



STERNE UND WELTRAUM



Itokawa

Ein Kleinplanet unter der Lupe



MILCHSTRASSE

Jagd auf das Schwarze Loch im galaktischen Zentrum

RADIOTELESKOP

Ein Bausatz für Schulen und Amateure

(D/A) 7.60 EUR · (L) 7.90 EUR · (CH) 14.80 CHF





▶ Abb. 1: Pannenhilfe im All – ein Roboterarm fängt einen taumelnden Satelliten ein.

Roboter für den Weltraum

VON KLAUS LANDZETTEL

Auf der Internationalen Raumstation ISS ist seit mehr als einem Jahr ein kleiner experimenteller Roboterarm tätig. Er demonstriert Technologien und Verfahren, die für künftige Satellitenwartungsmissionen in der Erdumlaufbahn von großer Bedeutung sind. In diesem Artikel berichtet der Autor über den aktuellen Stand der Weltraumrobotik in Deutschland.

Wenn wir unseren Fernseher einschalten, um Live-Übertragungen von einem beliebigen Ort auf der Erde zu verfolgen oder mittels GPS das Auto sicher durch fremde Städte zu navigieren, sind wir uns der dahinter stehenden Technik meist nicht bewusst. Satelliten in geostationären und in tieferen Umlaufbahnen ermöglichen uns diesen Komfort. Aber auch die Erkundung der Planeten in unserem Sonnensystem ist bisher wesentlich durch

den Einsatz von sensorentragenden Sonden oder Automaten vorangetrieben worden. Vor Ort, zum Beispiel auf einem fernen Planeten, können ferngesteuerte Roboter die Beschaffenheit der Oberfläche erkunden, Bilder zur Erde übertragen. Gesteinsproben sammeln und mit entsprechender Sensorik analysieren.

Es gibt sogar die Möglichkeit, mit so genannten Sample-Return-Missionen Gesteins- und Bodenproben auf die Erde zu bringen. Diese Variante ist wesentlich

effektiver als den für den Aufenthalt im Weltraum nicht geschaffenen Menschen dorthin zu schicken. Wir Menschen haben uns im Laufe der Entwicklungsgeschichte von einigen hunderttausend Jahren optimal an die Lebensbedingungen auf der Erde angepasst: Es wird uns auf absehbare Zeit nicht gelingen, uns an die lebensfeindlichen Bedingungen des Weltraums zu gewöhnen – daher der gewaltige Aufwand für die entsprechenden Lebenserhaltungssysteme einschließlich der teuren Raumanzüge.

Die gerade etwas mehr als 40 Jahre alte Robotik lässt sich in kurzer Zeit und mit vergleichsweise minimalem Aufwand an die Weltraumbedingungen anpassen. In Verbindung mit leistungsfähigen Fernsteuer- und Telepräsenztechniken tritt auch die gelegentlich hochstilisierte Frage in den Hintergrund, wann Robo-

ter wirklich intelligent werden und autonom arbeiten können. Hat man einmal die Grundkonzepte des »verlängerten Arms im All« verstanden und realisiert, dann kann man in einer Mission völlig flexibel alle Grade der Autonomieverteilung zwischen dem Operateur am Boden und dem Roboter im All variieren – bis hin zu der nach jeweiligem Stand der Technik höchst möglichen Autonomie an Bord des Raumfahrzeugs. Das derart charakterisierte Agieren im Weltraum durch Fernsteuerung von der Erde aus stellt mit der zügig fortschreitenden Robotertechnologie eine ständig kostengünstiger werdende Alternative zur bemannten Raumfahrt dar.

Wartung im All

Wie bei jedem technischen System, können auch im Weltraum Probleme auftreten, welche die genannten Dienste in Frage stellen. Im Falle von Problemen auf der ISS müssen die Astronauten selbst versuchen, diese zu beheben. Dies geschieht notfalls auch durch riskante »Weltraumspaziergänge«, die Geschicklichkeit, intensives Training, und enorme körperliche Anstrengungen erfordern.

Raumfahrtsysteme oberhalb einer Bahnhöhe von etwa 600 Kilometern sind für Astronauten mittels Raumfähren bisher nicht erreichbar und damit von jeglicher Reparatur ausgeschlossen. Aber gerade dort befinden sich viele Satelliten, die wir zur Erdbeobachtung, Fernschübertragung und Navigation dringend benötigen.

Im geostationären Orbit kommt ein weiteres Problem hinzu: Dort haben Satelliten fest zugewiesene »Stellplätze«, die sie unter keinen Umständen verlassen dürfen. Wird beispielsweise ein Fernsehsatellit manövrierunfähig, so gefährdet er seine Nachbarn und belegt eventuell nutzlos einen wertvollen Stellplatz. Satelliten, bestückt mit Roboterarmen, so genannte Robonauten, die von der Erde aus ferngesteuert werden, können diese Probleme weitgehend lösen. Ferngesteuerte Roboterarme können Astronauten bei Routine- und Wartungsarbeiten auf der Raumstation unterstützen, unkontrolliert taumelnde Satelliten einfangen, sie reparieren oder Stellplätze in der geostationären Umlaufbahn frei räumen. Rover mit Roboterarmen sammeln autonom, oder von der Erde aus befehligt, Gesteinsproben, analysieren diese oder bereiten den Aufenthalt von Menschen auf entfernten Planeten vor.

Die Art und Weise der Fernsteuerung hängt dabei ganz wesentlich von den zur Verfügung stehenden Datenverbindungen und Signallaufzeiten ab. Ein Ro-

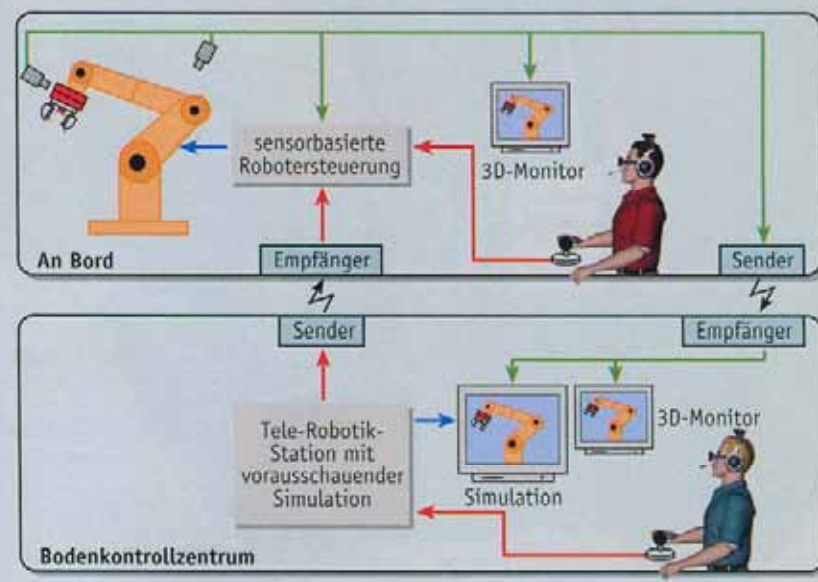
boter auf dem Mars muss weitestgehend autonom arbeiten. Der Bediener auf der Erde kann hier nur Aufgaben definieren, die das System vor Ort selbstständig lösen muss. Eine direkte Fernsteuerung ist wegen der hohen Signallaufzeiten (mindestens 40 Minuten) nicht möglich. Daher muss das Robotersystem selbstständig navigieren, Objekte erkennen, und wissen, wie diese Objekte zu greifen und zu handhaben sind.

Bei Datenverbindungen mit relativ kurzen Signallaufzeiten (weniger als einer halben Sekunde) kann die so genannte Telepräsenzsteuerung zum Einsatz kommen. Bei dieser sehr leistungsfähigen Betriebsart wird der Bediener an der Bodenstation mittels der dargebotenen Informationen – wie Stereobilder, Kräfte und Momente – in die Lage versetzt, so zu handeln, als würde er selbst an dem entfernten Ort arbeiten. Sattelli-

Rotex – Eine erste Demonstration im Weltraum

Das Robotersystem ROTEX (oberes Bild) wurde 1993 an Bord der Raumfähre COLUMBIA während der Mission SPACELAB-D2 erprobt. Dabei konnte das DLR die prädiktive Simulation bei einem Roboter-greifarm erfolgreich demonstrieren. Sie zeigt vor Ausführung der Bewegung die

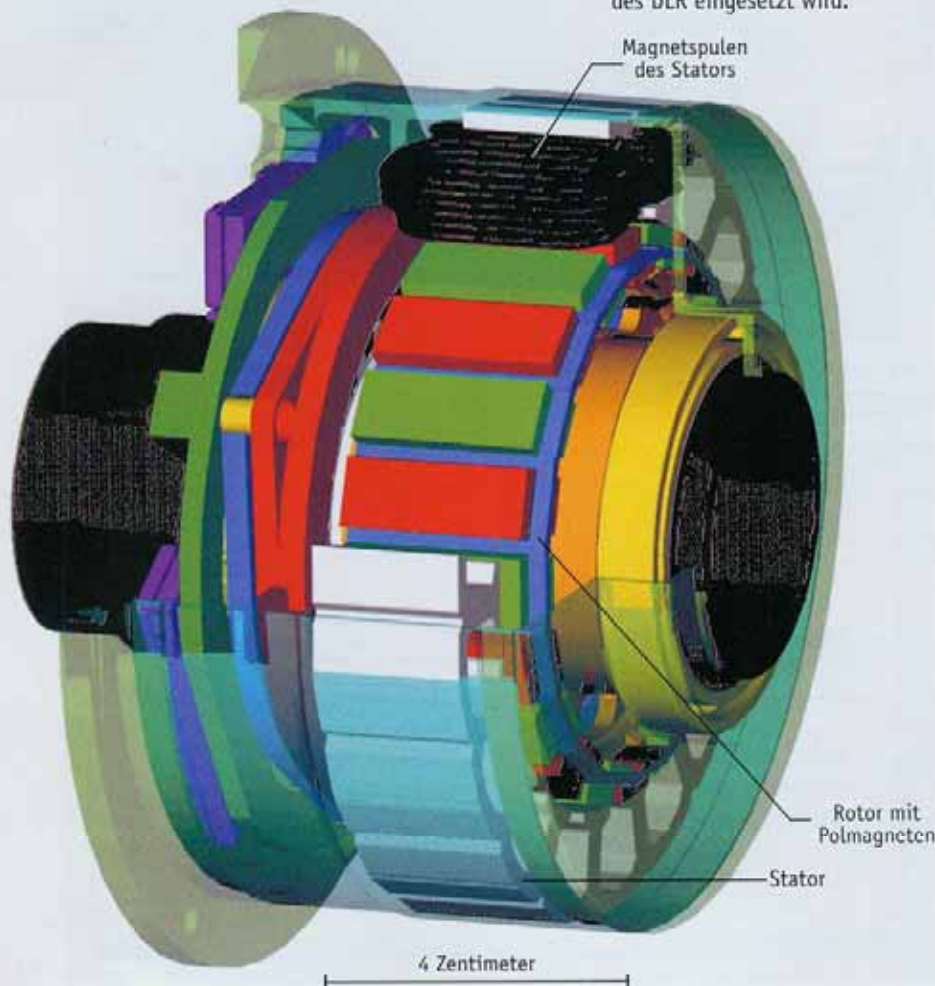
Position des Roboterarms im Labor. Im unteren Bild sind schematisch die Datenflüsse zwischen Boden und Weltraum dargestellt. Sowohl Astronauten an Bord der Raumfähre als auch Operateure im Bodenkontrollzentrum Oberpfaffenhofen konnten ROTEX im All fernsteuern.





▲ Abb. 2: Der Experimentelle Service-Satellit ESS erprobte im Labor das Einfangen eines taumelnden Satelliten.

▼ Abb. 3: Diese Computergraphik enthüllt den inneren Aufbau der ROBOdrive-Einheit, der bei den neuen Leichtbauroboterarmen des DLR eingesetzt wird.



tenreparaturen und Wartungsarbeiten in der geostationären Umlaufbahn sind ebenfalls im Telepräsenzbetrieb möglich, denn die Signallaufzeiten bei permanenter Verbindung betragen hier nur etwa eine viertel Sekunde.

Weltraumrobotikexperimente in Deutschland

In den letzten Jahren hat das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) zahlreiche Experimente zur Entwicklung leistungsfähiger On-Orbit-Servicing-Systeme (Robonauten) gefördert und durchgeführt. Ein erster, von der Erde aus ferngesteuerter Roboter flog bereits 1993 an Bord der 2003 verunglückten Raumfähre COLUMBIA zehn Tage lang um die Erde. Vom Kontrollzentrum des DLR in Oberpfaffenhofen aus wurde sensorregelt eine Gitterstruktur zu Testzwecken montiert und vollautomatisch ein kleiner freifliegender Würfel eingefangen.

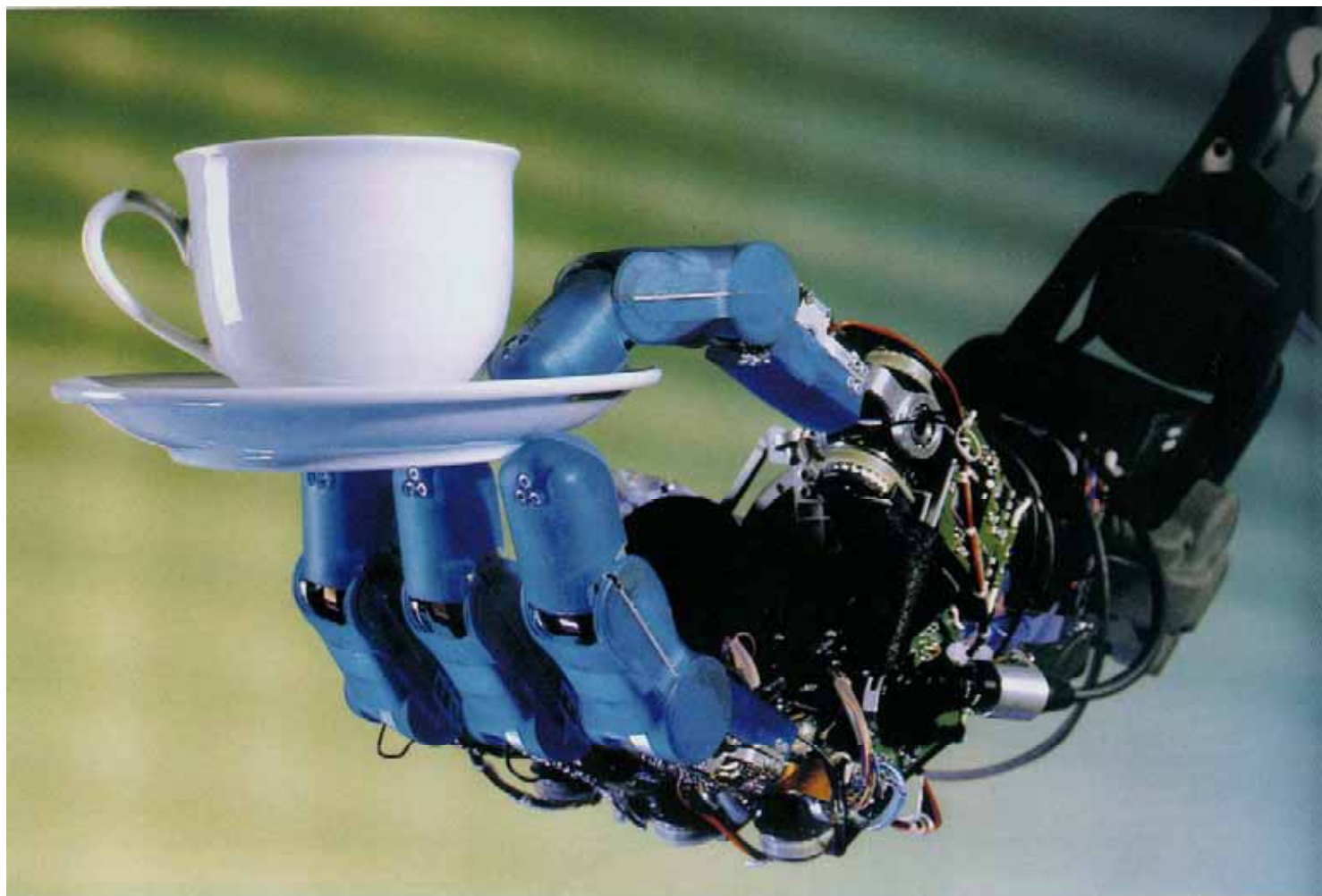
Prädiktive (vorausschauende) Computersimulationen (siehe Kasten vorige Seite) sowie gleichzeitig geschlossene Sensorregelkreise an Bord- und Bodensystemen ermöglichten dem Operateur an der Bodenstation, trotz einer Signallaufzeit von mehr als sechs Sekunden, diese anspruchsvollen Aufgaben durchzuführen.

Den Griff von einem freifliegenden Servicesatelliten auf ein anderes bewegtes Objekt simulierten wir im Rahmen einer Studie (ESS, Experimenteller Service-Satellit) im Labor. Mittels eines speziellen Werkzeugs, einem Capture-Tool, fängt ein Roboter, der selbst auf einem Satelliten montiert ist, einen taumelnden Satelliten an dessen Apogäumsmotor ein. Die dabei durch die Roboterarmbewegung auftretenden Rückwirkungen auf die Lage des Satelliten wurden bei ESS in einem Dynamikmodell berechnet. Dieses wurde im Rahmen einer deutschen Beteiligung an der japanischen ETS-VII-Satellitenmission (Experimental Test Satellite VII) überprüft und der Realität besser angepasst. Abb. 2.

Die genaue Kenntnis des dynamischen Verhaltens von Satellit und Roboter ist ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zum Robonauten, der unter anderem auch außer Kontrolle geratene Satelliten einfangen soll.

Leichtbau-Roboter

Am Institut für Robotik und Mechatronik des DLR in Oberpfaffenhofen werden die weltweit fortschrittlichsten mechatronischen Robotergelenkeinheiten entwickelt und gebaut. Sie sind im Gegensatz zu herkömmlichen Robotern drehmomentgeregelt und kinematisch redundant, das heißt, sie besitzen wie der menschliche Arm sieben Freiheitsgrade, im Ge-



▲ Abb. 4: Die Vier-Finger-Hand des DLR erlaubt das gefühlvolle Greifen von Objekten, wie hier einer Tasse. Sie ist fast so beweglich wie eine menschliche Hand und kann sehr feinfühlig empfindliche Objekte handhaben.

gensatz zum typischen Industrieroboter mit seinen sechs Gelenken. Mit dem derzeit erreichten Gewicht von etwa 13 Kilogramm, einer Traglast in ähnlicher Größenordnung bei Armlängen von mehr als einem Meter und einer typischen Leistungsaufnahme unter 150 Watt nähern sie sich den Grenzen des heute technisch Machbaren.

Ein entscheidender Innovationssprung gelang dabei mit der Entwicklung eines speziell für die Leichtbaurobotik konzipierten Motors über Methoden der ganzheitlichen »Concurrent Engineering«-Modellbildung und -Simulation. Dieser so genannte Multipol-Innenläufer-Motor ROBODRIVE zeichnet sich unter anderem durch eine Halbierung seines Gewichts und einer um die Hälfte reduzierten Verlustleistung gegenüber bisherigen Antriebssystemen aus (Abb. 3).

An unserem Institut gelang es, die komplette Steuer-, Leistungs- und Signalelektronik in die Arme zu integrieren. Die Drehmomentregelung in allen Gelenken macht erstmalig »gefühlvolle« Arme möglich, die beliebig programmierbar

nachgiebig reagieren. Sie haben also vertrauenserweckende Eigenschaften, die für das Arbeiten eines Robotassistenten im menschlichen Umfeld unerlässlich sind. Der inzwischen mehrfach – auch wegen seines Designs – ausgezeichnete Arm gilt weltweit als der technologisch fortgeschrittenste Robotarm (Abb. 5).

Ergänzt werden diese Arbeiten durch die Entwicklung künstlicher Vier-Finger-Hände mit zwölf beziehungsweise 13 Bewegungsfreiheitsgraden. Bereits die erste DLR-Hand von 1998 gilt mit ihren nahezu 1000 mechanischen und 1500 elektrischen Komponenten als die komplexeste aller bisher gebauten Roboterhände. Zum ersten Mal gelang es, alle zwölf Antriebe in die Hand zu integrieren. Die dabei eingesetzten Seilzüge in Verbindung mit einem beim DLR entwickelten künstlichen Muskel wiesen allerdings noch Mängel in Bezug auf Wartung und Dauerbelastung auf.

Die neueste Generation der DLR-Hand, welche eine noch wesentlich stärker integrierte Elektronik besitzt, beseitigt diese Nachteile durch alternative Antriebskonzepte auf der Basis so genannter differenzieller Kegelradgetriebe. Ein dreizehnter Aktuator erzeugt sogar eine anpassungsfähige adaptive Handfläche, und statt 400 sind nun nur noch zwölf Leitungen zur »Außenwelt« erforderlich (Abb. 4). Die Vision des DLR sind humanoide Robonauten (Abb. 6). Sie sollen dereinst frei-

fliegend Systeme im Weltraum ansteuern, inspizieren und warten beziehungsweise gezielt entsorgen. Auch die selbstständige Erkundung von Planetenoberflächen ist denkbar.

Rokviss, Leichtbau-Roboterkomponenten für Weltraumanwendungen

Aus den oben beschriebenen Arbeiten ergaben sich Steuerungskonzepte zur Realisierung eines Servicesatelliten. Ein derzeit an der Außenfläche der ISS montiertes Robotikexperiment namens ROKVISS (Roboter Komponenten Verifikation auf der ISS) steuert die raumfahrttaugliche Hardware für den Robonauten bei. Das Experiment erforscht das Langzeitverhalten von hoch integrierten, intelligenten DLR-Leichtbaurobotergelenken im freien Weltraum und demonstriert erstmals die Leistungsfähigkeit der Telepräsenzsteuerung im realen Missionsbetrieb.

Am 24. Januar 2005 montierten zwei Astronauten die Hardware von ROKVISS (Abb. 7) an der Außenhaut des russischen Servicemoduls SVEZDA der ISS (Abb. 8). Das Experiment ist seit März 2005 in Betrieb und liefert seither viele wertvolle Messdaten über das Verhalten der Gelenke im freien Weltraum und zur Leistungsfähigkeit des Telepräsenzbetriebs.

Die an unserem Institut entwickelten Leichtbauroboterkomponenten sind wegen ihres geringen Gewichts und des

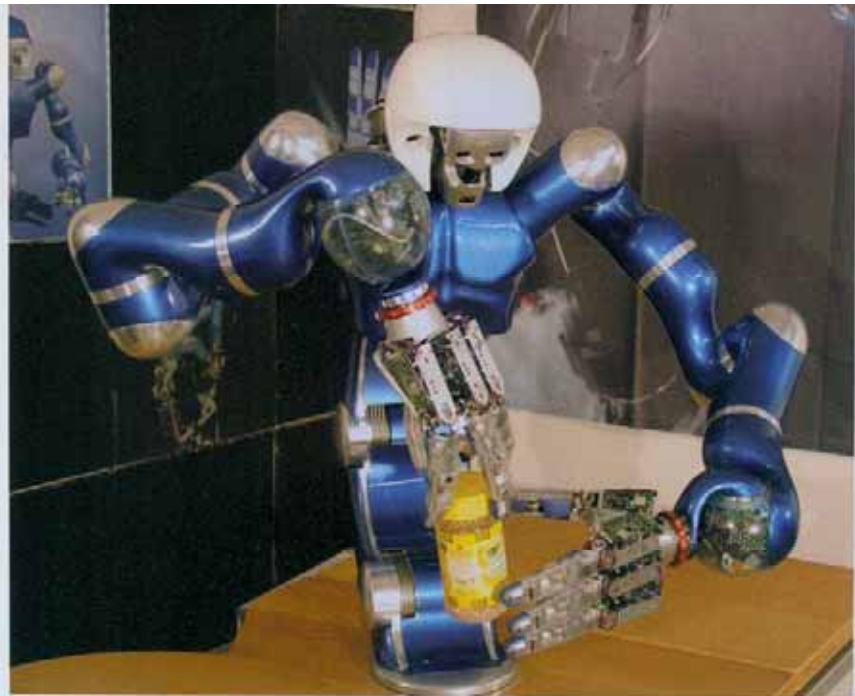
sehr niedrigen Energieverbrauchs vom Ansatz her für Anwendungen im Weltraum bestens geeignet. Jedoch sind einige Modifikationen notwendig, damit sie den realen Weltraumbedingungen standhalten. Umgebungsbedingungen wie Sonneneinstrahlung auf der einen Seite und Weltraumkälte auf der anderen, erhöhte Lagerreibung durch Vakuum sowie die Gefährdung elektronischer Komponenten durch radioaktive Strahlung beeinflussten das Design des kleinen Roboters wesentlich und wurden bei Herstellung berücksichtigt.

Derart hoch integrierte mechatronische Komponenten lassen sich nur mit modernsten Bauteilen aufbauen. In den beiden Gelenkelektroniken von ROKVISS werden elektronische Standardbauteile mit erweitertem Temperaturbereich (-45 bis +85 Grad Celsius) eingesetzt, die obendrein auch etwa sechs- bis achtmal billiger sind als für die Raumfahrt qualifizierte Bauteile.

Eine Ausnahme stellt hier allerdings die Stromversorgungseinheit mit integrierter Schutzschaltung dar, die mit strahlungstoleranten Komponenten gebaut wurde. Diese zum Patent angemeldete Schutzschaltung verhindert die Zerstörung der



▲ Abb. 5: Der DLR-Leichtbauroboter mit Vier-Finger-Hand ist durch seine vielen Gelenke sehr beweglich und wurde wegen seines Designs schon mehrfach ausgezeichnet.



▲ Abb. 6: Eine Vision des DLR ist die Entwicklung von humanoiden Robotern (Robonauten) als Helfer im All. Dieser Prototyp eines Halbandroiden besitzt zwei Greifarme für komplexe Arbeiten, der Kopf ist mit Stereokameras zur Kontrolle und Steuerung ausgerüstet.

Elektronik durch ionisierende Strahlung. Die Schaltung überwacht den Strom, den die einzelnen elektronischen Bauteile benötigen. Bei einem Treffer durch Protonen steigt der Stromverbrauch blitzschnell an. Die Überwachungsschaltung schaltet dann die Stromversorgung der betroffenen Gelenkelektronik ab und beseitigt gleichzeitig die in Kondensatoren auf den Platinen gespeicherte Ladung. Nach einer Wartezeit von etwa zwei Millisekunden wird die Versorgung wieder eingeschaltet und der Betrieb kann fortgesetzt werden. Während des Betriebs der Gelenke überprüft eine spezielle Überwachungssoftware die laufende Betriebssoftware und deren Parameter. Stellt sie Veränderungen durch externe Einflüsse (Strahlung) fest, so werden die betroffenen Stellen automatisch repariert.

Diese beiden Schutzmechanismen sorgten bisher für den problemlosen Betrieb von ROKVISS. Alle Wärme erzeugenden Bauteile wurden wärmeleitend mit der Außenhülle verbunden, um eine Überhitzung wegen der im Vakuum fehlenden Konvektionskühlung zu verhindern. Fliegt die ISS längere Zeit im Erdschatten, so sorgen Heizelemente in den Gelenken dafür, dass die Temperatur nicht unter minus zehn Grad Celsius absinkt. Beim Betrieb des Roboters in den von der Sonne beschienenen Bahnabschnitten steigt die Gelenktemperatur, dank der optimal gewählten Thermalfarbe, nicht über 40 Grad Celsius an.

Kommunikation und Telepräsenz

ROKVISS verfügt über eine eigene Kommunikationseinheit (256 kBit/s Uplink, 4 MBit/s Downlink) und ist damit weitgehend unabhängig von den Datenübertragungssystemen der ISS. Die S-Band-Kommunikationseinheit CUP, (Communication Unit für Payloads) wurde vom

PRÄMIERTES WISSEN

Gewinnen Sie einen neuen Leser für ein Jahresabonnement von **STERNE UND WELTRAUM** – und wählen Sie eine Dankeschönprämie!



»512 MB USB 2.0 Stick«



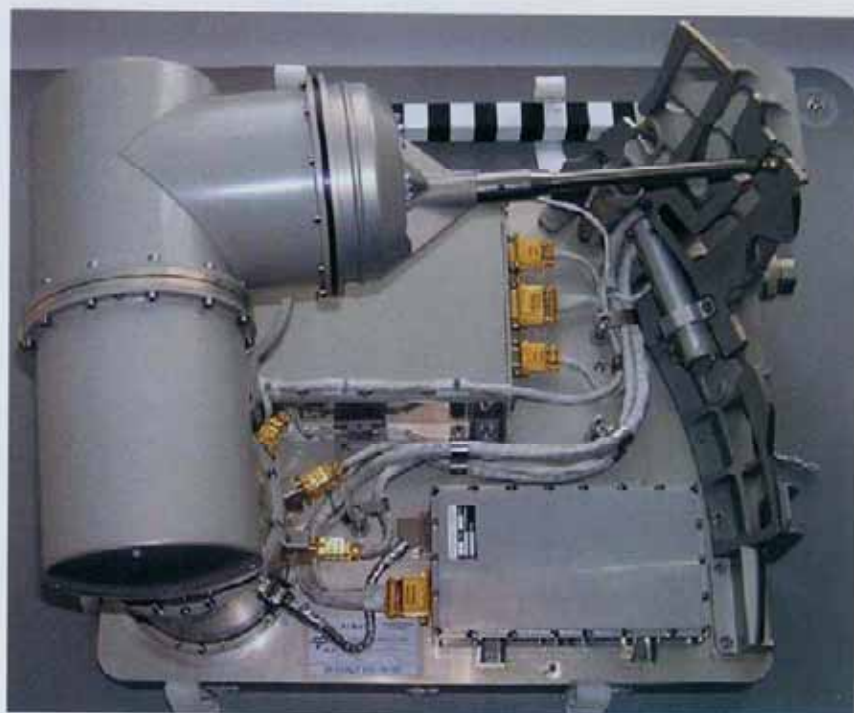
Das Buch »Himmelsgloben und Sternkarten« beschreibt die Entwicklung der Astronomie und Astrologie von der Vorgeschichte bis ins Mittelalter



Jahresabo **spektrumdirekt**. Die tägliche Wissenschaftszeitung im Internet mit über 16.000 Archivartikeln und vielen Links

Eine Bestellmöglichkeit finden Sie auf dem Beihefter, telefonisch: 06221 9126-743, per E-Mail: service@spektrum.com oder unter:

www.suw-online.de/abo



▲ Abb. 7: Die Rokviss-Flugeinheit vor ihrem Flug zur ISS

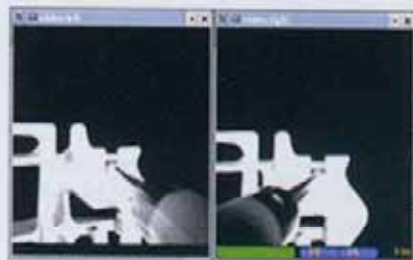
Münchner Raumfahrtunternehmen Kayser-Threde in Zusammenarbeit mit der Firma Systemtechnik Taubenreuther entwickelt und gebaut. Mit Hilfe dieser direkten Funkverbindung lassen sich die Telepräsenzexperimente von Rokviss während des Überflugs der ISS über die Bodenstation des DLR in Weilheim direkt steuern (Abb. 9). Die Kontaktzeiten betragen hierbei, je nach Umlaufbahn, bis zu acht Minuten. Der Roboter im Weltraum empfängt seine Bewegungskommandos vom Bediener am Boden. Ein kraftreflektierender DLR-Joystick dient dem Bediener als haptisches Eingabegerät.

Dabei werden die Kontaktkräfte, die während der Interaktion des Roboters mit seiner Umgebung auftreten, auf den Joystick am Boden übertragen. Gleichzeitig empfängt die Bodenstation auch die Bilder der Stereokamera. Der Bediener beobachtet und spürt die Interaktion: Er fühlt sich also (tele-)präsent. Die Telepräsenz stellt höchste Ansprüche bezüglich Datentaktate (Jitter) und Gesamtdatenlaufzeit an die Datenübertragungsstrecken. So sollte die Datentaktate mindestens bei 500 Hertz liegen und die Gesamtdatenlaufzeit weniger als 500 Millisekunden betragen.

Die Kamerasysteme (Abb. 9) von Rokviss entwickelte die Firma von Hoerner &

Sulger GmbH in Schwetzingen. Das Stereokamerasystem wurde so ausgelegt, dass der Bediener am Boden einen möglichst realistischen räumlichen Eindruck vom Geschehen im Weltraum bekommt. Die digitalen Videosignale des Kamerasystems werden komprimiert und über die Funkstrecke zur Erde gesendet, wobei die Videosignale innerhalb weniger Zehntelsekunden (zeitsynchron zu den Robotikdaten) auf den Bildschirmen der Bodenstation erscheinen müssen.

Zusätzlich zu dem Stereokamerasystem, das für den Nahbereich ausgelegt ist, ist Rokviss mit einer weiteren Kamera zur



Technische Daten von Rokviss

Abmessungen:	400 mm × 500 mm × 378 mm
Gewicht:	ca. 25 kg
Gesamtleistungsverbrauch:	100 Watt maximal, zusätzlich 30 Watt für Heizelemente in den Gelenken

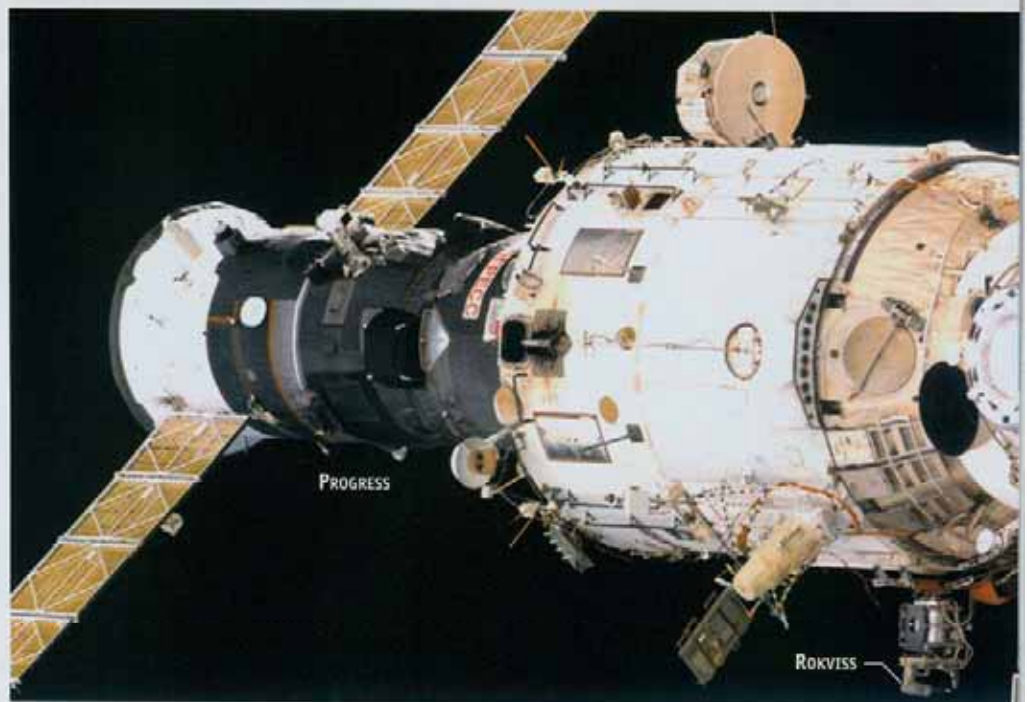
Erfassung von Objekten aus großer Entfernung ausgerüstet. Diese ist ebenfalls im Robotiksystem integriert und dient sowohl für Erdaufnahmen, als auch zur Beobachtung von Objekten in der Umgebung der ISS (Raumfähren, Sojus-Kapseln und PROGRESS-Raumtransporter).

Lernen aus der Erfahrung

Um reproduzierbare Ergebnisse zu gewinnen, arbeitet ROKVISS außerhalb der Funkkontaktzeiten auch im Automatikbetrieb. Dabei werden in regelmäßigen Abständen Bewegungs- und Arbeitsabläufe wiederholt, die Messdaten auf dem Bordrechner gespeichert und beim nächsten Funkkontakt zur Bodenstation von ROKVISS übertragen. Diese Messungen lieferten bisher viele wertvolle Erkenntnisse beispielsweise zum Reibungsverhalten der mechanischen Lager im Vakuum bei unterschiedlichen Außentemperaturen und dem Einfluss radioaktiver Strahlung auf die Elektronik in den Roboter Gelenken.

Über das gemessene Drehmoment und die Gelenkposition am Getriebeausgang und den aufgenommenen Motorstrom lässt sich die Reibung im Antriebsstrang ermitteln. Dabei wurde ein Anstieg der Getrieberreibung um etwa 50 Prozent gegenüber den Messungen direkt vor dem Start festgestellt, die sich dann aber nicht mehr wesentlich erhöhte. Vermutlich änderten sich die Eigenschaften des weltraumtauglichen Schmiermittels (herkömmliche Schmiermittel wie Öle oder Fette würden im Vakuum verdampfen!) durch die Umgebungsbedingungen des freien Weltraums, erreichten aber dann einen stabilen Betriebszustand.

Die Telepräsenz hat sich bisher als Betriebsart mehr als bewährt. Die Laufzeiten der Signale in der Regelschleife liegen un-

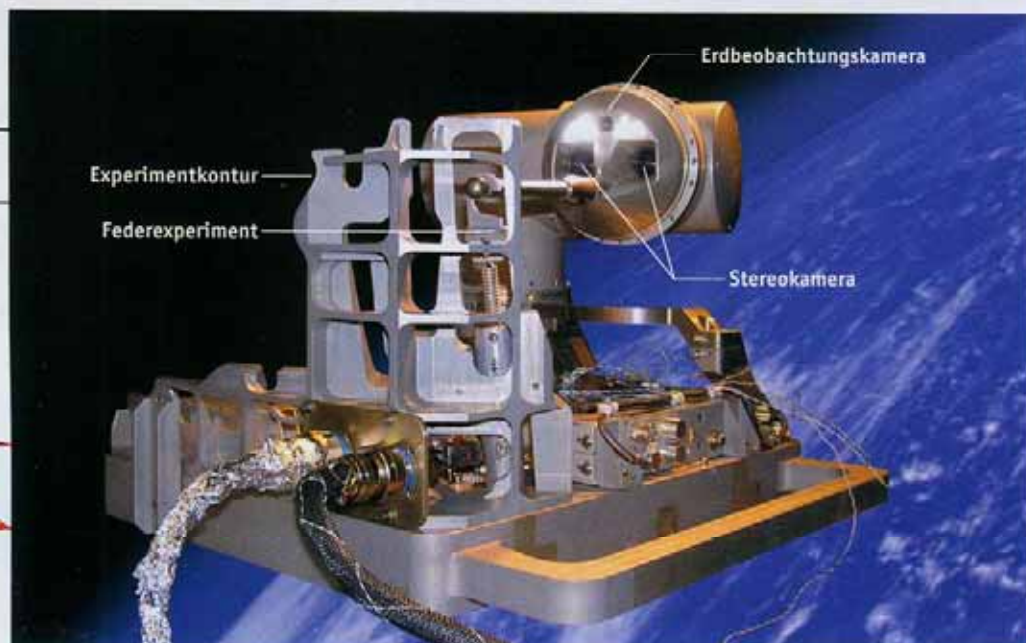


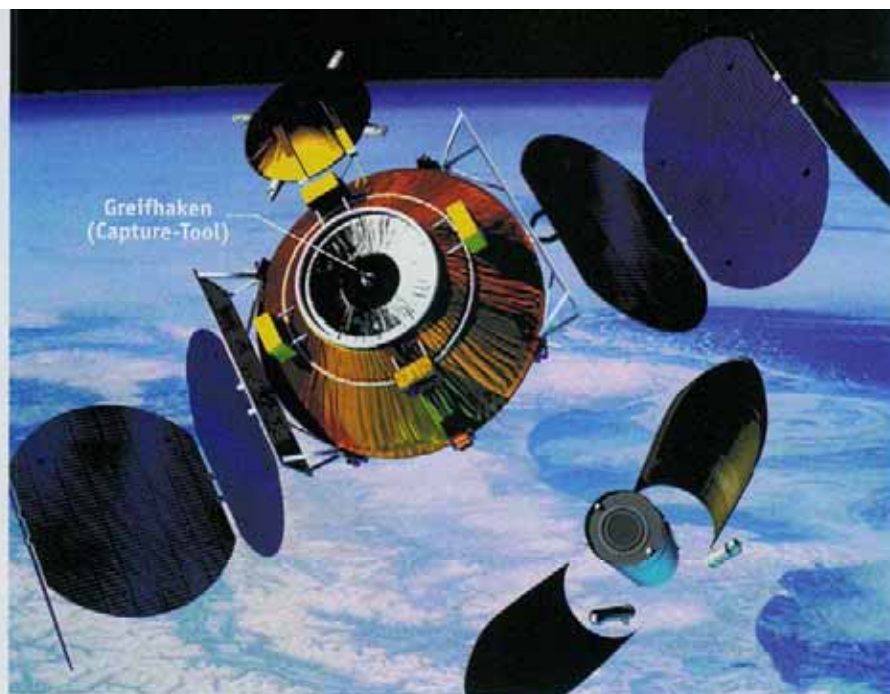
ter 20 Millisekunden, die Krafrückmeldung über den DLR-Joystick ist sehr präzise und zuverlässig. Diese Betriebsart in Verbindung mit der bei ROKVISS eingesetzten schnellen Stereobildübertragung erlaubt es dem Bediener am Boden, zukünftig im Weltraum so zu agieren, als wäre er selbst vor Ort (als hätte er einen verlängerten Arm im Weltraum). Komplizierte Handhabungen, wie sie zur Reparatur und Wartung von Raumfahrtssystemen notwendig sind und zukünftig bei der stetig steigenden Zahl der benötigten Satelliten unverzichtbar werden, lassen sich mit diesen Techniken äußerst kostengünstig von der Erde aus erledigen.

Die Laufzeit des ROKVISS-Experiments war ursprünglich für ein Jahr angesetzt.

▲ Abb. 8: ROKVISS wurde im Januar 2005 auf der Außenseite des SVEZDA-Moduls der ISS montiert. (Bild: NASA)

▼ Abb. 9: Die Datenwege für die Telepräsenzexperimente von ROKVISS erlauben die direkte Kontrolle des kleinen Roboters. Mit Hilfe der Kamerasysteme ist die Kontrolle der Roboterbewegungen möglich. Die Experimentkontur im Vordergrund dient als Übungsbereich für den Roboterarm.





Nachdem aber das Manipulatorsystem nach wie vor hervorragend funktioniert, wurde diese bisher sehr erfolgreich verlaufene Mission um ein weiteres Jahr bis Februar 2007 verlängert. Einige Universitäten meldeten bereits Interesse an, über diesen Zeitraum hinaus ROKVISS-Experimente über Internetverbindungen zu steuern und die Ergebnisse auszuwerten. Die bei ROKVISS erlangten Erfahrungen fließen schon jetzt in bereits geplante Robotikmissionen im Weltraum ein.

Ausblick

So werden beispielsweise die ROKVISS-Gelenkeinheiten für einen siebengelenkigen Roboter, der auf einem Trägersatelliten montiert wird, zum Einsatz kommen. Dieser soll zum Beispiel einen unkontrolliert taumelnden Satelliten einfangen, reparieren oder gezielt zum Absturz bringen. Dafür müssen alle Subsysteme auf dem Satelliten reibungslos zusammenspielen, ganz besonders gilt dies für die Robotersteuerung und das Lageregelungssystem. Mit einer derartigen Mission, bei der alle bisher erworbenen Erfahrungen und Techniken zum Einsatz kommen, lässt sich die in Deutschland auf diesem Gebiet vorhandene Kompetenz sehr eindrucksvoll demonstrieren.

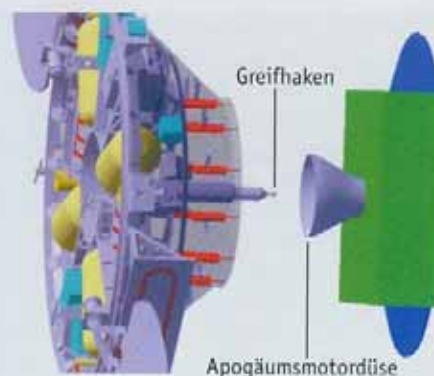
Die erfolgreiche Durchführung einer derartigen Satellitenreparaturmission sichert Deutschland daher auch zukünftig die Spitzenposition auf diesem Gebiet und ebnet die kommerzielle Nutzung dieser Technologie. Es genügt dabei allerdings nicht zu wissen, dass alle benötigten Einzelkomponenten und Verfahren vorhanden sind, man muss auch das richtige Zusammenspiel dieser Systeme bei einer realen Raumfahrtmission unter Beweis stellen!

Diese Erkenntnis versucht derzeit die amerikanische DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) mit einem

System zur Nachbetankung von Aufklärungssatelliten in die Tat umzusetzen. China möchte sich ebenfalls Anteile am zukünftigen orbitalen Wartungsgeschäft sichern. Mit dem Projekt CHROS (Chinese Free-Flight Robot Satellite System) planen die Chinesen eine Technologiemißion, die sich in ihren wesentlichen Schwerpunkten nicht von der geplanten deutschen Satellitenreparaturmission unterscheidet.

Einen ersten kommerziellen Einsatz der in Deutschland entwickelten Technologien könnte die von der US-Firma OrbitalRecovery für das Jahr 2009 mit dem Wartungssatelliten CX-OLEV (Orbital Life Extension Vehicle) geplante Wartungsmiission bringen. Der Wartungssatellit soll einen geostationären Kommunikationssatelliten, bei dem in nächster Zeit der Treibstoffvorrat zu Ende geht, anfliegen, an dessen Apogäumsmotordüse andocken und anschließend die Lage- und Positionsregelung des gekoppelten Systems für bis zu acht Jahre übernehmen (Abb. 10). Das Anflugverfahren für die letzten fünf Meter sowie das Andockwerkzeug, eine raumfahrtqualifizierte Weiterentwicklung des für ESS entwickelten Capture-Tool, werden an unserem Institut in Oberpfaffenhofen entwickelt.

Das Institut wird hinsichtlich Bauteilerauswahl und Raumfahrtqualifikation des Einfangwerkzeuges von der Münchner Firma Kayser-Threde unterstützt. Kayser-Threde liefert für CX-OLEV die so genannte Docking-Payload. Sie besteht aus dem Capture-Tool, das auf einem ausfahrbaren Boom montiert ist, einem Docking-Mechanismus für eine feste mechanische Kopplung beider Satelliten, sowie den Kamerasystemen. Das Kamerasystem, basierend auf der Hardware von ROKVISS, liefert von Hoerner & Sulger an Kayser-Threde. Somit kommen auch für dieses Projekt die Schlüsselkomponenten aus Deutschland.



▲ Abb. 10: Der Wartungssatellit CX-OLEV der US-Firma OrbitalRecovery wird mit deutscher Docking-Hardware ausgestattet sein. Sie ermöglicht das Ankoppeln an den Apogäumsmotor.

Die geplante deutsche Satellitenreparaturmission und CX-OLEV sind wichtige Meilensteine auf dem Weg zur orbitalen Satellitenwartung. Das Gelingen dieser Missionen wird Design und Betrieb zukünftiger Raumfahrtssysteme entscheidend beeinflussen. So können beispielsweise teure, hoch versicherte Satelliten mit geringerer Masse wesentlich billiger als bisher starten, wenn die Möglichkeit besteht, Treibstoff mit niedrig oder gar nicht versicherten Transportraketen preiswert nachzuliefern und dann die Nachbetankung mittels Wartungssatelliten durchzuführen.

Die Satellitendesigner werden aber ihre Systeme erst dann wartbar auslegen, wenn die entsprechenden technischen Voraussetzungen für eine orbitale Wartung gegeben sind und die Machbarkeit demonstriert wurde. Mit ROTEX, ESS, GETEX/ETS-VII und ROKVISS wurden bisher in Deutschland die dazu notwendigen technologischen Mosaiksteinchen konsequent gefördert – es bleibt zu hoffen, dass die zur Sicherung der bisherigen Spitzenposition Deutschlands auf dem Gebiet der Weltraumrobotik benötigten Fördermittel auch zukünftig zur Verfügung gestellt werden. □

Weitere Informationen zu diesen und anderen Weltraumrobotikexperimenten finden Sie auf unserer Homepage unter: www.suw-online.de/artikel/ID=854272



Klaus Landzettel ist Koordinator für Raumfahrtrobotik am DLR-Institut für Robotik und Mechatronik in Oberpfaffenhofen.