



Robotik und Mechatronik Zentrum RMC

Wissen für Morgen



www.dlr.de

Inhalt

Das Robotik und Mechatronik Zentrum RMC	4
--	----------

Einrichtungen des RMC

Intelligente robotische Assistenzsysteme	6
Systemdynamik und Regelungstechnik	8
Optische Informationssysteme	10

Querschnittsthemenbereiche des RMC

Raumfahrtrobotik: On-Orbit-Servicing	12
Raumfahrtrobotik: Exploration	16
Terrestrische Assistenzrobotik	20
Medizinische Assistenzsysteme	24
Mobilität und Exploration	28
Flugrobotik und -regelung	31

Impressum	34
------------------------	-----------



Robotik und Mechatronik

Zentrum RMC

Die Robotik ist in der Gesellschaft und Industrie nicht mehr wegzudenken. Schnellere und zuverlässigere Roboter kommen nicht nur in der Industrieproduktion zum Einsatz, um international wettbewerbsfähig zu bleiben. Sicher und einfach zu handhabende Roboter sind auch überall da gefragt, wo Menschen vor speziellen Gefahrensituationen bewahrt werden sollen – etwa in der Raumfahrt, bei Unterwasser- oder Rettungsmissionen. Um diese Ideen voranzutreiben ist das Robotik und Mechatronik Zentrum RMC gegründet worden.

Der DLR-Standort Oberpfaffenhofen ist seit Jahrzehnten die international am höchsten anerkannte deutsche Adresse für angewandte Roboterforschung. Der Ausbau des Instituts für Robotik und Mechatronik zu diesem weltweit einzigartigen Zentrum wird seit 2010 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie in Abstimmung mit dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gefördert. Durch nationale und internationale Kooperationen ist das RMC in ein Robotiknetzwerk eingebunden. Ziel ist es, übergeordnete Forschungs- und Entwicklungsaufgaben mit Blick auf Europa wahrnehmen zu können.

Die breite fachliche Basis des Zentrums ist die Mechatronik. Als Schlüsseltechnologie unserer Industriegesellschaft

bedeutet sie die höchstmögliche Integration von Mechanik/Optik, Elektronik und Informatik (Software) zur Schaffung intelligenter Mechanismen bis hin zu autonomen Robotern. Dementsprechend konzentrieren sich die Arbeiten des RMC auf interdisziplinäre Entwürfe und realitätsnahe Simulationen, aber natürlich auch auf die Realisierung komplexer mechatronischer Systeme und Mensch-Maschine-Interfaces.

Das RMC zeichnet sich durch seine interdisziplinäre Kernkompetenz aus. Dies gilt beispielsweise für die enge Verzahnung von der Weltraumrobotik mit Anwendungen, die auf der Erde gleichfalls zum Einsatz kommen – in der Industrierobotik, Servicerobotik, Fahrzeugtechnik und Chirurgie. Die so entstandene Leichtbaurobotik und die mehrfingrigen Hände haben den neuen, für die Kooperation mit dem Menschen bedeutsamen Soft-Robotics-Konzepten des DLR zum Durchbruch verholfen. Der zweiarmlige JUSTIN auf Rädern wurde so zu einem Aushängeschild der DLR-Robotik.

Das RMC besteht aus den Einrichtungen Intelligente Robotische Assistenzsysteme (IRAS) und Systemdynamik und Regelungstechnik (SR) am Standort Oberpfaffenhofen und der Einrichtung Optische Informationssysteme (OS) am Standort Berlin Adlershof.



Einrichtungen des RMC

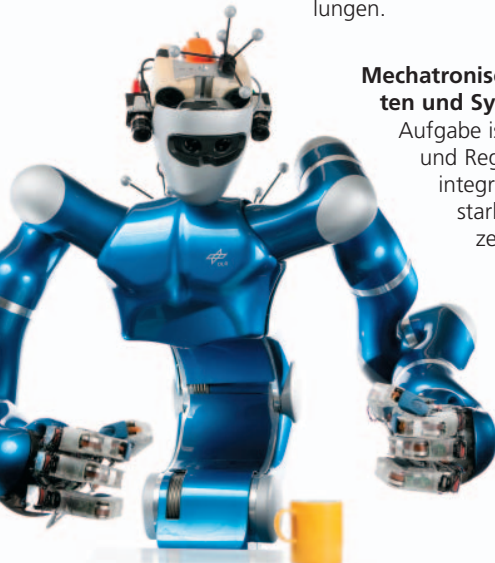
Intelligente robotische Assistenz Systeme

Das langfristige Ziel dieses Bereichs basiert auf der Idee, Menschen von inhumanen und gefährlichen Aufgaben zu befreien und den Zugang zu bisher nicht erreichbaren Orten zu ermöglichen. Dabei dienen drei visionäre Weltraumszenarien als Ausgangspunkt für die Forschung: Die Entwicklung von orbitalen Service-Satelliten, die Wartungsarbeiten im Weltraum autonom oder ferngesteuert durchführen können, der Robonaut als robotischer Helfer für Astronauten zur Einrichtung von Infrastrukturen im All sowie autonom fliegende, fahrende und laufende Robotersysteme zur Exploration fremder Planeten.

In interdisziplinären Teams werden Robotersysteme entwickelt, die regelmäßig den internationalen Stand der Technik bei Robotern definieren. Die Schwerpunkte der Integration haben sich dabei von der Mechanik und Regelungstechnik stark auf die Wahrnehmung durch Kameras, Kraft- und Abstandssensoren sowie die intelligente und autonome Bewegungs- und Aufgabenplanung verschoben. Der DLR Leichtbauroboter und das minimalinvasive Chirurgiesystem MIRO zeigen das große Technologietransferpotential dieser Entwicklungen.

Mechatronische Komponenten und Systeme

Aufgabe ist die Entwicklung und Regelung von hoch integrierten leistungsstarken, aber gleichzeitig feinfühligsten Robotersystemen im Sinne der Soft Robotics-Philosophie. Das Hauptaugenmerk liegt



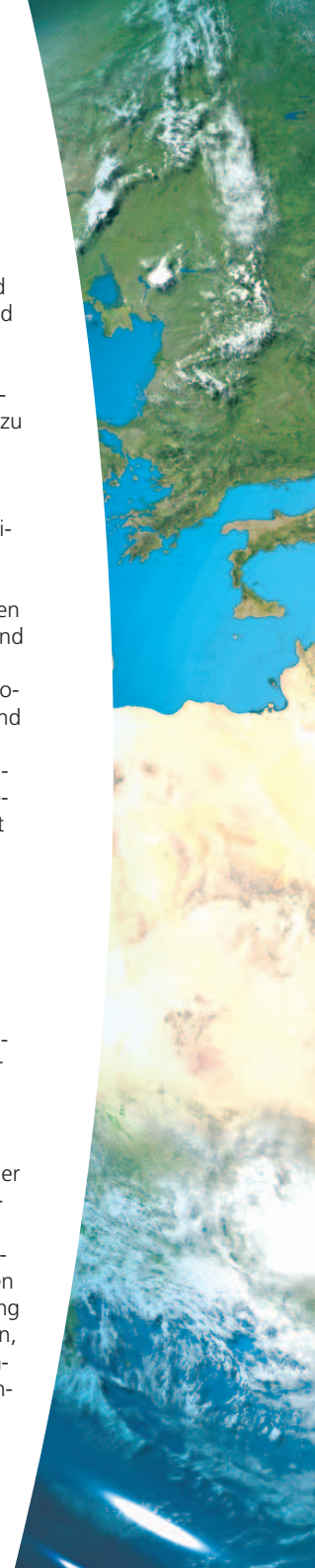
auf Manipulation und Lokomotion in Raumfahrtanwendungen und in terrestrischen Applikationen. Mittel- und langfristiges Ziel ist, die Operation und Exploration im Weltall effektiv und kostengünstig zu gestalten sowie die dabei entstehenden Robotertechnologien auf terrestrische Anwendungen zu übertragen.

Perzeption und Kognition

Die in der Robotik bedeutenden Bereiche Perzeption und Kognition haben die Entwicklung einer ganzheitlichen Wahrnehmung der Umgebung mit den zwei dominierenden Sinnen Fühlen und Sehen zum Inhalt. Für teleoperierte Assistenzsysteme und autonome Robotersysteme sind die Wahrnehmung und richtige Bewertung der Sensorsignale elementare Bestandteile, da sie reaktives Verhalten, Aufmerksamkeitssteuerung und Situationsinterpretation erst möglich machen.

Autonomie und Fernprogrammierung

Die zielgerichtete Aktion stellt einen notwendigen Bestandteil eines intelligenten Assistenzroboters dar: Im Bereich Autonomie und Fernprogrammierung beschäftigt man sich mit der Planung und Ausführung von Bewegungen auf teilweise mehrarmigen Robotern mit vielen Freiheitsgraden. Die Aufgabenstellungen gehen von der Ausführung und Überwachung einfacher Bewegungsprimitive bis hin zur autonomen Planung komplexer Manipulationsaufgaben mit Roboterhänden und Armen. Grundlagen zur Steuerung von Roboterbewegungen auf flexiblen, leistungsfähigen und verteilten Rechenplattformen unter harten Echtzeitbedingungen werden ebenfalls untersucht.



Systemdynamik und Regelungstechnik

Der fachliche Schwerpunkt des Bereichs Systemdynamik und Regelungstechnik liegt auf der anforderungsgetriebenen, systemdynamisch ganzheitlichen Auslegung, Optimalsteuerung und robusten Regelung komplexer sicherheitskritischer Systeme bei Raumflugsystemen, Flugzeugen, Straßen-, Schienen- und planetaren Fahrzeugen sowie Industrierobotern.

Dazu werden fortschrittliche Methoden und Werkzeuge für die domänenübergreifende physikalische Modellierung und Identifikation der Systemdynamik, für die Echtzeitsimulation, für die Synthese und Analyse robuster, zuverlässiger und fehlertoleranter Regelungen sowie für die mehrzielige Entwurfs- und Trajektorienoptimierung entwickelt und zu durchgängigen Toolketten verknüpft. Methoden und Werkzeuge stellen hierbei ein eigenständiges Forschungsgebiet dar, das anwendungsübergreifend weiterentwickelt wird.

Raumfahrt-Systemdynamik

Im Rahmen der RMC-Querschnittsthemen Planetare Exploration und On-Orbit-Servicing werden wesentliche

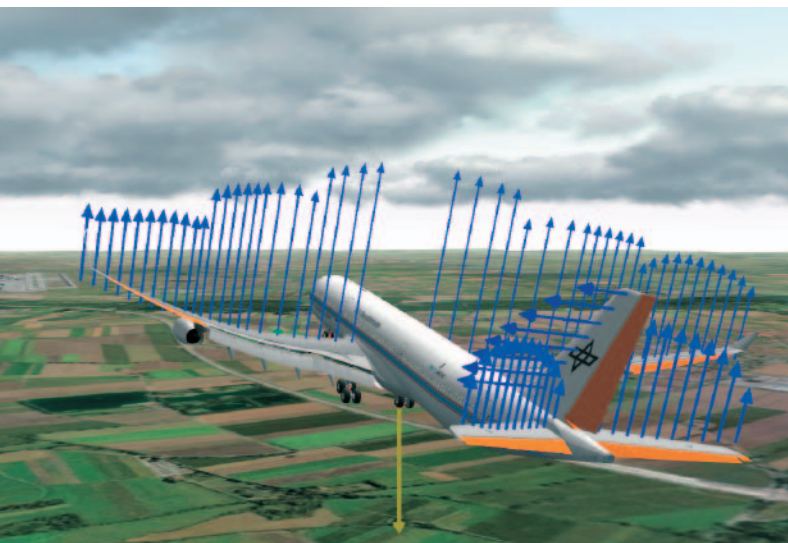
Beiträge hinsichtlich Simulation, Entwurfsoptimierung, Verifikation und Regelung von Raumfahrtsystemen und einzelner Subsysteme geleistet. Aufgabenschwerpunkte sind die Rad-Boden-Interaktion bei planetaren Rovern, die Mobilität von Landern auf Asteroiden und die Kontaktdynamik bei Satellitendockingmanövern.

Luftfahrt-Systemdynamik

Der Entwurf neuartiger Flugregelungs- und Flugzeugbordsysteme steht hier im Fokus. Neuartige Flugregelungssysteme dienen der Gewichtsreduktion durch aktive Abminderung der Flugzeugstrukturlasten und verbessern den (teil-)autonomen Betrieb von bemannten und unbemannten Flugzeugen. Zur Verringerung des Kraftstoffverbrauchs werden neue, elektrische Bordsystemarchitekturen und -komponenten entwickelt und optimiert.

Fahrzeug-Systemdynamik

In diesem Bereich werden sowohl für Straßen- als auch für Schienenfahrzeuge innovative mechatronische Fahrwerkskonzepte, integrierte Fahrdynamikregelungssysteme und Energiemanagementsysteme entwickelt, die zur Verringerung des Energieverbrauchs sowie zur Verbesserung der Sicherheit und des Komforts dienen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Elektromobilität.



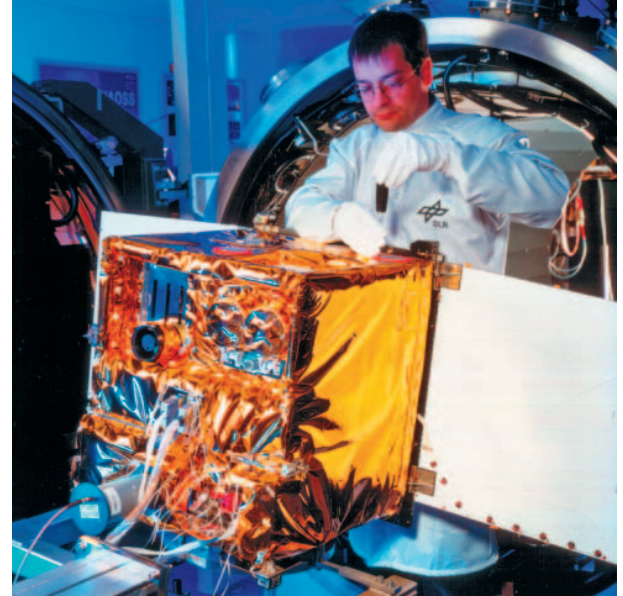
Optische Informationssysteme

Im Bereich Optische Informationssysteme werden intelligente Sensoren und Datenverarbeitungssoftware zur Lösung von industriellen, wissenschaftlichen und hoheitlichen Fragestellungen entwickelt. Im Fokus der Aktivitäten stehen abbildende optische Systeme für den Einsatz auf Flugzeugen und Satelliten, die im Zuge des Technologietransfers in kommerzielle Produkte überführt werden können.

Strategische Ziele sind die Entwicklung geometrisch und/oder spektral hochauflösender Sensorsysteme im sichtbaren und infraroten Bereich elektromagnetischer Strahlung sowie die Echtzeitverarbeitung von Bilddaten, um daraus nutzerrelevante Informationen zu gewinnen. Voraussetzung hierfür ist das selbständige Agieren des Systems sowie die Entwicklung von Nutzlastplattformen.

Zentral ist dabei die Verfolgung systemischer Ansätze, die alle optischen, mechanischen, elektronischen und informationstechnischen Aspekte bei der Entwicklung eines Sensorsystems berücksichtigen. Die extreme Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit kann nur durch den Einsatz von Hochtechnologie, ständige Validierung und konsequentes Qualitätsmanagement gewährleistet werden.

Für Kernprodukte wird hier der komplette Entwicklungszyklus abgebildet: Problemanalyse, Definition der wissenschaftlich-technischen Anforderungen, Modellierung und Simulation, Systementwurf und -optimierung, Design und Entwicklung, Test und Verifikation sowie Datenauswertung und Informationsextraktion.



Optische Sensorik und Elektronik

Dieser Bereich beschäftigt sich mit der Entwicklung elektronischer Systemlösungen von abbildenden Spektrometern und Kamerasystemen. Diese werden zur Vermessung und Bewertung von physikalischen Kenngrößen in der Luft- und Raumfahrt, im Verkehr und in der Industrie eingesetzt.

Informationsverarbeitung optischer Systeme

Hier werden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Schaffung zunehmend intelligenter, d.h. autonom entscheidender, echtzeitfähiger, optischer Informationssysteme vorangetrieben. Daraus kann der Nutzer Datenprodukte hoher Qualität ableiten.

Sensorkonzepte und Anwendungen

Der Schwerpunkt liegt in der Definition und Entwicklung neuer Kamerasensoren, der Verifikation und Validierung von Luftbild- und Satellitensensoren, der Verarbeitung der daraus resultierenden Datenprodukte sowie der Entwicklung von dazugehörigen Anwendungen.

Querschnitts- themenbereiche des RMC

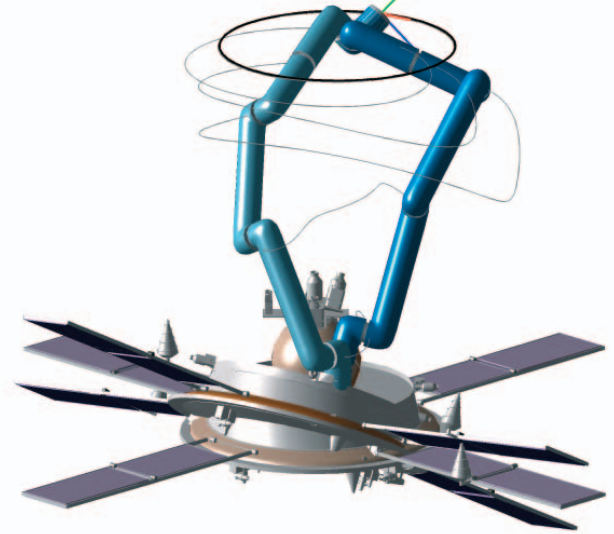
Raumfahrtrobotik: On-Orbit-Servicing

Den Menschen in den Weltraum zu transportieren, ihn dort am Leben zu erhalten und ihn wieder sicher zur Erde zurück zu bringen erfordert einen großen Aufwand und ist mit hohem Risiko verbunden. Hier kann die Robotik, die sich gut an die Weltraumbedingungen anpassen lässt, eine tragende Rolle spielen. Mit Hilfe von Robotern und leistungsfähigen Fernsteuer- und Telepräsenztechniken können im erdnahen Weltraum auch schwierigere Reparaturarbeiten von der Erde aus durchgeführt werden. Das RMC hat in der Vergangenheit durch seine Technologiemißionen die weltweit größte Erfahrung auf diesem Gebiet gesammelt und wird diese weiter ausbauen.

Schlüsseltechnologien

Telemanipulation

Bei der Fernsteuerung von Robotern im All muss mit langen Signallaufzeiten (> 1 Sekunde) umgegangen werden. Ein robuster Betrieb kann nur durch getrennte Regelungsschleifen bei Bodenkontrolle und Weltraumroboter erreicht werden. Dafür werden Konzepte entwickelt, die den Operator am Boden in einer simulierten Umgebung agieren lassen, aus dessen Aktionen eine Folge von Kommandos generieren und diese schließlich an den realen Roboter ins All schicken. Auf Basis der aktuellen Sensorinformation passt der Roboter die Kommandos bei der Durchführung der Aufgabe an die Situation vor Ort an.



Telepräsenz und Krafterückkopplung

Für Signallaufzeiten unter einer Sekunde kann der Weltraumroboter multimodal mit dem Operator am Boden gekoppelt werden. Dazu werden spezielle Regelungsmethoden entwickelt, die eine stabile Interaktion mit der entfernten Umwelt mit Krafterückkopplung ermöglichen. Dadurch kann der Operator die entfernte Umgebung transparent wahrnehmen und darin agieren, als wäre er vor Ort: der verlängerte Arm des Menschen im All.

Dynamische Bewegungsplanung und Ausführung

Wartungs- und Reparaturarbeiten an Satelliten erfordern das sichere Einfangen und Stabilisieren des havarierten Satelliten. Ein Serviceroboter auf einem Satelliten übt allerdings in der Bewegung dynamische Kräfte an seiner Basis aus, die nicht wie auf der Erde einfach durch ein Fundament kompensiert werden. Für die optimierte Echtzeitplanung solcher Annäherungs- und Stabilisierungsbewegungen werden am RMC Methoden entwickelt, getestet und für den Missionsbetrieb vorbereitet.



Missionen

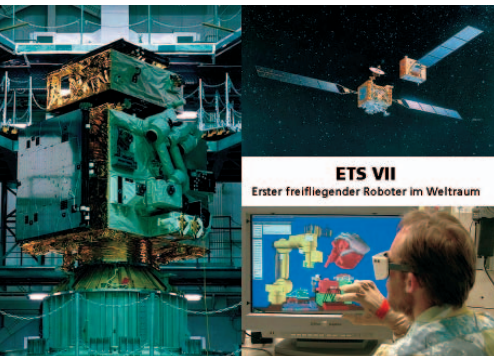


D2 Mission - ROTEX (1993)

Der weltweit erste von der Erde aus ferngesteuerte Roboter im Weltraum: Durch die Integration von Abstands- und Kraftsensoren konnte der Regelkreis des Roboters geschlossen werden. Der Benutzer auf der Erde gibt Bewegungsbefehle und kontrolliert diese in einer simulierten Umgebung. Vor Ort werden die Befehle autonom an die Situation angepasst und die Simulation aktualisiert. So konnten Signallaufzeiten von über 6 Sekunden überwunden werden.

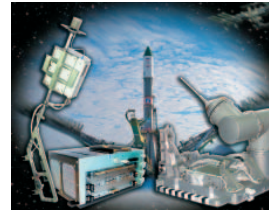
GETEX (1999)

Das für ROTEX entwickelte System wurde verwendet, um den auf dem Satelliten ETS VII frei im All fliegenden japanischen Roboter fernzusteuern. Dies konnte genutzt werden, um die Interaktion einer kontrolliert bewegten Robotermaße auf die Lageregelung des Satelliten zu untersuchen und eine Bestimmung der Satellitendynamik durchzuführen.



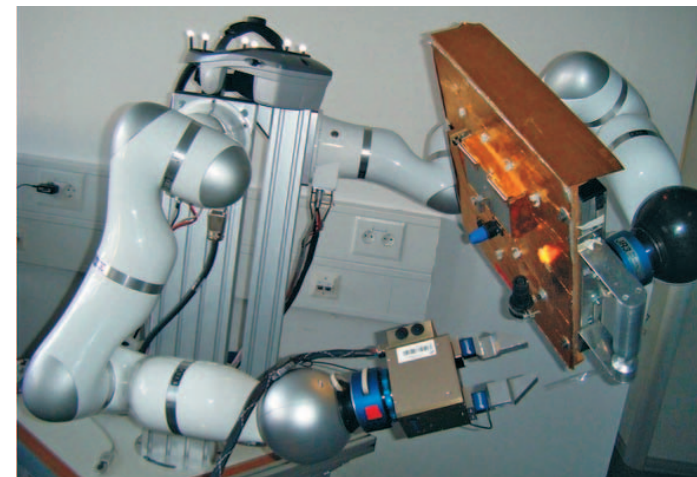
ROKVISS (2004 – 2010)

Mit ROKVISS (Roboter-Komponenten Verifikation auf der Internationalen Raumstation ISS) wurde die Leichtbau-robotertechnologie 6 Jahre lang erfolgreich außen an der ISS unter realen Bedingungen getestet. Die beiden Gelenke wurden weltweit erstmals über einen haptisch-visuellen Telepräsenzkanal von der Erde aus betrieben, d.h. die Kamera- und Kraftdaten aus den Sensoren des Roboters wurden mit minimaler Verzögerung dem Bediener am Boden über einen kraftreflektierenden Joystick und ein Stereodisplay dargestellt.



DEOS (in Planung)

Mit der Deutschen Orbitalen Servicing Mission wird untersucht, wie mit Hilfe eines Roboterarms, Serviceaufgaben an Satelliten im erdnahen Orbit durchgeführt werden können. Dieser Roboterarm wird am RMC basierend auf der ROKVISS-Erfahrung entwickelt. Dabei sollen Techniken des Anflugs, Greifens und Stabilisierens sowie am Ende auch des gezielten Absturzes (De-Orbiting) untersucht und getestet werden. Umfangreiche Vorarbeiten zur Regelung und dynamischen Bahnplanung solcher Systeme sind bereits erfolgreich durchgeführt worden.



Raumfahrtrobotik: Exploration

Weiter entfernte Orte wie der Mond oder der Mars sind für den Menschen aktuell noch sehr schwer und nur unter Inkaufnahme großer Risiken erreichbar. Bisherige Erkenntnisse über die Zusammensetzung von Planeten und Asteroiden stützen sich im Wesentlichen auf berührungslose Sensorik (Optik, Spektralanalyse). Die Raumfahrtrobotik kann hier durch die Bereitstellung von Mobilität neue Wege zur Erkenntnisgewinnung aufzeigen, z. B. durch Rover und entsprechende Manipulationsarme als Träger für wissenschaftliche Analysegeräte. Hierfür müssen die Robotersysteme weitgehend autonom arbeiten und selbständig auf selbstgefährdende Gegebenheiten der Umgebung, wie z. B. Temperaturschwankungen, Ladezustände und spezielle Bodenbeschaffenheiten, reagieren können.

Schlüsseltechnologien

Optimierung von Rovern und Krabblern

Die Planung und Umsetzung von Welt-raumfahrzeugen stellt wegen der besonderen Anforderungen an Gewicht, Energieversorgung und gewünschte Mobilität eine große Herausforderung dar. Je nach Nutzlast und Umgebungs-

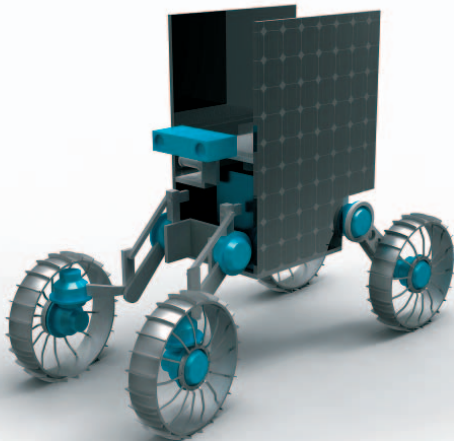
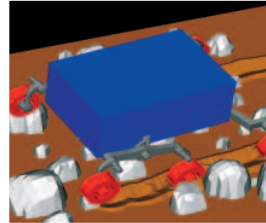
bedingungen müssen speziell angepasste Konzepte entwickelt werden. Die verschiedenen Entwürfe werden mit Hilfe von Modellen, wie z. B. den erwarteten Temperaturschwankungen, Strahlungsintensitäten, Tages- und Nachtphasen und den Bodenbeschaffenheiten im geplanten Zielgebiet, bewertet und optimiert.

Terramechanik und Oberflächenbewertung

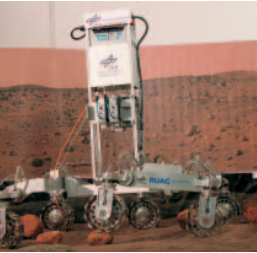
Der Kontakt zur Oberfläche von Monden oder Planeten spielt für die Mobilität von Rovern oder Krabblern eine entscheidende Rolle, wobei die Bodenbeschaffenheit die jeweiligen Fortbewegungsmöglichkeiten beeinflusst. Um das Risiko für die Missionen möglichst gering zu halten, werden terramechanische Kontaktmodelle entwickelt und mit deren Hilfe die Raumfahrzeugkonzepte überprüft. In Laborversuchen werden die Simulationen mit den Fahreigenschaften von echten Rovermodellen abgeglichen.

Explorationsstrategien und kooperierende Robotersysteme

Redundanz – das mehrfache Vorhandensein funktional gleicher Komponenten – stellt einen wesentlichen Ansatz zur Risikominimierung in der Raumfahrt dar. Bisher bezieht sich dies allerdings meist auf Komponenten eines Raumfahrtssystems. Für die robotische Exploration von Himmelskörpern dagegen könnte Redundanz mehrere explorierende Systeme bedeuten, die kooperativ die Umgebung erkunden. Dazu werden autonome Kooperations- und Kommunikationsstrategien entwickelt und in realitätsnahen Geländen getestet.



Missionen



EXOMARS

Für die ESA Mission ExoMars im Jahr 2018 wurden Simulationen zu den Fahreigenschaften des geplanten Rovers auf Marsböden durchgeführt. Anhand eines Fahrzeugnachbaus wurden diese Simulationen in intensiven Testkampagnen in einer Anlage mit Mars-ähnlichen Böden verifiziert.

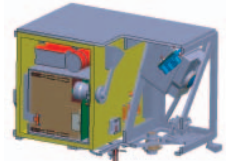
GLX-Prize (in Planung)

Ziel des Google Lunar X Prize ist es, ein Fahrzeug auf den Mond zu transportieren und HD-Videobilder von mindestens 500m Fahrstrecke zur Erde zu senden. Das RMC unterstützt neben anderen DLR-Instituten das Team der Part-Time-Scientists. Aus der Zusammenarbeit ist

ein erster Prototyp entstanden, der die am RMC entwickelte Antriebstechnologie und autonome Navigation nutzt.

MASCOT (in Planung)

Für die geplante japanische Hayabusa-2 Mission zum Asteroiden 1999JU3 wird am RMC das Mobilitätssystem entwickelt. Die Schwerkraft auf dem Asteroiden ist sehr gering, deshalb kommt hier ein Mobilitätskonzept in Form einer exzentrisch angebrachten Masse zum Einsatz. Diese Masse kann gezielt beschleunigt werden und so Momente auf die ca. 10 kg schwere wissenschaftliche Payload-Box aufbringen. Damit kann z. B. ein Umdrehen der Box erreicht werden. Erste Tests bei Parabelflügen zeigen das erfolgreiche Funktionieren des Prinzips.



Terrestrische Assistenzrobotik

Viele Anforderungen aus der Raumfahrt, wie z. B. minimales Gewicht, geringe Leistungsaufnahme und Zuverlässigkeit, gelten auch für Robotersysteme auf der Erde. Mit dieser Maßgabe entwickelt das RMC auch Systeme für Produktions- und Haushaltsumgebungen. Die Drehmomentregelung in Robotergelenken stellt dabei eine Kerntechnologie dar. Sie erlaubt erstmals die Realisierung programmierbarer und nachgiebig reagierender, also gefühlvoller Arme – vertrauenserrückende Eigenschaften, die für das Arbeiten eines Roboterassistenten im menschlichen Umfeld unerlässlich sind. Die konsequente Anwendung dieser Technik hat den Begriff **Soft Robotics**, das nachgiebige und sichere Verhalten eines Roboters, geprägt und damit auch dem vom Roboterhersteller KUKA lizenzierten Leichtbaurobster (LBR) zum Durchbruch verholfen.

Assistenzsysteme



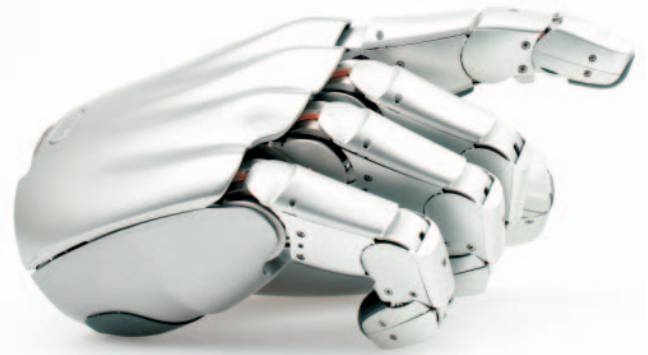
DLR-Leichtbaurobster (LBR)

Der LBR ist schon in der 3. Generation drehmomentgeregelt: Er hat im Gegensatz zum Industrieroboter sieben Freiheitsgrade wie der menschliche Arm. Mit dem Gewicht von ca. 13 kg und einer Leistungsaufnahme unter 150 Watt im Leerlauf eignet er sich bestens für den mobilen Einsatz in menschlichen Arbeitsumgebungen. Der mehrfach ausgezeichnete Arm gilt als der weltweit technologisch progressivste.



DLR Hand

Künstliche Roboterhände als flexible Greifer: Bereits die erste DLR-Hand von 1998 galt als die komplexeste aller bis dato gebauten Roboterhände. Deren zweite Generation ermöglichte die Aus-



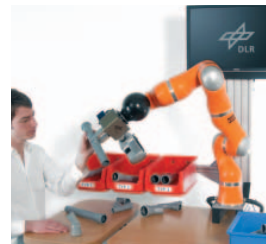
führung von Kraft- und Fingerspitzen-griffen. Sie war Vorbild für die mit dem Harbin-Institute of Technology in China entwickelten kommerziellen 4- und 5-Finger-Hände.

Rollin' Justin

Der mobile Justin mit seinen zwei nachgiebig geregelten LBR-Armen und Mehrfingerhänden ist eine ideale Experimentalplattform für die Entwicklung von robusten Regelungsstrategien und intelligenten Handlungsplanern zur zweihändigen Manipulation.

Robotic CoWorker

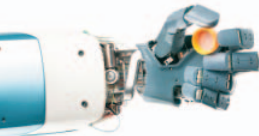
Ein Einsatzgebiet des LBR ist die flexible Fertigung in industriellen Produktionsumgebungen: Der Roboter muss ohne Sicherheitszäune mit dem Menschen zusammenarbeiten und intuitiv und interaktiv von diesem für seine Aufgaben programmiert werden können. Hierfür wurden neue Konzepte in der sicheren Mensch-Roboter-Interaktion und zur interaktiven Roboterprogrammierung entwickelt.





DLR BiPed

Auf Beinen gehende Roboter sind besonders in Umgebungen mit Treppen und Schwellen von Vorteil: Auf Basis der LBR-Technologie wurde eine Gehmaschine mit nachgiebig geregelten Beinen entwickelt, die detaillierte Studien drehmoment-basierter Regelungsmethoden ermöglicht. Die Erweiterung des Systems um einen Oberkörper erlaubt, die Ganzkörperdynamik bei mehreren auf den Körper verteilten physischen Kontakten zu untersuchen.



DLR Hand Arm System

Das integrierte Hand Arm System – eine 5-Finger-Hand und ein Arm mit insgesamt 26 Freiheitsgraden – nähert sich menschlicher Performanz an. Grundlegende Idee ist die Inkaufnahme von unbeabsichtigten Kollisionen mit der Umwelt und die Erhöhung der Dynamik des Systems durch die Speicherung von Energie in Federn. Dieses Konzept erfordert mechatronische Höchstintegration, höchste Leistungsdichte sowie eine Regelung, die den Roboter präzise und sicher bewegt.

Anwendungsgebiete

Mensch und Roboter

Zukünftige Robotersysteme werden in engerem Kontakt mit dem Menschen agieren als jetzt, dabei ist die Sicherheit des Menschen jederzeit zu gewährleisten. Bei Roboter-Crashtests werden potentielle menschliche Verletzungen analysiert, um den möglichst sicheren, hoch performanten Roboter zu entwickeln. Sensitive Interaktionsfähigkeiten und die



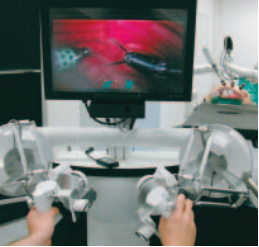
Ausführung flexibler, dynamischer Bewegungsmuster ermöglichen eine intuitive und sichere Koexistenz mit dem Menschen und eine wesentlich flexiblere und einfachere Programmierung des Roboters.

Lernen und Planen

Flexibilität stellt hier die besondere Herausforderung dar: Die Grundfertigkeiten der Systeme müssen an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden. Zentral ist die Verbindung von Wahrnehmung und Bewegungsplanung. Ziel ist, Lernen als grundlegendes Prinzip bei Wahrnehmung, Modellbildung und Handeln für autonome Systeme zu erforschen. Schnelles Lernen, Planen und Adaptieren von Aufgaben und Bewegungen durch das Wissen um die eigenen Fähigkeiten sowie die intuitive Programmierung von komplexen Aktionen und Interaktionen sollen dem Roboter die Lösung zahlreicher Problemstellungen sowie die Anpassung an neue Situationen erlauben.



Medizinische Assistenzsysteme



Im Querschnittsthema Medizinische Assistenzsysteme werden Erkenntnisse aus der Raumfahrt- und Servicerobotik für die Anwendung in der Medizin untersucht. Kerntechnologien wie effiziente Antriebe, Sensorik, Telerobotik und Planungssysteme sind in der Raumfahrt wie auch in medizinischen Systemen relevant. Diese Technologien werden in den beiden Schwerpunkten Medizinrobotik und aktive Implantate weiterentwickelt.

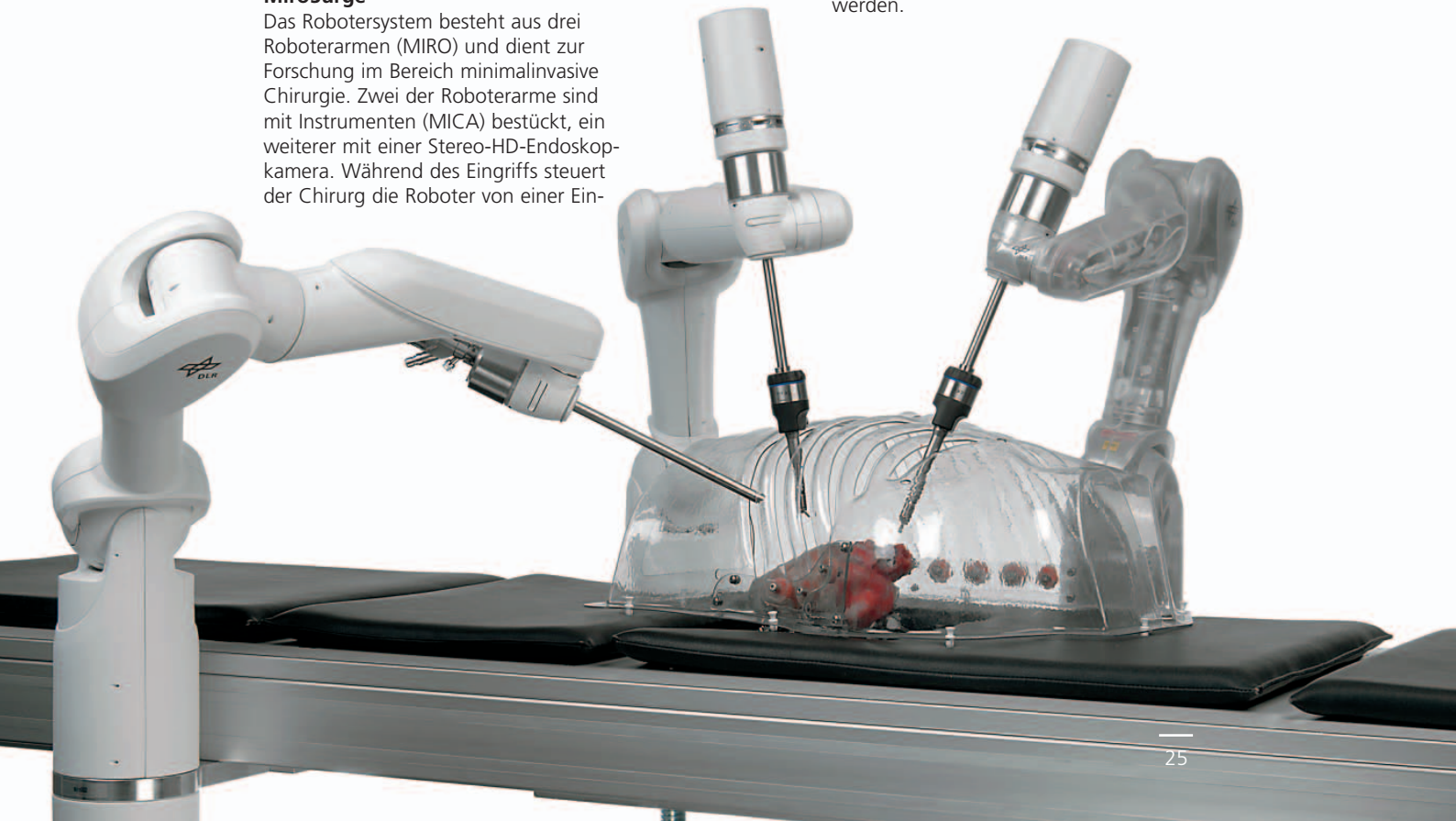
MiroSurge

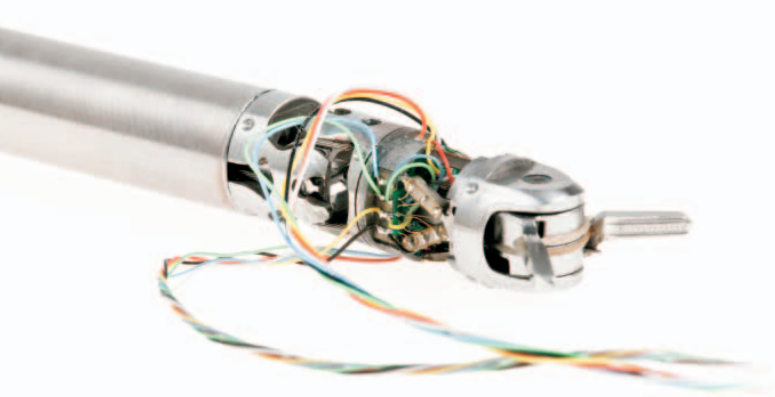
Das Robotersystem besteht aus drei Roboterarmen (MIRO) und dient zur Forschung im Bereich minimalinvasive Chirurgie. Zwei der Roboterarme sind mit Instrumenten (MICA) bestückt, ein weiterer mit einer Stereo-HD-Endoskopkamera. Während des Eingriffs steuert der Chirurg die Roboter von einer Ein-

gabekonzole, die neben einem autostereoskopischen 3D-Video auch ein beidhändiges High-Fidelity Force-Feedback (1 kHz) ermöglicht.

MIRO

Der Leichtbauroboter MIRO wurde speziell für unterschiedliche chirurgische Aufgabenstellungen entworfen. Sein geringes Gewicht und die kompakten Abmessungen ermöglichen die Nutzung auch bei eingeschränkten Platzverhältnissen im Operationssaal. Durch die Soft-Robotics-Eigenschaften kann der Arm gefühlvoll durch eine Eingabekonzole, aber jederzeit auch durch direktes Eingreifen von OP-Personal bewegt werden.



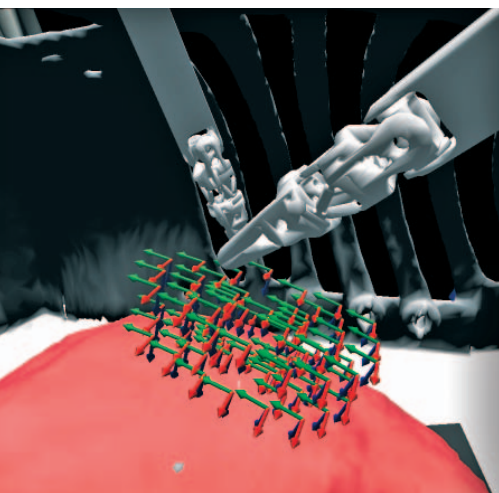


MICA

Das Instrument erweitert den Roboterarm MIRO um drei Gelenke im Körper des Patienten. Es besteht aus einer universellen Antriebseinheit mit einer Schnittstelle für wechselbare Werkzeuge, die aus Schaft, Handgelenk und Endeffektor (Greifer, Nadelhalter, Schere) aufgebaut sind. Die zusätzlichen Freiheitsgrade direkt am Werkzeug erhöhen den gut erreichbaren Arbeitsbereich des Chirurgen deutlich. Die aktuelle Konfiguration bietet zusätzlich einen hochauflösenden Kraft-Momenten-Sensor für feinfühliges Rückkopplung an den Arzt.

Operationsplanung

Die flexiblen Einsatzmöglichkeiten des MiroSurge stellen das OP-Personal vor neue Herausforderungen. Um vor Ort eine optimale Konfiguration der Roboter zu erstellen, entwickelt das RMC interaktive Planungssysteme, die in der



Bedienung keine speziellen Robotikkenntnisse erfordern. Auf der Basis patientenspezifischer Daten (CT, MRT) und der geplanten Operation erstellt das System optimierte Vorschläge für Roboterpositionen und Einstichpunkte für die Instrumente, die über Laserpointer auf den Patienten projiziert werden.

DLR-Herzunterstützungs-System

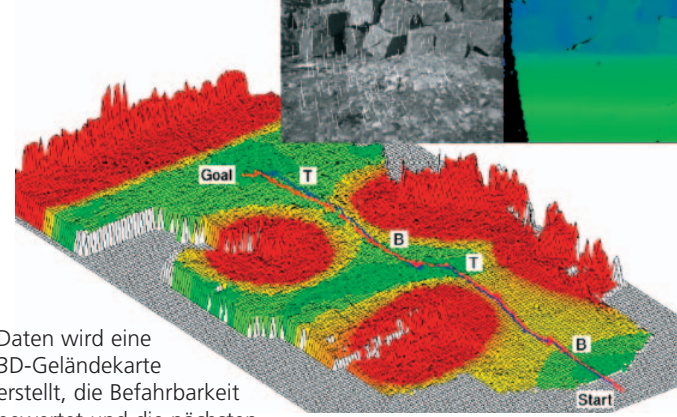
Das am RMC mit Know-How aus dem Weltraum entwickelte künstliche Herz wird derzeit von der DUALIS MedTech GmbH zu einem Produkt umgesetzt. Es kann komplett implantiert und von außen mit Energie versorgt werden. Dazu wurde am RMC eine drahtlose Energie- und Datenübertragung entwickelt. Sie ist in der Lage, in einem gesicherten Frequenzband sensible Daten aus dem Nahbereich des Patienten mit hoher Bandbreite zu übertragen.

Mobilität und Exploration

Zur Aufklärung in Rettungs- und Katastrophenszenarien und zur Erkundung von Himmelskörpern werden mobile Systeme entwickelt, die sich fahrend, krabbelnd und fliegend fortbewegen. Diese Fortbewegungsarten haben unterschiedliche Eigenschaften: Räder erlauben einen energiesparenden Lastentransport, Beine bewältigen eher schwieriges Gelände. Im Team lassen sich die verschiedenen Vorteile der Systeme kombinieren. Mehrere gleichartige Roboter können die im Weltraum erforderliche Redundanz schaffen und parallel schneller arbeiten. Voraussetzung für den Einsatz ist eine autonome Selbstlokalisierung und Bewegung.

Stereokamera basierte autonome Navigation

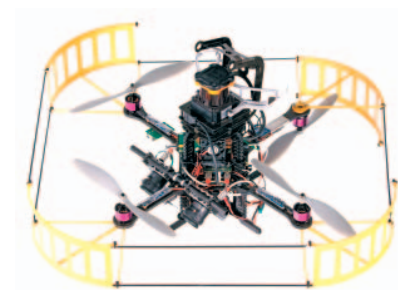
Für die Modellierung und Bewertung von unbekanntem Gelände wird das am RMC entwickelte Semi-Global-Matching-Verfahren eingesetzt. Dabei werden aus von Stereokameradaten in Echtzeit Tiefenbilder gerechnet und die Eigenbewegung des Systems durch die Auswertung aufeinanderfolgender Bilder bestimmt. Mit den



Daten wird eine 3D-Geländekarte erstellt, die Befahrbarkeit bewertet und die nächsten Wegpunkte geplant. Für kleine mobile Systeme wurden Teile der Bildverarbeitung direkt in die Logik eines Chips (FPGA) implementiert. Diese Technik nutzt auch der Kooperationspartner Daimler AG für seine Fahrerassistenzsysteme.

Flugroboter

Mit Kameras ausgestattete Multikopter bieten die Möglichkeit, sich schnell einen Überblick über ein Einsatzgebiet zu verschaffen: Hilfskräfte in Katastropheneinsätzen können davon profitieren. Dazu muss der Flugroboter seine Lage und Position auch unabhängig von externen Referenzsystemen, wie z. B. GPS, bestimmen und selbständig Kollisionen mit Gebäuden oder Bäumen vermeiden können. All diese Funktionen und die notwendigen Sensoren sind gewichts-optimiert direkt in die Flugsysteme integriert.





Robomobil

Das Elektromobil ROMO ist als robotisches Fahrzeug mit Radnabenmotoren und rad-integrierten Lenkantrieben konzipiert. Durch den erweiterten Lenkbereich aller vier Räder ist es extrem wendig und insbesondere für Stadtumgebungen gut geeignet. Es dient zur Untersuchung von Fahrdynamik-Regelungen und Zuverlässigkeits- und Fehler-toleranzkonzepten. Stereo-Kamerasysteme erlauben die Echtzeiterfassung der Fahrzeugumgebung und ermöglichen (teil-)autonomes Fahren.

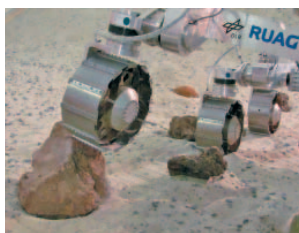
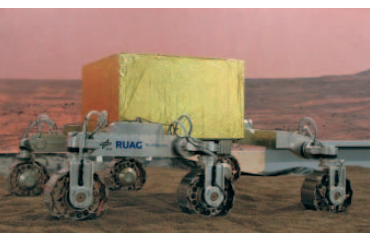


Rad-Schiene

Intelligente Schienenfahrzeuge der Zukunft werden fahrerlos betrieben und sind zur Optimierung der Betriebsabläufe und zur Verschleiß- und Verbrauchsreduktion mit einem Verkehrsmanagementsystem vernetzt. Das RMC untersucht auf einem Rollprüfstand innovative Fahrdynamik-Regelkonzepte mit aktiver Spurführung.

Marsrover Testbed

Planetare Rover müssen über unwegsames, vorab nur ungenau bekanntes Gelände fahren. Neben einer optimierten Mechanik kann auch die Regelung der Räder zu einer robusten Mobilität beitragen. Der Nachbau des ExoMars-Rovers im Mars-Testbed dient der Untersuchung von Einsinktiefen, Drehmomentübertragung auf den Boden und der Anti-Schlupfregelung. Ebenso werden Computersimulationen für die Wechselwirkung zwischen den Rädern und der harten bzw. nachgiebigen sandartigen Planetenoberfläche verifiziert.



Flugrobotik und -regelung



Ähnlich wie bei Fahrzeugen werden auch im Bereich Luftfahrt immer mehr elektrische Antriebe und elektronisch regelbare Systeme eingesetzt. Damit können viele der in der Robotik eingesetzten Methoden verwendet werden. Das RMC verfolgt in diesem Bereich folgende Schwerpunkte: die Auslegung und Simulation der gesamten Flugzeugsystemdynamik und des Flugregelungssystems, die Manipulation aus der Luft mit Hilfe von Roboterarmen und die Anwendung von Sensoren und Planungssystemen aus der Robotik für autonome Kleinflugzeuge, wie z. B. den Octokopter.

Solare Höhenplattform ELHASPA

ELHASPA ist eine solar getriebene, extrem leichte Flugplattform mit einer Flügelspannweite von 23 m und einem Abfluggewicht von 100 kg, die über lange Zeiträume autonom in großer Höhe fliegen wird. Langfristig könnten solche solaren Höhenplattformen Einsatzgebiete von Satelliten übernehmen. Mit Hilfe dieses Testflugzeugs können Fragen der Aeroelastik, der Flugdynamik und des Energiemanagements für Solarflugzeuge untersucht werden.

Manipulation aus der Luft

Analog zu den Konzepten des On-Orbit-Servicing, bei denen ein Roboterarm an einen Satelliten montiert wird, um Reparaturarbeiten durchzuführen, plant das RMC, dies auch mit Hubschraubern durchzuführen. Ähnlich wie beim Satelliten treten durch die Armbewegungen und den Kontakt beim Greifen Kräfte am Fluggerät auf, die von der Flugregelung ausgeglichen werden müssen. Hierfür sind eng gekoppelte Regelkreise von Roboterarm und Hubschrauber notwendig.

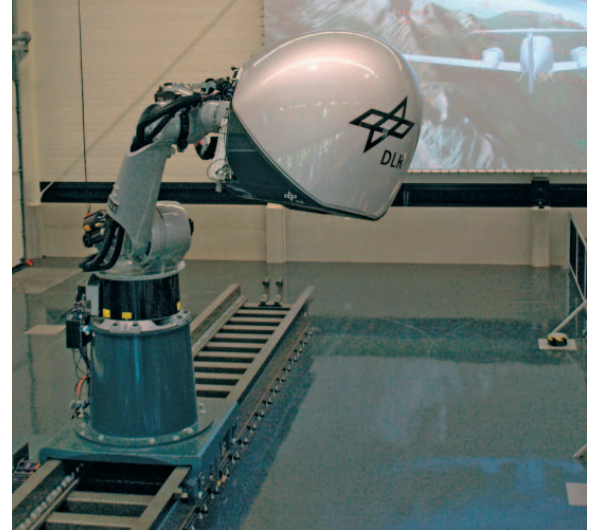


Systemdynamik/Flugregelung

Die Auslegung und Optimierung der Flugzeugsystemdynamik spielt eine Schlüsselrolle bei der Verbesserung der Umweltfreundlichkeit, Wirtschaftlichkeit und Sicherheit künftiger Flugzeuggenerationen.

Automatische Flugregelungssysteme ermöglichen eine aktive Stabilisierung und Reduktion der Strukturbelastung des gesamten Flugzeugs. Sie erlauben so, aerodynamisch wesentlich effizientere Flugzeugkonfigurationen mit erheblich leichteren Strukturen zu konzipieren. Intelligente Flugregelungsfunktionen unterstützen den Piloten bei der Durchführung alltäglicher Aufgaben sowie in Notfällen und tragen so erheblich zu der Sicherheit des Gesamtflugzeugs bei.

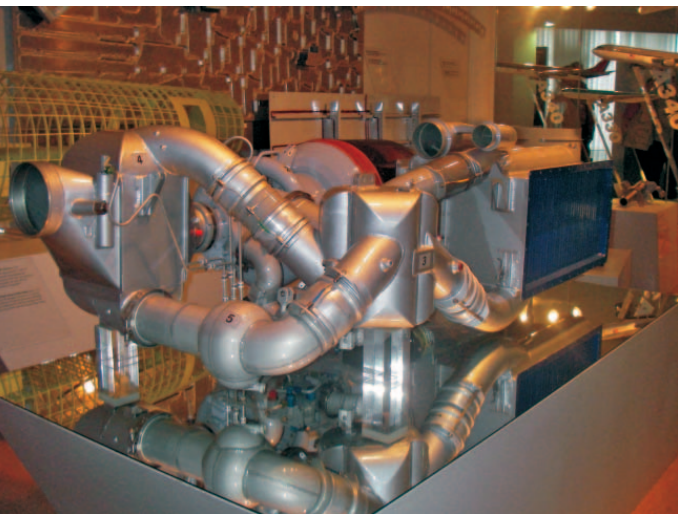
Das RMC unterstützt alle Phasen des Entwicklungsprozesses künftiger Flugregelungs- und Flugzeugbordsysteme durch eine möglichst durchgängige Palette rechnergestützter Entwurfs- und Analysewerkzeuge. Dabei spielt die multidisziplinäre Modellierung und Simulation eine Schlüsselrolle. Im Bereich der



Bordsysteme ermöglichen diese z. B. den Entwurf und die Optimierung ganzer Systemarchitekturen anhand Leistung, Gewicht und Zuverlässigkeit. Ebenso ist ein Energie- und Thermalmanagement, das Lasten allokiert, Energiequellen und -senken basierend auf Speichereffekten einteilt und bei Fehlerzuständen rekonfiguriert, in diesem Kontext anwendbar.

DLR Robot Motion Simulator

Der DLR Robot Motion Simulator ist eine neuartige Bewegungsplattform, die auf einem Standardindustrieroboter aufbaut. Er ermöglicht es, durch relativ einfaches Austauschen des Instrumentenmoduls jegliche Fahrzeug-, Flugzeug- oder Helikoptersimulation zu verwirklichen. Voraussetzungen dafür sind eine Simulation der Fahrzeug- oder Flugdynamik und ein auf den Roboter angepasstes Wash-Out-Filter, das die Online-Bahnplanung übernimmt. Derzeit entsteht in Zusammenarbeit mit den Firmen Diamond Aircraft, Diamond Simulation, KUKA und Grenzebach ein Level-D zertifizierter Flugsimulator, der eine Diamond DA-42 für die Pilotenausbildung simulieren soll.



Impressum

- Herausgeber** Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft
- Anschrift** Linder Höhe
51147 Köln
- Redaktion** Christoph Borst, Elisabeth Krüger
Robotik und Mechatronik Zentrum RMC
- Gestaltung** CD Werbeagentur GmbH,
Troisdorf
- Drucklegung** Köln, Mai 2012

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige
Verwendung nur nach vorheriger
Absprache mit dem DLR gestattet.

www.DLR.de



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.



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**

Kommunikation

Linder Höhe
51147 Köln
02203 601-2116

www.DLR.de