

Mission Raumfahrt

Aus dem Weltraum – Für die Erde

www.bmwi.de

Redaktion

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) Öffentlichkeitsarbeit

Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

Bildnachweis

ESA (S. 10, 17 o., 18, 19 u., 22, 23, 24 o., 26, 29, 30, 33, 35 u., 36), DLR (Titel, S. 3 r., 4, 6, 16, 17 u., 32, 34, 35, 37, 38, 39), NASA (S. 3 l., 9, 11 u., 12, 13, 19 o., 21, 24 u., 25), MPE (S. 11 o.), picture alliance – Xinhua (S. 38), RapidEye (S. 7)

Druck

Silber Druck oHG, Niestetal



Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) Öffentlichkeitsarbeit 10115 Berlin www.bmwi.de

Stand

Mai 2010



Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie ist mit dem audit berufundfamilie® für seine familienfreundliche Personalpolitik ausgezeichnet worden. Das Zertifikat wird von der berufundfamilie gGmbH, einer Initiative der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung, verliehen.





Innovationspolitik, Informationsgesellschaft, Telekommunikation

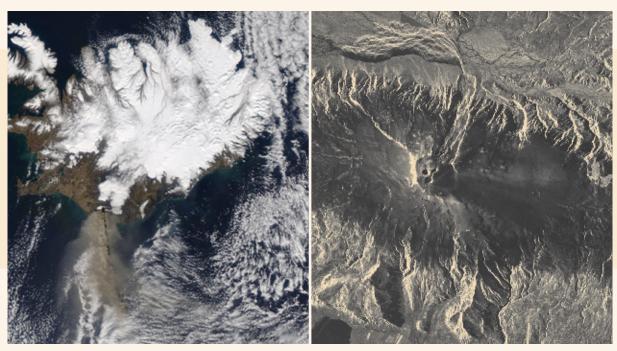
Mission Raumfahrt

Aus dem Weltraum – Für die Erde

Inhalt

Erdkunde aus der Umlaufbahn	
Das Labor über den Wolken	
Unendliche Weiten	21
Weltraumlogistik – Die Verbindung ins All	29
Relaisstationen im All	33
Vom All in den Allten	27

Erdkunde aus der Umlaufbahn



Der Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull legte im Frühjahr 2010 mit riesigen Wolken von Vulkanasche den Flugverkehr über Europa lahm. Sowohl auf Bildern optischer Erdbeobachtungssatelliten (links) als auch auf der Aufnahme des deutschen Radar-Satelliten TerraSAR-X (rechts) ist diese Aschewolke gut zu erkennen.

Zurzeit erleben wir die dritte Entdeckung der Erde. Kolumbus und die Seefahrer erkundeten seinerzeit den Globus mit Kompass und Sextant, anschließend nahmen Landvermesser die Kontinente mit Winkelmessgeräten und Barometern ins Visier. Heute übermitteln Satelliten von jedem Ort der Erde Bilder, Höhendaten und meteorologische Messwerte. Diese Daten werden für ganz verschiedene Aufgaben genutzt: Sie dienen der Grundlagenforschung, der angewandten Forschung und der regelmäßigen, alltäglichen Anwendung, wie der Wettervorhersage. Untersucht werden dabei wichtige Bereiche des Systems Erde - Kontinente, Polgebiete, Ozeane und die Atmosphäre. So ist etwa die Europäische Union ein großer Kunde für Satellitenbilder. Sie benötigt die Daten zum Beispiel für eine europaweite Erntestatistik. Heute ist es möglich, auf den Bildern Getreidearten, verschiedene Baumbestände oder den Nährstoffgehalt der Böden zu unterscheiden. Hochauflösende Bilder aus dem All werden aber auch gebraucht, um nach extremen Wetterereignissen wie Überschwemmungen die Hilfe für die Betroffenen vor Ort effektiver zu koordinieren.

Panorama- oder Detailaufnahmen

Satelliten ermöglichen globalen Überblick, der nicht an Ländergrenzen haltmacht und am Boden unzugängliche Regionen genauso erfasst wie die Ballungs-

räume unseres Planeten. Dies garantiert zuverlässige und vergleichbare Daten. Maßgeschneiderte Instrumente decken einen breiten Einsatzbereich ab, um nicht nur die Landoberfläche, sondern auch die Meere und die Atmosphäre zu überwachen. Dabei setzen moderne Erdbeobachtungssatelliten nicht nur auf das für unsere Augen oder gängige Kameras sichtbare Licht in drei Farben, sondern sie nutzen auch Infrarot und Radar oder werten feinste Unterschiede im elektromagnetischen Spektrum aus. Je nach Anwendung sind unterschiedliche Eigenschaften wichtig. Manchmal kommt es auf höchste geometrische Bildauflösung – sozusagen superscharfe Bilder – an, manchmal ist aber ein breiter Überblick wichtiger. Besonders detailscharfe Bilder werden beispielsweise von Gemeinden für die Städte- und Raumplanung oder zur Erstellung genauester Karten genutzt. Versicherungsgesellschaften leiten aus Bildern dieser Art Schadenshöhen ab. Eine wesentlich geringere Auflösung reicht aus, um bestimmte Fragestellungen landes- oder sogar kontinentweit anzugehen. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) unternimmt in Zusammenarbeit mit deutschen Universitäten große Anstrengungen, um für ganz Südamerika und Afrika Karten zu erstellen, die Aufschluss über Vegetation, Klima, Böden und Landnutzung geben. Die hierfür verwendeten Daten haben eine Auflösung von einem Kilometer. Bei Gesamtflächen von 30 Millionen Quadratkilometern für Afrika und 18 Millionen Quadratkilometern für Südamerika bedeutet das immer noch einen ganz erheblichen Aufwand bei der Auswertung. Die Karten dienen beispielsweise dazu, Brennpunkte des Artenschwunds auszumachen und Schutzmaßnahmen zu ergreifen oder die Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Artenvielfalt zu erfassen.

Die Klimawächter

Der Mensch greift durch seine Aktivitäten immer mehr in die Natur ein und verschiebt dadurch die Balance des Ökosystems. Dies trifft insbesondere auf die Atmosphäre zu. Bekannte Auswirkungen sind das Ozonloch und der zunehmende Treibhauseffekt. Klimaforscher verfolgen diese und andere Entwicklungen mit Satelliten, die einen globalen Überblick über die räumliche und zeitliche Verbreitung der wichtigsten Spurenstoffe in der Atmosphäre ermöglichen.

Das bekannteste Beispiel dafür, wie Atmosphärenforscher mithilfe von Satellitendaten eine politische Entscheidung für die Umwelt herbeiführen konnten, ist der Schutz der Ozonschicht. Mitte der 1970er Jahre entdeckten Forscher das Ozonloch. Jedes Jahr erreicht die Ozondichte über der Antarktis ein Minimum. Gleichzeitig lässt sich weltweit ein langsamer Ozonabbau in den oberen Atmosphärenschichten feststellen. Verantwortlich sind unter anderem die vom Menschen hergestellten und früher als Treibgase oder in Kühlschränken eingesetzten Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW).

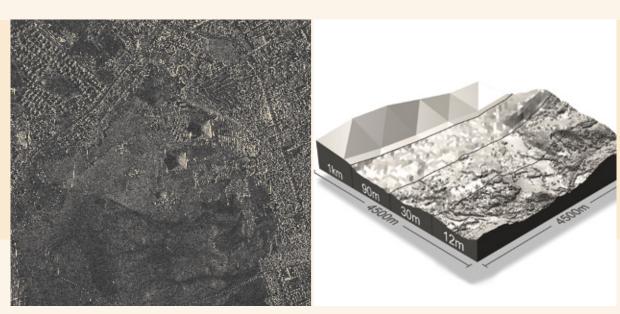
Ein Verbot solcher Substanzen kam gerade noch rechtzeitig. Satelliten haben die Menschheit in diesem Fall vor einer Katastrophe bewahrt. Heute behalten die Wissenschaftler regelmäßig neben FCKW zahlreiche Spurengase im Blickfeld, die zu dem komplizierten chemischen Gleichgewicht der Atmosphäre beitragen. Instrumente wie SCIAMACHY und MIPAS (auf dem europäischen Umweltsatelliten ENVISAT) sowie GOME (auf dem europäischen Wettersatelliten METOP) liefern heute täglich Daten über die globale Ozonverteilung sowie Karten weiterer wichtiger Spurengase von weltweit einmaliger Genauigkeit. Alle drei Instrumente wurden in Deutschland erdacht.

Beispiel für die ständig beobachteten Spurengase sind die Stickoxide (NO_x), sie tragen in unteren Atmosphärenschichten zur Smogbildung, in größeren

Höhen zum Ozonabbau bei. Sie gelangen durch industrielle Abgase sowie als Nebenprodukt bei Verbrennungsprozessen (auch durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, wie in Autos oder Flugzeugen) in die Atmosphäre, entstehen aber in großen Mengen auch auf natürlichem Wege, z. B. bei Gewittern. Auf Karten, die auf Grundlage von SCIAMACHY- und GOME-Daten erstellt werden, lässt sich eindeutig erkennen, wie Umweltschutzgesetze langsam greifen und die Luft über Europa allmählich sauberer wird, während die Verschmutzung insbesondere über China durch dessen schnelles industrielles Wachstum stark zunimmt. Auf diese Weise bleibt den Forschern kein Umweltverschmutzer verborgen.

Eine der wichtigsten Herausforderungen ist der globale Klimawandel, ausgelöst durch die kontinuierliche Zunahme von Treibhausgasen in der Atmosphäre, die die mittlere Temperatur auf der Erde seit Beginn der Industrialisierung ansteigen lässt. Das wichtigste vom Menschen produzierte Klima-Gas ist Kohlendioxid (CO $_2$). Der globale und nicht von Ländergrenzen behinderte Überblick von Satelliten ermöglicht uns, die Vorgänge der Entstehung von CO $_2$ zu verstehen und zu überwachen. Es ist inzwischen sogar exemplarisch gelungen, aus SCIAMACHY-Daten eine Europa-Karte der Regionen permanent erhöhter Kohlendioxid-Produktion herzustellen.

Doch nicht nur Kohlendioxid ist für den Treibhauseffekt verantwortlich, eine große Rolle spielt auch Methan (CH₄). Es ist zwar wesentlich seltener als Kohlendioxid, aber seine Treibhauswirkung ist im Vergleich zu CO₂ 25-fach stärker. Obwohl durch menschliches Handeln nur wenig Methan direkt ausgestoßen wird (beispielsweise beim Umgang mit Erdgas), entstehen erhebliche Mengen von Methan indirekt in der Landwirtschaft, in Reisfeldern, bei der Rinderzucht, in Klärwerken und Mülldeponien – und es gibt beunruhigende Wechselwirkungen mit der bereits einsetzenden Klimaerwärmung. Der mithilfe von SCIAMACHY-Daten in den letzten Jahren beobachtete Anstieg insbesondere über den Permafrost-Gebieten der Polarmeer-Küsten deutet auf ein Auftauen der Methan-Hydrate auf dem Meeresboden hin. Das hieraus freiwerdende Methan könnte den Treibhauseffekt weiter beschleunigen. In welchem Ausmaß es austritt, ist allerdings nicht klar. Der Methanausstoß ist damit eine der größten Unbekannten für Klimavorhersagen.



Das linke Bild zeigt die Pyramiden von Gizeh, aufgenommen von TerraSAR-X. Gemeinsam mit dem Schwestersatelliten TanDEM-X wird TerraSAR-X digitale Höhenprofile der Erdoberfläche in bislang unerreichter Genauigkeit ermitteln (im rechten Bild eine Simulation).

MERLIN: Deutsch-Französische Klimamission

In diesem Zusammenhang kann ein neues deutschfranzösisches Gemeinschaftsprojekt einen wichtigen Beitrag zur Erforschung des Weltklimas leisten: Nach derzeitiger Planung soll 2014 ein gemeinsam entwickelter Kleinsatellit mit Namen "Merlin" starten, der die Konzentration des Treibhausgases Methan in bislang unerreichter Genauigkeit messen soll.

Die Konzentration dieses wichtigen und hochwirksamen Klimagases hat sich in der Atmosphäre im Vergleich zu der Zeit vor der Industrialisierung verdoppelt - während Kohlendioxid "lediglich" um 30 Prozent zunahm. Der deutsch-französische Klimasatellit basiert auf der seit Jahren bewährten französischen Kleinsatellitenplattform vom Typ MYRIADE. Mit dem "Differentiellen Absorptions Lidar" (DiAL), einem Messgerät, entwickelt Deutschland das Herzstück des Satelliten. Dieses sendet mittels eines Hochleistungslasers Lichtpulse mit zwei nah beieinander liegenden Wellenlängen aus. Die eine Wellenlänge wird durch das Methan absorbiert, die andere nicht. Die Differenz der zum Empfänger des Instruments zurückgesandten Strahlung zeigt die Methankonzentration auf der gesamten vom Laserstrahl durchlaufenen Wegstrecke, also vom Satelliten bis zum Erdboden. Der Vorteil dieses Gerätes ist neben seiner Genauigkeit, dass es für seine Messungen nicht auf Tageslicht angewiesen ist.

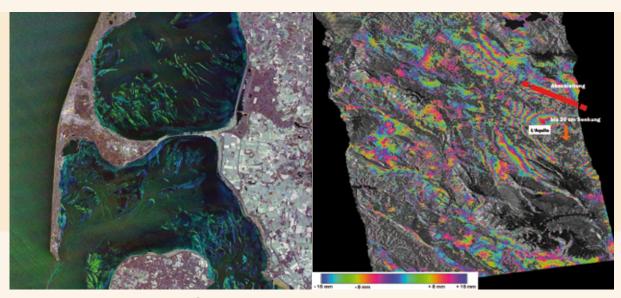
Die Kleinsatellitenmission wird insgesamt 120 Mio. Euro kosten und zu gleichen Teilen von Deutschland und Frankreich finanziert.

Wolken werden durchsichtig

Satelliten, die mit optischen Instrumenten die Erde beobachten, stoßen an ihre Grenzen, wenn es Nacht wird oder Wolken aufziehen. Letzteres ist in mittleren Breiten und vor allem in den Tropen sehr häufig der Fall. Mit Radarsatelliten lässt sich dieses Problem lösen. Sie strahlen Radio- oder Mikrowellen aus, welche die Wolken durchdringen, an der Erdoberfläche reflektiert und von der Satellitenantenne – quasi als Echo – wieder aufgefangen werden. Ein Radar schafft sich so seine eigene "Beleuchtung" und kann somit die gesamte Erde Tag und Nacht abtasten. Mit diesen Fähigkeiten eröffnen sich vielfältige Möglichkeiten.

Die deutschen Radar-Augen im All

Der am 15. Juni 2007 gestartete Radarsatellit Terra-SAR-X war Deutschlands erster nationaler Fernerkundungssatellit, der in öffentlich-privater Partnerschaft realisiert wurde. Öffentliche Hand und Industrie teilen sich bei Entwicklung, Bau und Betrieb den Aufwand, aber auch den Nutzen. Der Radar-Satellit liefert für die Dauer von mindestens fünf Jahren hochwertige Radardaten für die Erdbeobachtung, die sowohl für Wissenschaft und Forschung als auch für den stetig steigenden Bedarf der Privatwirtschaft und kommer-



TerraSAR-X-Bilder ermöglichen einen guten Überblick über Veränderungen auf der Erde (links ein Falschfarbenbild der Insel Sylt). Für die Erstellung dieser Aufnahme wurden drei mit wenigen Tagen Unterschied aufgenommene Bilder von TerraSAR-X übereinander gelegt. Alle Gebiete, in denen zwischen den Aufnahmezeitpunkten Veränderungen stattfanden, erscheinen in Blau und Grün, insbesondere die durch die Gezeiten beeinflussten Gebiete des Wattenmeeres. Hier verändert sich durch den Wechsel zwischen Ebbe und Flut der Wasserstand von Aufnahme zu Aufnahme. Die Landflächen erscheinen aufgrund der relativ geringen Veränderungen in Grau- und Brauntönen. Die TerraSAR-Daten können gerade bei Naturkatastrophen wichtig sein. Das Bild rechts zeigt die Verschiebungen des Bodenniveaus durch das Erdbeben von L'Aquila (Italien) im Jahr 2009.

zieller Märkte genutzt werden. Die Mission läuft seit dem Start reibungslos. Wissenschaftler bewerten die Qualität der Daten als außerordentlich gut.

TerraSAR-X arbeitet im sogenannten X-Band, einem Mikrowellenbereich, der Radarbeobachtung mit besonders hoher geometrischer Auflösung – also Detailschärfe der Bilder – ermöglicht. Dabei nutzt TerraSAR über eine sogenannte phasengesteuerte Antenne, die mit einer elektronischen Strahlschwenkung in kürzester Zeit viele unterschiedliche Daten des beobachteten Gebietes erfassen kann. Diese Spitzentechnologie wurde in Deutschland durch eine nachhaltige Technologieförderung entwickelt und ist eine Spezialität deutscher Ingenieure. Die nächste Technologiegeneration, die sogenannte SAR-Interferometrie, wird in der TanDEM-X-Mission Anwendung finden.

Im Sommer 2010 wird TerraSAR-X durch den nahezu baugleichen Satelliten TanDEM-X ergänzt. Die beiden Satelliten werden als Zwillinge eng nebeneinander her fliegen (s. Titelbild) und Bilder liefern für die Erstellung eines globalen digitalen Höhenmodells aller Landmassen der Erde in bislang unerreichter Genauigkeit und Qualität. Das geschieht durch Abbildung eines Gebietes von zwei unterschiedlichen Posi-

tionen aus. Das Prinzip ähnelt entfernt dem räumlichen Sehen des Menschen mit zwei Augen. Die beiden "Radaraugen" befinden sich auf den Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X, die in enger Formation um die Erde kreisen.

Dokumentation des Wandels

Mit TerraSAR-X werden insbesondere die Landmassen der Erde in Augenschein genommen. Präzise und aktuelle Informationen über die Verteilung, Zusammensetzung und Änderung von Vegetationsarten ist die Basis für viele Anwendungen. Sie werden benötigt für Studien zum globalen Klimawandel, die Erfassung und Beobachtung von Habitaten, die Risikoabschätzung, die Schaffung von soliden Planungsgrundlagen sowie die Einführung und Kontrolle von internationalen und nationalen Konventionen und Verpflichtungen, etwa dem Kyoto-Protokoll.

Völlig neue Perspektiven bietet TerraSAR-X für die Beobachtung städtischer Räume. Mit der Bevölkerungskonzentration gehen maßgebliche Veränderungen in den urbanen Zentren einher, deren Folge oft schwerwiegende ökonomische, ökologische oder soziale Konflikte sind. Um diese Potenziale frühzeitig zu erkennen und Methoden zu ihrer Vermeidung

bzw. Lösung zu entwickeln, bedarf es einer nachhaltigen Erhebung aktueller, raumbezogener Informationen, die durch die Satellitenbilder ermöglich wird.

Mit TanDEM-X wird dieses Nutzungsspektrum noch erweitert. Digitale Höhenmodelle haben eine grundlegende Bedeutung für ein breites Spektrum von kommerziellen und wissenschaftlichen Anwendungen. Viele geowissenschaftliche Forschungsgebiete benötigen präzise und aktuelle Informationen über die Erdoberfläche und ihre Topografie. In sicherheitskritischen Anwendungen sind sie unerlässlich. Exakte Geländemodelle verbessern die Zuverlässigkeit von Warnsystemen in Flugzeug-Cockpits. Die Datenbanken für diese Systeme stammen bisher aus verschiedenen Quellen unterschiedlicher Spezifikationen und Normen. Zukünftige Geländedatenbanken müssen zuverlässige, überprüfte und standardisierte Qualitätsparameter beinhalten. Die TanDEM-X-Daten stellen hier einen sehr wichtigen Beitrag dar.

Auch für ein effizientes Katastrophenmanagement werden Geländemodelle dringend benötigt. Bei großen Überschwemmungs- oder Erdbebenkatastrophen vermitteln Satellitenbilder zusammen mit der dreidimensionalen Geländebeschreibung den Hilfskräften schon vor der Anreise ein genaues Bild der Lage vor Ort. TerraSAR-X ist bereits fester Bestandteil des satellitengestützten Krisenmanagements geworden. Die Radaraufnahmen liefern selbst bei dichter Wolkenbedeckung wichtige Informationen, z. B. über die Ausdehnung von Überschwemmungen und ergänzen so die optischen Aufnahmen. Durch TanDEM-X werden die Einsatzmöglichkeiten noch erweitert.

RapidEye

Aber auch bei den optischen Satelliten hat es in den letzten Jahren große Fortschritte gegeben. Seit dem Start des Systems RapidEye Ende August 2008 befinden sich fünf baugleiche Erdbeobachtungssatelliten mit optischen Kameras auf einer Erdumlaufbahn von gut 600 Kilometern Höhe. Das Satellitensystem ist auf maximalen Überblick und höchste Datenaktualität optimiert. Mit seinen fünf auf der Umlaufbahn verteilten Satelliten kann es täglich jeden Punkt der Erde in mehreren, speziell auf Vegetationsbeobachtung eingestellten, Spektralkanälen beobachten und so riesige Flächen ablichten – mehr als vier Millionen Quadratkilometer jeden Tag.

Als Empfangstation dient eine Anlage auf Spitzbergen, Norwegen. Diese übermittelt die Aufnahme direkt zum Sitz der Betreiberfirma RapidEye AG nach Brandenburg. Das RapidEye-Projekt wurde im Rahmen einer öffentlich-privaten Partnerschaft gemeinschaftlich von dem privaten deutschen Unternehmen RapidEye AG, dem Land Brandenburg und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt – im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie – realisiert. Die RapidEye AG beliefert Kunden aus der Wirtschaft je nach ihrem Bedarf mit Satellitenbildern oder speziellen Landkarten, die auf Grundlage der RapidEye-Aufnahmen entstanden sind.

Darunter sind thematische Karten zur Bestimmung von Ernteschäden, Ernteplanung und -vorhersagen. Wichtig hierfür sind Aufnahmen im sogenannten "Red-Edge-Kanal", eines Lichtspektrums im Grenzbereich von rotem und infrarotem Licht. Diese geben Auskunft über den Chlorophyllgehalt von Pflanzen und ermöglichen der Landwirtschaft damit eine optimierte und damit sparsame Düngemittelplanung.



Mit seinen fünf auf der Umlaufbahn verteilten Satelliten kann das Satellitensystem RapidEye täglich jeden Punkt der Erde beobachten.

Aber auch Schadenskartierungen für Versicherungen – etwa bei Überflutungen – werden durch die Daten der RapidEye-Satelliten ermöglicht. Darüber hinaus bietet RapidEye Informationen, mit deren Hilfe öffentliche Einrichtungen weltweit Aufgaben wie Veränderungs- und Umweltanalysen, Überwachung von internationalen Konventionen oder Katastrophenhilfe durchführen können. Anhand der Daten kann man z. B. den Zustand des Nordseewatts oder den Schwebstoffgehalt des Wassers an der Küste, in Flussläufen oder Seen beobachten.

Ähnlich wie beim TerraSAR-X-Projekt ermöglicht diese staatlich-private Zusammenarbeit die gleichzeitige Nutzung der Fernerkundungsdaten für Wissenschaft und Forschung einerseits und für die sich rasch entwickelnden und durch hoch innovative mittelständische Unternehmen geprägten Märkte der Geoinformation und Fernerkundungsdienstleistung andererseits.

FnMAP

Mit der ersten deutschen Hyperspektralmission EnMAP (Environmental Mapping and Analysis Programme) wird eine neue Ära in der Erdbeobachtung eingeläutet. Der Satellit soll im Jahr 2014 starten und wird eine bislang unerreichte Qualität von Daten aus dem Orbit liefern.

Obwohl die geometrische Auflösung dieser neuen Instrumentenklasse auf den ersten Blick nicht allzu spektakulär aussieht, nehmen Hyperspektralsensoren, anders als die bislang gebräuchlichen multispektralen Sensoren, die von der Erdoberfläche reflektierte Sonneneinstrahlung in einer großen Anzahl von sehr feinen Spektralkanälen vom sichtbaren bis zum kurzwelligen Infrarotbereich auf.

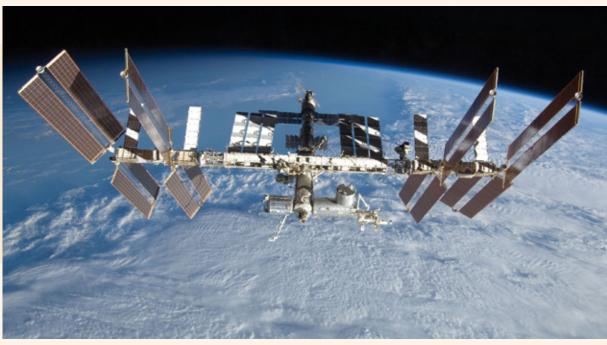
Die herkömmlichen Instrumente liefern zwar zuverlässige Daten für qualitative Informationen, beispielsweise welche Art von Vegetation den Erdboden bedeckt. Für quantitative Informationen hingegen, wie etwa über die Nährstoffversorgung von Ackerpflanzen oder die Wasserqualität von Seen, werden spektral höher aufgelöste Daten benötigt. Diese soll künftig der deutsche Erdbeobachtungssatellit EnMAP liefern. Er wird zu den leistungsstärksten Erdbeobachtern zählen, da er die gesamte Erdoberfläche mithilfe von über 220 Spektralkanälen aufzeichnen kann.

Das wesentliche Ziel der Mission ist es, global Ökosystemparameter zu beobachten und zu analysieren. Dies beinhaltet wissenschaftliche Untersuchungen von Böden und Gesteinen sowie Küsten- und Süßwasserbereichen. Im Vordergrund steht die Erfassung biophysikalischer und bio-, geo-chemischer Variablen in hoher spektraler und räumlicher Auflösung. Sie dienen als Eingangsdaten für verfeinerte Umwelt-Modelle und für ein besseres Verständnis von biosphärischen und geosphärischen Prozessen.

Einen wertvollen Beitrag können die EnMAP-Daten künftig auch bei der Anfertigung genauer bodenkundlich-geologischer Karten leisten, da Planungen bei Charakterisierung und Erschließung von Rohstoffvorkommen durch sie verbessert werden. Bei Beurteilung und Management von Abraumhalden von Tagebauen lassen sich mit ihrer Hilfe Umweltschäden besser vermeiden.

Das Projekt wird zum Großteil vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie finanziert. Außerdem tragen das Deutsche Geo-Forschungszentrum (GfZ), die Firma Kayser-Threde sowie das DLR mit Eigenmitteln zur Verwirklichung von EnMAP bei.

Das Labor über den Wolken



Die internationale Raumstation (ISS) im Jahr 2009. Links das europäische Forschungsmodul COLUMBUS.

Am 2. November 2000 öffneten Bill Shepherd, Juri Gidzenko und Sergej Krikalew die Luke zum Servicemodul Swesda und schwebten als erste Crew in die Internationale Raumstation, kurz ISS, hinein. Zu diesem Zeitpunkt bestand die ISS aus drei Arbeits- und Wohn-Modulen. Im Februar 2001 brachte die US-Raumfähre Atlantis das amerikanische Labormodul Destiny zum Ausbau der ISS in die Erdumlaufbahn. Bis 2010 waren knapp 50 weitere Raketen- und Shuttlestarts nötig, um ISS-Komponenten in die Umlaufbahn zu transportieren, wo sie dann von Astronauten und Kosmonauten zusammengebaut wurden.

Im Endausbau verfügt die Raumstation ab 2011 über fünf Labormodule und zwei Versorgungsmodule, die über drei Verbindungselemente miteinander gekoppelt sind. Insgesamt 33 Laborschränke stehen den Astronauten dann zur Verfügung. Das Volumen der ISS von 1.200 Kubikmetern entspricht dem von zwei Jumbojets. Damit ist die Station fünf Mal so groß wie die frühere sowjetisch-russische Raumstation "Mir". Seit Mai 2009 leben sechs Astronauten gleichzeitig in der ISS und experimentieren in der Schwerelosigkeit, während sie in einer Höhe von etwa 400 Kilometern alle 90 Minuten einmal die Erde umkreisen. Die Solarpanelen mit einer Fläche von rund 2.500 Quadratmetern liefern eine Leistung von 110 Kilowatt, wovon 45 Kilowatt allein für die Experimente zur Verfügung stehen.

Als erster deutscher Astronaut startete Thomas Reiter am 4. Juli 2006 mit dem Shuttle Discovery zu einer Langzeitmission auf der ISS. Im Rahmen der ASTROLAB-Mission verbrachte er 171 Tage im Weltraum – längere Zeit als jeder andere europäische Astronaut vor ihm. Gemeinsam mit dem dänischen ESA-Astronauten Christer Fuglesang kehrte er an Bord der Discovery am 22. Dezember 2006 zum Kennedy Space Center zurück. Beide haben unter großem öffentlichen Interesse eindrucksvoll die europäischen und deutschen Fähigkeiten in der astronautischen Raumfahrt sowie in der Forschung unter Weltraumbedingungen demonstriert.

Am 7. Februar 2008 startete Space Shuttle Atlantis mit dem COLUMBUS-Labor zu einer weiteren ISS-Aufbaumission. Mit dabei war der deutsche ESA-Astronaut Hans Schlegel. Mit COLUMBUS ist nun erstmals Langzeitforschung in einem europäischen Weltraumlabor möglich. Im Inneren dieses Hightech-Labors stehen fünf Forschungsanlagen für physiologische, biologische, materialwissenschaftliche und physikalische Versuche zur Verfügung. Gebaut wurde das acht Meter lange Labor beim europäischen Raumfahrtkonzern EADS Astrium Space Transportation in Bremen.

Auch wenn Verzögerungen im Shuttleprogramm dazu führten, dass der Start von COLUMBUS mehrmals verschoben wurde, mussten Forscher aus Europa nicht



Ariane-Rakete mit ATV.

bis dahin auf eigene Experimente in Schwerelosigkeit verzichten: Bereits seit dem "Erstbezug" der ISS wurde eine Reihe von Experimentserien auch im Auftrag deutscher Wissenschaftler durchgeführt. Diese dienten insbesondere der Untersuchung des menschlichen Gleichgewichtssystems, der Züchtung von Proteinkristallen, der Grundlagenphysik und strahlenbiologischen Fragestellungen. Tatsächlich kamen die ersten beiden ISS-Experimente zur Grundlagenforschung und kommerziellen Nutzung aus Deutschland: ein Plasmakristall-Experiment von Physikern des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik in Kooperation mit der Russischen Akademie der Wissenschaften sowie das Projekt "Global Transmission Services" (GTS) von DaimlerChrysler und dem Uhrenhersteller Fortis.

Im Jahr 2009 übernahm mit dem belgischen ESA-Astronauten Frank de Winne zum ersten Mal ein Europäer die Verantwortung als ISS-Kommandant. Diese Mission markierte einen wesentlichen Meilenstein im ISS-Programm: Erstmals wurde die ständige Bordmannschaft auf sechs Mitglieder erweitert, womit nun der volle Nutzen aus den technologischen und wissenschaftlichen Kapazitäten der Station gezogen werden kann. Ebenfalls zum ersten Mal waren Astronauten aller ISS-Partner (USA, Russland, Europa, Japan und Kanada) gleichzeitig an Bord.

Am 8. Februar 2010 startete das Space Shuttle Endeavour vom Weltraumbahnhof Cape Canaveral (Florida) zur ISS. Mit an Bord war das 13,5 Tonnen schwere Verbindungsmodul Tranquility (Ruhe) samt der Aussichtskuppel Cupola. Tranquility wurde in Italien gebaut und ist der letzte Baustein für das US-amerikanische Segment. Die Raumstation ist damit zu etwa 90 Prozent fertiggestellt. Dieser Shuttleflug war der erste von insgesamt fünf weiteren Flügen zur ISS, die noch bis November 2010 geplant sind. Danach wird die Shuttleflotte nach mehr als 25 Jahren planmäßig außer Dienst gestellt. Den Crewtransport zur ISS übernimmt dann ausschließlich Russland mit Sojus-Raumschiffen.

Experimente im All für das Leben auf der Erde

Für deutsche Wissenschaftler begann die Nutzung der ISS lange vor dem Andocken von COLUMBUS - nämlich bereits im Frühjahr 2001. Seitdem wurden rund fünfzig Experimente oder Experimentserien begonnen und teilweise bereits abgeschlossen. Auch bei der wissenschaftlichen Nutzung der ISS ist Deutschland von allen ESA-Mitgliedsländern am stärksten vertreten: Rund 40 Prozent der im internationalen Wettbewerb ausgewählten wissenschaftlichen ISS-Projekte stammen aus deutschen Forschungseinrichtungen. Das bisherige Forschungsspektrum umfasst neben der Plasmakristall-Forschung und der Fluidphysik vor allem Projekte aus Gravitations- und Strahlenbiologie, der Biotechnologie sowie aus der Raumfahrtmedizin. Mit neuen Experimentanlagen sind seit Kurzem auch Experimente für die Materialforschung möglich.

Plasmaforschung und Fluidphysik

Im März 2001 begann als erstes wissenschaftliches Projekt auf der ISS eine bis heute fortgeführte Experimentserie zur Erforschung von Plasmakristallen. In





Elektrisch geladenes Plasma bei Schwerkraft (links) und in Schwerelosigkeit (rechts). Da sich im Labor auf der Erde die Plasmapartikel durch Einwirkung der Schwerkraft in einer lediglich zweidimensionalen Schicht ablagern, ist ein schwereloses Umfeld für die Untersuchungen ideal. Durch Änderung der Experimentparameter sowie die Wirkung externer Kräfte können Wissenschaftler hier die Plasmastruktur manipulieren.

der Physik bezeichnet man mit Plasma ein Gas, das teilweise oder vollständig aus freien Ladungsträgern wie Ionen oder Elektronen besteht. Plasmakristalle können sich unter bestimmten Voraussetzungen in komplexen ("staubigen") Plasmen bilden. Dabei ordnen sich die im Plasma elektrisch geladenen Partikel in einem regelmäßigen, makroskopischen Gitter an.

Die Forschung an den sogenannten komplexen Plasmen ist noch jung. Erst 1994 wurden Plasmakristalle am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching entdeckt. Künftig wird diese exzellente Grundlagenforschung auch zu zahlreichen Anwendungen führen. So werden beispielsweise industrielle Abläufe wie Beschichten und Ätzen, bei denen Plasmen Verwendung finden, verbessert werden.

Eine ganz aktuelle Innovation ist eine berührungslose Desinfektionsmethode mithilfe von Plasmen. Damit lassen sich in der Klinik etwa offene Wunden oder zu operierende Körperstellen deutlich gründlicher und schneller desinfizieren.

Auch die wissenschaftliche Bilanz ist beeindruckend: Aus den Weltraumexperimenten sind bereits mehr als 40 wissenschaftliche Publikationen in internationalen Fachzeitschriften hervorgegangen.

In dem Projekt Geoflow aus der Fluidphysik werden Strömungsvorgänge im flüssigen äußeren Erdkern simuliert, indem die zentrale Kraftwirkung unseres Planeten durch ein künstliches Kraftfeld in einem Kugelspalt ersetzt wird. Wissenschaftler interessieren sich hierbei für die auftretenden Strömungsmuster. Nur unter Schwerelosigkeit kann man dabei die durch die Gravitation im irdischen Labor herrschende Vorzugsrichtung "oben-unten" vermeiden.

Materialforschung

Etwa 90 Prozent aller metallischen und halbleitenden Materialien werden durch Erschmelzen aus entsprechenden Erzen und weiteren schmelzmetallurgischen Verfahren gewonnen. Um bestehende Technologien zu verbessern oder neue zu entwickeln, brauchen Forscher ein immer größeres Detailverständnis aller dabei ablaufenden Vorgänge. Das Materialdesign aus der Schmelze erfordert heutzutage effiziente Compu-



Der belgische Astronaut Frank de Winne bei der Arbeit im materialwissenschaftlichen Forschungslabor in der ISS.



Hans Schlegel im Februar 2008 als deutscher Astronaut an Bord der ISS; auf dem Gruppenbild oben rechts.

tersimulationen, damit man auf energie- und zeitaufwendige Vorversuche im großtechnischen Maßstab verzichten kann. In der Schwerelosigkeit an Bord der ISS treten Kräfte, die solche Versuche auf der Erde stören, nicht auf, so etwa Auftrieb (Konvektion) und Ablagerung (Sedimentation) von Komponenten unterschiedlicher Dichte innerhalb der Schmelze. Das sind entscheidende Vorteile, um die Wechselbeziehung zwischen Erstarrungsbedingungen, Werkstoffgefüge und resultierenden Eigenschaften aufzuklären. Im ESA Materials Sciences Lab auf der ISS arbeiten die Wissenschaftler vor allem an Schmelzen, die für die Industrie wichtig sind.

Gravitations-, Strahlen- und Astrobiologie

Besonders für Pflanzen ist es wichtig, die Schwerkraft wahrzunehmen und darauf zu reagieren: Wurzeln müssen zur Verankerung sowie zur Nährsalz- und Wasseraufnahme in den Boden wachsen, der Spross nach oben, um die Blätter für die Photosynthese zum Licht zu führen. Biologen wollen bei ihrer Forschung besser verstehen, wie die verschiedenen Schritte der Wahrnehmung und Verarbeitung von Schwerkraft auf molekularer Ebene in der Pflanze ablaufen (um dann das Pflanzenwachstum optimieren zu können). Bislang erbrachten ISS-Experimente interessante Befunde über das Wurzelwachstum der wegen ihrer Eigenschaften von Biologen häufig als Modellpflanze verwendeten Arabidopsis, der Ackerschmalwand.

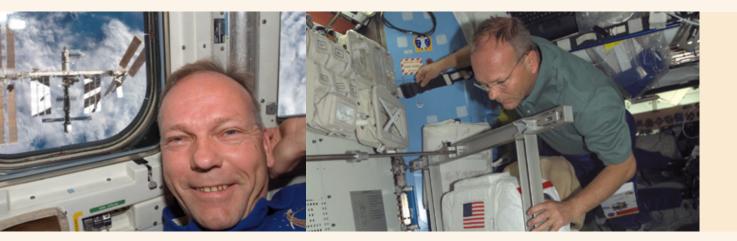
Strahlen- und Astrobiologen setzten in der Anlage Expose-EuTEF auf der Außenhülle von COLUMBUS verschiedene Organismen den extremen Umgebungsbedingungen des Weltraums aus, um zu untersuchen, ob und unter welchen Umständen sie dort überleben können. Nach ihrer Rückkehr zur Erde im Herbst 2009 begann die Analyse der biologischen Proben. Die Biologen wollen die Frage beantworten, ob das Leben ursprünglich auf anderen Himmelskörpern entstanden und von dort zur Erde gelangt sein könnte (Panspermie-Hypothese).

Biotechnologie – Nobelpreis für Kristallisation der Ribosomen

Am 7. Oktober 2009 vergab das Nobelpreis-Komitee den Nobelpreis für Chemie an die Israelin Ada Yonath sowie zwei amerikanische Kollegen für ihre bahnbrechenden Arbeiten zur Struktur und Funktion der Ribosomen. Gemeinsam mit der in der DNA gespeicherten Erbinformation sorgen Ribosomen dafür, dass die für



An Bord der ISS können die Wissenschaftler erheblich größere und gleichmäßigere Protein-Kristalle züchten als auf der Erde. An den großen Kristallen können sie deren Struktur besser analysieren.



das Leben notwendigen Eiweißmoleküle im Körper hergestellt werden - Ribosomen stellen gewissermaßen die Fabriken des Lebens dar. Um ihre Funktion zu verstehen, muss man ihre Struktur kennen. Einige der wesentlichen Ergebnisse hierfür erarbeitete Ada Yonath zwischen 1988 und 1995 durch ihre Beteiligung an mehr als zwölf Weltraummissionen. Hierbei hat sie die Schwerelosigkeit zur Verbesserung der Kristallisation von Ribosomen genutzt. Denn die in Schwerelosigkeit gewachsenen Kristalle waren größer, runder und gleichmäßiger gestaltet und wiesen so den Weg für weitere Experimente auf der Erde, letztendlich bis hin zur erfolgreichen Strukturaufklärung und zum Nobelpreis. Ada Yonath hatte 25 Jahre lang in Deutschland geforscht. Ihre damaligen Kooperationspartner aus Hamburg und Berlin haben zusammen mit anderen Wissenschaftlern diese Thematik weiter entwickelt und in den letzten Jahren auf der ISS – gefördert vom BMWi - dreizehn deutsche Projekte zur Proteinkristallisation durchgeführt.

Tatsächlich konnte die Strukturaufklärung für verschiedene Moleküle verbessert werden, ja, in einigen Fällen, wie bei bestimmten Oberflächenproteinen von Bakterien, gelang überhaupt zum ersten Mal eine Kristallisation. Beim Mistel-Lectin, der Hauptkomponente in den Extrakten der Mistel, die zur Stärkung des Immunsystems und zur Krebstherapie eingesetzt werden, gelang es einer Arbeitsgruppe der Universität Hamburg, bei verschiedenen ISS-Experimenten Kristalle zu züchten, die eine verbesserte Strukturanalyse ermöglichten. Mit diesen Ergebnissen kann dieses Protein nun besser in der Medikamentenherstellung eingesetzt werden.

Raumfahrtmedizin

Viele Veränderungen, die Astronauten in Schwerelosigkeit erfahren, ähneln dem Alterungsprozess des Menschen auf der Erde - mit zwei wesentlichen Unterschieden: die Veränderungen im All geschehen sehr viel schneller, laufen also gewissermaßen im Zeitraffer ab, und sie sind – zum Glück – reversibel. Nach der Rückkehr zur Erde gewinnen also die Astronauten nach einiger Zeit wieder ihren Gesundheitszustand von vor dem Raumflug zurück. Von daher kann man aus den Weltraumexperimenten einiges über den Abbau von Muskeln und Knochen, aber auch über altersbedingte Veränderungen von Herz-Kreislauf-, Gleichgewichts- und Immunsystem sowie über Mechanismen der Rückanpassung lernen. Bislang liefen auf der ISS vierzehn deutsche Forschungsprojekte zu diesen Themen, einige sind noch im Gange.

Aber nicht nur von ihren Ergebnissen, sondern auch von der Weltraumforschung selbst profitieren wir Menschen auf der Erde häufig. So entwickelte man beispielsweise zur Untersuchung des Gleichgewichtssystems des Menschen ein neues Gerät, das kompensatorische Augenbewegungen misst: das 3D Eye Tracking Device (ETD). Seit 2004 wurde es auf der Internationalen Raumstation für Untersuchungen an Astronauten eingesetzt. Es besitzt so viele Vorteile, dass es inzwischen auch auf der Erde in verschiedenen kommerziellen Versionen erfolgreich vermarktet wird mehr als 1.000 Geräte sind im klinischen Einsatz. Besonders erfolgreich wird das ETD bei der Diagnose von Schwindelgefühlen eingesetzt sowie dafür, den Verlauf von Laser-Hornhaut-Abtragungen zur Behandlung von Kurzsichtigkeit zu überwachen. Eye

Tracking wird aber beispielsweise auch in der Arbeitspsychologie, im Marketing oder bei der Entwicklung von Computerspielen verwendet.

Seit Langem ist bekannt, dass das Immunsystem bei Astronauten beeinträchtigt ist. Die genauen Ursachen und Mechanismen sind noch weitgehend unbekannt. Vielfältige Stressfaktoren, wie Isolation, Arbeitsbelastung und Störungen des Schlafrhythmus gehören wahrscheinlich zu den Auslösern. Aber auch die besonderen Bedingungen des Weltraums wie Schwerelosigkeit und Strahlung tragen möglicherweise zu dieser Beeinträchtigung bei. Mit vergleichbaren Problemen des Immunsystems, ausgelöst teilweise durch dieselben Stressfaktoren, haben Schwerkranke auf der Erde zu kämpfen. Mit umfangreichen biochemischen Analysen, ergänzt durch psychologische Tests, untersuchen Wissenschaftler aus München die Veränderungen des Immunsystems der ISS-Langzeit-Crews. Hieraus erwarten sie Aufschlüsse über die Rolle der einzelnen Faktoren, die das Immunsystem schwächen sowie über den Mechanismus der Immunabwehr. Das ist wichtig für die Entwicklung neuer vorbeugender Maßnahmen oder neuer Therapien, gleichermaßen für Astronauten wie für Schwerkranke in der Intensivmedizin.

Andere raumfahrtmedizinische Experimente beschäftigen sich mit dem Zusammenspiel von Ernährung, Salz- und Flüssigkeitshaushalt, Knochen- und Muskelstoffwechsel sowie dem Blutdruck beim Menschen. Untersuchungen auf der russischen Raumstation MIR hatten Zweifel an der strengen Koppelung von Salz- und Wasserhaushalt bei Kosmonauten in Schwerelosigkeit ausgelöst und damit als sicher gelten-

des Lehrbuchwissen in Frage gestellt. In der Tat entdeckten die Forscher in nachfolgenden Studien auf der Erde einen bislang unbekannten Mechanismus der Salzspeicherung in der Haut. Ein wesentliches Ziel des ISS-Experiments ist es daher, herauszufinden, ob eine hohe Kochsalzzufuhr im All den durch die Schwerelosigkeit ohnehin schon stattfindenden Knochenabbau noch verstärkt.

Aus diesen und weiteren Experimenten, etwa zum Herz-Kreislauf-System, erwarten die Wissenschaftler interessante neue Einblicke in das Funktionieren des menschlichen Körpers.

Industrielle Forschung in Schwerelosigkeit

Die Raumstation soll sich außerdem zu einer Großforschungseinrichtung entwickeln, in der neben wissenschaftlichen Experimenten auch anwendungsorientierte Forschung für die Industrie betrieben wird. Ziel ist es, langfristig zwischen 10 und 30 Prozent der europäischen Forschungsressourcen auf der ISS industriellen und kommerziellen Nutzern zur Verfügung zu stellen: eine Strategie, die insbesondere das BMWi verfolgt. Es fördert das Projekt "GoSpace" mit dem Ziel, solche Unternehmer als Kunden der Raumfahrt zu gewinnen, die bisher nicht in Weltraumexperimente einbezogen waren. Die neuen Experimentgelegenheiten sollen auch und gerade kleinen und mittleren Unternehmen geboten werden.

Industrielle Versuche in Schwerelosigkeit sind für Wirtschaftsunternehmen immer dann lohnend, wenn gute Experimentergebnisse am Boden nicht möglich sind, weil der Faktor "Schwerkraft" dies unmöglich macht. Die Forschung kann sich aber auch

"SkinCare" - Physiologische Hautanalyse im All

Aus bisher erfolgten Beobachtungen der menschlichen Haut in Schwerelosigkeit ist bekannt, dass neben dem Auftreten vermehrter Trockenheit insbesondere die Dicke der Haut abnimmt, und damit – quasi im Zeitraffer – eine "Alterung" der Haut erfolgt. Die Erforschung der Alterungsprozesse der Haut und die Entwicklung möglicher Gegenmaßnahmen ist ein Schwerpunkt in der dermatologischen und kosmetischen Industrie. Diesen Fragestellungen ist ein Industrie-Konsortium aus Nordrhein-Westfalen – DermaTronnier, Courage+Khazaka sowie Degussa – mit dem von ihm finanzierten Experiment "SkinCare" auf der ISS nachgegangen. Erstmals wurden physiologische Parameter der menschlichen Haut (Feuchtigkeit, Wasserverlust, Faltenbildung, Elastizität und Hautdicke) mithilfe moderner nicht-invasiver Messverfahren erfasst. Ausgeführt wurden die Experimente vom deutschen Astronauten Thomas Reiter. Basierend auf den gewonnenen Daten konnte das Konsortium nach der wissenschaftlichen Auswertung generelle Rückschlüsse auf Alterungsprozesse der Haut erzielen.

dann wirtschaftlich rechnen, wenn bodengebundene Experimente erheblich zeitaufwändiger und damit teurer wären als entsprechende Versuche in Schwerelosigkeit. Zur Unterstützung der Experimente steht das MUSC (Microgravity User Support Center) in Köln sowohl der Wissenschaft als auch der forschenden Industrie als Nutzerzentrum zur Verfügung.

Das Interesse der Industrie wächst. Forschung in COLUMBUS und auf der ISS kann die Umsetzung einer zielorientierten Innovationspolitik eines Unternehmens fördern und ist damit eine Investition in die Zukunft. Nachdem ein Konsortium aus der dermatologischen Industrie mit dem Experiment "SkinCare" während der Astrolab-Mission mit Thomas Reiter die Alterung der Haut untersucht hat, wollen sich nun Unternehmen mit den Forschungsthemen "klinische Prüfungen von Arzneimitteln", "antibakterielle Oberflächenbeschichtungen" und "Mikrozirkulation und Sauerstoffsättigung des Blutes" auf weitere industrielle Experimente auf der ISS vorbereiten. Auch im Materialforschungsbereich bieten sich in Forschungsfeldern wie etwa metallischen Schäumen und thermophysikalischen Eigenschaften von Schmelzen Erfolg versprechende Perspektiven.

Klar ist aber, dass die ISS weder kurz- noch mittelfristig eine "Fabrik im All" sein wird. Die Versuche in der Schwerelosigkeit sollen dazu dienen, Erfahrungen im All zu sammeln und diese bei Fertigungstechniken und bei der Produktion auf der Erde in großem Maßstab umzusetzen – Know-how-Transfer vom Weltraum auf die Erde.

Ausblick: zukünftige Forschungsschwerpunkte auf der ISS

Mit den erfolgreichen Starts von COLUMBUS und ATV (Automated Transfer Vehicle) sowie des japanischen Moduls KIBO im Jahr 2008 sind jetzt ausgezeichnete Bedingungen vorhanden, um auf der ISS zu forschen. Seit im Sommer 2009 die Zahl der Astronauten von drei auf sechs erhöht wurde, stehen nun sowohl mehr Experimentierzeit als auch eine größere Zahl von Probanden für wissenschaftliche Experimente im Weltraum zur Verfügung. Dies ist besonders für die Raumfahrtmedizin positiv, denn wenn an den laufenden medizinischen Versuchen mehr Probanden teilnehmen, sind schneller allgemeingültige Ergebnisse möglich.

Wichtige Fortschritte in den nächsten Jahren sind in Gravitations-, Strahlen- und Astrobiologie, in der Raumfahrtmedizin, in Materialforschung sowie in Fluid- und Fundamentalphysik zu erwarten. Dies wird auch den Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Deutschland nachhaltig stützen. Deshalb setzt sich Deutschland zum Wohle von Forschung und Technologieentwicklung als auch der industriellen Nutzung dafür ein, dass die ISS mindestens bis zum Jahr 2020 betrieben wird.

Versorgung der Station und Rettung im Notfall

Die Raumstation wird in regelmäßigen Abständen mit Nachschub versorgt. Dazu gehören Teile für die Laboreinrichtung, Ersatzteile für die Station selbst oder die Versorgung der Besatzung. Die Europäer bringen seit März 2008 ihren Nachschub mit einem eigenen Fahrzeug zur Station. Das erste Automatische Transferfahrzeug (ATV) mit Namen "Jules Verne" flog am 9. März 2008 auf einer Ariane 5 zur ISS. Da die Ariane nicht dafür ausgelegt ist, Nutzlasten direkt in eine niedrige Erdumlaufbahn zu befördern und die erforderlichen Rendezvous- und Andockmanöver mit der Raumstation autonom durchzuführen, wurde das circa zehn Meter lange ATV so konstruiert, dass es diese Aufgabe selbst übernimmt. Ein zweites ATV "Johannes Kepler" soll im Dezember 2010 starten, ATV-3 "Eduardo Amaldi" ein Jahr später.

Mit jedem Ariane-Flug kann das ATV maximal 7,5 Tonnen Fracht, Atemluft, Wasser und Treibstoffe zur ISS transportieren. Je nach Bedarf kann die Zusammenstellung der Nutzlast von Mission zu Mission variieren. Sobald das ATV an den russischen Stationsteil angedockt ist, dient es – genau wie die russische Progress-Kapsel – zu Bahnkorrekturen der ISS in Intervallen von zehn bis 45 Tagen. Bei der Abkopplung von der ISS übernimmt das ATV auch die Aufgabe der Müllabfuhr. ATV kann mehr als sechs Tonnen Abfälle von der ISS aufnehmen, die dann mit dem Fahrzeug in die dichteren Schichten der Erdatmosphäre eintauchen und in einer gezielten Bahn über dem Pazifik verglühen.

Die ISS verfügt über eine große Zahl an Sicherheitssystemen. Dennoch lässt sich ein Notfall, etwa ein Brand oder der Einschlag eines Weltraummüll-Trümmerteils, nicht gänzlich ausschließen. Für den

Fall, dass die Besatzung rasch evakuiert werden muss, sind ständig zwei Sojus-Kapseln angedockt.

Exploration

Automation und Robotik sind die Schlüsseltechnologien für die Exploration des Weltraums. Als verlängerter Arm des Menschen im All werden intelligente Roboter die Zukunft der Raumfahrt nachhaltig verändern: Robotische Systeme werden auf Planeten, Monden und Asteroiden landen, sie erkunden und damit die Erschließung des Sonnensystems maßgeblich vorantreiben. Hohe Mobilität, präzise Manipulation sowie autonome Aktionsfähigkeit der robotischen Systeme an fernen Orten sind dabei entscheidend für den Erfolg.

ISS - Testbett für Exploration

Aber auch in direkter Zusammenarbeit mit dem Menschen sind Roboter unentbehrlich. Sie unterstützen Astronauten bei ihrer Arbeit. So sind Einsätze außerhalb der ISS für Astronauten riskant, erfordern ein intensives Training und bedeuten eine enorme physische Anstrengung. Ein "Weltraumspaziergang" ist kein reines Vergnügen. Viele der Arbeiten im Außeneinsatz können aber aufgrund niedriger Komplexität von modernen multisensoriellen Robotern in gleicher Güte und dabei sogar sicherer und schneller erledigt werden. Roboter sind die Wegbereiter der Weltraumforschung. Sie senken deutlich die Risiken, die allen astronautischen Raumfahrtmissionen innewohnen, und nicht zuletzt auch die Kosten.

Die ISS kann zukünftig eine wichtige Funktion bei der Erforschung neuer Explorationstechnologien übernehmen, etwa für eine Untersuchung des Mondes mit



Sensorik und Motorik von Robotern werden immer feiner. Im Bild der vom DLR entwickelte Roboter Justin II

Weltraumrobotern, für Energieversorgung, Lebenserhaltungssysteme oder Kommunikationssysteme für große Entfernungen im All.

Nächster Schritt Mond

Die internationalen Programme zur Exploration unseres Sonnensystems beinhalten Fernerkundungsund Landemissionen zum Mond, unserem nächsten

Das Schüler-Experiment OEE auf der ISS

Raumstation und Astronauten können Schülern und Jugendlichen besonders intensiv die "Faszination Raumfahrt" vermitteln. Darauf bauen die Schul- und Jugendprojekte des DLR auf. Auf der ISS-Langzeitmission von Thomas Reiter wurde ein vom ZDF begleitetes "Schülerexperiment im All" durchgeführt, das Öl-Emulsions-Experiment ("OEE"): Hierbei ging es darum, zu beobachten, wie sich eine Wasser-Öl-Mischung in einem Plexiglasquader verhält, wenn der Behälter geschüttelt wird. Über einen Zeitraum von 14 Tagen liefen parallel auf der ISS und in den Klassenzimmern der beteiligen Schüler zwischen Jahrgangsstufe 5 und 7 zahlreiche Mischversuche. Ausgehend von den eigenen Ergebnissen – und den vom ZDF aufbereiteten Bildern aus der Raumstation – entwickelten die Schüler Hypothesen, wie das Experiment in der Schwerelosigkeit abgelaufen sei. Die Auflösung wurde in einer Sondersendung ausgestrahlt und erreichte bundesweit Tausende von begeisterten Nachwuchsforschern.

Nachbarn. Der Mond wird dabei allgemein als das technologische Sprungbett für die Exploration anderer Himmelskörper gesehen. Einen ersten Schritt hierzu hat Deutschland bereits 2008 unternommen mit der Beteiligung an einer möglichen europäischen Mondlandemission der ESA, dem "Lunar Lander". Dadurch werden insbesondere unsere Fähigkeiten bei den Schlüsseltechnologien für Automation und Robotik weiter gestärkt.

Beim ESA Lunar Lander, dessen Machbarkeit unter deutscher Führung untersucht wird, handelt es sich um eine kleine kostengünstige Landemission auf dem Mond. An Bord befindliche Experimente sollen darauf ausgerichtet sein, einerseits den Mond selbst weiter zu erforschen, aber auch Testläufe für zukünftige Explorationsmissionen darzustellen. Teil der Mission soll ein kleines mobiles Element ("Rover") sein. Der mögliche Starttermin ist 2018.

Nationale Projekte

Die Mondexploration ist ein erklärtes raumfahrtpolitisches Ziel Deutschlands. Zahlreiche technologische Projekte sind letztlich auf die Mondexploration ausgerichtet, auch die Möglichkeiten zur Durchführung einer nationalen Mondorbiter-Mission LEO (Lunar Exploration Orbiter) wurden dazu untersucht.



Der Mond als nächster Nachbar der Erde ist das Hauptziel der deutschen Bestrebungen für eine robotische Exploration.

Die Erkundung und Erschließung des Mondes ist der nächste logische Schritt bei der Exploration unseres Sonnensystems. Dies hat das BMWi unterstützt durch eine Machbarkeitsüberprüfung eines terrestrischen "Demonstrators" für Mondlandungen. Dabei handelt es sich um ein Testgerät zur Entwicklung und zum



Im Lunares-Projekt wird der Stand der Technik von Robotiktechnologien (z. B. für Mondmissionen) demonstriert. Das Bild zeigt eine künstlerische Darstellung möglicher Explorationsroboter.

Nachweis der notwendigen Technologien und Fähigkeiten für künftige autonome, weiche und präzise Landungen auf Planeten, Monden und anderen Himmelskörpern in unserem Sonnensystem. Zunächst geht es darum, in Deutschland die Beherrschung der wichtigen und notwendigen Systemfunktionen und der verschiedenen Technologiekomponenten nachzuweisen.

Eine besondere Bedeutung haben dabei Automation und Robotik als Schlüsseltechnologien für die Exploration des Weltraums. Aktivitäten der deutschen Raumfahrtindustrie in diese Richtung unterstützt das BMWi durch gezielte Projektförderung.

Dem Leben auf dem Mars auf der Spur

Die ESA bereitet in Kooperation mit der NASA das anspruchsvolle ExoMars-Programm zur Erforschung des Roten Planeten vor. Ein wichtiges Ziel des Programms ist es, die Marsoberfläche nach Spuren von Leben zu untersuchen und die geo-chemischen Eigenheiten des Planeten zu erkunden. Der europäische Programmbeitrag beinhaltet drei Kernelemente: einen Orbiter, einen Lande-Demonstrator und den ExoMars-Rover. Orbiter und Lande-Demonstrator sollen 2016 mit einer amerikanischen Trägerrakete des Typs ATLAS V gestartet werden.

Eine weitere Mission wird 2018 beginnen. Herzstück dieser Mission ist ein eigenständig agierender Rover mit einem Labor, der auf dem Mars nach Spuren von Leben suchen soll. Der ESA-Rover soll gemeinsam mit einem amerikanischen Rover mithilfe des



Der abgebildete europäische Mars-Rover wird im Rahmen des ExoMars-Programms entwickelt und soll im Jahr 2016 gestartet werden. Mithilfe eines Bohrers kann er unter der Marsoberfläche nach möglichem Leben suchen.

amerikanischen "Sky Crane" auf der Marsoberfläche abgesetzt werden. Für ihre Rover-Premiere haben sich die Europäer einer anspruchsvollen Aufgabe gestellt: Der ExoMars-Rover soll während des sechsmonatigen Betriebs auf dem Mars mehrere Kilometer zurücklegen, an unterschiedlichen Punkten Boden-

Training in Zentrifuge und Tauchtank

Bei Start und Landung wirken auf die Astronauten starke Kräfte ein. Bis zum Vierfachen der Erdbeschleunigung wird in diesen Flugphasen erreicht. Die Astronauten müssen daher auf Herz und Nieren geprüft werden. Bekannt sind hierfür die großen Zentrifugen, in denen die Wagemutigen herumgeschleudert werden. Während ihrer Ausbildung üben die Astronauten in großen Tauchtanks, wo sie nahezu schwerelos sind. Und gemeinsam mit den Wissenschaftlern machen sie sich mit den Experimenten vertraut, die sie später zum Beispiel in der Raumstation ausführen.

Das russische Kosmonautentrainingszentrum Juri Gagarin befindet sich in der Nähe von Moskau im "Sternenstädtchen". Die NASA bildet ihre Astronauten in Einrichtungen des Kennedy Space Center in Florida und in Houston aus.

Das European Astronaut Center (EAC) ist auf dem Gelände des DLR in Köln-Porz beheimatet. Dort befindet sich neben den üblichen Geräten auch ein Simulationsmodell des europäischen Columbus-Moduls. In Köln werden nicht nur alle europäischen Astronauten ausgebildet, dort trainieren auch immer öfter Kollegen aus den USA und Russland – ein Zeichen der zunehmenden Globalisierung in der bemannten Raumfahrt.



Training im EAC.

proben entnehmen, diese vor Ort untersuchen und die Analyseergebnisse zur Erde übermitteln. Diese Untersuchungen von Gesteins- und Bodenproben dienen dazu, herauszufinden, ob es auf dem Mars Leben gab oder möglicherweise sogar noch gibt. Da die Marsoberfläche einem tödlichen Dauerbombardement durch UV- und kosmische Strahlung ausgesetzt ist, erscheint die Suche nach Lebensspuren vor allem unterhalb des Marsbodens aussichtsreich. Deshalb besitzt der Rover ein Bohrsystem, mit dem er Bodenproben aus maximal zwei Metern Tiefe entnehmen kann.

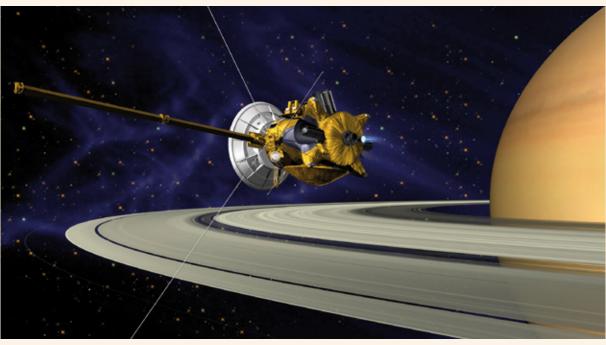
Neben der Suche nach Leben soll der weitgehend eigenständig navigierende Rover mögliche Wasservorkommen unter der Oberfläche erkunden. Außerdem soll er herausfinden, ob und wenn ja: welche Risiken und Gefahren Umwelt und Oberfläche des Roten Planeten für eventuelle künftige bemannte Missionen bergen könnten. Viele der Instrumente für den Mars-Rover werden von deutschen Wissenschaftlern entwickelt.



Die Kosten der Weltraumstation

Die Raumstation ist historisch gesehen das bis dato teuerste Projekt der Geschichte. Viele Tausend Menschen aus 15 Ländern sind rund um den Globus an Bau und Entwicklung der ISS beteiligt. Rund 110 Milliarden Dollar könnte das Unternehmen in etwa kosten, wovon allein die USA etwa 70 Prozent tragen werden. Darüber hinaus bringen Russland elf Milliarden Dollar, Japan 3,5 Milliarden Dollar und Kanada 0,6 Milliarden Dollar auf. Europa beteiligt sich zwischen 1996 und 2009 mit 5,8 Milliarden Euro an den Entwicklungs- und Betriebskosten, entsprechend etwa fünf Prozent der Gesamtkosten. Deutschland übernimmt gut 40 Prozent des europäischen Anteils. Das sind rund zweieinhalb Milliarden Euro oder zwei Euro pro Bundesbürger im Jahr.

Unendliche Weiten



Die Cassini/Huygens-Sonde in der Umlaufbahn des Saturn.

Im vergangenen Jahrhundert gelang es uns Menschen erstmals, die Erde zu verlassen und das Sonnensystem mithilfe von Raumsonden zu erkunden. Im 21. Jahrhundert werden Astronomen die Erforschung unseres Sonnensystems intensiv fortsetzen, um mithilfe hochempfindlicher Weltraumteleskope und Detektoren bei anderen Sternen weitere Planeten zu entdecken und zu analysieren. Das Zeitalter des interplanetaren Raumfluges begann im Januar 1959, als die sowjetische Raumsonde Lunik 1 das Schwerefeld der Erde verließ und zum Mond flog. Die Amerikaner brachen 1962 mit Mariner 2 erstmals zu einem anderen Planeten, zur Venus, auf. In den folgenden zehn Jahren starteten die NASA und die damalige Sowjetunion zehn bzw. 14 Sonden zu unseren Nachbarplaneten Merkur, Venus und Mars. Die erste Erkundung der äußeren Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun mit Raumsonden blieb indes den Amerikanern mit ihren Pioneer- und Voyager-Missionen vorbehalten. Den vorerst glanzvollen Schlusspunkt dieser nahen Vorbeiflug-Missionen setzte Voyager 2, als sie im August 1989 in nur rund 5.000 Kilometern Abstand über die Wolkendecke des Planeten Neptun hinwegflog. Über sieben Milliarden Kilometer hatten die Bordinstrumente bis dahin auf einer zwölf Jahre dauernden "Grand Tour" zurückgelegt und von allen äußeren Planeten - Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun sowie ihren Hauptmonden - aufsehenerregende Bilder zur Erde gefunkt. Damit hatte man alle Planeten unseres

Sonnensystems erkundet. Nur der "Zwergplanet" Pluto, der bis August 2006 zur Gruppe der "klassischen" Planeten zählte, ist bis heute ein weißer Fleck auf der Karte des Sonnensystems geblieben. Dies wird sich im Juli 2015 ändern, wenn die US-Raumsonde New Horizons Pluto erreichen und aus der Nähe erkunden wird. Anschließend wird sich New Horizons noch weiter entfernten Zielen im äußeren Sonnensystem widmen.

Anfang der 1990er Jahre trat die Planetenforschung mit Raumsonden in eine neue Phase ein. Seitdem werden die neu entdeckten Welten genauer studiert. Aus Umlaufbahnen heraus kartieren Orbiter die Oberflächen der Planeten sowie die der zugehörigen Monde; Landegeräte analysieren Bodenproben. In diesen anspruchsvollen Unternehmungen spielen auch europäische und deutsche Forscher eine überaus bedeutende Rolle.

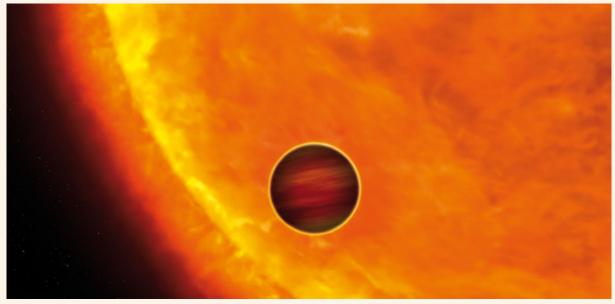
Eisfontänen und Staubschweife

Europas eigenständiger Eintritt in die interplanetare Raumfahrt begann am 2. Juli 1985 mit dem Start der ESA-Kometensonde Giotto, die in nur 600 Kilometern Entfernung am Kern des Halleyschen Kometen vorbeiflog. Nie zuvor hatten Forscher einen Kometen aus solch einer geringen Distanz gesehen. Die Schweifsterne, von denen der Halleysche Komet infolge seiner turnusmäßigen Wiederkehr nach jeweils rund 76 Jahren der bekannteste ist, beeindrucken die Menschen

schon seit Urzeiten. Doch was die genaue Ursache für die ausgeprägten Schweife ist, ließ sich lange Zeit nur indirekt beantworten, weil der relativ kleine Kern des Kometen in Sonnennähe von einer dichten Atmosphäre aus Gas und Staub umgeben ist. Eine in Deutschland gebaute Kamera an Bord von Giotto zeigte dann deutlich: Der Kern des Halleyschen Kometen ist ein relativ fester Körper aus einem Staub-Eis-Gemisch. Mit 15 Kilometern Länge und acht Kilometern Durchmesser ist er etwa so ausgedehnt wie eine mittlere Großstadt. Gelangt der Kometenkern in Sonnennähe, erwärmt sich der Körper langsam. An seiner Oberfläche verdampft Eis und treibt mitsamt losgelöster Staubteilchen ins All; das an den Eis- und Staubteilchen reflektierte Sonnenlicht sehen wir von der Erde aus als lang gezogenen Kometenschweif. Aber auch im Inneren erwärmt sich das Eis. Es wird gasförmig, dehnt sich aus und sprengt Löcher in die harte, verkrustete Oberfläche. Aus diesen schießen Gas und Staub fontänenartig heraus und bilden die sogenannte "Koma", die den Kometenkopf einhüllt. Was die Kometen für Astronomen so interessant macht, ist vor allem ihr Alter. Auf der Erde und auf den anderen Planeten hat sich die Substanz, aus der sich die Planeten anfangs formten, durch chemische, geologische und - im Fall der Erde – biologische Prozesse ständig verändert. Nahezu alle Informationen aus der Entstehungszeit vor 4,6 Milliarden Jahren gingen dabei verloren. Auf den kleinen Kometen gibt es so gut wie keine geologisch endogenen Vorgänge, geschweige denn eine Plattentektonik. Sie sind gleichsam "gefrorene Archive". Ein solches wollen die Europäer demnächst anbohren: Die Raumsonde Rosetta befindet sich auf der Reise zum Kometen Tschurjumow-Gerasimenko. Wenn sie ihn nach fast zehnjähriger Reise im Jahr 2014 erreicht haben wird, soll sie den Himmelskörper ein Jahr lang umkreisen und detailliert untersuchen. Als Höhepunkt der Mission soll schließlich eine Landesonde namens Philae auf der Oberfläche aufsetzen, um die Oberfläche zu fotografieren, ihre physikalischen Eigenschaften zu erkunden und um Bodenproben zu entnehmen und zu analysieren – ein einmaliges wissenschaftliches Abenteuer.

Aufbruch zum Roten Planeten

Kaum ein anderer Planet hat die Fantasie der Menschen so beflügelt wie unser Nachbarplanet Mars. Die Entdeckung vermeintlicher Kanäle auf dem Roten Planeten gab schon Ende des 19. Jahrhunderts Anlass zu Spekulationen über mögliches außerirdisches Leben. Wie wir heute wissen, gleicht Mars eher einer leblosen kalten Wüste. Die jüngsten Messungen der europäischen Sonde Mars-Express haben aber ergeben, dass das am Marssüdpol in gefrorenen Schichten eingelagerte Wasser im aufgetauten Zustand den Planeten mit einer 11 m tiefen Wasserschicht überziehen könnte. Eine Reihe von Oberflächenformationen weist zudem auf Vorkommen fließenden Wassers in



Passage eines Planeten vor seinem Stern aus Sicht des französischen COROT-Observatoriums (künstlerische Darstellung).



früherer Zeit hin: Täler, welche die Form von Flussläufen haben, oder stufenförmige Ablagerungen, die an Sedimentschichten auf der Erde erinnern. Dies wirft fundamentale Fragen auf, denn fließendes Wasser kann es nur gegeben haben, wenn der Planet einst von einer dichten Atmosphäre umgeben und es auf ihm relativ warm war. Es ist daher nicht völlig auszuschließen, dass es dort vor etwa drei bis vier Milliarden Jahren primitive Lebensformen gab und sogar heute noch geben könnte – eine anhaltende Spekulation, die der aktuellen Marsforschung immensen Auftrieb verleiht. Einen vorläufigen Höhepunkt in der Marserkundung bildeten 1997 die NASA-Sonde Pathfinder und das kleine Fahrzeug Sojourner, das innerhalb kürzester Zeit zum Medienstar aufstieg. Die wissenschaftliche Ausbeute der Mission beschränkte sich keineswegs nur auf die vielen Bildansichten der Marsoberfläche. Zum Erfolg der Mission trug entscheidend die in Deutschland gebaute "Spürnase" zur Bestimmung der geochemischen und mineralogischen Zusammensetzung der untersuchten Steine und des Marsbodens bei. Es handelt sich um ein Mössbauer-Spektrometer und ein Alphateilchen-Röntgenspektrometer, beide gebaut von Experten des Max-Planck-Institutes für Chemie beziehungsweise der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz. Diese Instrumente kamen auch auf Spirit und Opportunity zum Einsatz. Diese beiden Explorations-Rover der NASA wurden 2004 nacheinander mit Fallschirm und Airbag sicher auf der Marsoberfläche abgesetzt. Selbst nach über sechs Jahren - viel länger als ursprünglich geplant sind beide noch aktiv in Betrieb und übermitteln Daten zur Erde. In gut einem Jahrzehnt hoffen die Planeten-

Der Eieruhr-Marsgletscher.

forscher, erstmals Gestein vom Mars zur Erde bringen zu können.

Die europäische Sonde Mars Express wurde am 2. Juni 2003 vom russischen Weltraumbahnhof Baikonur in Kasachstan gestartet. Die Sonde erreichte nach sechsmonatigem Flug im Dezember 2003 den Mars. Mars Express kartiert aus der Umlaufbahn die Planetenoberfläche und untersucht zugleich Atmosphäre, Struktur und Geologie des Planeten. Die deutsche HRSC-Kamera (High Resolution Stereo Camera) an Bord hat sich als voller Erfolg erwiesen. Das am Institut für Planetenforschung des DLR entwickelte Instrument auf der ESA-Marsmission ist ein einmaliges Spitzenexperiment: Zum ersten Mal bildet eine Spezialkamera eine Planetenoberfläche dreidimensional und in Farbe ab. Die Ergebnisse sollen fundamentale Fragen zur

geo- und klimatologischen Geschichte des Roten Planeten beantworten. Die räumliche Auflösung der Stereobilder übertrifft alle bisherigen topographischen Daten der Marsoberfläche bei Weitem und erlaubt es den Geowissenschaftlern, selbst Details mit einer Größenordnung von zehn bis 30 Metern dreidimensional zu analysieren. Ziel ist es, die gesamte Marsoberfläche hochgenau zu kartieren.

Verborgene Methan-Meere

Nicht weniger ambitioniert ist das Ziel des Sondenpaares Cassini/Huygens, das im Oktober 1997 in Richtung Saturn startete. Die Mission ist ein amerikanischeuropäisches Gemeinschaftsprojekt, in dem die Landesonde Huygens unter europäischer Leitung geplant und gebaut worden ist. Anfang Juli 2004 erreichte das



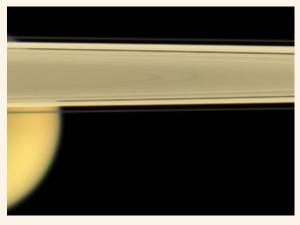
Schneefelder auf der Oberfläche des Roten Planeten, aufgenommen von der deutschen HRSC-Kamera.

Tandem den Saturn nach einer fast siebenjährigen Reise. Während Cassini den Saturn umkreist, gelang Huygens am 14. Januar 2005 eine weiche Landung auf der Oberfläche des Saturnmondes Titan. Bereits während der Abstiegsphase und am Boden hatte Huygens die von Titan aufgenommenen Messdaten über den Cassini-Orbiter, der als Relaisstation diente, zur Erde gesandt.

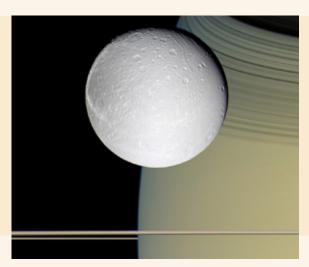
Titan ist der einzige Mond im Sonnensystem, der von einer dichten, kalten Atmosphäre umgeben ist. Diese besondere Eigenschaft verdankt er seiner Masse und der damit verbundenen beträchtlichen Schwerkraft an seiner Oberfläche. Mit einem Durchmesser von 5.150 Kilometern ist er sogar etwas größer als der sonnennächste Planet Merkur. Die Atmosphäre besteht vorwiegend aus Stickstoff, Methan und organischen Verbindungen und ähnelt damit vermutlich der Uratmosphäre der Erde. Titans Oberfläche liegt verborgen unter einer dichten Dunstschicht. Forscher vermuten, dass dem Methan in dieser unwirtlichen Welt eine ähnliche Rolle zukommt wie dem Wasser auf der Erde. Mithilfe von Cassini/Huygens konnte festgestellt werden, dass Titans Oberfläche aus Wassereis besteht. Auch findet man Tümpel oder Seen aus flüssigem Methan. Insgesamt bleiben noch viele Fragen zur geophysikalischen und klimatologischen Entwicklung Titans offen, die Cassini bis zu seinem Missionsende im Jahr 2017 klären soll. Deutschland ist an diesem wissenschaftlich herausragenden Projekt zur Erkundung des Sonnensystems mit zahlreichen Wissenschaftlern beteiligt, die in internationalen Teams die Daten der 13 Instrumente auf dem Orbiter und den sechs Experimenten der Huygens-Landesonde auswerten. Deutsche Wissenschaftler lieferten auch Beiträge zu den Kameras und Spektrometern der beiden Sonden. Ein Instrument zur Analyse von Größe, Geschwindigkeit, Zusammensetzung und Herkunft von kosmischen Staubteilchen wurde am DLR gebaut; das Experiment wird vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg geleitet.

Die Erde im Sonnensturm

Die Sonne ist die Quelle fast allen irdischen Lebens. Ihr Licht bewirkt bei den Pflanzen die Fotosynthese und erwärmt unseren Planeten. Doch unser Tagesgestirn ist keineswegs so friedlich, wie es scheint. In Wirklichkeit ereignen sich auf der Sonne ständig gewaltige Eruptionen. Die Energie, die dabei binnen



Die Ringe des Saturnmondes Titan.



Saturnmond Dione.

Minuten bis Stunden freigesetzt wird, entspricht dem Tausendfachen des heutigen weltweiten Energieverbrauchs. Bei den Ausbrüchen schleudert die Sonne elektrisch geladene Teilchen aus. Sie prallen als Sonnenwind mit Geschwindigkeiten von über drei Millionen Kilometern pro Stunde auf das Erdmagnetfeld und werden von seinem Feld hinein in tiefere Schichten der Erdatmosphäre gelenkt. Dabei "reiben" sie sich an den Molekülen der irdischen Lufthülle und lösen eindrucksvolle Polarlichter aus. Sehr starke Teilchenstürme sind in der Lage, das Erdmagnetfeld in mehreren tausend Kilometern Höhe so stark zu beeinflussen, dass die Auswirkungen noch auf der Erdoberfläche zu spüren sind: In Ölpipelines werden elektrische Ströme induziert, wodurch sie schneller korrodieren; bei der Herstellung von Halbleitern erhöht sich die Ausschussrate; im Extremfall kann sogar die Stromund Spannungsversorgung großer Landesteile zusammenbrechen.

Ferner wird darüber spekuliert, ob langfristige Schwankungen der Sonnenleuchtkraft und des Sonnenwindes das Erdklima beeinflussen. Die Erforschung der Wechselwirkungen zwischen Sonne und Erde bildet einen Schwerpunkt im Wissenschaftsprogramm der ESA. Mit mehreren Satellitenmissionen sind die Forscher der stürmischen Beziehung zwischen Erde und Sonne auf der Spur. Ziel ist es, die gesamte Ereigniskette von den Vorgängen im Inneren der Sonne über die Beschleunigung des Teilchenwindes bis zu dessen Einfluss auf unseren Planeten zu studieren.

den Weg. Sie ist die erste Raumsonde, die über die Pole der Sonne flog. Mit zwölf wissenschaftlichen Geräten an Bord gelang es, das Magnetfeld und den abströmenden Sonnenwind in Regionen zu messen, die bis dahin unzugänglich waren. Diese überaus erfolgreiche Langzeitmission wurde im Jahre 2009 beendet.

Eine weitere Sonde im Sonnenforschungsprogramm ist SOHO, das europäisch-amerikanische Solar and Heliospheric Observatory. Das 1995 gestartete Observatorium umkreist die Sonne anderthalb Millionen Kilometer von der Erde entfernt und hat von dort unser Tagesgestirn aus einer Entfernung von 150 Millionen Kilometern ununterbrochen im Visier. Begeisternde Aufnahmen von Sonneneruptionen und eine Vielzahl von Messdaten über den Teilchenwind sind eine schier unerschöpfliche Fundgrube für die Sonnenforscher. Darüber hinaus arbeitet SOHO auch als "Weltraumwettersatellit". Aus seinen Beobachtungen lässt sich vorhersagen, ob und wann die Erde wieder von einem Teilchensturm getroffen wird. Schließlich starteten im Jahr 2000 die vier Cluster-Satelliten. Dieses Quartett fliegt in Formation über die Erdpole, wobei die Sonden die Spitzen eines gedachten Tetraeders bilden. Auf diese Weise ist es erstmals möglich, Veränderungen im Erdmagnetfeld räumlich zu erforschen. Bereits bei den ersten Messungen Ende 2000 konnten die Forscher mithilfe der Cluster-Satelliten verfolgen, wie eine starke Teilchenbrise das Erdmagnetfeld kräftig durchrüttelte.

Der nächste Schritt zum Verständnis der Sonnenaktivität und des Weltraumwetters machte die NASA mit der Ende 2006 gestarteten STEREO-Mission. Hierbei wurden zwei baugleiche Raumsonden so auf Umlaufbahnen um die Sonne geschickt, dass eine der Erde voraus- und die andere ihr nachläuft. Aus den beiden unterschiedlichen Blickwinkeln lassen sich auf diese Weise Sonneneruptionen sowie die Ausbreitung und Variationen des Sonnenwindes dreidimensional studieren. Dies ermöglicht eine zuverlässige Weltraumwettervorhersage.

Schließlich wurde im Februar 2010 der Solar Dynamics Orbiter gestartet. Diese Sonnenforschungsmission der NASA wird vor allem mit höherer Messgenauigkeit als SOHO die dynamischen Vorgänge auf der Sonne erforschen. Ein Datenzentrum der Mission befindet



 $Na haufnahme \ des \ Cirrusnebels \ im \ Sternbild \ Schwan-die \ Überreste \ einer \ Supernova, \ die \ sich \ vor \ etwa \ 5.000 \ bis \ 10.000 \ Jahren \ ereignete.$

sich im Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau.

Vorstoß in die Tiefen des Alls

Mit Raumsonden sind nur Ziele in unserem Sonnensystem erreichbar. Die viel weiter entfernten Sterne und Galaxien lassen sich derzeit ausschließlich mit Teleskopen beobachten. Vom Erdboden aus ist dies nur mit Einschränkungen möglich. Zum einen verschmiert die natürliche Luftunruhe lang belichtete Aufnahmen und limitiert das theoretische Auflösungsvermögen der Fernrohre. Zum anderen verschluckt die Atmosphäre große Teile der aus dem Weltraum kommenden kurz- und langwelligen Strahlung. Installiert man jedoch Teleskope im Weltraum, werden diese Wellenlängenbereiche uneingeschränkt zugänglich. Wie erfolgreich dies sein kann, demonstriert das Weltraumteleskop Hubble seit gut zwanzig Jahren. Die langwellige Infrarot- oder Wärmestrahlung hat die Eigenschaft, dass sie dichte Staubwolken durchdringt, in denen neue Sterne entstehen. Das eröffnet den Astronomen ungeahnte Einblicke in die Frühphasen der Sternentwicklung. Unter günstigen Bedingungen können sich nämlich im Inneren einzelne Bereiche dank der eigenen Schwerkraft zusammenziehen und zu neuen Proto-Sternen verdichten. Auf ähnliche Weise ist auch unser Sonnensystem vor 4,6 Milliarden Jahren entstanden. 1995 startete die Europäische Weltraumagentur ESA ihr Infrarotobservatorium ISO. Mit diesem überaus erfolgreichen Teleskop ließen sich in zahlreichen interstellaren Wolken regelrechte "Nester" entstehender Sterne beobachten. Der ISO-Nachfolgesatellit Herschel und sein "Startkompagnon" Planck sind bereits im Weltraum.

Herschel ist nach dem deutsch-britischen Astronomen und Uranus-Entdecker Sir Friedrich Wilhelm Herschel benannt, der im Jahre 1800 die Infrarotstrahlung erkannte. Planck wurde nach dem deutschen Physiker und Nobelpreisträger Max Planck benannt. Planck beobachtet bei ähnlichen Wellenlängen wie Herschel, hat aber völlig andere Aufgaben. Mit ihm soll hochpräzise die Strahlung gemessen werden, die einige hunderttausend Jahre nach dem Urknall entstand und heute das gesamte Weltall erfüllt. Deren Analyse gibt Aufschluss über die Bestandteile und die Entwicklung des Universums. Herschel und Planck wurden gemeinsam am 14. Mai 2009 mit einer Ariane 5-Rakete vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou aus ins All geschossen. Nach dem Start wurden die beiden Observatorien anderthalb Millionen Kilometer von der Erde entfernt an einem Punkt platziert, an dem sich die Anziehungskräfte von Erde und Sonne und die Fliehkraft aufheben. Dieser Ort ist besonders geeignet, da dort die Störungen durch die Infrarotstrahlung der Sonne und der Erde minimal sind. Herschel lieferte bereits eine Fülle an Messdaten zur Entstehung von Galaxien, zur Geburt von Sternen aus Molekülwolken und über die Beschaffenheit von Kometen- und Planetenatmosphären.

Eine weitere unangefochtene Domäne europäischer Astronomie sind Beobachtungen im Bereich der Röntgenstrahlung. Es handelt sich hierbei um eine sehr energiereiche Strahlung, die durch thermische und nichtthermische Prozesse entsteht, zum Beispiel bei Gas, das mindestens eine Million Grad heiß ist. Solche extremen Bedingungen finden sich zum Beispiel in den Explosionshüllen massereicher Sterne, in

den sogenannten Supernovaüberresten. Die Röntgenastronomie hat sich erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts entwickelt, seit es 1949 mit einem Detektor auf einer umgebauten A4-Rakete gelang, Röntgenstrahlung aus der Sonnenkorona nachzuweisen. Das 1990 gestartete deutsche Röntgenteleskop ROSAT war ein Höhepunkt der Weltraumröntgenastronomie. Innerhalb von acht Jahren fanden Astronomen mit ihm etwa 150.000 zuvor unbekannte kosmische Röntgenquellen. Ein Großteil hiervon sind ferne Galaxien, in deren Zentren gigantische Schwarze Löcher sitzen, die viele Millionen Mal massereicher sind als unsere Sonne. Ein neues Kapitel haben Europas Astronomen mit dem ROSAT-Nachfolger XMM-Newton (X-ray MultiMirror) aufgeschlagen. Dieses Ende 1999 gestartete Röntgenobservatorium ist mit elf Metern Länge und vier Tonnen Gewicht der bislang größte europäische Wissenschaftssatellit und ein Meilenstein im ESA-Wissenschaftsprogramm. Deutschland trägt von allen Mitgliedstaaten der ESA mit etwa 22 Prozent finanziell am meisten zu diesem Programm bei. XMM-Newton hat bereits eine Fülle von Aufnahmen aus dem "heißen" Universum geliefert. Die Astronomen schätzen, dass sie mit dem in Friedrichshafen gebauten Satelliten noch über eine Million unbekannte Röntgenguellen entdecken werden. XMM-Newton legt damit den Grundstein für die Röntgenastronomie des 21. Jahrhunderts.

Doch ein Nachfolgeteleskop ist schon im Bau. Das Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching entwickelt das Röntgenteleskop eROSITA, das außer einem weiten Blickwinkel, zugleich eine sehr große Sammelfläche und eine gute räumliche Auflösung besitzt. Damit will man bis in weite Entfernungen das ultraheiße Gas in den Zentren von Galaxienhaufen nachweisen, den größten gebundenen
Objekten des Universums. Man erwartet etwa 100.000
Haufen zu finden, aus denen dann die Struktur des
Universums rekonstruiert werden soll. Das wiederum
soll Rückschlüsse auf seine dynamische Entwicklung
erlauben. Man hat heute Hinweise darauf, dass sich
das Universum beschleunigt ausdehnt und nimmt als
Motor dieses Geschehens die sogenannte "Dunkle
Energie" an. Deren wahre Natur zu enträtseln ist zurzeit eine der spannendsten Fragen der modernen Kosmologie. Eingesetzt werden soll eROSITA auf der russischen Mission Spektrum-Röntgen-Gamma, die Ende
2012 von Baikonur aus gestartet werden soll.

Wo sind die anderen?

Vor fast fünfzig Jahren, am 8. April 1960, begann der Mensch mit der Suche nach intelligentem Leben im Weltall. Damals richtete der amerikanische Forscher Frank Drake ein Radioteleskop auf die Sterne Epsilon Eridani und Tau Ceti. Drake hatte sie für sein Projekt Ozma ausgesucht, weil sie mit rund zwölf Lichtjahren Entfernung der Erde relativ nah sind und vom Typ her der Sonne ähneln. Er vermutete dort am ehesten Planeten. Zwei Monate lang lauschte er ohne Erfolg. Es folgten etwa 60 weitere SETI-Projekte (Search for Extraterrestrial Intelligence). Das aufwändigste läuft seit wenigen Jahren am größten Radioteleskop auf der Erde, der 300-Meter-Antenne in Arecibo, Puerto Rico. Die Empfangstechnik konnte im Vergleich zu Ozma um das Hundertmilliardenfache gesteigert werden. Heute ist es möglich, auf zwei Milliarden Frequenzkanälen tausend sonnenähnliche Sterne im Umkreis von hundert Lichtjahren abzuhorchen. Den gewaltigen Datenstrom können die Astronomen mit ihren

Kosmische Botschaften

Vier Raumsonden – Pioneer 10 und 11 sowie Voyager 1 und 2 – haben die äußerste Planetenbahn des Sonnensystems überflogen. Die Raumfahrzeuge tragen Botschaften für mögliche außerirdische Zivilisationen an Bord. Eine gravierte Metallplatte an der Außenwand der Pioneer-Sonden informiert vor allem über unser Aussehen und unsere kosmische Heimat; die beiden Voyager-Sonden haben jeweils eine vergoldete Langspielplatte mit dem Titel "Sounds of the Earth" mit auf die Reise bekommen. Auf dieser Datenplatte mit Bild- und Toninformationen sind unter anderem 27 Musikstücke von Louis Armstrong, japanische Flötenmusik, der Gesang der Navajo-Indianer und eine Fuge von Johann Sebastian Bach gespeichert, ferner Grüße in 55 verschiedenen Sprachen, Naturgeräusche und 115 Bilder. Ein Plattenspieler mit Gebrauchsanweisung in Form einer Gravur auf einer vergoldeten Kupferplatte ist mit an Bord. Dass diese Botschaften aber einst tatsächlich unbeschadet von einer außerirdischen Zivilisation gefunden und entziffert werden, wäre ein außerordentlicher Zufall.

Computern allein nicht mehr analysieren. Sie haben daher das Projekt SETI@Home ins Leben gerufen. Jeder Interessierte kann sich aus dem Internet die Auswertungssoftware herunterladen und auf dem PC installieren. Anschließend erhält er auf Anforderung aus Arecibo Datenpakete, die sein PC nach auffälligen Signalen durchsucht. Mittlerweile beteiligen sich an dem Projekt weltweit fast fünfeinhalb Millionen Menschen, deren PCs insgesamt bereits an die zweieinhalb Millionen Rechenjahre geleistet haben. Signale von Außerirdischen wurden jedoch bislang nicht gefunden. Ob es außerirdisches Leben tatsächlich gibt, weiß niemand. Viele Astronomen hoffen aber darauf, zumal man seit 1995 viele Planeten außerhalb unseres Sonnensystems nachweisen konnte. Mittlerweile ist deren Zahl auf nahezu 500 angestiegen. Es gibt Pläne für Weltraumteleskope, mit denen in zehn bis zwanzig Jahren die direkte Beobachtung dieser Objekte möglich sein soll. Große Fortschritte bei der Suche nach Exoplaneten lieferte auch die französische Mission CoRoT (Convection Rotation and planetary Transits), die seit 2006 die Erde umkreist, und an der Deutschland durch das DLR beteiligt ist. CoRot ist die erste Mission, die in der Nähe von Sternen vor allem nach extrasolaren Gesteinsplaneten sucht, die nur wenig größer sind als die Erde. Mit dem Exoplaneten Corot-7b wurde im Januar 2009 zum Beispiel ein Planet vorgestellt, der mit knapp fünf Erdmassen etwa doppelt so groß wie die Erde ist, wenngleich er seinen sonnenähnlichen Zentralstern in nur 20 Stunden umläuft. Aus astronomischer Sicht ist es fraglos realistisch, dass es im Umkreis von hundert Lichtjahren mehrere hundert sonnenähnliche Sterne mit Planeten gibt. Unbekannt ist bis heute allerdings, ob sich unter ähnlichen Bedingungen, wie sie ursprünglich auf der Erde herrschten, zwangsläufig auch Leben bildet und sich daran eine Evolution anschließt, die zu intelligenten Wesen führt. Und schließlich: Wenn "irgendwo dort draußen" intelligente Zivilisationen heranwachsen, wie lange existieren sie und wie lange senden sie Signale ins All, um von ihrer Existenz zu künden? Tun sie es überhaupt? Angenommen, eine Zivilisation sendet tausend Jahre lang Signale ins All, so wäre diese Zeitspanne im Vergleich zum Weltalter

von rund 14 Milliarden Jahren dennoch verschwindend gering. Das entspräche der Suche nach einem eine Sekunde andauernden Signal innerhalb von zehn Jahren. Diese Tatsache lässt viele Forscher an der Sinnhaftigkeit der SETI-Projekte zweifeln. In unserem Sonnensystem gibt es jenseits der Erde keine intelligenten Wesen. Ob es primitives Leben auf anderen Planeten gibt oder gab, ist indes eine offene Frage. Anlass zu Spekulationen gab auch die Entdeckung, dass es unter der geschlossenen Eisdecke des Jupitermondes Europa einen Ozean aus warmem Wasser gibt. Jüngste Modellierungen lassen im äußeren Sonnensystem auch Wasserschichten unter einer Eiskruste einiger anderer Eismonde wie dem Neptunmond Triton oder Kleinkörpern wie dem Zwergplaneten Eris möglich erscheinen. Könnte sich hier Leben entwickelt haben? Gestützt werden solche Spekulationen infolge der Entdeckung exotischer Lebensgemeinschaften auf dem Grund der irdischen Ozeane: In Tiefen von 2.500 Metern leben Röhrenwürmer, Muscheln, Schnecken und Seeanemonen, die keinerlei Licht zum Leben brauchen. Sie ziehen die benötigte Energie aus der Chemosynthese von Schwefelwasserstoffen, die aus heißen Quellen am Meeresboden hervorsprudeln. Ein Leben in der Finsternis, gespeist von der inneren Wärme eines Planeten - könnte es dies auch auf Europa oder an anderen Orten des Sonnensystems geben? Für den lange Zeit tiefsten Blick ins Universum benutzten Astronomen das Weltraumteleskop Hubble Ende 1995 auf einzigartige Weise. Zehn Tage lang richteten sie es auf eine scheinbar leere Stelle des Himmels aus. Anschließend überlagerten sie 276 Einzelbilder dieses Gebietes und erhielten so einen der tiefsten Blicke ins All: Auf einer Fläche entsprechend einem Zehntel der Vollmondfläche fanden sich mehr als 20.000 Galaxien. Hochgerechnet auf den gesamten Himmel ergibt dies die enorme Zahl von 40 Milliarden dieser Welteninseln. Jede von ihnen dürfte hundert Milliarden Sterne oder mehr enthalten. Von den am weitest entfernten Sternensystemen hat das Licht zehn Milliarden Jahre benötigt, um bis zu uns zu gelangen. Die Astronomen blicken hierbei also weit in die Vergangenheit zurück, als das Universum gewissermaßen noch in den Kinderschuhen steckte.

Weltraumlogistik - Die Verbindung ins All



Nachtstart einer Ariane 5 ECA vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guyana.

Der Start einer Trägerrakete in den Weltraum hat auch nach über einem halben Jahrhundert Raumfahrt nichts von seiner ursprünglichen Faszination eingebüßt: Ein filigranes Zusammenspiel von moderner Hochtechnologie und bewährter Pyrotechnik erlaubt es heute, tonnenschwere Nutzlasten immer präziser im All zu positionieren. Damit die Verbindung ins All aufrechterhalten werden kann, ist nicht nur ein zuverlässiges Raumtransportsystem, sondern auch eine weit verzweigte Infrastruktur am Boden unverzichtbar. Für die europäische Raumfahrt spielt Deutschland hierbei in vielfacher Hinsicht eine zentrale Rolle.

Startzentren - Die Tore zum All

Bereits lange bevor ein Raumschiff, ein Weltraumlabor, ein Forschungssatellit oder eine Raumsonde im All zum Einsatz kommt, beginnt am Boden der Hochbetrieb. Während der Startvorbereitungen finden sich alle an der Mission beteiligten Partner in den Weltraumbahnhöfen zusammen, um die Mission, die Nutzlast und die Trägerrakete vorzubereiten. Das ist ein enormer logistischer Aufwand, denn die Startzentren liegen zumeist in entfernt gelegenen Regionen, damit der Betrieb der Trägerraketen möglichst ungestört ablaufen kann.

Denn nicht immer liegt ein Weltraumbahnhof so gut erreichbar wie das Kennedy Space Center der NASA an der Ostküste Floridas. Die Aufstiegsbahnen des Space Shuttle und die vom benachbarten Cape-Canaveral-Air-Force-Gelände gestarteten Atlas- und Delta-Raketen liegen dort über dem Meer, so dass für die Bevölkerung keine Gefahr besteht. Anders ist das bei den Startzentren in Russland und China. Das legendäre Kosmodrom Baikonur, auf dem vor rund 50 Jahren am 4. Oktober 1957 mit dem Start des Sputnik das Raumfahrtzeitalter begann, und von dem auch der erste Mensch im All, Juri Gagarin, seinen Flug antrat, befindet sich mitten in der kasachischen Steppenlandschaft, mehr als 2000 Kilometer süd-östlich von Moskau.

Ähnlich entlegen positioniert ist auch der europäische Weltraumbahnhof "Centre Spatial Guyanais" in Kourou. Er liegt in dem Überseedepartement Französisch-Guayana in Südamerika, nahe dem Äquator. Der Standort des 1964 gegründeten Startzentrums bietet elementare Vorteile für den Betrieb von Trägerraketen. So ist es auch dort möglich, die Raketen über das Meer hinaus starten zu lassen, und durch die äquatornahe Lage des Startplatzes wird die Nutzlastkapazität der Trägerraketen maximiert. Der europäische Weltraumbahnhof hat sich deshalb gut etabliert und kann bereits auf eine lange Tradition zurückblicken. 1968 schoss von dort die erste Höhenforschungsrakete, genannt Veronique, in den Himmel und zwei Jahre später der erste Satellit auf einer französischen Diamant B. Seitdem haben von dort aus über 200 orbitale Starts stattgefunden. Die zunehmende Europäisierung



Eine Ariane-5ECA-Trägerrakete rollt zum Startplatz. Im Hintergrund die Startanlagen für die Vega-Trägerrakete.

auf dem Startzentrum führte auch schnell dazu, dass sich die deutschen Raumfahrtfirmen vor Ort ansiedelten. Deutsche Ingenieure sind seither vor allem an der Planung und dem Aufbau der Bodenanlagen zentral beteiligt und bei jedem Raketenstart vor Ort mit dabei. Der internationale Durchbruch des Raumfahrtzentrums in Kourou kam schließlich mit der Entwicklung der Ariane-Raketen, deren erste am Heiligabend 1979 abhob. Dies war der Beginn einer nunmehr 30-jährigen Erfolgsgeschichte und der Grundstein zu einer heute sehr renommierten europäischen Trägerfamilie. Mit Ariane 4 gelang es der europäischen Raumfahrt seit Anfang der neunziger Jahre, die Führung auf dem Sektor des kommerziellen Weltmarktes für Startdienstleistungen zu übernehmen.

Weltmarktführer Ariane 5

Die Entwicklung der Ariane 5 orientierte sich am wichtigen, aber hart umkämpften Markt der immer schwerer werdenden Kommunikationssatelliten. Um den bereits mit Ariane 4 eingeschlagenen Weg weiterführen zu können, musste die Leistungsfähigkeit der Ariane-Raketen schrittweise gesteigert werden. Dies gelang insbesondere durch den Übergang von der Ariane 4 zur Ariane 5. Nach einem mehrjährigen Parallelbetrieb stützt sich der unabhängige europäische Weltraumzugang heute ausschließlich auf die Ariane 5. Deren neueste Version "ECA", die 2005 mit zwei Demonstrationsflügen für den Flugbetrieb qualifiziert wurde, ist die bisher leistungsfähigste europäische Trägerrakete. Sie kann eine Nutzlast von knapp

zehn Tonnen auf den Weg zur geostationären Erdumlaufbahn in rund 36.000 km Höhe bringen. Damit ist sie in der Lage, auch Telekommunikationssatelliten der Vier- bis Fünf-Tonnen-Klasse mit Doppelstarts in den Weltraum zu befördern. Neben dem Transport von Satelliten in geostationäre Erdumlaufbahnen ist die Ariane 5 ebenfalls in der Lage, Nutzlasten in niedrige Erdumlaufbahnen zu befördern. Eindrucksvoll bewies eine Ariane 5 in der "ES"-Variante diese Fähigkeiten, als im März 2008 mit dem ersten ATV-Versorgungsraumschiff "Jules Verne" mit über 19 Tonnen die bis dahin schwerste Nutzlast einer Ariane erfolgreich in den Orbit befördert und in Richtung ISS gebracht werden konnte. Auch alle weiteren ATVs, der Start des nächsten ("Johannes Kepler") ist noch für 2010 vorgesehen, werden mit Ariane-5-Trägern gestartet. Mit nunmehr (Stand: März 2010) 35 erfolgreichen Starts in Folge gehört die Ariane 5 zu den zuverlässigsten Trägersystemen am Markt und bestätigt damit eindrucksvoll die Leistungsfähigkeit der deutschen und europäischen Hochtechnologie-Industrie.

Deutschland ist nach Frankreich der größte Partner im Ariane-Programm. Neben den beiden Raumfahrtkonzernen EADS mit Astrium und OHB mit MT Aerospace beteiligen sich in Deutschland rund 150 kleine und mittelständische Unternehmen an der Entwicklung und Produktion der Ariane 5. Die Konsolidierung und Weiterentwicklung der europäischen Trägersysteme unterstützt das BMWi jährlich mit rund 100 Millionen Euro im Rahmen der entsprechenden Programme.

Um die Leistungsfähigkeit der Ariane 5 noch weiter zu steigern und die Weltmarktführerschaft auf dem kommerziellen Transportsektor dauerhaft zu erhalten, wurde im Jahre 2008 beschlossen, eine neue Oberstufe zu entwickeln. Diese unter der Bezeichnung "Ariane 5 Midlife Evolution/Ariane 5 Post ECA" laufende Entwicklung wird unter federführender Beteiligung der deutschen Industrie durchgeführt. Ziel ist es, die Nutzlastkapazität der Ariane 5 um rund zwei Tonnen zu steigern. Zusätzlich wird man mit ihr in der Lage sein, ein noch größeres Spektrum an Umlaufbahnen zu erreichen.

Internationale Kooperation

Die Raumfahrt ist ein klassisches Umfeld für internationale Kooperationen, in dem sich Europa und Deutschland seit jeher besonders engagieren. Das Ende des Ost-West-Konflikts machte zahlreiche neue Industriekooperationen möglich, die den internatio-

nalen Partnern attraktive Vorteile boten. Insbesondere im Bereich der Trägerraketen wurden ab Mitte der neunziger Jahre im Westen enge Verbindungen nach Russland geknüpft, um gemeinsam das umfassende Know-how der ehemaligen sowjetischen Design-Büros zu nutzen. So gründeten 1996 der französische Teil des europäischen Luft- und Raumfahrtunternehmens EADS und die Ariane-Betreibergesellschaft Arianespace mit dem "Space Center Samara" (TsSKB Progress) und der russischen Weltraumagentur das Joint Venture "Starsem". Gemeinsam bietet dieses Unternehmen seither die legendäre Sojus-Rakete, mit der auch bedeutende Satellitenmissionen der ESA gestartet wurden (Mars Express, Venus Express, Galileo), auf dem kommerziellen Raumtransportmarkt an. Daneben gründete der deutsche EADS-Teil gemeinsam mit Khrunichev das Joint Venture "Eurockot" zur Vermarktung des kleineren Rockot-Trägers vom nordrussischen Kosmodrom Plesetsk.

"Startsequenz Ariane 5ECA"

"Startsequenz	A Maile SECA				
H0 -11h 30m	Beginn des finalen Countdowns				
H0 -7h 30m	Checkout aller elektrischen Systeme				
H0 -6h 00m	Letzte Vorbereitungen am Launch Pad; laden des Flugprogramms in den Hauptrechner der				
	Ariane				
H0 -4h 50m	Evakuierung des Launch Pads und Start der Betankung der Haupt- und Oberstufe mit flüssigem				
	Sauerstoff und Wasserstoff				
H0 -3h 20m	Abkühlung Vulcain-2 Hauptstufentriebwerk auf Betriebstemperatur ("Chilldown")				
H0 -1h 10m	Checkout aller Telemetrie-, Bahnverfolgungs-, und Kontrollsysteme				
H0 -7m 00s	"All systems go" Report, Start der computerkontrollierten "Synchronized Sequence"				
H0 -6m 30s	Abschluss der Feinbefüllung der Treibstofftanks ("Topping")				
H0 -4m 00s	Bedrückung der Treibstofftanks auf Betriebslevel				
H0 -3m 00s	Zeitabgleich Bodenkontrolle mit Bordcomputer, endgültige Festlegung H0				
H0 -1m 05s	Umschalten auf interne Stromversorgung (Batterien)				
H0 -0m 06s	Abkopplung und Einzug der Versorgungsarme Oberstufe				
H0 -0m 03s	Aktivierung Flugprogramm				
H0	Initiierung Zündsequenz Vulcain-2 Hauptstufentriebwerk – "Allumage Vulcain"				
H0 +0m 07s	Verifikation Nominalbetrieb Vulcain-2, Zündung Feststoffbooster, Liftoff – "Décollage"				
H0 +0m 49s	Erreichen Mach 1, Beginn Überschallflug				
H0 +2m 20s	Abwurf Feststoffbooster				
H0 +3m 10s	Abwurf Nutzlastverkleidung (Flughöhe >100 km)				
H0 +8m 57s	Brennschluss Hauptstufe				
H0 +9m 03s	Stufentrennung				
H0 +9m 07s	Zündung Oberstufe				
H0 +24m 58s	Brennschluss Oberstufe, Erreichen des Zielorbits.				
	Das Aussetzen der beiden Satelliten erfolgt entsprechend der individuellen Missionsplanung.				
	Anschließend wird der Resttreibstoff aus den Tanks der Oberstufe abgelassen ("Passivierung")				
H0 +45m	Ende der Ariane-Mission				

Um die Leistungsfähigkeit der Sojus-Rakete weiter zu erhöhen und ihre Nutzung zu vereinfachen, hatten sich die europäischen Staaten und Russland 2003 zur Errichtung einer Startbasis auf dem europäischen Startzentrum in Kourou verständigt. Derzeit befinden sich die Bauarbeiten dieser neuen Startanlagen in der Endphase – ein Erststart der Sojus aus Kourou ist noch für 2010 geplant. In Zukunft werden die Sojus-Raketen von Kourou aus auch die europäischen Galileo-Navigationssatelliten ins All befördern.

Auf dem europäischen Startgelände in Kourou wird weiterhin eine Startbasis für den von einigen europäischen Staaten unter italienischer Führung konzipierten Kleinträger Vega vorbereitet. Vega soll hauptsächlich zum Start kleinerer Erdbeobachtungsund Forschungssatelliten eingesetzt werden.

Das Bodenpersonal

Die Starts in den Weltraum und der Betrieb von Satelliten erfordern am Boden eine technisch und logistisch hoch komplexe Infrastruktur. Dazu gehören neben den Startanlagen auch die Kontrollzentren, Technologiezentren, Nutzerzentren und die Empfangsstationen, die als "Relaisstationen" zwischen Himmel und Erde für die Wissenschaftler fungieren. Das berühmteste Kontrollzentrum befindet sich in Houston, Texas. Von hier aus dirigiert die NASA alle

bemannten Raumflüge und hält den Kontakt zur Raumstation.

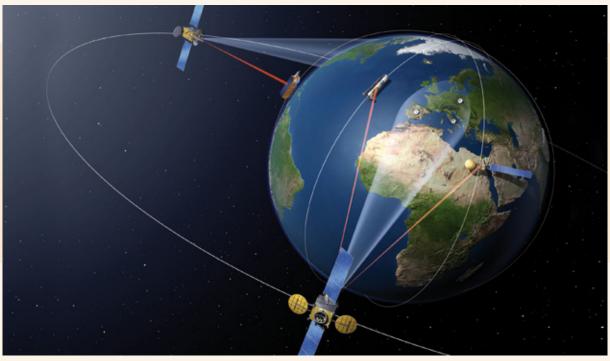
Europa verfügt über vergleichbare Einrichtungen. Sie sind, entsprechend der staatenübergreifenden Organisation der Europäischen Weltraumorganisation ESA, in unterschiedlichen Ländern angesiedelt. So befindet sich die ESA-Zentrale in Paris, während das Technologiezentrum ESTEC im holländischen Noordwijk ansässig ist. Im Europäischen Satellitenkontrollzentrum ESOC in Darmstadt werden die unbemannten Missionen vorbereitet sowie im All befindliche Sonden kontrolliert und gesteuert.

Deutschland verfügt zudem über ein eigenes Kontrollzentrum. Das zum DLR gehörende Deutsche Raumfahrt-Kontrollzentrum befindet sich in Oberpfaffenhofen, von wo aus bedeutende deutsche bemannte und unbemannte Missionen geleitet wurden. Es begann 1969 mit dem kleinen Forschungssatelliten Azur. Danach folgten weltweit beachtete wissenschaftliche Missionen wie die Shuttle-Flüge D1 (1985) und D2 (1993). Gleichzeitig werden von Oberpfaffenhofen aus eine Reihe von Kommunikations- und Erdbeobachtungssatelliten wie TerraSAR-X in der Umlaufbahn positioniert und überwacht. Auch das europäische Labormodul COLUMBUS der Internationalen Raumstation und seine Experimente werden von Oberpfaffenhofen aus gesteuert.



 $\label{lem:collim} \ddot{\text{U}} berwachung \ des \ COLUMBUS-Moduls \ im \ deutschen \ Raumfahrt-Kontrollzentrum \ des \ DLR \ in \ Oberpfaffenhofen.$

Relaisstationen im All



Datenrelais-Satelliten werden künftig die Kommunikation anderer Satelliten miteinander und mit der Erde verbessern.

Kommunikationssatelliten "Made in Germany"

Ohne Satelliten würde unser Alltag erheblich anders aussehen. Jeder, der mit einer "Schüssel" sein Fernsehprogramm empfängt, weiß das. Aber auch die meisten über Kabel versandten Fernseh- und Radioprogramme werden irgendwo via Satellit in eine Hauptstation eingespeist. In unserer heutigen Welt wird die globale Breitband-Kommunikation zu einer immer wichtigeren Lebensader. Moderne Kommunikations-Satelliten gewinnen dadurch große wirtschaftliche und strategische Bedeutung. Darüber hinaus sind Kommunikations-Satelliten oft die einzige Möglichkeit, in Regionen mit schlechter Infrastruktur schnell lebensrettende Kommunikation aufbauen zu können – zum Beispiel nach Naturkatastrophen.

Bereits heute besitzen deutsche Unternehmen bei vielen Teilsystemen von Kommunikations-Satelliten weltweit anerkanntes Know-how. Weltruf genießen beispielsweise deutsche Solarpanele, die die besonders energiehungrigen Kommunikations-Satelliten mit Strom versorgen. Auch kleine hochpräzise Triebwerke aus deutscher Produktion, mit denen die Satelliten während ihrer gesamten Lebensdauer die Position im Orbit korrigieren können, haben ein hervorragendes Image. Gleiches gilt auch für die im "Herz" von Kommunikationssatelliten wirkenden Sendever-

stärker *made in Germany*. Mit ihrer hohen Innovationskraft engagieren sich in diesem Bereich neben großen Raumfahrtunternehmen vor allem auch kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) und haben in den letzten Jahren zahlreiche Hightech-Arbeitsplätze aufgebaut.

Wegen der steigenden kommerziellen und strategischen Bedeutung von Kommunikationssatelliten hat Deutschland seine Forschungsförderung in diesem Bereich deutlich ausgebaut, sowohl im nationalen Raumfahrtprogramm als auch bei der europäischen Weltraumorganisation ESA. So bauen deutsche Unternehmen Schlüsselkomponenten des großen europäischen Kommunikationssatelliten Alphasat und entwickeln federführend einen speziell für neue Marktenwicklungen und spezifische Aufgaben geeigneten smallGEO-Satelliten.

Durch das neu aufgebaute Satelliten-Know-how ergibt sich zusätzlich die Chance, weitere Spitzentechnologien voranzutreiben und neue Märkte zu erschließen. Mit dem geplanten Satelliten "Heinrich Hertz" werden neueste Technologie-Entwicklungen erprobt und getestet, die später zu verbesserten oder neuartigen kommerziellen Übertragungsverfahren führen können.



 $Um\ die\ Stadt\ Berchtesgaden\ her um\ simulieren\ auf\ den\ Bergen\ angebrachte\ Sender\ (sogenannte\ Pseudolites)\ die\ Signale\ der\ künftigen\ Galileo-Satelliten.\ Seit\ Sommer$

Neue Wege beschreiten deutsche Forschung und Industrie auch mit der Entwicklung von Datenrelais-Satelliten. Diese speziellen Kommunikations-Satelliten verbessern die Datenübertragung zwischen anderen Satelliten und der Erde, machen sie schneller und einfacher. Besonders wichtig sind diese "Relais-Stationen im All" für zukünftige Erdbeobachtungssatelliten, die in niedrigen Orbits um die Erde kreisen. Mit ihren ständig besser und immer genauer werdenden Sensoren werden sie nämlich immense Datenmengen produzieren, die zur Erde übertragen werden wollen. Ein erstes solches System von Datenrelais-Satelliten entwickelt die ESA bereits unter dem Namen EDRS (European Daten Relais Satellit). Durch die aufgebauten Fähigkeiten der Industrieunternehmen kann Deutschland hier international eine starke Position einnehmen.

Optik schlägt Hochfrequenztechnik

Dass optische Übertragungen von elektrischen Signalen der herkömmlichen elektromagnetischen Übertragung über metallene Kabel überlegen sind, weiß jeder, der sich über eine schnelle Internetverbindung per Glasfaser-Kabel freuen kann. Glasfasern übertragen weit mehr Daten über größere Entfernungen als elektrische Wellen (etwa in Telefonkabeln aus Kupfer). Deutsche Entwicklungen machen diese Technik nun auch für Satelliten nutzbar, denn gerade bei den riesigen Entfernungen im All bietet sich die optische Übertragung an. In den letzten Jahren konnte bereits ein Laserkommunikations-Terminal entwickelt werden, das unglaubliche Übertragungsraten direkt von Satellit zu Satellit ermöglicht. Bei ersten

Tests der Datenübertragung zwischen zwei Satelliten betrug die erreichte Geschwindigkeit 5,5 Gigabytes pro Sekunde. Das entspricht ungefähr dem Inhalt von 200.000 DIN-A4-Seiten in einer Sekunde oder 400 DVDs pro Stunde. Die deutschen Laser-Terminals werden zukünftig als Standard für die Datenübertragung zwischen Erdbeobachtungssatelliten von ESA und EU und Datenrelaissatelliten eingesetzt. Diese Technologie made in Germany ist Weltspitze – nirgends gibt es momentan eine effektivere Technologie für die Übertragung von großen Datenmengen zwischen Satelliten.

Galileo wird Verkehrslotse

Auf einem ganz anderen Sektor sind Satelliten ebenfalls auf dem Vormarsch: bei Navigation und Ortung. Derzeit werden hierfür das amerikanische Global Positioning System (GPS) und dessen russisches Pendant GLONASS eingesetzt. Es handelt sich um zwei Satellitennetze, die in rund 20 000 Kilometern Höhe die Erde umkreisen und hochgenaue Zeitsignale aussenden. Aus der Kenntnis der aktuellen Position der jeweils sichtbaren Satelliten kann man mit einem geeigneten Empfänger aus diesen Signalen dessen Position am Boden im Idealfall bis auf Millimeter genau bestimmen.

Satelliten-Navigation wird in vielen Wirtschaftszweigen immer wichtiger. So wird schon heute das hochgenaue Zeitsignal von Energieanbietern zur Synchronisation von Computernetzwerken und Kraftwerken genutzt. Die Luftfahrt und insbesondere die europäischen Flugsicherungsbehörden setzen für die



2008 können in dieser "GATE" getauften Testumgebung Galileo-Anwendungen von Wissenschaft und Industrie ausprobiert und weiterentwickelt werden.



 $\label{precision} Precision Farming-eine der zahlreichen Einsatzm\"{o}glichkeiten des zuk\"{u}nftigen europ\"{a}ischen Navigationssystems Galileo.$

Zukunft auf Satellitennavigation. Übergreifende Verkehrsmanagementsysteme für Straße und Schiene sind auf Basis dieser Technologie in der Planung.

Für wissenschaftliche Zwecke, wie die Erdbebenforschung, ist diese Präzision von großer Bedeutung. Im Alltag genügt eine geringere Ortsauflösung, zum Beispiel bei den Navigationssystemen in Autos. GPS und GLONASS sind allerdings militärische Netze und können im Krisenfall abgeschaltet oder unbrauchbar

gemacht werden, weil sie auch der Gegner nutzen kann.

Die Europäische Kommission entwickelt daher zurzeit gemeinsam mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA den Aufbau eines eigenen, zivilen Navigationssystems, genannt Galileo. Nach heutiger Planung wird die erste Ausbaustufe mit bis zu 18 Satelliten bis 2014 realisiert werden. Längerfristig sollen 30 Satelliten die Erde umkreisen und am Boden eine genaue Standortbestimmung ermöglichen.

Deutsche Unternehmen und Einrichtungen beteiligen sich führend daran, Galileo zu konzipieren und zu errichten – neben spezifischen Beiträgen zur Systemarchitektur vor allem bei der Satellitenentwicklung und beim operationellen Betrieb: Für die ersten vier Satelliten im Rahmen der Entwicklungsphase und für weitere 14 Satelliten für die erste Ausbaustufe erhielten deutsche Unternehmen den Zuschlag. Das DLR ist Hauptauftragnehmer für den operationellen Betrieb in der Entwicklungsphase. Aktuell wird eines der beiden späteren Hauptkontrollzentren zur Steuerung der vollständigen Galileo-Konstellation im bayerischen Oberpfaffenhofen aufgebaut.

Die Kosten der Entwicklung und des Aufbaus von Galileo in Höhe von schätzungsweise 5 bis 7 Milliarden Euro sollen von der öffentlichen Hand bereitgestellt werden. Fachleute sehen einen wachsenden kommerziellen Bedarf für Anwendungen voraus, für die zuverlässige Navigationsdaten bereitstehen müssen. Die Luftfahrt wurde schon genannt. Darüber hinaus sind



Autoverkehr der Zukunft.

eine ganze Reihe weiterer Anwendungen denkbar, wie die Überwachung von Fischereiflotten und Gefahrguttransporten oder auch das Lotsen von Öltankern in gefährlichen Gewässern.

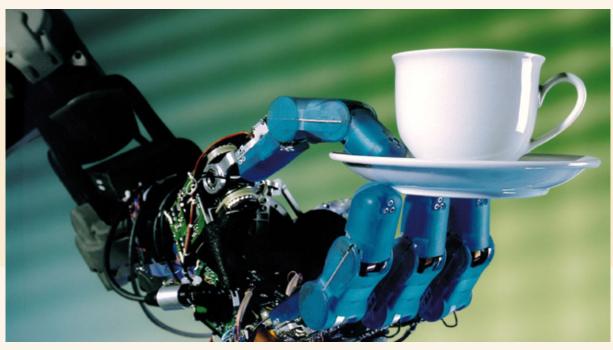
Um die spätere Nutzung von Galileo und zukünftige Anwendungen vorzubereiten, fördert das BMWi die Errichtung verschiedener Galileo-Testgebiete in Deutschland. Damit bekommen innovative Unterneh-

men oder Einrichtungen die europaweit einzigartige Möglichkeit, ihre Ideen zu neuen Produkten oder Dienstleitungen unter realen Umgebungsbedingungen zu testen und weiterzuentwickeln. Viele Jahre bevor die echten Galileo-Satelliten im Orbit sind.

Die Testumgebungen sind jeweils für einen spezifischen Anwendungsbereich konzipiert: Die Umgebung GATE (Berchtesgaden) soll der Entwicklung von Datenempfängern dienen. Speziell für maritime Anwendungen ist SEA GATE im Hafen von Rostock geeignet, speziell für Luftfahrtanwendungen aviationGATE in Braunschweig. Anwendungen für den Straßenbzw. Schienenverkehr können in Nordrhein-Westfalen getestet werden, hier stehen automotiveGATE (Aldenhoven bei Düren) und railGATE (Wegberg-Wildenrath) zur Verfügung.

Weiterhin werden konkrete Anwendungsprojekte aus verschiedenen Bereichen wie Rettungswesen, neue Empfängertechnologien, Verbesserung der Störanfälligkeit, Navigation in Gebäuden bis hin zu Präzisionslandeanflügen gefördert. Alle diese Maßnahmen dienen dazu, die deutsche Industrie für den wachsenden kommerziellen Markt für Anwendungen der Satellitennavigation vorzubereiten.

Vom All in den Alltag



Der DLR-Leichtbauroboter der dritten Generation (LBR-3) besitzt 7 Roboterachsen und 13 Handantriebe. Neue Sensoren ermöglichen es, dass die Roboterhände auf Gegendruck reagieren und nachgeben können. Dies ermöglicht sehr feinfühlige Bewegungen. In Zukunft sollen, basierend auf dieser Technologie, kleine, mobile Assistenten den Mitarbeitern in Fertigungsstraßen, in Büroumgebungen oder in Krankenhäusern hilfreich zur Hand gehen.

Die Raumfahrt stellt allerhöchste Ansprüche an Mensch und Material. Werkstoffe müssen gleichzeitig sehr leicht und dennoch extrem widerstandsfähig sein, Computerprogramme müssen zuverlässig und effizient arbeiten, Astronauten in der Erdumlaufbahn überleben und vom Boden aus ärztlich überwacht werden können. Unter den in Forschungslaboren zum Teil mit großem Aufwand gefundenen Lösungen sind viele, die sich auch im Alltag in ganz anderen Gebieten kommerziell einsetzen lassen. Die Frage ist nur: Wie kommt die Raumfahrtentwicklung zum Nutzer?

Im Auftrag des BMWi hat das DLR den Technologietransfer stets unterstützt, um Produkte zielgerichtet dem kommerziellen Markt zugänglich zu machen. Dabei hat das DLR ein neuartiges Innovationsmodell entwickelt, das über den einfachen Technologietransfer hinausgeht: In mehreren seiner Institute wurden Innovationsstellen eingerichtet, die Firmengründungen mit großem Erfolg unterstützen. Die ESA hat zu Beginn der 1990er Jahre in ihren Mitgliedstaaten ähnliche Technologietransferprogramme initiiert. So wird der Spin-Off – also die Übertragung von Raumfahrttechnologien in den "Erd-Alltag" – zur Realität.

Bremsbeläge, Feuermelder und Simulationsprogramme

Wegen seiner besonderen Eigenschaften – hohe Hitzebeständigkeit, leichter als Aluminium und eines geringen Abriebs selbst bei starker Luftreibung – eignet sich der in Deutschland hergestellte Hitzeschutzschild für Raumgleiter nicht nur für die Raumfahrt, sondern auch für alltägliche Anwendungen, zum Beispiel als widerstandsfähiger Bremsbelag. Renommierte Kraftfahrzeughersteller setzen diesen innovativen Werkstoff mittlerweile serienmäßig in hochwertigen Bremssystemen ein. Das Material ist so haltbar, dass die Bremsscheiben während der gesamten Lebensdauer eines Fahrzeugs nicht mehr ausgewechselt werden müssen.

Bedarf fand sich auch für Hochleistungskameras, die ursprünglich für die Erkundung von Himmelskörpern vorgesehen waren. Im März 2004 startete die europäische Kometensonde Rosetta. An Bord befindet sich eine hochauflösende und mit intelligenter Software versehene Kamera, die Bilder vom Kometen Churiumov-Gerasimenko zur Erde senden soll. Auf Basis dieser Ergebnisse entwickelte das DLR am Institut für Planetenforschung ein Verfahren zur automatisierten Erkennung von Waldbränden. Im Auftrag



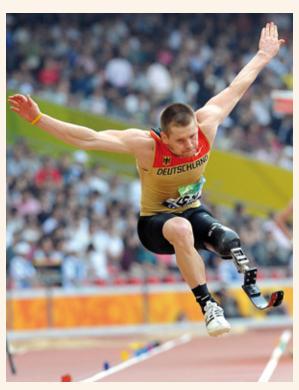
Spreebogen mit dem Bahnhof Friedrichstraße.

des Landes Brandenburg wurde das System in einem dreijährigen Praxistest erfolgreich erprobt. Das System gewährleistet heute eine kostengünstige und gleichzeitig effektive Überwachung großflächiger Waldgebiete durch nur einen Mitarbeiter, der die Situation bewertet und im Brandfall geeignete Maßnahmen einleiten kann. Bislang wurden in Deutschland sechzig solcher Frühwarnsysteme installiert.

Ein ganz anderer Spin-Off aus der Raumfahrt beeindruckte Sportbegeisterte im Sommer 2008 während der Paralympischen Spiele in Peking. Der beinamputierte Leichtathlet Wojtek Czyz, ein Deutscher polnischer Herkunft, sprang mithilfe einer Prothese aus Weltraum-Material 6,50 Meter weit – ganze 27 Zentimeter mehr als der bisherige Weltrekord. Die deutsche Firma ISATEC hatte für seine Unterschenkel-Prothese Material verwendet, das ursprünglich für einen Teilchen- und Strahlendetektor entwickelt wurde. Dieser Detektor soll als Bestandteil eines Großexperiments in diesem Jahr zur ISS gebracht werden.

Dies sind nur wenige Beispiele aus einer breit gefächerten Palette, die sich beliebig fortsetzen ließe: Erkenntnisse aus der Hyperschalltechnologie kommen beim Bau von Verpackungsmaschinen zum Einsatz, lichtabsorbierende Beschichtungen aus Weltraumkameras verbessern Endoskope in der Medizin, und auch schnurlose Werkzeuge wie der Akku-Schrauber wurden zuerst für den Einsatz im Weltraum entwickelt.

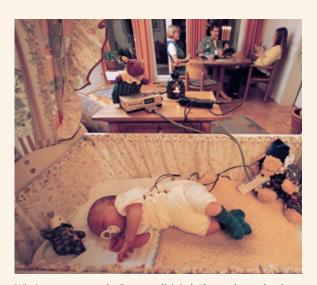
Dem Menschen unmittelbar zugute kommt eine Entwicklung aus der bemannten Raumfahrt. Während der D-2-Mission im Jahre 1993 trugen die beiden deutschen Astronauten Hans Schlegel und Ulrich Walter neuartige Anzüge mit speziellen Sensoren. Damit war es möglich, bestimmte Körperfunktionen, wie Herzschlag und Atmung, im DLR-Raumfahrt-Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen live zu verfolgen. Fachleute vom DLR haben dann gemeinsam mit Firmen und Medizinern von der Kinderklinik Köln-Porz die Raumanzüge zu Strampelanzügen für Neugeborene um-



Mit seiner Prothese aus Weltraum-Material sprang der deutsche Leichtathlet Wojtek Czyz bei den Paralympics Weltrekord.

funktioniert. Seit einiger Zeit läuft an der Klinik ein Versuch, bei dem physische Daten von "Risiko-Babys", die zu Hause leben, fernüberwacht werden. Die Messdaten der Anzüge werden per Funk übertragen und können ständig von den Eltern oder auch von einem Arzt abgefragt werden. Bei auffälligen Körperreaktionen löst das System eigenständig Alarm aus. Diese Form der Telemedizin ließe sich auch auf andere Fälle übertragen. Personen mit Kreislauf- oder Herzproblemen oder alte Menschen mit gesundheitlichen Problemen könnten rund um die Uhr überwacht werden.

Auch ein anderer medizinischer Fortschritt geht auf eine Raumfahrt-Erfindung zurück: die Insulinpumpe für Diabetiker, also eine steuerbare Mini-Pumpe, die Zuckerkranken implantiert werden kann, so



Wie Astronauten aus der Ferne medizinisch überwacht werden, lassen sich auch auf der Erde Risikopersonen mittels Telemedizin über große Distanz "fernbetreuen". Hier die Demonstration eines von der DLR entwickelten Systems zur Fernüberwachung von Risikobabys.

dass sie automatisch mit Insulin versorgt werden, ohne sich selbst spritzen zu müssen. Diese Pumpe wurde im Viking-Mars-Programm in den 1980er Jahren von der NASA entwickelt. Seit 2007 stellt eine Schweizer Firma Motoren her, die bisher von den Mars-Rovern Spirit und Opportunity verwendet wurden. Diese sterilisierbaren Kleinstmotoren aus der Raumfahrt werden die Zuverlässigkeit der Insulinpumpe erhöhen und erneut zu einer wesentlichen Verkleinerung des Gerätes beitragen. So wandelt sich die Forschung für Astronauten in therapeutischen Fortschritt für erkrankte Menschen auf der Erde.

Wer bezahlt die Raumfahrt?

In Deutschland erfolgt die Finanzierung der Raumfahrt durch die Bundesregierung. Das geschieht im Wesentlichen über die drei Wege, die durch das Deutsche Raumfahrtprogramm zu einem abgestimmten strategischen Gesamtansatz vereint werden. Diese sind:

- ▶ die deutsche Beteiligung am ESA-Programm und bei EUMETSAT
- die Projektförderung im Nationalen Programm
- ► das Forschungs-und-Entwicklungsprogramm (FuE-Programm) im Schwerpunkt Raumfahrt des DLR, finanziert im Rahmen der HGF-Förderung des Bundes und der Länder

Die deutschen Beiträge zum ESA-Programm werden überwiegend aus Mitteln des BMWi finanziert; zu ausgewählten Projekten haben weitere Ressorts Gelder bereitgestellt, insbesondere das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) zu den Wettersatellitenprogrammen METEOSAT, zum

Sichere Landung

Was haben Raumfähren und Kartoffelchips gemeinsam? Beide müssen sicher landen, Raumschiffe auf der Erde und Chips in der Tüte. Und weil bei beiden Vorgängen Aerodynamik eine wesentliche Rolle spielt, konnte Rovema, ein führender Hersteller von Verpackungsmaschinen, auf die Forschungsergebnisse der Göttinger Firma Hyperschalltechnologie zurückgreifen. Diese war zuvor von der ESA damit beauftragt worden, die Flugeigenschaften eines Raumtransporters im Windkanal zu optimieren. Rovema nutzte diese Kenntnisse, um ihre Verpackungsmaschinen zu verbessern. Diese laufen seitdem um 30 bis 50 Prozent schneller und die Chips landen trotzdem sicher in der Tüte. Dies ist ein Beispiel für einen gelungenen Technologietransfer aus der Raumfahrt in die Wirtschaft.

Haushalt der Betreiberorganisation EUMETSAT sowie für den Aufbau des Satellitennavigationssystems Galileo und des Erdbeobachtungsprogramms GMES.

Für das Nationale Programm stellt das BMWi Mittel bereit. Diese werden im Rahmen von Aufträgen und Zuwendungen überwiegend für Projekte und Programme in der deutschen Forschung und Industrie eingesetzt. Das Nationale Programm bietet Hand-

lungs- und Gestaltungsmöglichkeiten zur strategischen Verfolgung nationaler Interessen und orientiert sich komplementär zum ESA-Programm.

Zu den FuE-Aktivitäten des DLR tragen neben der Förderung aus dem Haushalt des BMWi auch Mittel des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg), des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und verschiedener Bundesländer bei.

Internetadressen

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie – BMWi

http://www.bmwi.de

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

http://www.dlr.de

Europäische Raumfahrtagentur ESA

http://www.esa.int

Raumfahrtprojekte der Europäischen Weltraumagentur ESA

http://sci.esa.int

Wissenschaftsprogramme der Europäischen

Weltraumagentur ESA

http://www.esa.int/esaSC/

Das europäische Raumfahrtzentrum Kourou

http://www.esa.int/SPECIALS/

Launchers_Europe_s_Spaceport/index.html

Amerikanische Raumfahrtagentur NASA

http://www.nasa.gov

$Weltraumprojekte\,der\,Amerikanischen$

Weltraumbehörde, NASA

http://spaceflight.nasa.gov

Fotosammlung des Sonnensystems

http://photojournal.dlr.de/

Extrasolare Planeten

http://exoplanet.eu/

Weltraumwetter

http://www.Spaceweather.com

SETI

http://www.seti.org

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie herausgegeben. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informations ständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen ode Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme de Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.