



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



Innovationspolitik, Informationsgesellschaft, Telekommunikation

Mission Raumfahrt

Aus dem Weltraum – Für die Erde

www.bmwi.de

Redaktion

Bundesministerium für Wirtschaft
und Technologie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit/IA8

Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

Druck

Bonifatius Druckerei, Paderborn

Bildnachweis

Astrium, ESA, DLR, JPL, NASA

Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft
und Technologie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit/IA8
10115 Berlin
www.bmwi.de

Stand

August 2007



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Innovationspolitik, Informationsgesellschaft, Telekommunikation

Mission Raumfahrt

Aus dem Weltraum – Für die Erde

aufgaben wie Klimaschutz und Krisenbewältigung sichern. Da die Nachfrage nach Erdbeobachtungsdaten weltweit steigt, versprechen wir uns starke kommerzielle Nutzungsmöglichkeiten.

► Auch bei der europäischen Initiative für Umwelt- und Sicherheitsüberwachung (GMES) hat Deutschland europaweit eine führende Rolle übernommen. GMES wird maßgeblich zur Lösung staatlicher und gesellschaftlicher Aufgaben im Umweltschutz, in der Verkehrsüberwachung, im Katastrophenmanagement, zur Beobachtung von Migrationsströmen oder in Sicherheitsfragen beitragen.

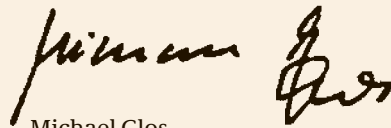
► Mit dem europäischen Satellitennavigationssystem GALILEO wird Europa auf ein eigenes unabhängiges System zurückgreifen können, das präziseste und zuverlässige Navigationsdienstleistungen für zahlreiche öffentliche Bereiche wie die Luftfahrt, Seeverkehr, Logistik anbieten wird.

Die Experimente des deutschen ESA-Astronauten Thomas Reiter an Bord der Internationalen Raumstation oder die von einer deutschen Hochleistungskamera aufgenommenen 3-D-Bilder vom Mars haben Millionen in ihren Bann gezogen. Junge Menschen lassen sich von dieser Begeisterung anstecken und wählen Natur- und Ingenieurwissenschaften als ihr Studienfach. Davon profitiert die gesamte Gesellschaft und die deutsche Wirtschaft.

In der Raumfahrt selbst und vor allem auch in den Anwendungen, die durch die Raumfahrt entwickelt werden, liegen ungeheure Zukunftschancen für unsere Gesellschaft und Wirtschaft. Deutschland

ist hier gut positioniert. Es gilt diese Chancen zu nutzen. Dabei wird es maßgeblich auf die Initiative, Risikobereitschaft und Innovationsfähigkeit unserer Unternehmen selbst ankommen. Raumfahrt besitzt für den Wissenschafts- und Technologiestandort Deutschland eine enorme strategische Bedeutung.

Mit der vorliegenden Broschüre möchten wir Ihnen zeigen, welches technologische Know-how in der modernen Raumfahrt steckt, mit welchen Herausforderungen wir uns in der Zukunft auseinandersetzen werden und dass die dafür aufgewendeten Mittel gut angelegt sind.



Michael Glos

Bundesminister für Wirtschaft und Technologie

Inhalt

Erdkunde aus der Umlaufbahn	5
Unendliche Weiten	11
Das Labor über den Wolken	19
Weltraumlogistik – Die Verbindung ins All	25
Relaisstationen im All	29
Vom All in den Alltag	31

Erdkunde aus der Umlaufbahn



Seit Juni 2007 im All: Der in Public Private Partnership realisierte deutsche Radarsatellit der nächsten Generation, TerraSAR-X.

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. Es entwickelt sich eine Satellitendatenindustrie: 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

Der Einsatzbereich von Satellitendaten hängt wesentlich von der Bildauflösung ab. Die derzeit genauesten kommerziell erhältlichen Aufnahmen aus dem Welt-

raum zeigen noch Details bis herunter zu einem Meter. Solche Daten nutzen Gemeinden für die Städte- und Raumplanung oder zur Erstellung genauester Karten. 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 beinahe von Jahr zu Jahr wachsende 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 Spurengase in der Atmosphäre ermöglichen. Satellitendaten sind heute eine unerlässliche Grundlage für Modelle der zukünftigen Klimaentwicklung. Sie helfen bei der Vorbereitung wirksamer politischer Entscheidungen und technischer Maßnahmen.

Das bekannteste Beispiel dafür, wie Klimaforscher mit Hilfe 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 nimmt saisonal die Ozondichte über der Antarktis ab, gleichzeitig lässt sich weltweit ein langsamer Ozonabbau in den oberen Atmosphärenschichten feststellen. Verantwortlich sind unter anderem die Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW). Mittlerweile sind solche Substanzen verboten. Zwar erwarten die Forscher wegen der langen Lebensdauer der FCKW, dass das Ozonloch erst um 2050 endgültig „gestopft“ sein wird. Satelliten haben die Menschheit aber in diesem Fall vor einer größeren Katastrophe bewahrt. Heute studieren die Wissenschaftler regelmäßig nicht nur den FCKW-Gehalt, sondern behalten auch viele andere Spurengase im Blickfeld, die zu dem komplizierten chemischen Gleichgewicht der Atmo-

sphäre beitragen. Derzeit liefert das Instrument **GOME** auf dem europäischen Erdbeobachtungssatelliten **ERS-2** täglich die globale Ozonverteilung sowie Spurengaskarten von weltweit einmaliger Genauigkeit. Berechnet werden sie in Deutschland.

Auch Stickoxide spielen in der Atmosphäre eine entscheidende Rolle. In unteren Atmosphärenschichten tragen sie zur Smogbildung, in größeren Höhen zum Ozonabbau bei. Stickoxide gelangen durch industrielle Abgase sowie durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe in die Atmosphäre. So stoßen Flugzeuge und Autos große Mengen davon aus. Allerdings ist bis heute nicht klar, wie groß der vom Menschen produzierte Anteil an Stickstoffverbindungen im Vergleich zum natürlichen ist. So entstehen diese Stoffe in großen Mengen zum Beispiel auch bei Gewittern.

Auch für die Stickoxide liefert GOME die weltweit einzigen globalen Karten. Sie werden ebenfalls in Deutschland erstellt und stehen Klimaforschern zur Verfügung. Auf ihnen lässt sich eindeutig die Luftverschmutzende Industrie in Nordeuropa und an der Ostküste der Vereinigten Staaten ausmachen. Erkennbar sind aber auch die Emissionen großer Brände in Afrika und Asien. Auf diese Weise bleibt den Forschern kein Umweltverschmutzer verborgen. Neu entwickelte Messinstrumente führen diese Untersuchungen auf dem Umweltsatelliten **ENVISAT** fort.



ENVISAT ist auf Jahre hinaus der weltweit leistungsfähigste Umweltsatellit.

Die SCIAMACHY-Mission auf ENVISAT

Die SCIAMACHY-Mission wurde konzipiert, um das Wissen über globale Zusammenhänge im Bereich der Physik und Chemie der Erdatmosphäre, die aus Troposphäre, Stratosphäre und Mesosphäre besteht, zu verbessern. Dabei spielt der vom Menschen verursachte Beitrag an globalen Veränderungen im atmosphärischen System eine besondere Bedeutung. SCIAMACHY ist ein Spektrometer, das in der Erdatmosphäre oder am Erdboden gestreutes Sonnenlicht im ultravioletten, sichtbaren und nahinfraroten Wellenlängenbereich misst. Die Menge an Spurengasen und deren Verteilung in der Atmosphäre kann so bestimmt werden. Die Kombination einzelner Beobachtungsarten erlaubt die Gewinnung einzigartiger Informationen über Gase und Wolken der Troposphäre und der unteren Stratosphäre. Das SCIAMACHY-Instrument ist ein deutsch-niederländisch-belgisches Gemeinschaftsprojekt, wobei die industrielle Leitung bei den gemeinsamen Hauptauftragnehmern EADS Astrium und Dutch Space lag. Weitere Beiträge stammen von OHB System, Jena-Optronik, Carl Zeiss, TNO-TPD, SRON und Delft Sensor Systems.

Alleskönner im All: ENVISAT

Im März 2002 ist das Flaggschiff der europäischen Klimaforschung auf einer Ariane-5-Trägerrakete gestartet: der acht Tonnen schwere und zehn Meter hohe Umweltsatellit **ENVISAT**. Dieser Satellit der Europäischen Weltraumorganisation ESA vereint verschiedene Techniken der Erdbeobachtung. In 800 Kilometern Höhe zieht er seine Bahn über die Pole, tastet dabei mit insgesamt zehn Messinstrumenten die Erde ab und untersucht die Atmosphäre. Allein die beiden in Deutschland erdachten und zu wesentlichen Teilen auch hier gebauten Atmosphäreninstrumente **MIPAS** und **SCIAMACHY** ermöglichen es, weit über zwanzig Spurengase, darunter Ozon, Kohlendioxid und FCKW sowie deren Höhenverteilung zu ermitteln. Das größte Instrument auf ENVISAT ist ein schwenkbares Radar, das im Vergleich zu den Vorläufern auf den beiden ERS-Satelliten technisch wesentlich weiterentwickelt wurde. Der Datenstrom aller Instrumente zusammen ist so enorm, dass er alle vier Minuten eine CD füllen würde. ENVISAT ist auf Jahre hinaus der weltweit technisch anspruchsvollste Umweltsatellit. Die Bundesregierung beteiligt sich an der Finanzierung mit rund 500 Millionen Euro, das sind rund 20 Prozent der europäischen Gesamtkosten.

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 Radarsignale aus, die die Wolken

durchdringen, an der Erdoberfläche reflektiert und von der Satellitenantenne wieder aufgefangen werden. Ein Radarsatellit schafft sich so seine eigene „Beleuchtung“ und kann somit die gesamte Erde Tag und Nacht abtasten. Mit diesen Fähigkeiten eröffnen sich vielfältige Möglichkeiten.

Das deutsche Radar-Auge im All

Der am 15. Juni 2007 gestartete **TerraSAR-X** ist Deutschlands erster nationaler Fernerkundungssatellit, der in öffentlich-privater Partnerschaft realisiert wurde. Neben dem DLR ist EADS Astrium maßgeblich an Entwicklung, Bau und Betrieb beteiligt. Der Radar-Satellit wird für die Dauer von mindestens fünf Jahren hochwertige Radardaten für die wissenschaftliche Erdbeobachtung liefern. Gleichzeitig soll der stetig steigende Bedarf der Privatwirtschaft und der öffentlichen Hand nach Fernerkundungsdaten für den kommerziellen Markt befriedigt werden.

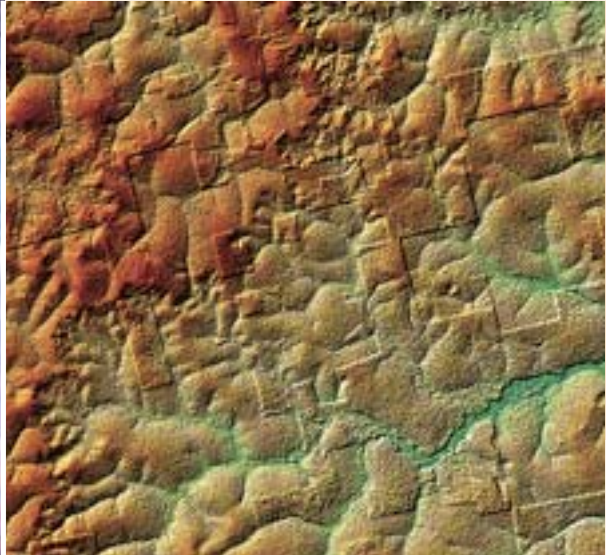
Mit TerraSAR-X werden insbesondere die Landmassen der Erde in Augenschein genommen. Dazu gehören die Kartierung unserer Waldflächen, die Erstellung und regelmäßige Aktualisierung von Landnutzungskarten, die Erfassung von Feldfruchtarten auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie die Erforschung und Überwachung geologisch aktiver Gebiete wie Vulkan- und Erdbebenregionen.

Das synthetische Radar

Bei TerraSAR-X wird ein moderner Radarsensor benutzt, ein so genanntes „Synthetic Apertur Radar“ (SAR). Um eine hohe räumliche Auflösung zu erzielen, wird ein technischer Trick angewendet: Während



Im Grenzgebiet zu Chile herrscht seit Urzeiten rege vulkanische Aktivität. Diese Aufnahme stammt vom Satelliten Aster.



Auf dem SRTM-Höhenmodell eines Gebietes im brasilianischen Regenwald sind Rodungen deutlich als Gebiete niedrigerer Höhe zu erkennen.

der Satellit mit hoher Geschwindigkeit die Erde überfliegt, werden die Echos vieler abgestrahlter Radarimpulse aufsummiert. Dies kommt einer sehr großen Radarantenne gleich (synthetische Apertur), in Abhängigkeit von der in dieser Zeit zurückgelegten Entfernung. Mit diesem Verfahren wird die räumliche Auflösung in Flugrichtung erhöht, da diese von der Antennengröße abhängt.

Dokumentation des Wandels

Mit TerraSAR-X werden systematische Langzeitbeobachtungen durchgeführt. So ist etwa die Beobachtung der Vegetation von herausragender Bedeutung für menschliches Leben. 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 Durchsetzung von internationalen und nationalen Konventionen, etwa dem Kyoto-Protokoll.

Völlig neue Perspektiven wird TerraSAR-X für die Beobachtung städtischer Räume bieten. Mit der Bevölkerungskonzentration geht eine enorme Dynamik an Veränderungen in den urbanen Zentren einher, deren Folge oft schwerwiegende ökonomische, ökologische oder soziale Konflikte sind. Um diese Poten-

Verschiedene Aufnahmearten von TerraSAR-X

- ▶ **Streifenmodus:** Das SAR-System bewegt sich auf einer Flugbahn, wobei ein feststehender Radarstrahl ein Zielgebiet schräg nach unten beleuchtet. Es wird ein etwa 30 Kilometer langer Streifen mit einer Auflösung von 3 Metern abgebildet.
- ▶ **ScanSAR-Modus:** Durch alternierendes Abtasten mehrerer Teilstreifen wird eine größere Fläche von 100 Kilometern Breite und 1.500 Kilometern maximaler Länge mit einer Auflösung von 16 Metern abgebildet.
- ▶ **Spotlight-Modus:** Der Radarstrahl wird in Flugrichtung so gesteuert, dass während der gesamten Datenaufzeichnung das gleiche Zielgebiet beleuchtet wird. Es wird eine Fläche von 5 bis 10 mal 10 Kilometer Größe mit einer Auflösung von bis zu einem Meter abgebildet.



Khao Lak in Thailand, vor und nach der Tsunami-Katastrophe im Dezember 2004.

ziale frühzeitig zu erkennen und Methoden zu deren Vermeidung und Lösung zu entwickeln, bedarf es einer nachhaltigen Erhebung aktueller, raumbezogener Informationen.

Für die Analyse von Bewegungen der Erdoberfläche sind die kurzen Wiederholungsraten der Überflüge ein großer Vorteil. TerraSAR-X ist damit ein interessantes Instrument für die Untersuchung tektonischer Verschiebungen oder die Vulkanbeobachtung. Weitere wissenschaftliche Anwendungsfelder sind die Beobachtung der Ozeane und der Küstenregionen sowie die Verteilung des Meereises, das einen wichtigen Faktor für unser Weltklima darstellt. Schließlich können mit TerraSAR-X Stärke und Richtung von Windfeldern vermessen werden. Diese sind nicht nur wichtig für die Wettervorhersage, sondern auch für die Verbesserung der Kenntnisse der dynamischen Vorgänge in den Ozeanen.

Deutsche Radarpioniere: X-SAR und SRTM

Das für TerraSAR-X entwickelte X-Band ist eine Spezialität deutscher Ingenieure. Die hier genutzte Spitzentechnologie konnte in Deutschland nur dank einer langjährigen Förderung aufgebaut werden. Zwei Vorläufermissionen sind besonders erwähnenswert: das „Farbradar“ SIR-C/X-SAR und das „Stereoradar“ SRTM.

Herkömmliche Radarsysteme arbeiten mit einer einzigen Frequenz. Sie liefern gewissermaßen Schwarz-Weiß-Fotos. Sendet man in mehreren Frequenzen, erhält man „Farbaufnahmen“, die wesentlich mehr Informationsgehalt aufweisen. In einer deutsch-italienisch-amerikanischen Kooperation entstand Anfang der neunziger Jahre das erste „Drei-Farben-Radar“, genannt SIR-C/X-SAR. 1994 flog das Instrument zweimal in einem US-amerikanischen Space Shuttle und kartierte einen Teil der Erdoberfläche. Dabei wurden gezielt Informationen aus den Bereichen Hydrologie, Ökologie, Geologie und Ozeanographie gesammelt. Durch die Flüge war es beispielsweise möglich, saisonale Effekte zu beobachten. So ließen sich gefrorene und aufgetaute Waldböden kaltgemäßiger Zonen unterscheiden – eine für Klimaforscher wichtige Information, weil auftauende Böden große Mengen des Treibhausgas Methan abgeben. Auch die Archäologie verzeichnete spektakuläre Erfolge: Erstmals wurden die tatsächlichen Ausmaße der teilweise vom Urwald überwucherten Tempelanlage Angkor Wat in Kambodscha erkennbar. Und in China entdeckte man neben der Großen Mauer Überreste einer noch älteren, bis dahin unbekanntes Anlage.

Eine ganz neue Technik realisierte die amerikanisch-deutsch-italienische „Shuttle Radar Topography Mission“ (SRTM). Sie flog im Februar 2000 mit dem Space Shuttle Endeavour um die Erde und erfasste

80 Prozent der Landmassen zwischen 60 Grad nördlicher und 54 Grad südlicher Breite. SRTM bestand aus zwei Empfangsantennen, den „Radar-Augen“. Die eine saß in der Ladebucht des Shuttle, die andere war am Ende eines 60 Meter langen ausfahrbaren Mastes angebracht. Die ausgesandten Radarsignale wurden von der Erdoberfläche reflektiert und von beiden „Augen“ wieder empfangen. So erhielten die Forscher erstmals „3-D-Radarbilder“. Sie sind die Grundlage für eine digitale Karte, die alle 30 Meter einen bis auf sechs Höhenmeter genau vermessenen Punkt enthält. Das ist die erste homogene topografische Karte der Erde mit so hoher Auflösung. Darüber hinaus enthält der Datensatz eine Fülle von Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit. Auf eine solche Karte haben viele Anwender lange gewartet. Sie ist sowohl für wissenschaftliche Untersuchungen als auch für industrielle Anwendungen ideal geeignet. Digitale

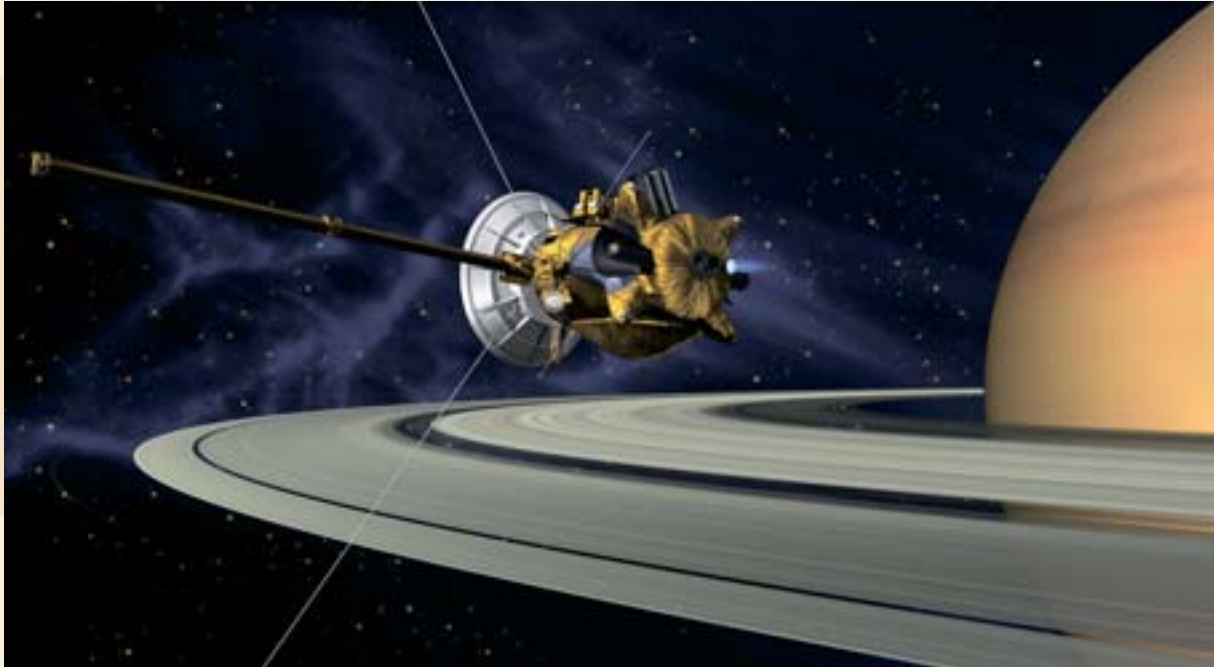
Geländemodelle ermöglichen beispielsweise eine Verbesserung der Bodenwarnsysteme für Flugzeuge und dienen Telekommunikationsgesellschaften für die Positionierung von Sendemasten.

Im Sommer 2006 gaben das DLR im Auftrag des BMWi und EADS Astrium nach ihrer erfolgreichen Kooperation bei TerraSAR X den Startschuss für die Folgemission **TanDEM-X**. Sie soll die Ergebnisse der SRTM-Mission nochmals erheblich verbessern: Mit Hilfe eines zu TerraSAR-X nahezu baugleichen Satelliten TanDEM-X, der ab 2009 mit TerraSAR-X in einer engen Konstellation fliegen wird, soll ein globales digitales Höhenmodell aller Landmassen der Erde mit bislang unerreichter Genauigkeit und Qualität erstellt werden. Mit dieser anspruchsvollen Mission wird die erfolgreiche deutsche „Radarlinie“ konsequent fortgeführt.

„Herr der Daten“

Die Satelliten, insbesondere jene zur Erderkundung, senden täglich enorme Datenmengen vom Himmel. Um sie überhaupt nutzen zu können, müssen sie zu aussagekräftigen Bildern aufbereitet werden. Dann werden diese Daten sorgsam dokumentiert, gespeichert und den Nutzern zur Verfügung gestellt. Das DLR nimmt mit dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) in Oberpfaffenhofen hierbei national und im europäischen Rahmen eine hervorgehobene Position ein. Im Auftrag der ESA wurden im DFD beispielsweise die Daten der ERS-Radarsatelliten, des Klimasatelliten ENVISAT sowie der Shuttle-Radarmission prozessiert und archiviert. Vollautomatische Roboterarchive ermöglichen einen raschen Zugriff auf die wertvollen Messwerte. Außerdem stellt das DFD täglich Karten zur Meeresoberflächentemperatur und zur Ozondichte her. Sie stehen über das Internet zur Verfügung und sind auch in den Nachrichtensendungen des ZDF zu sehen.

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 der unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft in unserem Sonnensystem intensiv fortsetzen. Auch werden sie enorme Anstrengungen unternehmen, mit hochempfindlichen Weltraumteleskopen und Detektoren Planeten bei anderen Sternen zu finden 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 startete die NASA insgesamt zehn Mariner-Sonden zu unseren Nachbarplaneten Merkur, Venus und Mars, während die damalige Sowjetunion im selben Zeitraum sogar 14 Sonden zu Mars und Venus schickte.

Die erste Erkundung der äußeren Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun mit Raumschiffen blieb indes den Amerikanern mit ihren Pioneer- und Voyager-Sonden vorbehalten. Den vorerst glanzvollen Schlusspunkt dieser Fly-by-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 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 Mitte des kommenden Jahrzehnts 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 diesem Verbund spielen auch europäische und deutsche Forscher eine immer bedeutendere Rolle.

Eisfontänen und Staubschweife

Europas eigenständiger Eintritt in die interplanetare Raumfahrt begann am 2. Juli 1985 mit dem Start der Kometen-sonde Giotto, die in nur 600 Kilometern

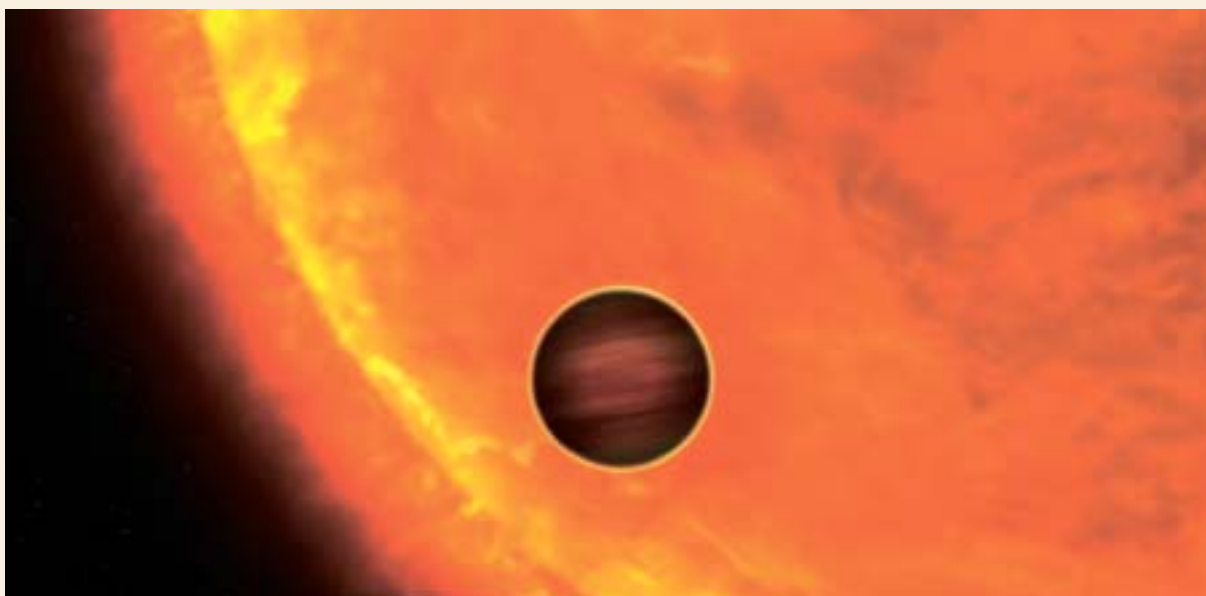
Entfernung am Kern des Halleyschen Kometen vorbeiflog. Nie zuvor hatten Forscher einen Kometen aus solch einer geringen Distanz gesehen.

Die Schweifsterne, von denen der Halleysche 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 Kometenatmosphäre 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 als lang gezogenen Kometenschweif von der Erde. Aber auch im Inneren erwärmt sich das Eis. Es wird gasförmig, dehnt sich aus und sprengt Löcher in die härtere, verkrustete Oberfläche. Aus diesen schießen Gas und Staub fontänenartig heraus und bilden den so genannten „Koma“, der 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 4,5 Milliarden Jahren gingen dabei verloren. Auf den kleinen Kometen gibt es so gut wie keine Erosion, geschweige denn Phänomene wie die 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 hat, soll sie den Himmelskörper ein Jahr lang umkreisen und detailliert untersuchen. Als Höhepunkt der Mission soll schließlich eine Landesonde auf der Oberfläche aufsetzen, um Bodenproben zu entnehmen und zu analysieren – ein einzigartiges Unternehmen.

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



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



Die ESA-Sonde Mars Express über den Tharsis-Vulkanen.

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 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 Leben 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 einen Mössbauer-Spektrometer und einen Alphateilchen-Röntgenspektrometer, beide gebaut von Experten des Max-Planck-Institutes für Chemie beziehungsweise der Johannes-Gutenberg-



Der Eieruhr-Marsgletscher.

Universität in Mainz. Diese Instrumente kamen auch auf Spirit und Opportunity zum Einsatz. Die beiden Exploration-Rover der NASA wurden 2004 nacheinander mit Fallschirm und Airbag sicher auf der Marsoberfläche abgesetzt. Selbst nach über drei Jahren – viel länger als ursprünglich geplant – sind beide noch im Einsatz und übermitteln wertvolle Daten zur Erde. In gut einem Jahrzehnt hoffen die Planetenforscher, erstmals Gestein vom Mars zur Erde bringen zu können.

Der europäische Mars Express wurde am 2. Juni 2003 vom russischen Weltraumbahnhof Baikonur in Kasachstan gestartet. Die Sonde, bestehend aus einem Orbiter und einem Lander, erreichte nach sechsmonatigem Flug im Dezember 2003 den Mars. Der Orbiter kartiert aus der Umlaufbahn die Planetenober-

fläche 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 Spezialekamera 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.



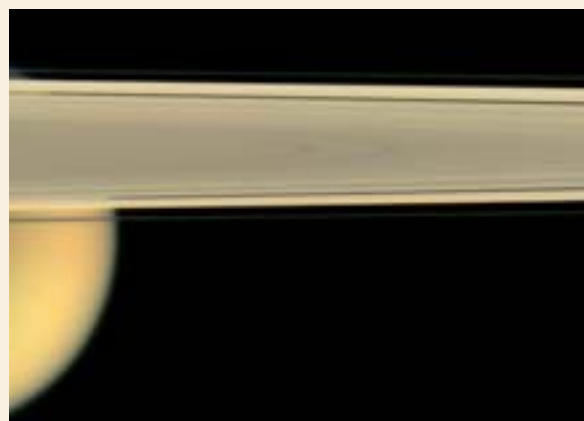
Schneefelder auf der Oberfläche des Roten Planeten, aufgenommen von der deutschen HRSC-Kamera.

Verborgene Methan-Meere

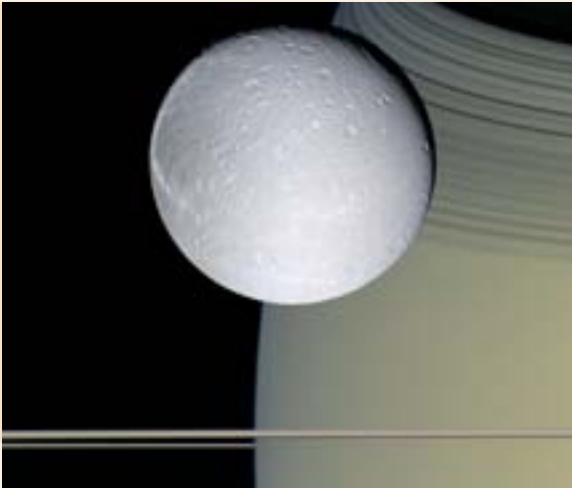
Nicht weniger ambitioniert ist das Ziel des Sondenpaars **Cassini/Huygens**, das im Oktober 1997 in Richtung Saturn startete. Es ist ein amerikanisch-europäisches Gemeinschaftsprojekt, in dem die Landesonde **Huygens** unter europäischer Leitung geplant und gebaut worden ist. Anfang Juli 2004 erreichte das Tandem Saturn nach einer fast siebenjährigen Reise. Während Cassini ihn umkreiste, 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. Mit Hilfe 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 während der kommenden Missionsjahre klären soll.

Deutschland ist an diesem größten aktuellen 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 Mainz geleitet.



Die Ringe des Saturnmondes Titan.



Saturnmond Dione.

Die Erde im Sonnensturm

Die Sonne ist die Quelle fast allen irdischen Lebens. Ihr Licht bewirkt bei den Pflanzen die Photosynthese 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 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 Strom- und Spannungsversorgung großer Landesteile zusammenbrechen.

Ferner wird darüber spekuliert, ob langfristige Schwankungen der Sonnenleuchtkraft 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. 1990 machte sich die Forschungssonde **Ulysses** auf 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. Ulysses soll noch bis mindestens 2008 im Einsatz bleiben.

Eine weitere Sonde im Sonnenforschungsprogramm ist **SOHO**, das US-europäische Solar and Heliospheric Observatory. Das 1995 gestartete Observatorium umkreist die Sonne 1,5 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



Eine Supernova, aufgenommen vom europäischen Röntgenobservatorium XMM-Newton.

schier unerschöpfliche Fundgrube für die Astronomen. 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, Ver-

änderungen im Erdmagnetfeld räumlich zu erforschen. Bereits bei den ersten Messungen Ende 2000 konnten die Forscher mit Hilfe der Cluster-Satelliten verfolgen, wie eine starke Teilchenbrise das Erdmagnetfeld kräftig durchrüttelte.

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 Welt- raum, werden diese Wellenlängenbereiche uneingeschränkt zugänglich. Wie erfolgreich dies sein kann, demonstriert das **Weltraumteleskop Hubble** seit mehr als fünfzehn Jahren. Die langwellige Infrarot- oder Wärmestrahlung hat die Eigenschaft, dass sie dichte Staubwolken durchdringt. Das eröffnet den Astronomen ungeahnte Einblicke in das frühe Entwicklungsstadium der Sterne. Unter bestimmten 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 entstanden.

1995 startete die ESA ihr **Infrarotobservatorium ISO**. Mit diesem überaus erfolgreichen Teleskop ließen sich in zahlreichen interstellaren Wolken regelrechte „Nester“ entstehender Sterne beobachten. Der Nachfolgesatellit **Herschel** ist bereits im Bau. Er ist nach dem deutsch-britischen Astronomen und Uranus-Entdecker Sir Friedrich **Herschel** benannt, der um 1800 die Infrarotstrahlung erkannte. Es handelt sich um ein 3,5-Meter-Teleskop, das im Juli 2008 ins All geschossen werden soll. Nach dem Start wird das Observatorium 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt in einem Punkt platziert, an dem sich die Anziehungskräfte von Erde und Sonne aufheben. Dieser Ort ist besonders geeignet, da dort die Störungen durch die Infrarotstrahlung der Sonne und der Erde minimal sind. Man erwartet von **Herschel** eine Fülle neuer Entdeckungen über die Bildung von Ga-

laxien, über die Entstehung von Sternen aus Molekül- wolken 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 von Gas oder Körpern ausgesandt wird, die mindestens eine Million Grad heiß sind. Solche extremen Bedingungen finden sich zum Beispiel in den Explosionshüllen massereicher Sterne, in den so genannten Supernovaüberresten. Die Röntgenastronomie hat sich erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts entwickelt, seit es 1949 mit 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 Multi Mirror) 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. **Newton** hat bereits eine Fülle von Aufnahmen aus dem „heißen“ Universum geliefert. Die Astronomen schätzen, dass sie mit den in Friedrichshafen gebau- ten Präzisionsinstrumenten noch über eine Million unbekannte Röntgenquellen entdecken werden. **XMM-Newton** legt damit den Grundstein für die Röntgenastronomie des 21. Jahrhunderts.

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 aufwendigste 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 Computern gar 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 drei Millionen Menschen, deren PCs insgesamt bereits an die 600.000 Rechenjahre geleistet haben. Signale von Außerirdischen wurden bislang nicht gefunden.

Ob es außerirdisches Leben gibt, weiß niemand. Viele Astronomen hoffen aber darauf, zumal sie 1995 erstmals einen Planeten außerhalb des Sonnensystems nachweisen konnten, der ebenfalls um einen Stern kreist. Mittlerweile ist deren Zahl auf bald 250 angestiegen. Es gibt Pläne für Weltraumteleskope, mit denen in zehn bis zwanzig Jahren die direkte Beobachtung möglich sein soll. Fundamentale Fortschritte bei der Suche nach Exoplaneten werden von

der französischen Mission **CoRoT** (Convection Rotation and planetary Transits) erwartet, 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 um ein Vielfaches größer sind als die Erde. Diese Planeten wären eine bisher völlig unbekannte Klasse von Welten, deren Existenz Astronomen bisher nur theoretisch berechnen konnten.

Aus astronomischer Sicht ist es durchaus 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 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 die Entdeckung, dass es unter der geschlossenen Eis-

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.

decke 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?

Der tiefste Blick ins Universum

Ende 1995 benutzten Astronomen das Weltraumteleskop Hubble 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 den bis heute tiefsten Blick 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 entferntesten 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.

Das Labor über den Wolken



ISS mit ATV. Eine wesentliche Aufgabe des modular aufgebauten ATV ist, in regelmäßigen Abständen die Raumstation in ihre ursprüngliche Bahn anzuheben.

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 Weltraumstation, kurz ISS, hinein. Zu diesem Zeitpunkt bestand die ISS aus drei Arbeits- und Wohnmodulen. Im Februar 2001 brachte die US-Raumfähre Atlantis das amerikanische Labormodul Destiny zum Ausbau der ISS in die Erdumlaufbahn. Bis 2010 werden knapp 50 Raketen- und Shuttlestarts nötig sein, um weitere Komponenten und Versorgungsgüter in die Umlaufbahn zu transportieren, wo sie von Astronauten und Kosmonauten zusammengebaut werden.

Im Endausbau wird die Raumstation über fünf Labormodule und zwei Versorgungsmodule verfügen, die über drei Verbindungselemente miteinander gekoppelt sind. Das Volumen von 1200 Kubikmetern entspricht dem von zwei Jumbojets. Damit ist die Station fünfmal so groß wie die sowjetisch-russische Raumstation „Mir“. Ab 2009 sollen sechs Astronauten gleichzeitig in der ISS leben und in der Schwerelosigkeit experimentieren, während sie in einer Höhe von etwa 400 Kilometern alle 90 Minuten einmal die Erde umkreisen. Insgesamt 33 Laborschränke werden für die Wissenschaftsastronauten zur Verfügung stehen. Die Solarelemente mit einer Fläche von rund 2.500 Quadratmetern sollen eine Leistung von 110 Kilowatt liefern, wovon 45 Kilowatt allein für die Experimente zur Verfügung stehen.

Der deutsche Astronaut Thomas Reiter verbrachte im Rahmen der ASTROLAB-Mission 171 Tage im Weltraum – mehr 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 bemannten Raumfahrt sowie in der Forschung unter Welt-raumbedingungen demonstriert.

Mit drei erfolgreichen Shuttleflügen im Jahr 2006 haben die USA die Weichen für die Fertigstellung der ISS bis 2010 gestellt. Für Europa steht aktuell der Start des COLUMBUS-Forschungsmoduls und des zweiten Verbindungsknotens „Paolo Nespoli“ an der Spitze der Tagesordnung. Mit Hans Schlegel wird auch bei diesen Missionen wieder ein deutscher ESA-Astronaut mit an Bord sein. Wenn COLUMBUS – voraussichtlich Ende 2007 – an der ISS angedockt hat, werden die Europäer die Raumstation intensiver nutzen können als bisher. Im Inneren dieses Hightech-Labors werden fünf europäische Forschungsanlagen für physiologische, biologische, materialwissenschaftliche und physikalische Versuche zur Verfügung stehen. Gebaut wurde die acht Meter lange Röhre beim europäischen Raumfahrtkonzern EADS Space Transportation in Bremen.



Ariane-Rakete mit ATV.

Die durch das Shuttleprogramm bedingte mehrmalige Verschiebung des COLUMBUS-Starts bedeutet allerdings nicht, dass Forscher aus Europa bislang auf die Durchführung eigener Experimente in Schwerelosigkeit verzichten mussten: 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 Experimente zur Grundlagenforschung und kommerziellen Nutzung aus Deutschland. Es handelt sich um das Plasmakristall-Experiment von Physikern des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik und der Russi-

schen Akademie der Wissenschaften sowie um das Projekt „Global Transmission Services“ (GTS) von DaimlerChrysler und dem Uhrenhersteller Fortis. In der GTS-Erprobungsphase auf der ISS werden vor allem zwei Anwendungen getestet: Erstens die weltweite Synchronisation von Funkuhren, die jeweils mit der korrekten Lokalzeit versorgt werden, und zweitens ein globaler Diebstahlschutz für z. B. Kraftfahrzeuge.

Beim Plasmakristall-Experiment wird ein ionisiertes Gas untersucht, das mit Mikropartikeln angereichert ist. Unter Schwerelosigkeit lassen sich auf diese Weise modellhaft fundamentale Fragestellungen aus der Festkörper-, Fluid- und Plasmaphysik bearbeiten.

Experimente im All für das Leben auf der Erde

Was ist nun das Besondere der Forschung auf der ISS? Auf der Erde ist die Schwerkraft allgegenwärtig und beeinflusst – offensichtlich oder auch nicht unmittelbar erkennbar – alle physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse. Auch die Evolution einschließlich die des Menschen ist durch die Schwerkraft maßgeblich bestimmt worden. Von daher gibt es viele Fragen in Physik, Materialforschung, Biologie und Humanphysiologie, zu deren Beantwortung man den Faktor Schwerkraft verändern oder ausschließen möchte. Fragen nach der Entstehung, Ausbreitung und Zukunft des Lebens gehören ebenso dazu wie die nach den Mechanismen der Wahrnehmung und Verarbeitung von Schwerkraft durch Organismen oder nach bestimmten fluidphysikalischen Grundlagen.

Die wissenschaftlichen Versuche im Innern der Station und auf den äußeren Plattformen dienen aber nicht nur der Grundlagenforschung, sondern sind auch für Anwendungen auf der Erde von Bedeutung. Zwei Beispiele, eines aus den Materialwissenschaften, ein zweites aus der Medizin sollen dies verdeutlichen: In den Labors auf der Erde herrscht die irdische Schwerkraft. Diese bewirkt, dass sich bestimmte Eigenschaften der Materie nicht exakt untersuchen lassen. Neue technische Anwendungen verlangen heute den Einsatz ganz spezieller Legierungen, wobei bei deren Herstellung die Erstarrungsphase eine kritische Größe darstellt: Wie verändert sich hierbei

beispielsweise die atomare Struktur im Inneren eines Materials, und welche physikalischen Eigenschaften ergeben sich daraus? Durch den Ausschluss von störender Schwerkraft lassen sich die kritischen physikalischen Größen zur Erstarrung bestimmen. Das DLR hat eine eigens hierfür konstruierte Anlage, „Tempus“ genannt, bereits bei zwei Spacelab-Missionen erfolgreich eingesetzt. Mit der nächsten Generation dieser Anlage, EML (Elektromagnetischer Levitator) genannt, soll diese Forschung künftig auf der ISS über einen längeren Zeitraum fortgesetzt werden.

Auch die medizinische Forschung auf der ISS kommt dem Menschen auf der Erde zugute. Die physiologischen Veränderungen, die Astronauten in Schwerelosigkeit in wenigen Tagen oder Wochen erfahren, ähneln nämlich dem Alterungsprozess des

Astronauten, sondern fließt ein in die Diagnostik und Therapie des kranken oder alternden Menschen. Ein aktuelles Beispiel ist die Untersuchung des Knochenabbaus in der Schwerelosigkeit. Bei langen Weltraumaufenthalten verlieren Knochen das Mineral Calcit – ein Vorgang, welcher der Osteoporose auf der Erde gleicht. Der Verlust des Calciums wird nach Rückkehr des Astronauten zur Erde langsam wieder kompensiert. Mediziner sind sehr daran interessiert, die Gründe und Mechanismen für den Knochen-schwund und den Wiederaufbau zu finden, weil dies dabei helfen könnte, die Ursache für Osteoporose besser zu verstehen und damit der Krankheit wirksamer begegnen zu können.

Die Raumstation soll sich zukünftig auch zu einer Großforschungseinrichtung für die Industrie ent-



So, wie auf dieser Grafik dargestellt, werden europäische Forscher in naher Zukunft die ISS als Labor nutzen können.

Menschen auf der Erde. Muskeln und Knochen werden abgebaut, es kommt zu Problemen beim Kreislauf, beim Immun- und beim Gleichgewichtssystem. Zum Glück sind diese Veränderungen beim Astronauten reversibel, werden also nach seiner Rückkehr zur Erde wieder behoben. So können an einem gesunden Menschen Vorgänge des Alterns untersucht und entsprechende Gegenmaßnahmen entwickelt werden, die seine Gesundheit und Leistungsfähigkeit erhalten helfen. Dieses Wissen dient nicht nur dem

wickeln. Ziel ist es, langfristig bis zu einem Drittel 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. Im Ruhrgebiet ist das ISS Lab Ruhr entstanden, als Anlaufstelle für alle wirtschaftlich orientierten Interessenten, die im



Thomas Reiter in der ISS während der ASTROLAB-Mission 2006.

„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) mit Hilfe moderner nicht-invasiver Messverfahren erfasst. Ausgeführt wurden die Experimente vom deutschen Astronauten Thomas Reiter. Basierend auf den gewonnenen Daten erwartet das Konsortium nach der wissenschaftlichen Auswertung generelle Rückschlüsse auf Alterungsprozesse der Haut.

COLUMBUS-Modul oder den anderen Laborelementen der ISS experimentieren wollen. Auf DLR-Seite steht das MUSC (Microgravity User Support Center) als Nutzerunterstützungszentrum zur Verfügung. Das Interesse der Industrie wächst. Klar ist aber, dass die ISS weder kurz- noch mittelfristig eine „verlängerte Werkbank im All“ sein wird. Die Versuche in der Schwerelosigkeit sollen dazu dienen, Erfahrungen im All zu sammeln und bei Fertigungstechniken und Produktionen auf der Erde in großem Maßstab umzusetzen – Know-how-Transfer vom Weltraum zur Erde.

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 ab Anfang 2008 ihren Nachschub mit einem eigenen Fahrzeug zur Station. Das erste Automatische Transferfahrzeug (ATV) mit Namen „Jules Verne“ wird mit der Ariane 5 zur ISS starten. Das circa zehn Meter lange ATV wird die erforderlichen Rendezvous- und Andockmanöver mit der Raumstation autonom durchführen.

Mit jedem Ariane-Flug kann das ATV bis zu 7,5 Tonnen Fracht, Gase, Wasser und Treibstoff zur ISS transportieren. Je nach Bedarf kann die Zusammenstellung der Nutzlast von Mission zu Mission variieren. Sobald das ATV an den russischen Stationsteil andockt, dient es – genau wie die russische Progress-Kapsel – zu Bahnkorrekturen der ISS in Intervallen von zehn bis 45 Tagen. Bei der Abkoppe-



lung von der ISS übernimmt das ATV die Aufgabe der Müllabfuhr. Das ATV kann mehr als sechs Tonnen Abfälle von der ISS aufnehmen, die dann 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 ganz ausschließen. Für den Fall, dass die Besatzung rasch evakuiert werden muss, ist ständig eine Sojus-Kapsel angedockt. Diese steht einer Besatzung von maximal drei Personen zur Verfügung. Zukünftige Szenarien für eine schnelle Rückkehrmöglichkeit größerer Crews erarbeiten die Fachleute der beteiligten Raumfahrtnationen.

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 2007 mit 5,2 Milliarden Euro an den Entwicklungs- und Betriebskosten, entsprechend etwa sechs Prozent der Gesamtkosten. Deutschland übernimmt gut 40 Prozent des europäischen Anteils. Das sind rund zwei Milliarden Euro oder zwei Euro pro Bundesbürger im Jahr.

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 der DLR Raumfahrt-Agentur auf. Auf der ISS-Langzeitmission von Thomas Reiter wurde ein vom öffentlich-rechtlichen Fernsehen 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 beteiligten 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.

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.

Weltraumlogistik – Die Verbindung ins All



Nachtstart am europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch Guayana.

Der Start einer Trägerrakete in den Weltraum hat auch nach einem halben Jahrhundert Raumfahrt nichts von seiner ursprünglichen Faszination eingebüßt: Ein filigranes Zusammenspiel fortschrittlicher Hochleistungsantriebe und moderner Steuerungselektronik erlaubt es heute, tonnenschwere Nutzlasten immer präziser im All zu positionieren. Damit die Verbindung ins All aufrechterhalten werden kann, ist aber nicht nur ein zuverlässiges Raumtransportsystem, sondern auch eine weitverzweigte 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 oder ein Forschungssatellit 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, sodass für die Bevölkerung keine Gefahr besteht. Anders als das Kennedy Space Center liegen die Startzentren in Russland und China weitab von bewohnten Gebieten. Das legendäre Kosmodrom „Baikonur“, auf dem vor rund 50 Jahren am 4. Oktober 1957 mit dem Start des Sputnik das Raumfahrtzeitalter begann, befindet sich mitten in der kasachischen Steppenlandschaft, mehr als 2.000 Kilometer südöstlich von Moskau. Wenn von dort Kosmonauten zur ISS aufbrechen, wird das Kosmodrom zur internationalen Drehscheibe, denn neben dem amerikanischen Space Shuttle, das vor der Ausmusterung steht, erlauben einzig die in Baikonur startenden russischen Sojus-Kapseln den Astronauten einen Zugang zur ISS.

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 Start-

zentrums 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 fast 200 orbitale Starts stattgefunden. Die zunehmende Europäisierung auf dem Startzentrum führte auch schnell dazu, dass sich die deutschen Raumfahrtfirmen vor Ort ansiedelten. Deutsche Ingenieure sind seither vor

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 und ökonomisch sinnvollen Weg des Satelliten-Doppelstarts 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



Das deutsche Raumfahrt-Kontrollzentrum des DLR in Oberpfaffenhofen.

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. Dieser Erfolg legte den Grundstein zu einer heute sehr renommierten europäischen Trägerfamilie. Mit Ariane 4 gelang es der europäischen Raumfahrt seit Anfang der 1990er Jahre, die Führung auf dem Sektor des kommerziellen Weltmarktes für Startdienstleistungen zu übernehmen.

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. Auch das unbemannte europäische Versorgungsmodul – „Automated Transfer Vehicle“, ATV – für die Internationale Raumstation kann mit Hilfe der Ariane gestartet werden. Mit den ATV-Flügen soll für mehrere Jahre die Versorgung der Raumstation sichergestellt werden.

Die Betreibergesellschaft der Ariane, Arianespace, generiert mit der Vermarktung und dem Verkauf der Trägerraketen jährlich einen Umsatz von über einer Milliarde Euro. Deutschland beteiligt sich in erheblichem Maße an der Produktion der Ariane-Trägerraketen. Neben den beiden Raumfahrtkonzernen EADS Astrium und OHB-Tochter MT Aerospace beteiligen sich in Deutschland rund 150 kleine und mittelständische Unternehmen an der Entwicklung und Produktion der Ariane 5. Am DLR-Standort Lampoldshausen werden die Raketentriebwerke der Ariane-Träger entwickelt und geprüft. Die Konsolidierung und Weiterentwicklung der europäischen Trägersysteme unterstützt das BMWi jährlich mit rund 100 Millionen Euro im Rahmen der entsprechenden Programme. Damit ist Deutschland der nach Frankreich größte Partner im Ariane-Programm.

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 internationalen Partnern attraktive Vorteile boten. Insbesondere im Bereich der Trägerraketen wurden ab Mitte der 1990er Jahre im Westen enge Verbindungen nach Russland geknüpft, um gemeinsam das umfassende Know-how der ehemaligen sowjetischen Designbüros zu nutzen. So gründete 1996 der französische Teil des europäischen Luft- und Raumfahrtunternehmens EADS und die Ariane-Betreibergesellschaft Arianespace mit dem „Space Center Samara“ und der russischen Weltraumagentur das Joint Venture „Starsem“. Gemeinsam betreibt dieses Unternehmen seither die legendäre Sojus-Rakete, mit der bedeutende Satellitenmissionen der ESA gestartet wurden (Cluster, Mars Express, Galileo). Daneben gründete der deutsche EADS-Teil gemeinsam mit Khrunichev das Joint Venture „Eurokot“ zur Vermarktung des kleineren Rockot-Trägers vom nordrussischen Kosmodrom Plesetsk.

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 sind die Vorbereitungen dafür im Gange – ein Erst-

start der Sojus aus Kourou ist für 2009 geplant. Auf dem europäischen Startgelände in Kourou wird weiterhin eine Startbasis für den neuen europäischen Kleinträger Vega vorbereitet. Die italienisch geführte Vega soll in Zukunft hauptsächlich zum Start kleinerer Erdbeobachtungs- und Forschungssatelliten eingesetzt werden.

Der Sprung zum Mond

Die NASA befindet sich derzeit in der Entwicklung eines bemannten Raumtransportsystems der nächsten Generation. Dieses soll nach der geplanten Einstellung des Shuttle-Betriebs nach 2010 Astronauten zur ISS oder zum Mond transportieren. Dazu kehren die amerikanischen Raumfahrtplaner zur bewährten Raumkapsel zurück, deren Einsatz im Weltraum gegenüber dem geflügelten Space Shuttle wesentliche Vorteile hinsichtlich Effizienz und Sicherheit bietet. Auch in Russland und China, das seit der Mission „Shenzhou 5“ 2003 über einen eigenständigen bemannten Weltraumzugang verfügt, sind Raumkapseln im Einsatz. Aber für einen Flug zum Mond bedarf es darüber hinaus auch einer großen Frachtkapazität ins All, um die notwendige Infrastruktur für eine Landung auf unserem Nachbarn zu transportieren.

Hierbei erweist sich wiederum Europa als gefragter Partner. Die große Nutzlastkapazität der Ariane-Trägerraketen und die Erfahrungen aus der Entwicklung und dem Betrieb des ATV sind entscheidende Standortvorteile. Zudem entstehen auf den Reißbrettern der europäischen Raketeningenieure bereits die Pläne für eine weitere Verbesserung der Ariane-Trägerraketen. Mit einer flexiblen Oberstufe, angetrieben durch das höchst effiziente und bereits in der Vorentwicklung befindliche wiederzündbare VINCI-Oberstufentriebwerk, könnte sich die europäische Schwerlastrakete nicht nur langfristig die Spitzenposition im kommerziellen Raumtransportgeschäft sichern, sondern zudem in mögliche künftige weltweite Explorationsplanungen einbezogen 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 D-1 und D-2. 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 sollen von Oberpfaffenhofen aus gesteuert werden.

Startsequenz Ariane 5ECA

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 auf den Tanks der Oberstufe abgelassen („Passivierung“).
H0 +45m		Ende der Ariane-Mission

Relaisstationen im All



Das europäische zivile Navigationssystem Galileo wird in seiner endgültigen Ausbaustufe aus 30 Satelliten bestehen. Nach heutiger Planung soll es 2011 fertiggestellt sein und Europa von den amerikanischen bzw. russischen Systemen GPS und GLONASS unabhängig machen.

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 via Satellit in eine Hauptstation eingespeist. Die rund 20 Satelliten des großen europäischen Betreibers kommerzieller Satelliten, Eutelsat, senden heute auf 3.500 Kanälen Radio- und TV-Sendungen und versorgen 84 Millionen Satelliten- und Kabelanschlüsse. Über die Hälfte der Sendekapazität wird für Fernsehübertragungen benötigt. Aber schon über 20 Prozent werden für andere Bereiche mit hoher Datenrate, wie das Internet, genutzt. Unentbehrlich sind die Relaisstationen im Erdorbit auch für interkontinentale Telefongespräche in Gebieten, die nicht durch terrestrische Tiefseekabeln angeschlossen sind. Ein moderner Satellit der Intelsat-Serie beispielsweise kann über 70.000 Telefonate gleichzeitig übertragen. Satelliten spielen zunehmend auch in Bereichen eine Rolle, in denen viele Menschen es gar nicht vermuten. Beispielsweise werden einige Zeitungen und Magazine zentral produziert, aber lokal gedruckt. Die Inhalte gelangen dann per Satellit zu den Druckereien. Alle TV-Sender und Presseagenturen können nur deshalb Informationen aus den abgelegensten Winkeln der Erde in ihre Heimatstationen übertragen, weil es Satelliten gibt. Auch der Informationsaustausch zwischen Unternehmen beispielsweise per Videokonferenz nimmt

stetig zu. Neben ihrer Bedeutung für die „Global Information Infrastructure“ hat die Satellitenkommunikation auch in Krisensituationen wie z. B. Naturkatastrophen (Überschwemmungen, Tsunamis, Erdbeben), bei Friedenssicherungsmissionen und für die Wahrung der inneren Sicherheit eine zunehmend wichtigere logistische Funktion. Die Daten- und Kommunikationsanbindung ist in Situationen, wo keine terrestrische Infrastruktur besteht oder diese zerstört wurde, unverzichtbar. Hier ist eine funktionierende Kommunikation wichtiger denn je, um Hilfsmaßnahmen einleiten und durchführen zu können. Bei der Zerstörung von New Orleans durch einen Hurrikan 2005 nahm der Bedarf an Satellitenkommunikationsverbindungen in diesem Gebiet um 3.000 Prozent zu.

Mehrere hundert Satelliten im geostationären Orbit erfüllen derzeit weltweit diese Aufgaben. Jedes Jahr kommen neue hinzu. Der Bereich Telekommunikation ist mit Abstand der wirtschaftlich bedeutendste Zweig der Raumfahrtindustrie. Eutelsat machte im Geschäftsjahr 2005/2006 einen Umsatz von rund 800 Millionen Euro. Zählt man alle Komponenten dieses Marktes, wie Trägerraketen, Satelliten und Serviceeinrichtungen zusammen, kommt man weltweit auf einen dreistelligen Milliardenbetrag – mit einer jährlichen Steigerungsrate von 15 Prozent.

Galileo wird Verkehrslotse

Auf einem ganz anderen Sektor sind Satelliten ebenfalls auf dem Vormarsch: bei der 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



Precision Farming – eine der zahlreichen Einsatzmöglichkeiten des zukünftigen europäischen Navigationssystems Galileo.

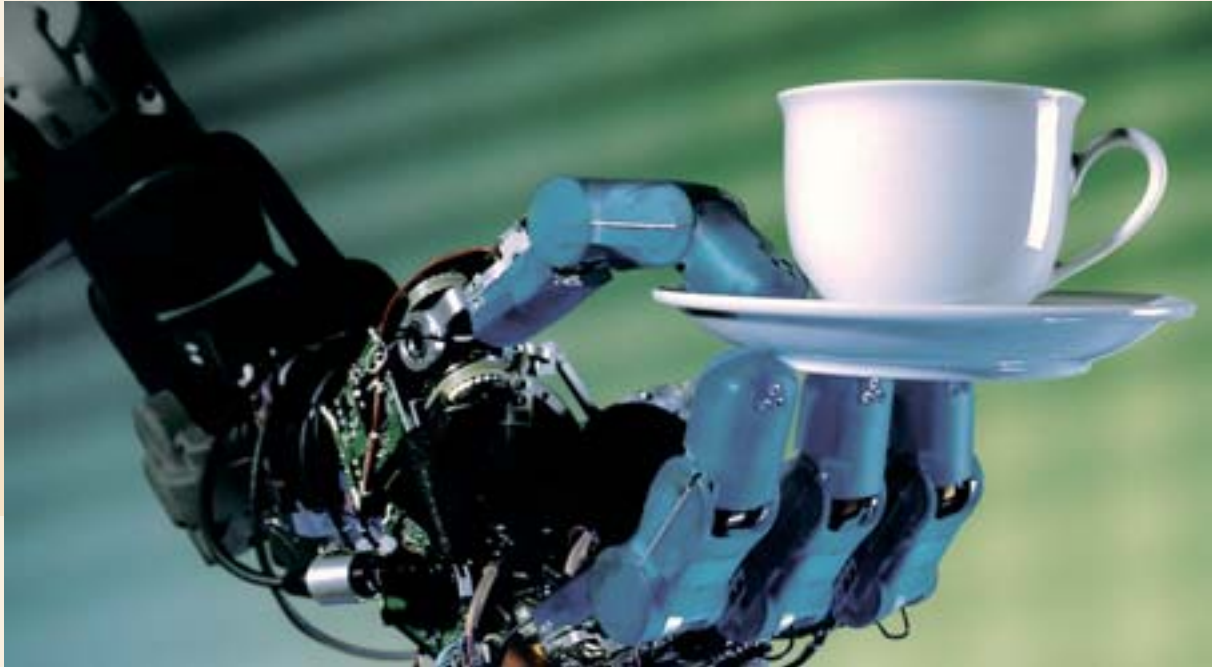
Signalen dessen Position am Boden im Idealfall bis auf Millimeter genau bestimmen.

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 jedoch militärische Netze und können im Krisenfall abgeschaltet oder unbrauchbar gemacht werden, weil sie auch der Gegner nutzen kann.

Daher wird in Europa zurzeit ein eigenes, ziviles Navigationssystem entwickelt, das den Namen Galileo trägt. Nach heutiger Planung wird es in mehreren Phasen bis 2012 entstehen. In der Endstufe sollen 30 Satelliten die Erde umkreisen und am Boden eine genaue Standortbestimmung ermöglichen.

Die Kosten der Entwicklung und des Aufbaus von Galileo in Höhe von schätzungsweise 3,4 Milliarden Euro sollen von der öffentlichen Hand bereitgestellt werden. Fachleute sehen einen wachsenden kommerziellen Bedarf für Anwendungen voraus, der sich auf der Basis von zuverlässigen Navigationsdaten entwickelt. So benötigt die Luftfahrt garantierte Positionsinformationen. Zusammen mit genauen topografischen Karten werden dann beispielsweise Landungen in bergigen Regionen und bei schlechter Witterung sicherer. Darüber hinaus sind eine ganze Reihe weiterer Anwendungen denkbar – zum Beispiel die Überwachung von Fischereifloten und Gefahrguttransporten oder auch das Lotsen von Öltankern in gefährlichen Gewässern.

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 feinfühliges Bewegen. 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 sollen in der Erdumlaufbahn überleben können und vom Boden aus ärztlich überwacht werden. Unter den in Forschungslaboren zum Teil mit großem Aufwand gefundenen Lösungen sind viele, die sich auch im Alltag kommerziell einsetzen lassen. Die Frage ist nur: Wie kommt die Raumfahrtentwicklung zum Nutzer?

Bis vor einigen Jahren blieb dies eher dem Zufall überlassen. Raumfahrtanwendungen für den Alltag auf der Erde ergaben sich nebenbei. Heute setzt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Auftrag des BMWi alles daran, Produkte mittels Technologietransfer zielgerichtet dem kommerziellen Markt zugänglich zu machen. So wird der Spin Off – also die Nutzbarmachung von Raumfahrttechnologien für den „Erd-Alltag“ – zur Realität. Die ESA hat zu Beginn der 1990er Jahre in ihren Mitgliedstaaten entsprechende Programme initiiert. In Deutschland hat das DLR ein neuartiges Innovationsmodell entwickelt, das über den einfachen Technologietransfer hinausgeht. Es hat in mehreren seiner Institute

Innovationsstellen eingerichtet, die Firmengründungen unterstützen. Die Erfolge können sich sehen lassen.

Bremsbeläge, Feuermelder und Simulationsprogramme

In Deutschland wurde speziell ein neuer keramischer Verbundwerkstoff entwickelt, mit dem Hitzeschutzschilde für Raumgleiter hergestellt werden. Er ist hoch hitzebeständig, leichter als Aluminium und zeigt selbst bei starker Luftreibung nur einen geringen Abrieb. Wegen dieser Eigenschaften eignet er sich nicht nur für die Raumfahrt, sondern auch für alltägliche Anwendungen, z. B. als widerstandsfähiger Bremsbelag. Renommiertere Kraftfahrzeughersteller setzen diesen innovativen Werkstoff mittlerweile serienmäßig in hochwertigen Bremssystemen ein. Das Material ist so haltbar, dass die Scheibenbremse während der gesamten Lebensdauer eines Fahrzeugs nicht mehr ausgewechselt werden muss.

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



Spreebogen mit dem Bahnhof Friedrichstraße.

Software versehene Kamera, die Bilder vom Kometen Tschurjumow-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 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 Systeme installiert.

Eine am selben DLR-Institut entwickelte Stereokamera mit extrem hoher Auflösung befindet sich auf der europäischen Sonde Mars Express im Einsatz und liefert seit 2003 faszinierende dreidimensionale Bilder der Oberfläche unseres Nachbarplaneten. Bedarf an Stereobildern besteht aber auch für viele Gebiete auf der Erde. Sie ermöglichen es nämlich, Höhenkarten anzufertigen. Um die ursprüngliche Marskamera, die „High Resolution Stereo Camera“, in Flugzeugen einzusetzen, die nicht so ruhig wie eine Raumsonde fliegen, mussten die Experten sie noch etwas modifizieren. Aber schon seit 1997 kommt sie regelmäßig zum Einsatz. Aus ein bis zwei Kilometern Höhe lassen sich mit ihr Bilder mit bis zu zehn Zentimetern Auflösung anfertigen, d. h. man erkennt aus dieser Entfernung kleinste Erhebungen, wie etwa Straßenunebenheiten oder Bordsteinkanten. Für Stadtplaner bedeutet das z. B. einen genauen Überblick über Bebauungsgebiete, und für Versicherun-

gen, dass sie Risiken von Standorten oder schon entstandene Schäden besser abschätzen können. Telekommunikationsgesellschaften entscheiden mit Hilfe der Bilder über optimale Standorte für Sendemasten.

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 (siehe Kasten „Sichere Landung“).
- ▶ Lichtabsorbierende Beschichtungen aus Weltraumkameras verbessern die Eigenschaften von Endoskopen. Endoskope sind flexible Röhren mit einer Kamera und Licht an einem Ende, die z. B. bei medizinischen Einsätzen durch eine Öffnung im Körper des Menschen geführt werden. Der Arzt erhält ein Bild der inneren Organe – wie Speiseröhre, Magen und Dickdarm – und kann durch dieses Verfahren Krankheitsbilder wie Tumore, Geschwüre und erweiterte Blutgefäße erkennen. Durch die von der Raumfahrttechnologie übernommene Beschichtung der Endoskope wird die optische Qualität des Bildes und damit die Diagnosequalität erheblich erhöht.
- ▶ Die diamantähnliche Beschichtung der Kraftstoffpumpen des Space Shuttle wird auch zur Herstellung von Kunststofffolien eingesetzt. Bevor das neue Beschichtungsverfahren angewandt wurde, blieb aufgrund der Reibung der Kunststoff gelegentlich kleben, verkohlte im Laufe der Zeit, zerbröselte

und mischte sich unter die Kunststoffmasse, so dass sich in den fertigen Folien schwarze Partikel zeigten. Die Beschichtung mit einem Diamantfilm führte zu einer erheblichen Reduzierung dieser Rückstände und aufgrund der geringeren Reibung zusätzlich zu einer 15-prozentigen Produktionserhöhung.



Erprobung eines Systems zur Früh- und Ferndiagnose im DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin. Mittels derartiger Verfahren können Risikopersonen und ambulante Patienten künftig über beliebige Distanzen ärztlich betreut werden. Das Projekt ist ein Beispiel für die „irdische“ Anwendung der Raumfahrt-Medizin, die wiederum auf der Mission MIR' 97 mit zahlreichen Experimenten vertreten war.

Auch der Bereich der speziellen Raumfahrt-Software wird zunehmend für Anwendungen im Alltag interessant. So entwickelte das DLR zusammen mit MAN Technologie schon Ende der 1980er Jahre das Programm Simpack, eine Mehrkörpersimulationssoftware. Mit ihm wurde das Schwingungsverhalten des europäischen Columbus-Moduls der Internationalen Raumstation simuliert. Schnell fand die Soft-

ware dann aber auch Anwendung im Luftfahrtbereich, z. B. bei der Berechnung von durch Beschleunigung und Vibration hervorgerufenen auftretenden Kräften in Tragflächen. Heute konstruieren Fachleute mit dem Programm auch Züge und Kraftfahrzeuge. Seit 1996 wurde Simpack an insgesamt etwa 130 Firmen und Institute verkauft. Der Weg dieser Software vom Raumfahrtbereich in den Alltag steht exemplarisch für eine generelle Entwicklung, die das DLR seit einigen Jahren forciert. Es vermietet beispielsweise Räume auf dem Betriebsgelände, ermöglicht es den Firmen, gegen Entgelt die technische Infrastruktur zu nutzen oder berät Jungunternehmer bei der Finanzierung von Firmengründungen. Die Spezialisten können auf diese Weise ihre Erfahrungen aus der Raumfahrttechnik unmittelbar im kommerziellen Bereich einbringen. Das ist die wohl direkteste Form des Wissenstransfers und ein Beitrag des DLR zur Schaffung neuer hochwertiger Arbeitsplätze.

Das Modell hat sich bewährt und wird von der Helmholtz-Gemeinschaft sowie der Kreditanstalt für Wiederaufbau unterstützt. Bis Ende 2000 wurden auf diese Weise insgesamt etwa 40 Unternehmen gegründet, die meisten im Softwarebereich. Bedingt durch die rückläufige Wirtschaftsentwicklung zu Beginn des Jahrzehnts kam es zu einer vorübergehenden Stagnation der Neugründungen. Dank der anziehenden Konjunktur der letzten beiden Jahre befinden sich erneut zehn weitere Unternehmen in Vorbereitung oder wurden bereits neu gegründet. Einige Firmen kreieren dreidimensionale Simulations- oder CAD-Programme („Computer Aided Design“, Programme zur rechnerunterstützten Konstruktion), andere erstellen aus den Daten der Erderkundungssatelliten thematische Karten zum Beispiel für den

Sichere Landung

Was haben eine Raumfähre und ein Kartoffelchip gemeinsam? Beide müssen sicher landen, das Raumschiff auf der Erde und der Chip 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 als zuvor. Dies ist ein Beispiel für einen gelungenen Technologietransfer aus der Raumfahrt in die Wirtschaft.

Bergbau, die Landwirtschaft oder für Mobilfunkunternehmen.

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 umfunktioniert. 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. So wandelt sich Forschung für die Astronauten in Fortschritt für alle Menschen.

Wer bezahlt die Raumfahrt?

Raumfahrt in Deutschland ist integraler Bestandteil der „High-Tech-Strategie der Bundesregierung und wird von ihr finanziert. 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



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.

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 und METOP und zum Haushalt der Betreiberorganisation EUMETSAT sowie für den Aufbau des Satellitennavigationssystems Galileo.

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 größere Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten zur Verfolgung nationaler Interessen als das ESA-Programm.

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

Internet-Adressen

**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](http://www.esa.int/SPECIALS/Launchers_Europe_s_Spaceport/index.html)

Amerikanische Raumfahrtagentur NASA
<http://www.nasa.gov>

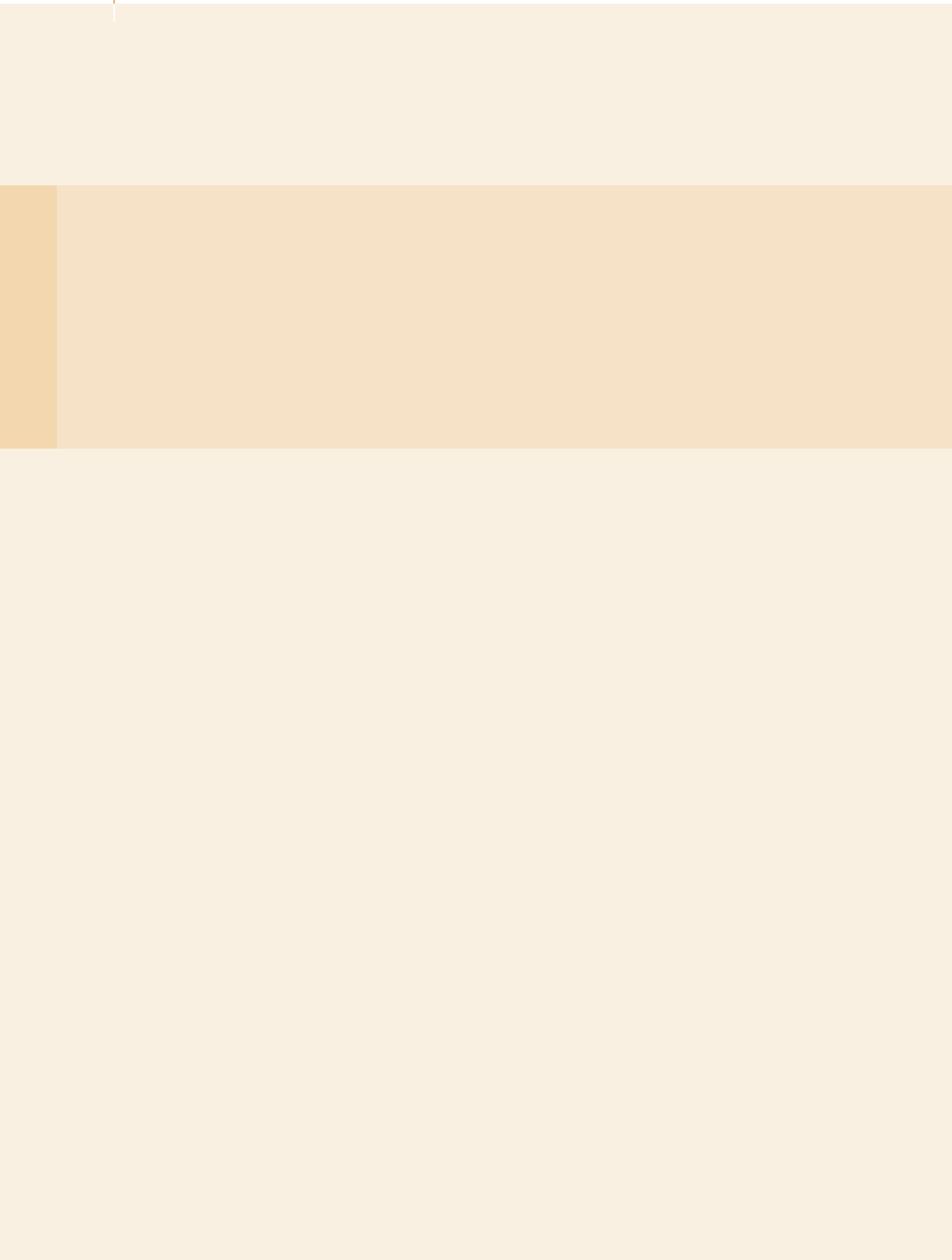
**Weltraumprojekte der Amerikanischen
Weltraumbehörde, NASA**
<http://spaceflight.nasa.gov>

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 Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder 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 der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.