Transfer der neuen Technologien in terrestrische Anwendungen wünschenswert.

Die Projektpartner in den Projekten VirtualCrater, SELOK und FastMap bewältigen diese Herausforderungen, indem sie die Entwicklungen in einem „Virtuellen Testbed“ zusammenführen. Hierzu werden leistungsfähige Simulationsalgorithmen von der Starrkörperdynamik über die Bodenmechanik bis hin zur Simulation vielfältiger Aktuatorik und Sensorik an anwendungsnahen Mockups auf der Erde kalibriert und verifiziert, sodass nach der Übertragung der Ergebnisse auf die Verhältnisse im Weltraum aussagekräftige und realitätsnahe virtuelle Welten zur Verfügung

stehen. Im praktischen Betrieb sollen derartige Virtuelle Testbeds physikalische Mockups nicht nur weitgehend ersetzen, sondern auch die „Extrapolation“ auf Missionsvorhaben, für die ein physikalisches Mockup nur schwer oder unter hohen Kosten realisierbar ist, erlauben.

Neben der Betrachtung von Einzelaspekten steht in Virtuellen Testbeds vor allem das System als Ganzes im Vordergrund. Wechselwirkungen zwischen den Komponenten können so frühzeitig erkannt und modelliert, das Systemverhalten in unterschiedlichen Systemzuständen und unter unterschiedlichen Umweltbedingungen auf Knopfdruck verifiziert und Entwicklungsfortschritte schnell beurteilt werden. Die Folge ist eine signifikante Steigerung sowohl der Entwicklungsgeschwindigkeit als auch der Robustheit der Implementierung.

Ein einfaches Umschalten zwischen realen und simulierten Sensoren und Aktoren auf Basis eines echtzeitfähigen Simulationsframeworks ermöglicht darüber hinaus die gleichzeitige Entwicklung von Simulationslogik und hardwarenaher Software auf Basis ein und desselben Simulationsmodells. Durch einen einfachen Wechsel des Anwendungsszenarios können zudem zunächst nicht im Fokus liegende Raumfahrtvorhaben ebenso wie potenzielle terrestrische Spin-offs unmittelbar von den Projektfortschritten profitieren, wodurch insbesondere ein effizienter Technologietransfer von in der Raumfahrt erprobten Algorithmen in die terrestrische Anwendung etabliert werden konnte.

Das Ergebnis ist eine neue Methodik zur integrierten, system-, disziplin- und anwendungsübergreifenden Entwicklung robotischer Explorationsmethoden, das Virtual Space Robotics Testbed.

**Dr. Ingo Scholz,**  
Deutsches Forschungszentrum für  
Künstliche Intelligenz (DFKI)

## Von der Raumfahrt-Robotik zur irdischen Anwendung

Die extremen Umgebungsbedingungen extraterrestrischer Himmelskörper finden häufig ihr Pendant in irdischen Szenarien wieder: Naturkatastrophen oder Industrieunfälle schaffen Verhältnisse, die eine besondere Robustheit robotischer Systeme gegenüber Strahlung, chemischen Stoffen oder unwegsamem Gelände notwendig machen, Anwendungen in der Tiefsee erfordern spezielle Auslegungen der mechanischen und elektronischen Komponenten. Fehlende Infrastruktur, vor allem in der Kommunikation, stellt dabei hohe Anforderungen an die Autonomie der Systeme. Die Projektklinie des DFKI Robotics Innovation Centers Bremen zum Transfer von Raumfahrt-Robotik in irdische Anwendungen, dabei vor allem das Projekt TransTerra, betont diese Gemeinsamkeiten und zeigt Chancen auf, wie Entwicklungen aus der Raumfahrt-Robotik in irdischen Anwendungen eingesetzt werden können.

**Prof. Dr. Viktor Krozer,**  
Goethe Universität Frankfurt

## Radar-Vision für die Raumfahrt-Robotik

Landung und Andockung im Weltraum benötigen bildgebende und zielverfolgende Sensoren, die unabhängig von der Beleuchtungssituation arbeiten können und gleichzeitig eine gute Auflösung und exakte räumliche Lokalisierung bei minimalen Datenraten aufweisen. Radarsensoren mit Millimeterwellen und Echtzeit-Bildverarbeitung können diese Anforderungen erfüllen.

Der Beitrag wird erste Ergebnisse im Rahmen des laufenden Projekts mmRadar4space vorstellen, welches zum Ziel hat, hoch aufgelöste 3-D-Bildgebung für die Raumfahrt-Robotik in zukünftigen Raumfahrtmissionen, wie zum Beispiel der DEOS-Mission, zu evaluieren und mit Hilfe eines 3-D-Radar-Bildgebungssystems zu demonstrieren.

Radar-Vision in der Raumfahrt mit Echtzeit-Bildverarbeitung und hoher Struktur-Auflösung stellt extreme Anforderungen an die Elektronik, die derzeit noch nicht erfüllt werden können.

Deshalb konnte der Einsatz derartiger Sensoren in Weltraummissionen bisher noch nicht gezeigt werden. Die Arbeiten im Projekt konzentrieren sich auf die Entwicklung neuer weltraumtauglicher Millimeterwellen-Elektronik für den Radarsensor und auf die Entwicklung von Radarsystemen, die effizient mit den knappen Ressourcen im Weltraum auskommen. Die zu untersuchenden Systeme für die Radar-Vision sollen ein Objekt ab einer Entfernung von 1000 m erkennen, dieses verfolgen und ab 20 Meter in 3-D darstellen können. Die in dem Projekt zu entwickelnden Technologien können unmittelbar auf andere, auch terrestrische, Anwendungen übertragen werden.

Im Rahmen des Projekts konnten wir bereits zeigen, dass die Ortung eines Satelliten in einer Entfernung von bis zu 1.000 Metern mit Hilfe von Millimeter-Wellen Radar möglich ist. Simulationsergebnisse für ein Demosystem bei Entfernungen bis 20 Meter zeigen, dass ein nahezu artefaktfreies Bild mit einer Bilddynamik von 30 dB mit Hilfe von > 64 Sendern und Empfängern und synthetischer Bild-Rekonstruktion erhalten werden kann, was einer Ausdünnung gegenüber einem vollbesetzten System von etwa 80 Prozent bedeutet. Das zu realisierende Demonstrationssystem wird 32 Sender und 32 Empfän-

ger mit verschiebbaren Positionen enthalten, um die notwendige Anzahl der Sender- und Empfängerkombinationen zu generieren. Die resultierende Ortsauflösung des Systems mit 3-D Bildgebung wird bei 30 x 30 x 10 Prozent liegen. Es wurden neuartige Komponenten und Architekturen für dieses System entwickelt, die eine Bildrekonstruktion und -verarbeitung in minimaler Zeit erlauben sollen. Im Bereich der Komponenten sind experimentelle Ergebnisse für Leistungsendstufen-Chips bei 96 Gigahertz mit einer Ausgangsleistung von etwa 40 Milliwatt gezeigt worden. Diese Werte sollen in der weiteren Entwicklung auf Werte von über 100 Milliwatt gesteigert werden. Konzepte zur effizienten Signalerzeugung und Datenverarbeitung werden derzeit auf der Grundlage von FPGA entwickelt.

*Co-Autoren: M. Vossiek, Univ. Erlangen;  
W. Heinrich, Forschungsverbund Berlin,  
Ferdinand-Braun-Institut;  
J. Bosse, Robo-Technology GmbH*





**Friedrich Schön,  
Fraunhofer First**

## Multi-Core-Prozessoren für Robotik-Anwendungen in der Raumfahrt

Auch in der Raumfahrttechnik ist, wie in allen Anwendungsbereichen von Rechnersystemen, die Tendenz hin zu einem immer höheren Bedarf an Rechenleistung eindeutig vorgegeben. Die aktuelle technologische Entwicklung im Bereich der Multi-Core-Prozessoren bietet durch die Nutzung der in vielen Anwendungen vorhandenen Parallelität eine enorme Steigerung der Verarbeitungsleistung. Es ist damit absehbar, dass Multi-Core basierte Rechnersysteme auch in zukünftigen Weltraummissionen eingesetzt werden, um beispielsweise die hohe Rechenleistung für autonome Robotik-Anwendungen bereitzustellen.

In dem vom BMWi über die Raumfahrtagentur DLR geförderten Projekt MUSE wird untersucht, wie die Vorteile der Multi-Core-Prozessortechnologie für zukünftige Weltraumanwendungen effektiv nutzbar sind. Ziel des Projekts ist es, unter Verwendung moderner Multi-Core-Technologie eine Architektur zur sensor-basierten Positionsverfolgung im Weltraum zu entwickeln und aufzubauen. Dabei sollen die redundanten Ressourcen der Multi-Core-Prozessoren nicht nur zur Maximierung der Verarbeitungsleistung, sondern auch zur Erhöhung der Systemzuverlässigkeit genutzt werden. Ein Schwerpunkt der Entwicklung des Systems ist deshalb die Integration leistungsfähiger Fehlertoleranzmechanismen, sodass

strahlungsbedingte Fehlfunktionen zuverlässig erkannt und behandelt werden können. Als Grundlage für die Entwicklung des High Performance Processing Node (HPPN) wurde die PowerPC Multicore Familie „QoriQ“ von Freescale, gewählt. Der neue 8 Kern Prozessor P4080, kann mit einer Taktfrequenz von bis zu 1,5 Gigahertz betrieben werden und damit theoretisch eine Spitzenleistung von etwa 30 GIPS liefern (GIGA Instruktionen/Sekunde). Neben der hohen Rechenleistung bei einer vergleichsweise geringen Verlustleistung bietet der P4080 zusätzlich die Vorteile eines hoch integrierten Embedded Prozessors. Alle wichtigen Funktionen für den Aufbau eines kompletten Hochleistungsrechners sind bereits on-chip integriert.

Die Vorteile des Multi-Core-Ansatzes und insbesondere auch die Leistungsfähigkeit und Fehlertoleranz des im Projekt realisierten Prototyps sollen am Beispiel einer komplexen Tracking-Sensor-Anwendung demonstriert werden. Hierzu werden die Bilddaten aus bis zu 4 leistungsfähigen Kamerasystemen mit unterschiedlichen Brennweiten und programmierbarer Auflösung in Echtzeit verarbeitet, um anhand von Featurepunkten und gegebenenfalls weiterer Informationen die Position und Lage gegenüber einem anderen Objekt (zum Beispiel Satellit, Mondoberfläche, Asteroid) zu ermitteln. Dabei müssen die Berechnungen nicht nur in Echtzeit sondern auch äußerst robust und sicher erfolgen, damit die Ergebnisse für die zuverlässige Steuerung der Bahn eines Weltraumfahrzeugs verwendet werden können.

*Co-Autor: S. Pletner, Fraunhofer First*

**Jean-Claude Piedboeuf, B.Eng., Ph.D., Director,  
Space Exploration Development, Canadian Space  
Agency CSA**

## A Canadian View on Space Robotics

Canada has a long history in space robotics, which started over 30 years ago with the provision of the Canadarm manipulators of NASA's Space Shuttles. This capability led to the development and launch of the Mobile Servicing System (MSS) on the International Space Station (ISS). The MSS is composed of three main elements: the Space Station Remote Manipulator System a.k.a. Canadarm2, the Special Purpose Dexterous Manipulator a.k.a. Dextre, and the Mobile Base System. A smaller version of these manipulators was provided on DARPA's Orbital Express mission, which was a technology demonstration of on-orbit servicing.

In addition to the traditional robotic manipulator expertise, Canada has also developed a niche in space vision systems, which are an essential element of space robotics operations. This started in the early 1990's with a camera-based photogrammetric system called the Space Vision System and eventually the Advanced Space Vision System, which was used to provide operators with additional information on the position and attitude of manipulation targets during space assembly operations.

Eventually, a complementary niche expertise developed in active vision systems with the development of the Laser Camera System, which used triangulation to obtain range data; and other systems based on the time-of-flight principle, such as the rendezvous LIDAR that was used on the USAF's XSS-11 mission. These technologies have resulted in new opportunities such as the inspection sensors that were used to inspect the thermal protection system tiles before each Space Shuttle re-entry.

In the near term, there will be a need for more automated surface rover vehicles and manipulators to collect and handle samples on the Moon and Mars. In the longer term, robotic systems will be required to bring samples back from the Moon and from Mars. Such missions will require robotic technologies such as robotic rovers, manipulators, specialized tools and vision systems for planetary surface operations. They will also require robotic technologies such as manipulators vision systems for orbital rendezvous and docking. With the Exploration Core Program Canada has started to build expertise in this field.

**Prof. Dr. Jürgen Roßmann,**  
RWTH Aachen

## Transferpotenzial der Raumfahrt-Robotik: Von der Hardware zu eRobotics

Die Raumfahrt-Robotik ist eine Schlüsseltechnologie für die Erkundung fremder Planeten und Trabanten unseres Sonnensystems. Die hohen Anforderungen an robotische Komponenten, die für erfolgreiche Explorationsmissionen bewältigt werden müssen, aber auch die dedizierte Förderung und Weiterentwicklung der Raumfahrtrobotik durch die großen Raumfahrtagenturen, haben dazu geführt, dass sich die Raumfahrtrobotik in den letzten Jahren zu einem Pionier und Technologietreiber für die Robotik insgesamt entwickelt hat.

Die beeindruckenden Entwicklungen auf diesem Gebiet haben über Anwendungen in der Raumfahrt hinaus ein hohes Transferpotenzial für terrestrische Applikationen. Die neu entwickelten Antriebs-, Sensor-, Steuerungs- und Simulationstechnologien helfen, aktuelle Anwendungen kostengünstiger und effizienter zu gestalten und neue Anwendungsfelder – über die eher traditionellen Einsatzgebiete für Robotik wie zum Beispiel in der produzierenden Industrie hinaus – zu erschließen. So legt die Raumfahrt-Robotik die Grundlagen für neue Ansätze zum Beispiel in der Medizin, in der Luftfahrt und im Straßenverkehr, in der Elektromobilität, im Umwelt- und Klimaschutz, aber auch in der Meeresforschung- und -exploration – um nur die wichtigsten zu nennen.

Kennzeichen der aktuellen Entwicklungen ist aber neben der Leistungsfähigkeit ihre inhärente Komplexität – sowohl für raumfahrtbezogene als auch für terrestrische Anwendungen. Daher ist es von großer Bedeutung, auch die Entwicklungs-, Test- und Inbetriebnahmeverfahren sowie die Aspekte der Mensch-Maschine-Kommunikation weiterzuentwickeln, um die Fähigkeiten solcher Systeme und auch ihr Technologietransferpotenzial optimal ausschöpfen zu können.

Neue, vielversprechende Ansätze liefern hier unter anderem Ideen des „eSystems Development“. Das neue Gebiet der „eRobotics“ kombiniert Know-how aus den Bereichen Robotik, Virtuelle Realität und Mensch-Maschine-Interaktion zu einem integrierten system-, disziplin- und anwendungsübergreifenden Ansatz, um die Entwicklung robotergestützter Applikationen auf der Basis der neuen Technologien zu vereinfachen und sie effizienter und kostengünstiger zu gestalten. So bleibt die immer weiter steigende Komplexität aktueller robotergestützter Automatisierungslösungen beherrschbar und das entwickelte Know-How wird digital konserviert und effizient für neue Anwendungsfelder nutzbar gemacht. „Virtuelle Testbeds“ und „Living Labs“ sind erste erfolgreiche Ergebnisse dieser Bemühungen, auf diese Weise auch den Technologietransfer zum Beispiel zur mittelständischen Industrie und zu Behörden zu intensivieren – das Potenzial der „eRobotics“ wird dabei aber bislang nur zu einem Bruchteil genutzt.

**Prof. Dr. Gerd Hirzinger,**  
DLR-Institut für Robotik und Mechatronik, RMC

## Technologie-Entwicklungen und Transfer-Effekte am Robotik und Mechatronik Zentrum des DLR

Zentrales Thema der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist die Technologievorbereitung für operationelle Systeme im Bereich des orbitalen Servicing (auch mit Blick auf Space Debris) und der planetaren Exploration. Das DEOS-Projekt stellt dafür einen wichtigen Schritt dar.

Generelles Ziel ist das Agieren im Weltraum von der Erde aus, basierend auf stark verbesserten Kommunikationsstrukturen und einer Autonomie zwischen Bodenoperator und Roboter im All mit der Vision, ständig mehr Autonomie zum „remote System“ hin zu verschieben und so auch die Probleme der Signallaufzeit zu minimieren. Antropomorphe, zweiarmige mobile Roboter als Vorstufe zum europäischen „Robonauten“ für den im Auftrag der ESA eine erste Robonautenhand entwickelt wurde, haben mit ihren inzwischen weltraumerprobten, drehmomentgeregelten Leichtbauantrieben den „Soft Robotics“-Konzepten des DLR zum international sichtbaren Durchbruch verholfen. Und die echtzeitfähige 3-D-Weltmodellierung nach dem sogenannten SGM-Verfahren ist zur Grundlage für Perception im Orbit und für Mobilitäts-Konzepte auf Mond und Planeten geworden.

Der Technologietransfer in die terrestrische Anwendung ist traditionell ein Schwerpunkt der DLR-Arbeiten, er reicht von der Automobilproduktion über die Chirurgie und Prothetik bis hin zur Elektromobilität und Fahrerassistenz. Darüber hinaus wird versucht, durch die Entwicklung solargetriebener autonomer Höhenplattformen die Brücke zu schlagen zwischen Raumfahrt, Luftfahrt und Robotik.

**Prof. Dr. Frank Kirchner,**  
Deutsches Forschungszentrum für  
Künstliche Intelligenz (DFKI)

## Robotische Exploration des Sonnensystems

Eine effiziente und zuverlässige Oberflächen-  
erkundung fremder Himmelskörper stellt die  
Forschung vor große Herausforderungen. In die-  
sem Vortrag möchten wir drei wesentliche Prob-  
leme behandeln.

Herausforderung Nr. 1 ist die Mobilität. Bei jeder  
Erkundungsmission von fernen Himmelskörpern,  
Monden oder Asteroiden werden unsere Roboter  
mit der Tatsache konfrontiert, dass diese fremden  
Welten für sie keine gepflasterten Straßen und  
Verkehrszeichen bereithalten. Stattdessen sehen  
sie sich einer unwirtlichen Umgebung gegen-  
über, die ausgesprochen robuste Fortbewegungs-  
fähigkeiten erfordert, eben weil weder ausge-  
baute Verkehrswege noch Straßenschilder als  
Grundlage für zuverlässige Navigations- und  
Selbstlokalisierungssysteme zur Verfügung stehen.

Zum Thema Mobilität möchten wir Lösungen  
vorstellen, die beide Gesichtspunkte mit einbe-  
ziehen: Zunächst die laufende und radgetriebe-  
ne Fortbewegung und zusätzlich eine Methode  
zur Selbstlokalisierung und Kartierung, die spezi-  
ell für unwirtliches Gelände entwickelt wurde,  
der sogenannte eSLAM (embodied SLAM).

Die zweite Herausforderung ist die Manipulation,  
denn sobald wir in der Lage sind, uns überall  
dorthin zu bewegen, wohin wir wollen, möch-  
ten wir an diesen Orten auch immer komplexere  
Aufgaben übernehmen. Zum heutigen Zeit-  
punkt sind für diese Aufgaben nur einfache Ma-  
nipulationen erforderlich, so zum Beispiel für  
das Platzieren eines Sensors auf einen vorge-  
gebenen Punkt und das Sammeln von Daten.

Diese Manipulationen sollen jedoch von der  
aktiven Probenentnahme über Bestückungsauf-  
gaben bis hin zu Aufgaben gehen, die geschick-  
te zweihändige Manipulation erfordern, zum  
Beispiel, um eine Batterie in einem Rover aus-  
zutauschen, ein Kabel zwecks Verbindung von  
zwei Geräten einzustöpseln oder sogar eigen-  
händig Infrastrukturkomponenten herzustellen.  
Wir stellen Lösungen zur mobilen Manipulation  
vor, die hohe Mobilität mit präziser Manipulati-  
on und geschicktem Greifen verbinden.

Die dritte Herausforderung besteht darin, den  
Menschen auch weiterhin mit einzubeziehen, da  
robotische Systeme nicht nur immer komplexer,  
sondern auch immer zahlreicher werden. Bei  
den meisten Weltraumerkundungen sind die  
Entfernungen für direkte Kommunikations-  
kanäle zu groß, sodass sich automatische Tele-  
operationstechnologien, wie wir sie heute ken-  
nen, von selbst verbieten. Egal wie autonom die  
Roboter, die wir in den Weltraum senden, agie-  
ren, sie müssen klar durch den Menschen kont-  
rollierbar sein. Aus diesem Grunde müssen neue,  
intuitivere Teleoperationskontrolltechniken ent-  
wickelt werden, die es dem menschlichen Ope-  
rator ermöglichen, mit einer großen Anzahl von  
kinematisch sehr komplexen Systemen zu inter-  
agieren.

In diesem Vortrag werden wir das Konzept der  
virtuellen Immersion als einen passenden Ansatz  
zur Mensch-Roboter-Interaktion vorstellen. Es  
verbindet komplexes Exoskelett-Design mit  
Brain-Reading und stellt so eine intuitive Schnitt-  
stelle zwischen Mensch und Maschine her.

Abschließend behandeln wir kurz eine Über-  
tragung von Ergebnissen aus der Weltraum-  
robotik in zwei praktische, terrestrische An-  
wendungen, nämlich Tiefsee-Technologien und  
Elektromobilität.

**Prof. Dr. Felix Huber,**  
DLR, German Space Operations Center, GSOC

## Bodensegment für robotische Missionen

Die Robotik hat inzwischen einen deutlichen  
Fußabdruck in der deutschen Raumfahrt hinter-  
lassen. So ist das Deutsche Raumfahrtkontroll-  
zentrum (GSOC) unter anderem durch den  
Missionsbetrieb für den Rosetta Lander Philae  
an robotischen Explorationsmissionen beteiligt.  
Auch für den erdnahen Orbit bereitet sich das  
GSOC auf den Betrieb der On-Orbit-Servicing-  
Mission DEOS vor.

Neben der wissenschaftlichen Motivation,  
interstellare Körper zu untersuchen, gibt es  
inzwischen eine Notwendigkeit, Raumfahrt-  
robotik in Zukunft zu beherrschen: Die Zunahme  
des Weltraummülls zwischen 800 und 1.000  
Kilometer Bahnhöhe hat im Jahr 2009 zum  
ersten Mal einen operativen Satelliten zerstört.  
Eine weitere Zunahme des Weltraummülls ist  
nur durch aktives Entfernen größerer Objekte  
zu vermeiden. Dazu sind robotische Missionen  
notwendig.

Der Vortrag zeigt die notwendigen Technologie-  
entwicklungen, um das Bodensegment auf den  
Betrieb raumfahrtrobotischer Missionen vorzu-  
bereiten. Dazu gehören Rendezvous & Docking,  
Telepräsenz sowie intensive Simulation und Veri-  
fikation.

# Kurzbeschreibung Postersession

## Astos – Space Robotics Simulator

Der Space Robotics Simulator dient der gekoppelten Missions- und GNC-Analyse von komplexen Raumfahrtszenarien speziell für effiziente Voranalysen. Eine realistische und echtzeitfähige 3-D-Visualisierung berechnet zusätzlich physikalische Effekte und führt diese an die Dynamik zurück.

## DEOS

Um die Technologiereife der deutschen Raumfahrtrobotik im Bereich orbitaler Serviceleistungen aufzuzeigen, sollen mit der DEOS-Mission zwei Satelliten bereitgestellt werden. Einer simuliert einen taumelnden, ausgedienten Satelliten. Der andere einen Service-Satelliten mit integrierem Leichtbaumanipulator, der den ersten Satelliten anfliegen und kontrolliert bergen soll

## EPOS 2.0

In den letzten Jahren wurden mehrere Satellitenprojekte (zum Beispiel DEOS) gestartet, um On-Orbit-Servicing-Dienste anzubieten. Die neue robotische Simulationsanlage EPOS 2.0 des DLR erlaubt sowohl die Simulation des Rendezvousvorgangs solcher Missionen als auch den Test des Dockingprozesses.

## FastMap

Ziel von FastMap ist die Erstellung von Navigationskarten für die Planetenexploration mit autonomen mobilen Robotern. Dazu werden neue Verfahren zur semantischen Umweltmodellierung und zur Erzeugung digitaler Höhenmodelle entwickelt und in einem Virtuellen Testbed erprobt.

## iBOSS

Das Poster präsentiert die im Rahmen der iBOSS-Studie erarbeiteten Ideen zur Entwicklung modularer Satelliten, basierend auf intelligenten Bausteinen. Eine Wartung und Rekonfiguration defekter Satelliten durch On-Orbit-Servicing wird damit möglich.

## Intelligent Mobility – intelligente Technologien zur robusten autonomen Exploration von Außenbereichen

Das Poster zeigt Arbeiten des DFKI Robotics Innovation Center, in denen durch intelligentes Zusammenwirken von mechanischen Strukturen, Navigation und Autonomie die Robustheit von Explorationssystemen verbessert wird.

## IMPERA – Integrated Mission Planning for Distributed Robot Systems

In dem Forschungsvorhaben IMPERA werden Strategien zur verteilten Missions- und Aufgabenplanung für extraterrestrische Missionen sowie die dafür notwendige semantische Umgebungs-klassifikation untersucht. Ein Beispiel dafür ist die Exploration einer unbekanntes lunaren Umgebung durch ein Team von mobilen Robotern.

## iStruct

Hinsichtlich der Verbesserung der Mobilität und Erhöhung der Sensordichte in robotischen Systemen ist das Ziel des Projekts iStruct die Entwicklung von hochintegrierten Strukturen für mobile Robotersysteme.

## MUSE – Multicore-Prozessoren für Robotik-Anwendungen in der Raumfahrt

Fraunhofer FIRST untersucht im MUSE-Projekt, wie die Vorteile von leistungsfähigen Multicore-Technologien für zukünftige Weltraumanwendungen genutzt werden können. Ziel ist es, durch Nutzung neuester Multicore-Prozessoren eine Rechnerarchitektur zur sensor-basierten Positionsverfolgung im Weltraum zu entwickeln.

## RIMRES

Im Projekt RIMRES (Rekonfigurierbares Integriertes Mehr-Roboter-Explorations-System) wird ein komplexes Mehr-Roboter-Demonstrationsszenario zur Exploration lunarer Polkrater aufgebaut. Projektpartner sind DFKI RIC Bremen und ZARM.

## SELOK – Selbstlokalisierung von mobilen Robotern

Im Projekt SELOK wird eine Lokalisationseinheit samt Laserscanner für mobile Roboter entwickelt. Ausgehend von der Lokalisation von Arbeitsmaschinen im Wald ist das Projektziel die präzise Positionsschätzung für mobile Roboter auf planetaren Oberflächen.

## Soziale Mensch-Roboter-Interaktion

Ziel ist die Erforschung sozial agierender künstlicher Systeme, die Astronauten auf Langzeitmissionen unterstützen. Die prototypische Umsetzung dieser Ziele wird innerhalb zweier Szenarien angestrebt und in einer Isolationsstudie evaluiert.

## VIBANASS – Vision Based Navigation Sensor System

VIBANASS ist ein vielseitiges bildbasiertes Sensorsystem für Rendezvous, Docking & Landing. Es beinhaltet weltraumqualifizierte Kameras für den Fern-, Mittel- und Nahbereich sowie eine laserbasierte Beleuchtung.

## Virtual Crater

Virtual Crater ist eine virtuelle Testumgebung, um Robotersysteme kostengünstig in einer realitätsnah simulierten, lunaren Kraterlandschaft zu programmieren, zu testen und zu optimieren.

## Das Virtual Space Robotics Testbed

Das Virtual Space Robotics Testbed stellt neue Methoden zur integrierten, system-, disziplin- und anwendungsübergreifenden Entwicklung und Verifikation komplexer Systeme unter unterschiedlichen Umweltbedingungen in kalibrierten virtuellen Welten bereit.

## SpaceClimber

Das Ziel des Vorhabens SpaceClimber ist die Entwicklung eines sechsbeinigen, bioinspirierten, energieeffizienten und adaptiv freikletternden Roboters, welcher als mobile Plattform für die Exploration in unwegsamem Gelände und steilen Hängen dienen soll.



## Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



DLR

Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt

**Raumfahrtmanagement**

Königswinterer Str. 522-524  
53227 Bonn-Oberkassel

Telefon +49 228 447-0

[www.DLR.de](http://www.DLR.de)