



Deutschland auf der ISS *Germany on the ISS*



Die Internationale Raumstation *The International Space Station*

Das Nationale Raumfahrtprogramm	6
<i>Germany's National Space Programme</i>	
Größtes Forschungsprojekt aller Zeiten.....	7
<i>Greatest Research Project of all Time</i>	
Leben und Forschen im Weltall	9
<i>Life and Research in Space</i>	
Automated Transfer Vehicle	18
<i>Automated Transfer Vehicle</i>	
COLUMBUS	28
<i>COLUMBUS</i>	



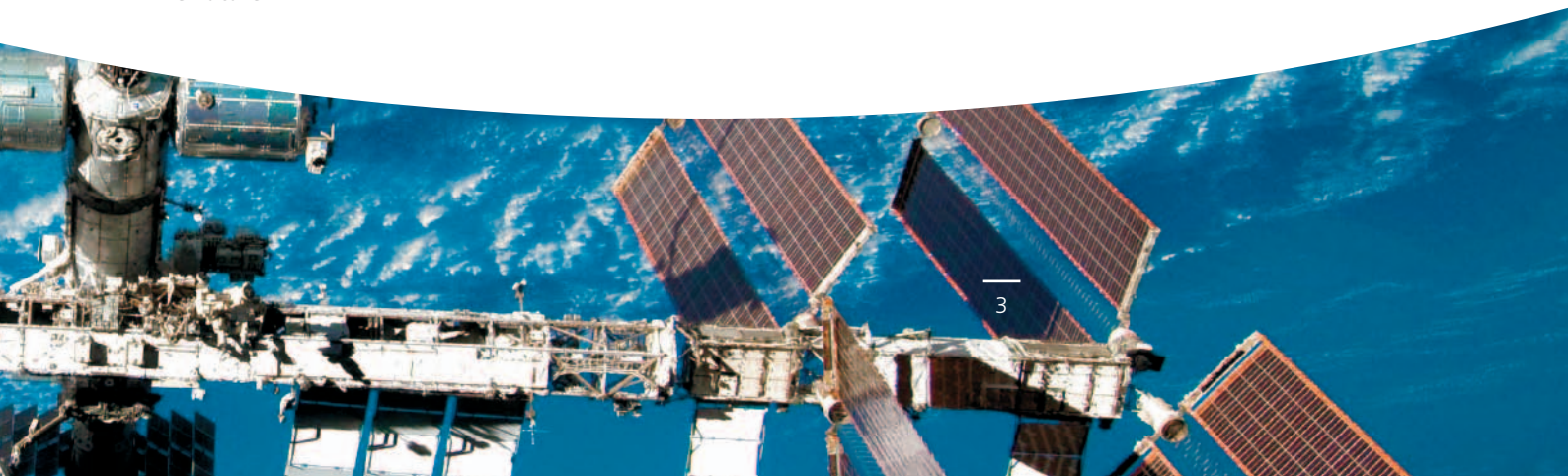
Deutsche Forschung auf der ISS *German Research on the ISS*

Forschung unter Weltraumbedingungen	36
<i>Research under Space Conditions</i>	
Experimente von 2001 bis 2010.....	38
<i>Experiments from 2001 till 2010</i>	
Experimente ab 2011.....	56
<i>Experiments from 2011</i>	
Industrieforschung.....	76
<i>Industrial Research</i>	
Schülerexperimente.....	79
<i>Students' Experiments</i>	



Die ISS im Zeitraffer *The ISS in Fast Motion*

Vergangenheit	82
<i>The Past</i>	
Zukunft.....	89
<i>The Future</i>	







DIE INTERNATIONALE RAUMSTATION

*THE INTERNATIONAL
SPACE STATION*



Das Nationale Raumfahrtprogramm *Germany's National Space Programme*

In seinem Programm „Forschung unter Weltraumbedingungen“ unterstützt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Biologen, Mediziner, Physiker und Materialwissenschaftler aus deutschen Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen, damit diese Experimente in der Schwerelosigkeit durchführen können. Dieses Programm ist verankert im Nationalen Raumfahrtprogramm der Bundesregierung; es wird im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) vom DLR Raumfahrtmanagement umgesetzt.

Speziell für den Einsatz im Weltraum notwendige Geräte werden im Auftrag des DLR von der Raumfahrtindustrie entwickelt; eine Quelle innovativer Technologien – auch für Anwendungen auf der Erde. Ergebnisse aus Weltraumexperimenten trugen beispielsweise dazu bei, Gussverfahren im Automobil- und Flugzeugbau zu verbessern und neue medizinische Geräte zu entwickeln. Auf vielfältige Weise bietet das DLR den Wissenschaftlern die entsprechenden Fluggelegenheiten, um den Einfluss der Schwerkraft in Experimenten auszuschalten.

Für automatisch ablaufende Versuche stehen

- der Fallturm in Bremen (fünf beziehungsweise neun Sekunden Schwerelosigkeit),
- die Forschungsraketen TEXUS (sechs Minuten) und MAXUS (zwölf Minuten),
- Forschungssatelliten wie die russischen FOTON- und BION-Kapseln (mehrere Wochen)

zur Verfügung.

Für Experimente, die den Menschen als Experimentator oder als Testperson benötigen, können Wissenschaftler

- Parabelflüge (bis zu 31 mal 22 Sekunden pro Flugtag)
- die ISS (mehrere Monate bis Jahre) als Fluggelegenheit nutzen.

In its "Research under Space Conditions"-programme, DLR (the German Aerospace Center) supports biologists, medical researchers, physicists and material scientists from German universities and other research facilities in pursuing their microgravity research. Embedded in the National Space Programme of the German Federal Government this programme is implemented by DLR Space Administration on behalf of the Federal Ministry of Economics and Technology.

Commissioned by DLR, the space industry develops equipment specially designed for use in space; a source of innovative technologies from which applications on Earth may benefit as well. Thus, for example, results obtained from space experiments helped to improve the methods by which castings for cars and aircraft are made, and to develop innovative medical equipment. Moreover, DLR provides scientists with opportunities to eliminate the influence of gravity in the experiments.

For automated experiments, the following are available:

- the Bremen drop tower (five to nine seconds of microgravity),
- the TEXUS (six minutes) and MAXUS (twelve minutes) research rockets, and
- research satellites like the Russian FOTON and BION capsules (several weeks).

To run experiments involving humans either as experimenters or as subjects, the two types of flight opportunities available to scientists are

- parabolic flights (up to 31 times 22 seconds per flight day) or
- the ISS (several months or years).

Größtes Forschungsprojekt aller Zeiten

Greatest Research Project of All Time

In circa 400 Kilometer Höhe zieht das größte internationale Technologieprojekt der Menschheitsgeschichte seine Bahnen: die Internationale Raumstation ISS. Sie ist ein fliegendes Labor mit exzellenten Möglichkeiten für Wissenschaft und industrielle Forschung. Die ersten Astronauten der „Experiment One“ bezogen die ISS am 2. November 2000. Im Februar 2001 dockte mit dem amerikanischen Bauteil DESTINY das erste Forschungsmodul an.

Der Zeitplan war zunächst recht straff: Bis 2004 sollten die meisten Module in die Station integriert sein. Doch der Unfall des amerikanischen Space Shuttle Columbia am 1. Februar 2003 stoppte den Ausbau für dreieinhalb Jahre. Ab Sommer 2006 wurde der Transport von Bauteilen wieder aufgenommen und die Raumstation kontinuierlich vergrößert. So konnten weitere Forschungslabore zur ISS gebracht werden – unter ihnen auch das europäische Modul COLUMBUS. Dessen Realisierung wurde von Deutschland maßgeblich vorangetrieben.

Die Internationale Raumstation ist ein weltweites Kooperationsprogramm der Vereinigten Staaten, Russlands, Kanadas, Japans und von zehn Mitgliedstaaten der europäischen Weltraumorganisation ESA (Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Italien, Niederlande, Norwegen, Schweden, Schweiz und Spanien). Europa, Japan, Russland und die USA leisten durch den Betrieb eigener Weltraumlabore einen erheblichen Beitrag zur internationalen Forschung im All. Insgesamt 14 Nationen entwickeln, betreiben und nutzen das Großforschungslabor gemeinsam: Das macht die ISS zu einem einzigartigen Symbol für die friedliche Nutzung des Orbits – zu einem „Außenposten“ der Menschheit im All.

400 kilometres up, the greatest international technology project in the history of mankind moves along its course: the International Space Station (ISS). A flying laboratory, it offers excellent opportunities to science and industrial research.

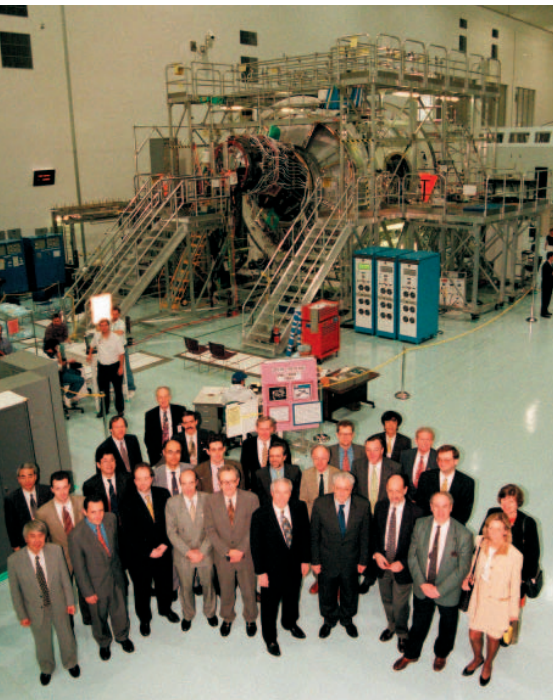
The first astronauts of “Experiment One” moved in the ISS on November 2, 2000. The American DESTINY module was the first research segment to dock on in February 2001. The schedule was quite tight at first: most of the station’s components were to be integrated by 2004. Yet, following America’s Columbia space shuttle disaster on February 1, 2003, building work was suspended for three and a half year. Since the summer of 2006, assembly flights have been resumed, and the space station has been enlarged continuously. Additional research laboratories were hauled up to the space station, including COLUMBUS, the European research lab. Germany played a pivotal role in its construction.

The International Space Station (ISS) is a worldwide cooperation programme involving the United States, Russia, Canada, Japan, and ten member states of the European Space Agency ESA (Belgium, Denmark, Germany, France, Italy, The Netherlands, Norway, Sweden, Switzerland, and Spain). Europe, Japan, Russia, and the USA now all operate their own space laboratories, thus contributing a great deal to international space-borne research. A total of 14 nations are jointly engaged in developing, operating, and exploiting this large research laboratory, making the ISS a unique symbol for peaceful use of the Earth’s orbit – an “outpost” of mankind in space.



Die Internationale Raumstation ISS: Das fliegende Labor bietet exzellente Möglichkeiten für Wissenschaft und industrielle Forschung

The International Space Station ISS: The flying laboratory offers excellent opportunities to science and industrial research



Das gemeinsame ISS-Programm beruht auf einem internationalen Vertrag – dem Regierungsabkommen über die Internationale Raumstation (International Space Station Intergovernmental Agreement, IGA), das von 14 Vertragspartnern (Bild) am 29. Januar 1998 unterzeichnet wurde. Dieses Abkommen bildet den Rahmen für die Entwicklung und die friedliche Nutzung der Raumstation.

The joint ISS programme is based on an international treaty, the International Space Station Intergovernmental Agreement (IGA), which was signed by 14 parties (picture) on January 29, 1998. This agreement provides the framework for developing as well as for the peaceful exploitation of the space station.

Verhandlungen über die Erweiterung der Nutzungsteilnehmer, die Verlängerung der Laufzeit, die Aufstockung der Stammbesatzung von drei auf sechs Astronauten im Jahr 2009 und die Integration der letzten Module wecken die Erwartung, dass weitere erfolgversprechende Projekte verwirklicht werden können. Um diese Ziele zu erreichen, regeln bilaterale Abkommen (Memoranda of Understanding, MoU) zwischen den Raumfahrtagenturen NASA (USA), ESA (Europa), CSA (Kanada), Roskosmos (Russland) und JAXA (Japan) Verantwortung, Rechte und Pflichten zwischen den Organisationen.

Die nationale Rechtsprechung der Partner bezieht sich auf alle Raumstationselemente und umfasst das Strafrecht, Haftungsrecht und den Schutz von immateriellem Eigentum. Ferner wurden die Nutzungsrechte festgelegt. Die europäische Weltraumbehörde ESA besitzt 8,3 Prozent Nutzungsrechte im „westlichen Teil“ der ISS (ohne russisches Segment) und 8,3 Prozent der Crewzeit. Als Gegenleistung für die Bereitstellung von Ressourcen für das COLUMBUS-Labor (zum Beispiel Kommunikation, Energie, Kühlung, Robotik) stellt die ESA der NASA 49 Prozent und der CSA zwei Prozent der Nutzlastplätze im Labor zur Verfügung.

Der Transfer von europäischen Geldmitteln an andere Partner wird durch den Austausch von Gütern und Dienstleistungen minimiert. Folgende Grundsätze dominieren die ISS-Kooperation aus europäischer Sicht:

- Unterstützung der europäischen Industrien,
- Vermeidung von nachteiligen Abhängigkeiten,
- Kostenkontrolle der vereinbarten Leistungen auf europäischer Seite durch die ESA,
- Förderung der Standardisierung und Vereinheitlichung von Raumfahrtgeräten.

Negotiations about opening up the station for use by new parties, the extension of its scheduled life, the increase of its regular crew from three to six astronauts in 2009, and the integration of the last modules are giving rise to expectations that further successful projects might become true. To attain these objectives, bilateral agreements, (memoranda of understanding, MoU) have been concluded between NASA and the participating space agencies, ESA (Europe), CSA (Canada), Roskosmos (Russia), and JAXA (Japan) to lay down the responsibilities, rights, and obligations of these organisations.

The national legislation will apply in all elements of the space station, including criminal and liability laws as well as those protecting intellectual property rights of the partners. User rights have been defined as well. The European Space Agency (ESA) holds 8.3 per cent of the commercial exploitation rights in the western part of the ISS (exclusive of the Russian segment) and 8.3 per cent of the crew time. In return for being able to use the station's resources for the COLUMBUS laboratory (e.g. communications, energy, air conditioning, robotics), ESA supplies 49 per cent of the payload space in the laboratory to NASA and 2 per cent to the Canadian Space Agency (CSA).

To reduce the transfer of funds from Europe to other partners, goods and services are exchanged. These are the principles that govern cooperation on the ISS:

- Supporting Europe's industries,
- Avoiding disadvantageous dependencies,
- Controlling the cost of agreed services on Europe's part,
- Promoting the standardisation of space equipment.

Leben und Forschen im Weltall

Life and Research in Space

Die Internationale Raumstation
The International Space Station

Lebenserhaltung

Damit menschliches Leben im All überhaupt möglich ist, sind moderne Technologien wie das ISS Environmental Control and Life Support System (ECLSS) notwendig. Es bestimmt und überwacht die Zusammensetzung der Kabinenluft und die Wasser-Rückgewinnung. Das ECLSS kontrolliert mit seinen Unterfunktionen des „Crew Health Care Systems“ auch die angemessene Reinheit dieser essenziellen Stoffe. Die Systeme sind in unterschiedlichen Entwicklungsgraden vorhanden, in verschiedenen ISS-Modulen untergebracht und lassen sich primär in zwei Funktionen unterteilen: die Aufbereitung der Kabinenluft über Kohlendioxidreduktion zur Sauerstoffherzeugung sowie die Aufbereitung von Brauchwasser zu Trinkwasser.

An einem geschlossenen System für COLUMBUS arbeitet die deutsche Industrie im Auftrag der ESA. Bei einem geschlossenen System wird unter anderem aus dem Kohlendioxid der Atemluft und einem Teil des Wasserstoffs aus dem Elektrolyseprozess wieder Wasser generiert. Wasser ist als Trinkwasser, zur Nahrungsaufbereitung oder für Hygienemaßnahmen das Schlüsselement zur Versorgung der Station. Dies gilt umso mehr, da ab 2012 die Shuttle-Transporte und damit die Möglichkeit, Wasser aus dem Brennstoffzellenbetrieb zu nutzen, wegfallen. Jährlich ist ein Wasserverbrauch von etwa 4,7 Tonnen durch Zufuhr von außen zu decken. Durch geschlossene Kreislaufsysteme können so Ressourcen eingespart werden.

Forschung

Forschung im Weltall macht Experimente möglich, die auf der Erde in dieser Qualität über einen längeren Zeitraum nicht durchführbar sind. Bis zu sechs Astronauten leben und arbeiten in den druckbeaufschlagten Modulen der ISS. Die externen Plattformen bieten Platz für Beobachtungs- und Messinstrumente,

Life Support

To safe human life in space, modern technologies like the ISS Environmental Control and Life Support System (ECLSS) are necessary. It determines and checks the ingredients of the cabin air and the water recovery. With its subfunctions, ECLSS controls the “Crew Health Care Systems”, e.g. the adequate cleanness of these essential substances. The degree of development of these systems, which are placed in different modules of the ISS, varies. The systems’ functions could be classified in preparation of the cabin air using the reduction of carbon dioxide to generate oxygen as well as the regeneration of process water to drinking water.

The German industry, on behalf of ESA, is developing a closed loop system for COLUMBUS. In a closed loop system, water is generated from the carbon dioxide in the air and a part of the hydrogen obtained by water electrolysis. In form of drinking water, rehydration of food and for hygienical matters, water is the key element of supplying the space station. In the case of the ending shuttle flights in 2012, the opportunity to use water from fuel cell operations turns out. In each year, a water consumption of circa 4.7 tons has to be covered by transport. Using closed loop systems, there will be a possibility to reduce resources.

Research

Research in space permits scientific experiments that are impossible to carry out on Earth in the same quality and over prolonged periods. Up to six astronauts live and work in several pressurised modules. External platforms offer space for observation and measuring instruments to test innovative technologies



NASA-Astronaut Clay Anderson bei Tests mit dem Luftpartikelsensor ANITA

NASA astronaut Clay Anderson running tests with the Analysing for Ambient Air (ANITA) device



um neue Technologien unter Weltraumbedingungen zu testen sowie wissenschaftliche Experimente durchzuführen. Qualität und Umfang von Infrastruktur und Ressourcen sind beispiellos in der Geschichte der Raumfahrt. Die ISS bietet:

- Kapazitäten für einen permanenten Aufenthalt des Menschen im All,
- Andockstellen für unterschiedliche Transportsysteme,
- Laborausrüstungen für wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung,
- nahezu permanente Kommunikationsmöglichkeiten mit Bodenstationen,
- Robotersysteme für Wissenschaft und Anwendung,
- Orbit, Bedingungen annähernder Schwerelosigkeit, Strahlung, Vakuum (gilt nur für Außenexperimente),
- dauernde Sicht auf Atmosphäre und Erde,
- Sicherungsmaßnahmen der Station vor äußeren Gefahren (zum Beispiel Weltraummüll).

Das russische Forschungsmodul „Multipurpose Laboratory Module“ (MLM) und der European Robotic Arm (ERA) sollen zusammen auf einer russischen Proton-Rakete im Jahr 2012 zur Raumstation starten und deren Infrastruktur vollenden. Alle beteiligten Raumfahrtnationen halten damit ihre internationalen Verpflichtungen ein. Der europäische Beitrag umfasst COLUMBUS, die international vereinbarten Elemente, Bodensegment und den europäischen Raumtransporter Automated Transfer Vehicle (ATV).

under space conditions. The quality and scope of the station's infrastructure and resources are unparalleled in the history of astronautics. The ISS supplies:

- *Capacities and resources to an ongoing human presence in space,*
- *Docking facilities for various transport systems,*
- *Laboratory equipment for scientific and commercial use,*
- *Nearly permanent communication with ground stations,*
- *Robotic systems for science and application,*
- *Orbital and microgravity (μg) conditions, radiation, vacuum (applies only to outboard experiments)*
- *A permanent view of Earth and its atmosphere,*
- *Opportunities to protect the station from external hazards (e.g. space junk).*

Together with a Russian Proton Rocket, the Russian "Multipurpose Laboratory Module" (MLM) research module and the European Robotic Arm (ERA) will take off for the space station in 2012 to complete its infrastructure, marking the point at which all participating space nations will have fulfilled their international obligations. Europe's contributions, consisting of COLUMBUS, the elements specified in the international agreement, the ground segment and the Automated Transfer Vehicle (ATV), have either been or are about to be completed.



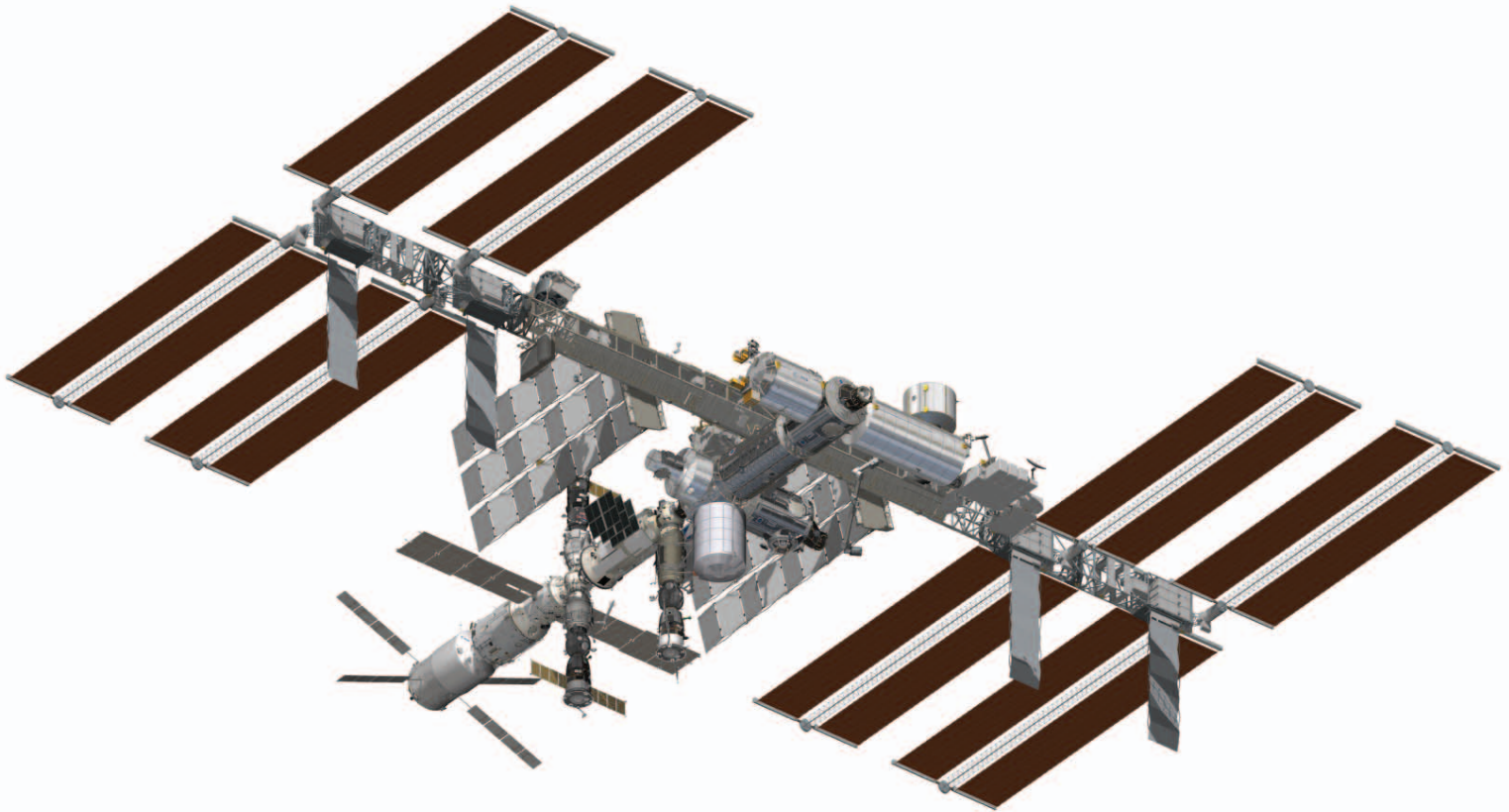
20. November 1998:
Start des ersten ISS-Moduls:
der Functional Cargo Block
(FGB) Sarja

*November 20, 1998:
launch of the first ISS
module: the Functional
Cargo Block (FGB) Zarya*



4. Dezember 1998:
Start des Verbindungs-
knotens Node 1 („Unity“)

*December 4, 1998:
launch of the connecting
port Node 1 ("Unity")*



Die Raumstation ISS nach der vollständigen Integration aller Bauteile

The ISS space station after the integration of all components



12. Juli 2000:
Start des Service- und Wohnmoduls Swesda

*July 12, 2000:
launch of the service and habitation module Zvezda*



11. Oktober 2000:
Start der Gitterstruktur Z1
und des Kopplungsadapters
PMA-3

*October 11, 2000:
launch of the truss Z1 and
the coupling adapter PMA-3*



Angedockte Space Shuttles oder Progressfrachter können die ISS anheben

Docked space shuttles or Progress freighters may raise the ISS

Flugmanöver

Durch Reibung – bedingt durch die Restatmosphäre und den solaren Strahlungsdruck – verliert die Internationale Raumstation kontinuierlich an Höhe. Ihre Bahnhöhe muss darum von Zeit zu Zeit über sogenannte „Reboost“-Manöver angehoben werden. Neben den routinemäßigen Bahnanpassungen muss die Station zunehmend herumfliegenden Trümmern – sogenanntem Weltraumschrott – ausweichen. Denn die steigende Nutzung des Weltraums hinterlässt Spuren. Rund 15.000 Objekte größer als zehn Zentimeter, Millionen kleinerer Teile und die erhöhte Anzahl von Satelliten steigern die Wahrscheinlichkeit einer sogenannten „conjunction“ mit gefährlichen Objekten innerhalb der Radarsichtweite, die die Struktur der ISS schädigen können. Um die ISS zu schützen, werden sogenannte „Collision Avoidance Manoeuvres“ (CAM) durch das europäische Transportmodul Automated Transfer Vehicle (ATV) und den russischen Frachter Progress durchgeführt.

Besteht Kollisionsgefahr, müssen die Astronauten die russischen Sojuskapseln aufsuchen. Alle Manöver werden rechtzeitig bekannt gegeben, um Ausfallzeiten für hochempfindliche Versuche zu vermeiden. Die Manöver werden stets so geplant, dass sie nicht mit laufenden Experimenten zusammenfallen, da sie die Qualität der Schwerelosigkeitsforschung beeinträchtigen würden. Viele der Experimente, wie zum Beispiel Strahlungsexperimente, sind von solchen Manövern unabhängig und laufen daher uneingeschränkt weiter. Boden- und satellitengestützte Messungen, die in die Planungsdaten des Kontrollsystems eingegeben werden, erlauben präzise Vorhersagen. Sie erleichtern den Betrieb und sichern die Erfolgsquote der Experimente.

Flight Manoeuvres

The drag of the residual atmosphere and solar radiation pressure cause the altitude of the International Space Station to decrease continuously, so that its orbit has to be raised by so-called “reboost” manoeuvres from time to time. Next to routine adjustment of the altitude, the station more and more often needs to evade scattered debris called space junk. The expanding utilisation of space is leaving traces. About 15,000 objects larger than ten centimetres, millions of smaller particles, and the increasingly dense satellite traffic enhance the probability of a so-called “conjunction”, when dangerous objects that might damage the structure of the ISS come within radar range. To save the ISS, so-called “Collision Avoidance Manoeuvres” (CAM) may be carried out by the European transport module Automated Transfer Vehicle (ATV) and the Russian Progress freighters.

In case of collision, the crew has to move to the Soyuz capsules. All such manoeuvres are announced in advance to avoid disrupting highly sensitive experiments. They are always scheduled so as not to coincide with ongoing experiments because the manoeuvre impairs the quality of microgravity. Many tests, such as those involving radiation, are independent of such manoeuvres and may therefore be continued without restriction. Ground- and satellite-based measurements are fed into the control centre data system to permit precise forecasts, facilitating operations and safeguarding the success of the experiments.

Logistics

The space station cannot operate without supplies, payload elements, and fuel. There are various means available to carry these into space: goods and new crew members may be transported by space shuttles and Soyuz capsules.

Versorgung

Ohne Versorgungsgüter, Nutzlastelemente und Treibstoff ist ein Betrieb der Raumstation nicht möglich. Verschiedene Fahrzeuge übernehmen den Transport ins All: Das Space Shuttle und die Sojuskapseln können Güter und neue Besatzungsmitglieder zur ISS bringen. Reine Frachttransporte werden vom europäischen Automated Transfer Vehicle (ATV), dem japanischen HTV und den russischen Progressfrachtern übernommen. Alle Versorgungsflüge sind Jahre im Voraus geplant.

Betrieb und Wartung

Für einen reibungslosen Ablauf sorgen Kontrollzentren, die von nationalen Raumfahrtagenturen oder Firmen betrieben werden. Eine Hauptaufgabe der Mission Control Center (MCC) ist das Missionsmanagement. Dieses fängt beim Raketenstart an und endet mit der Landung. Die Flugingenieure überwachen dazu die Telemetriedaten der einzelnen Systeme. Falls erforderlich, werden Kommandos zur Korrektur geschickt. Die Beobachtungen und Analysen der Telemetriedaten der Raumstation und die Berichte der Astronauten geben Aufschluss über den Zustand und die notwendigen Wartungsarbeiten. Bodenstationen sind das Verbindungselement zwischen ISS und Kontrollzentrum.

Freight-only missions are handled by the European Automated Transfer Vehicle (ATV), the Japanese HTV, and the Progress freighter. All supply flights are scheduled years ahead.

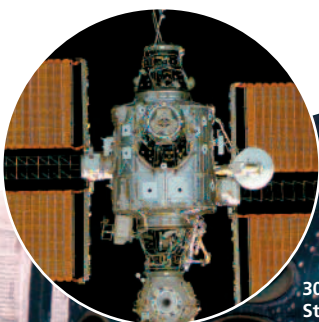
Operation and Maintenance

Control centres operated by national space agencies or large corporations ensure that everything runs smoothly. One of the key tasks of the Mission Control Centres (MCC) is the management of a mission. It starts with the take-off of a rocket and ends with its landing. Flight engineers monitor the telemetry data communicated by the various systems, transmitting correction commands whenever necessary. Control centres learn about the condition of the ISS and any maintenance activities that may be required by observing and analysing the station's telemetry data and the astronauts' reports. Ground stations provide the link between the ISS and the control centres.



Im Anflug: Russische Sojuskapseln bringen auch nach der Einstellung des US-Shuttleprogramms Astronauten zur ISS

Soyuz approaching: these capsules will be transporting astronauts to the ISS after the phase-out of the shuttle programme



30. November 2000:
Start des Solarsegments P6

*November 30, 2000:
launch of the solar segment P6*



7. Februar 2001:
Start des amerikanischen Labormoduls DESTINY

*February 7, 2001:
launch of the American laboratory module DESTINY*



19. April 2001:
Start des kanadischen Roboterarms CANADARM 2

*April 19, 2001:
launch of the Canadian robotic arm CANADARM 2*



COLUMBUS-Kontrollzentrum

Das Deutsche Raumfahrt-Kontrollzentrum (German Space Operations Center, GSOC) des DLR in Oberpfaffenhofen ist seit mehr als 35 Jahren für den Betrieb von Raumfahrzeugen verantwortlich. Die bemannten deutschen Missionen D1, D2 und der Shuttle Topography Mission (SRTM) mit dem Space Shuttle sowie Flüge deutscher Kosmonauten zur russischen MIR-Station und deren Experimente wurden vom GSOC aus betrieben.

Wegen der langjährigen Erfahrung hat die ESA im GSOC das COLUMBUS-Kontrollzentrum (Col-CC) für den Betrieb des europäischen Forschungsmoduls installiert.

Mit dem Ankoppeln von COLUMBUS übernahm das Col-CC im GSOC auch die Steuerung der Inbetriebnahme. Seitdem überwacht und lenkt ein Team von etwa 70 Mitarbeitern rund um die Uhr die Systeme, sichert und koordiniert das wissenschaftliche Programm.

Alle Aktivitäten und Experimente verlaufen nach einem genauen Zeitplan. Bei neuen Experimenten oder Problemen wie dem Ausfall einer Datenleitung oder Kühlung muss die Bodenkontrolle neue Prioritäten

The COLUMBUS Control Centre

Located in Oberpfaffenhofen (Germany) and operated by DLR, the German Space Operations Center (GSOC) has been responsible for spacecraft operations for more than 35 years. The GSOC controlled the crewed German missions D1, D2 and the Shuttle Topography Mission (SRTM) on American space shuttles as well as the flights of German astronauts to the Russian MIR station and the experiments conducted there.

Because of the long lasting experience, ESA installed the COLUMBUS Control Centre (Col-CC) in the GSOC to operate the European research module.

Due to the docking of COLUMBUS, the Col-CC in GSOC assumed control of the module and oversaw its commissioning. Since that time, a team of about 70 has been monitoring and controlling the laboratory's systems round the clock and safeguarding and coordinating its scientific programme.

All activities and experiments follow a precise schedule. In the event of any changes (e.g. new experiments) or problems (e.g. data link or cooling system failures), it is up to ground control to reschedule priorities and operations. This task is done in close coordination with European ISS User Support and Operations Centres. The COLUMBUS Control Centre receives system and experiment data, which it processes, distributes, and evaluates.

Das COLUMBUS-Kontrollzentrum wurde am 19. Oktober 2004 eröffnet und war beim Flug des italienischen ESA-Astronauten Roberto Vittori im April 2005 zur ISS erstmals an einer Mission beteiligt. Auch bei der Langzeitmission des deutschen ESA-Astronauten Thomas Reiter 2006 (Astrolab) übernahm das GSOC wichtige Aufgaben.

Opened on October 19, 2004, the COLUMBUS Control Centre was actively involved in a mission for the first time when the Italian ESA astronaut Roberto Vittori flew to the ISS in April 2005. The GSOC also handled important functions during the long-term mission of the German ESA astronaut Thomas Reiter in 2006 (Astrolab).

12. Juli 2001:
Start der Luftschleuse
QUEST Joint Airlock

July 12, 2001:
launch of QUEST Joint
Airlock



14. September 2001:
Start von Andockmodul und Luftschleuse
PIRS Docking Compartment 1

September 14, 2001:
launch of the docking and airlock
module PIRS Docking Compartment 1



vereinbaren und den Betriebsablauf neu planen. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit den europäischen ISS-Nutzerunterstützungszentren. Das COLUMBUS-Kontrollzentrum empfängt die System- und Experimentdaten. Sie verarbeitet, verteilt und wertet diese aus.

Da sämtliche Betriebsabläufe voneinander abhängen, steht das Kontrollzentrum in engem Kontakt mit den ISS-Missionkontrollzentren der NASA in Houston (USA) und Roskosmos in Moskau (Russland). Sind Experimente betroffen, stimmt sich das Col-CC mit dem NASA-Nutzlastzentrum in Huntsville (USA) ab, das die übergeordnete Verantwortung für alle Versuchsanlagen auf der Raumstation trägt. Vom Kontrollzentrum aus kann auch direkt mit der ISS kommuniziert werden: bei Problemen im Labor, aber auch für Pressekonferenzen oder für den Unterricht aus dem All.

Nahtstelle zwischen Boden und All

Damit Forscher auf der Raumstation wissenschaftlich arbeiten können, sind in Europa neun Nutzerunterstützungszentren (User Support and Operations Centre USOC) eingerichtet worden.

Sie sind die Nahtstelle zwischen Experimentanlagen und den Wissenschaftlern sowie den Ingenieuren am Boden. Um die Experimente von der Erde aus zu lenken, haben die Zentren Überwachungs- und Steuerungssysteme. Hochgeschwindigkeitsnetze sorgen für eine schnelle Kommunikation. So können Wissenschaftler den Verlauf ihrer Experimente direkt über-

Since all operating procedures are interdependent, the European control centre maintains close contacts with the ISS mission control centres of NASA in Houston (USA) and Roskosmos in Moscow (Russia). Where experiments are concerned, the Col-CC consults with NASA's payload centre at Huntsville (USA), which is globally responsible for all experimental facilities on the space station. The control centre may also communicate directly with the ISS if problems occur in the laboratory, European press conferences are to be held, or even lectures delivered from space.

Interface between Earth and Space

To enable researchers to do scientific work on the space station, nine user support and operations centres (USOCs) have been created in Europe.

USOCs form the interface between space-borne experiments and scientists on the one hand and terrestrial engineers on the other. They are equipped with monitoring and control systems to manage experiments from the ground. Ensuring swift communication, high-speed networks enable scientists to observe their experiments directly and intervene interactively from user centres or their home laboratories. Moreover, USOCs take part in planning missions and preparing experiments, and some of them have their own data archiving facilities.



Seit 2008 ist das COLUMBUS-Kontrollzentrum an den ATV-Missionen beteiligt. Das GSOC stellt hierfür die Infrastruktur zur Kommunikation zwischen den Kontrollzentren in Toulouse, Houston und Moskau zur Verfügung.

The COLUMBUS Control Centre has been active in ATV missions since 2008. The centre provides the infrastructure for communications between the control centres in Toulouse, Houston, and Moscow.



8. April 2002:
Start der Gitterstruktur S0

April 8, 2002:
launch of the truss S0





Beim DLR in Köln entstand mit dem MUSC das deutsche Nutzerunterstützungszentrum (USOC) für die Forschung auf der ISS. Schwerpunkte: bio- und materialwissenschaftliche Forschung unter Schwerelosigkeit. Zudem werden Pilot-Experimente auf Kurzzeit-Missionen durchgeführt, um Konzepte für neue Anlagen zu entwickeln.

With the MUSC, the German USOC at the DLR in Cologne was founded – focusing on research on the ISS. Main topics: life and materials science in microgravity. To develop new system concepts, the centre also conducts pilot experiments on short-term missions.

wachen und interaktiv aus den Nutzerzentren oder den Heimatlabors eingreifen. Auch an der Einsatzplanung und der Versuchsvorbereitung sind die USOC beteiligt. Zusätzlich verfügen einige Zentren über Archive zur Datensicherung.

Alle Zentren sind über das europäische ISS-Bodennetz mit den internationalen Missionszentren in den USA und Russland verbunden. In Deutschland ist das Microgravity User Support Center (MUSC) im DLR in Köln als nationales Nutzerzentrum beteiligt. Das MUSC hat seine Arbeiten im Februar 2004 aufgenommen. Seitdem werden Daten aus der Station empfangen, Experimente überwacht und gesteuert. Mit der Inbetriebnahme von COLUMBUS begann 2008 der vollständige Betrieb in allen Nutzerzentren Europas.

Auf dem Weg ins All

Auf dem Weg in den Weltraum sind Astronauten enormen Belastungen ausgesetzt. Längere Aufenthalte müssen darum sorgfältig geplant werden im Hinblick auf:

- Strahlen-Dosimetrie und -schutz,
- Anpassung an das Umfeld annähernder Schwerelosigkeit,

The European ISS ground network links all user centres to the international mission centres in the US and Russia, with DLR's Microgravity User Support Centre (MUSC) at Cologne participating for Germany. The MUSC began operations in February 2004, receiving data from the station and monitoring and controlling experiments to this day. When COLUMBUS was commissioned in 2008, full-scale operations began in all European user centres.

On its Way to Space

Astronauts are exposed to enormous stress on their way to space. Consequently, careful planning is needed for long-term sojourns in the following respects:

- Radiation dosimetry and protection,
- Adaptation to an environment in microgravity,
- Measures to counteract negative impacts on the human body,
- Physicochemical and biological life support systems,
- Psychological condition of the crew (for example, the Earth-out-of-sight phenomenon),
- Closed life cycles for life support,
- Biosensors, microdiagnostics, remote diagnostics, medical care, and health monitoring.

In 1998, ESA began pooling the space activities of its member states and setting up a joint European corps of astronauts.



7. Oktober 2002:
Start der Gitterstruktur S1

October 7, 2002:
launch of the truss S1



23. November 2002:
Start der Gitterstruktur P1

November 23, 2002:
launch of the truss P1



1. Februar 2003:
Unglück der
Raumfähre Columbia

February 1, 2003:
Accident of the
space shuttle Columbia

- Maßnahmen gegen negative Auswirkungen auf den menschlichen Körper,
- Physiko-chemische und biologische Lebenserhaltungssysteme,
- Psychologie, Crew-Befinden (zum Beispiel „Earth out of sight“-Phänomen),
- geschlossene Lebenskreisläufe zur Lebenserhaltung,
- Biosensorik, Mikrodiagnostik, Ferndiagnostik, Telemedizin und Gesundheitsüberwachung.

1998 begann die ESA, die astronautischen Aktivitäten der Mitgliedstaaten zusammenzuführen und ein gemeinsames europäisches Astronauten-Corps aufzustellen. Seitdem ist dieses im ESA-Astronautenzentrum (European Astronaut Centre, EAC) auf dem Gelände des DLR in Köln zu Hause. Nicht nur das vierzehnköpfige ESA-Astronauten-Team bereitet sich hier auf Weltraummissionen vor. Auch die Astronauten der ISS-Partner USA, Russland und Japan lernen hier den Umgang mit den europäischen Modulen der Raumstation wie dem COLUMBUS-Raumlabor und dem Raumtransporter ATV kennen.

Die Missionserfahrung von ESA-Astronauten macht sie zu wertvollen Partnern: Am Boden unterstützen sie die Flugoperationen, an Bord des Space Shuttle zum Beispiel die Kommunikation mit der ISS-Besatzung. So bringen sie ihre Erfahrungen in ESA-Entwicklungsprogramme ein. Astronauten sind kompetente und willkommene Botschafter der Raumfahrt für die Wissenschaft und Technik sowie für die Öffentlichkeit.

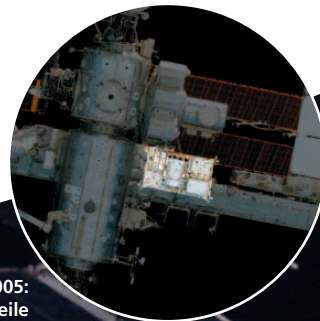
Since that time, the European astronaut corps has been domiciled at the ESA Astronaut Center (EAC) at the DLR facility in Cologne. It is not only the fourteen members of ESA's astronaut corps who are being groomed for space here. The centre also hosts astronauts from the ISS partners USA, Russia, and Japan who are introduced into handling the European modules of the space station, such as the COLUMBUS laboratory, and the ATV space carrier.

Experience makes ESA's astronauts valuable mission partners. Even when on the ground, they assist in flight operations, supporting communications with the ISS crew. In this way, they infuse their knowledge into ESA's development programmes. Science and technology as well as the general public welcome astronauts as competent ambassadors of space flight.



Seit September 2009 trainieren sechs neue ESA-Astronauten aus Dänemark, Deutschland, Frankreich, Großbritannien und Italien am EAC. Unter ihnen ist auch der Deutsche Alexander Gerst (zweiter von links). Die Astronauten wurden aus über 8.000 Bewerbern ausgewählt. Im November 2010 beendeten sie ihre 18-monatige Grundausbildung.

Since September 2009, six new ESA astronauts from Denmark, Germany, France, Great Britain, and Italy have been training at the EAC, including a German, Alexander Gerst (second from the left). They were selected from more than 8,000 applicants. They completed their 18 months of basic training in November 2010.



26. Juli 2005:
Start der Stauplattform für Ersatzteile
External Storage Platform 2 (ESP-2)

July 26, 2005:
launch of the external logistics platform for
spare parts External Storage Platform 2 (ESP-2)



9. September 2006:
Start der Gitterstrukturen
P3 und P4

September 9, 2006:
launch of the trusses
P3 and P4



Automated Transfer Vehicle

Automated Transfer Vehicle

Premiere im All

Am 9. März 2008 startete der erste europäische Raumtransporter ATV (Automated Transfer Vehicle) zur Internationalen Raumstation ISS. Am 3. April 2008 hatte das nach dem französischen Visionär und Science-Fiction-Autor Jules Verne benannte Raumfahrzeug sein Ziel erreicht und dockte vollautomatisch an die ISS an. Damit feierte die europäische Raumfahrt eine wichtige Premiere und einen besonderen Meilenstein: Mit dem ATV-Prototyp hat Europa einen eigenen Zugang zur ISS erhalten.

Nach dem Start auf einer Ariane-5ES-Trägerrakete vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guyana hat „Jules Verne“ seine Fähigkeiten im All bei umfangreichen Tests erfolgreich unter Beweis gestellt. Alle Notfallprozeduren wurden vor dem Andocken erprobt und verifiziert. Das ATV transportierte bei seinem Erstflug etwa 4,5 Tonnen Güter und Treibstoff zur Raumstation.

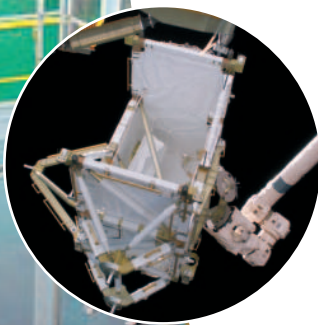
Die ATV-Flüge sind der Beitrag der Europäischen Weltraumorganisation ESA zur Versorgung der ISS. Der größte Posten der anteilig auf die ESA-Mitgliedstaaten entfallenden ISS-Betriebskosten wird durch diese Sachleistungen abgegolten – anstelle von Devisenzahlungen an die NASA. Am 16. Februar 2011 startete das zweite ATV „Johannes Kepler“ von Kourou aus zur ISS und dockte am 24. Februar 2011 erfolgreich an die Station an. Bis 2015 sind nach „Johannes Kepler“ noch drei weitere Flüge geplant.

Curtain-Raiser in Space

On March 9, 2008, the European Automated Transfer Vehicle (ATV) took off for the International Space Station (ISS). Having reached its destination on April 3, 2008, the spacecraft – named “Jules Verne” after the French visionary and science fiction author – docked on the ISS in an autonomous manoeuvre. The event was celebrated as an important curtain-raiser and a special milestone in European astronautics: the ATV prototype gave Europe its own access to the ISS.

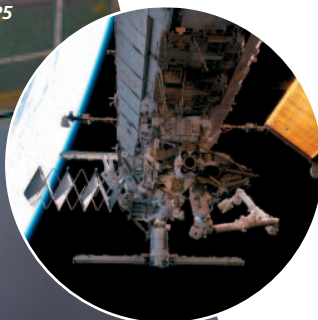
After a perfect launch on an Ariane-5ES rocket from the European space port of Kourou in French Guiana, “Jules Verne” successfully demonstrated its capabilities in an extensive series of tests in space. All emergency procedures were tested and verified before docking. On its maiden flight, the ATV carried about 4.5 tons of goods and fuel to the space station.

The flights of the ATVs represent the contribution of the European Space Agency (ESA) to keeping the ISS supplied. By performing this service, the member states of ESA settle most of their share in the cost of operating the ISS instead of paying NASA in foreign currency. On February 16, 2011, the second ATV named “Johannes Kepler” took off from Kourou to the ISS. On February 24, 2011, the spacecraft docked successfully on the space station. After “Johannes Kepler”, three more flights to the International Space Station have been scheduled until 2015.



10. Dezember 2006:
Start der Gitterstruktur P5

December 10, 2006:
launch of the truss structure P5



8. Juni 2007:
Start der Gitterstrukturen
S3 und S4

June 8, 2007:
launch of the truss
structures S3 and S4

ATV im Überblick

Das ATV ist ein unbemanntes Raumfahrzeug, das Fracht zur ISS transportieren kann. Es ist etwa zehn Meter lang und hat einen Durchmesser von 4,5 Metern. Mit entfalteten Solarpanelen hat ATV eine Spannweite von 22,3 Metern. Die Gesamtmasse des startbereiten und beladenen Fahrzeugs betrug bei „Jules Verne“ knapp 20 Tonnen. Die Nettolast eines ATV umfasst circa 6,3 Tonnen. Durch weitere Modifikationen könnte die Kapazität bei ATV-5 auf 6,8 Tonnen gesteigert werden. Die Zusammenstellung der Fracht wird von Mission zu Mission variieren. Neben Nahrungsmitteln und sonstigen Versorgungsgütern sollen die ATV auch wissenschaftliche Ausrüstung, Ersatzteile und Experimente transportieren.

Das Raumfahrzeug besteht aus einer Sektion für den Antrieb und die Avionik, also die elektrischen und elektronischen Steuergeräte. Zudem hat es ein druckbeaufschlagtes Nutzlastsegment (Integrated Cargo Carrier), in dem „Trockenfracht“ befördert wird. Diese ist in sogenannten ISPRs (International Standard Payload Racks) untergebracht und kann auf der ISS problemlos verstaut werden. Der Integrated Cargo Carrier wird von den Astronauten beim Ent- und Beladen des ATV von der Raumstation aus betreten.

Alle ATV werden auf einer Trägerrakete des Typs Ariane-5ES mit einer wiederzündbaren Oberstufe von Kourou aus gestartet. Dadurch ist auch die Ariane-5ES Bestandteil des Logistikkonzepts für die ISS. Nach der Trennung von der Oberstufe steuert das ATV autonom auf die Raumstation zu, dockt vollautomatisch am russischen Modul Swesda an und kann bis zu einem halben Jahr dort bleiben. Das Raumfahrzeug wird dabei vom ATV-Kontrollzentrum in Toulouse (Frankreich) und den weiteren Kontrollzentren in Moskau (Russland), Houston (USA), Oberpfaffenhofen (Deutschland, DLR) und Redù (Belgien) überwacht.

ATV in Brief

The ATV is an uncrewed spacecraft designed to transport cargo to the ISS. It is about ten metres in length and 4.5 metres in diameter. With its solar panels unfolded, the span of the ATV extends across 22.3 metres. In the case of "Jules Verne", the total launch mass of the vehicle, cargo included, amounted to nearly 20 tons. An ATV's net payload weighs circa 6.3 tons. Further modifications might raise the capacity of ATV 5 to 6.8 tons. However, the composition of the cargo will vary from one mission to the next. In addition to food and other supplies the ATVs will transport scientific equipment, spare parts, and experiments.

The spacecraft includes one section housing its propulsion and avionics, meaning the electrical and electronic control devices. Moreover, it has a pressurised payload segment (integrated cargo carrier) for transporting "dry cargo". Stowed in international standard payload racks (ISPRs), this cargo can be easily accommodated on the ISS. Astronauts enter the integrated cargo carrier from the ISS to unload and load the ATV.

All ATVs will be launched from Kourou on Ariane-5ES rockets with a re-ignitable upper stage. This makes Ariane-5ES part and parcel of the ISS logistics concept. Having separated from the upper stage, the ATV approaches the space station under autonomous control and docks automatically on the Russian MISS module Zvezda, where it can remain for up to six months. During the mission, the spacecraft is monitored by the ATV control centre in Toulouse (France) as well as by other control centres in Moscow (Russia), Houston (USA), Oberpfaffenhofen (Germany, DLR), and Redù (Belgium).



Die Crew der ISS-Expedition 17, Greg Chamitoff, Oleg Kononenko und Sergei Volkov, präsentiert nach dem Ankoppeln des ATV-1 „Jules Verne“ Bücher und Manuskripte des französischen Autors und Namensgebers.

After ATV-1 "Jules Verne" had docked on, the ISS expedition crew 17 – Greg Chamitoff, Oleg Kononenko and Sergei Volkov – presented books and manuscripts by the French author ATV is named after.

ATV-2 „Johannes Kepler“

Auftraggeber	ESA
Hauptauftragnehmer	EADS-Astrium Space Transportation
Länge (Startkonfiguration)	9,79 Meter
Größter Durchmesser	4,48 Meter
Spannweite Solargenerator	22,28 Meter
Startmasse	20.060 Kilogramm
Treibstoffmasse	6.566 Kilogramm
Nutzlasten	
Atemluft	102 Kilogramm
Treibstoff für russisches Service- modul	851 Kilogramm
Nahrung, Kleidung, Ersatz- teile, Astronau- tenbedarf	1.605 Kilogramm
Treibstoffanteil für ISS Re-Boost	4.535 Kilogramm
Kapazität für ISS- Abfall	circa 6.500 Kilo- gramm
Hauptantrieb	4 x 490 Newton Triebwerke
Lageregelung und Steuerung	28 x 220 Newton Triebwerke
Energieerzeugung	4.800 Watt
Energiebedarf Aktiv-/ Ruhemodus	900 Watt / 400 Watt
Kommunikation zum Boden	S-Band via TDRS
Kommunikation zur ISS	S-Band via Prox.-Link
Navigation	GPS, KURS, opti- sche Sensoren
Start	16. Februar 2011
Andocken	24. Februar 2011
Geplante Missions- dauer	nominal sechs Monate, geplant bis 4. Juni 2011

ATV hebt – ähnlich wie der russische Progress-Transporter – mit seinen Haupttriebwerken die ISS auf ihrer Erdumlaufbahn an. Dies ist von Zeit zu Zeit nötig, da sie durch den Widerstand der Restatmosphäre kontinuierlich abgebremst wird und etwa 50 Meter Bahnhöhe pro Tag verliert. Zum Ende der Mission kann ATV bis zu 6,5 Tonnen Abfall von der ISS aufnehmen. Nach dem Andocken wird es kontrolliert in die Erdatmosphäre zurückgeführt und verglüht.

Like the Russian Progress transfer vehicle, the ATV uses its main propulsion to re-boost the ISS back into its original orbit around Earth. This is necessary from time to time because the resistance of the residual atmosphere continually slows down the space station, so that it loses about 50 metres in altitude every day. Towards the end of its mission, the ATV may be loaded with up to 6.5 tons of ISS waste. After undocking, it will be steered back into the Earth's atmosphere where it will eventually burn up somewhere above the Pacific.



Schematische Darstellung von ATV-2 „Johannes Kepler“ in einer Ariane 5ES-Rakete

Schematic drawing of ATV-2 „Johannes Kepler“ in an Ariane 5ES rocket

Der Weg zu ATV

Bereits 1987 realisierte die ESA erste Untersuchungen zu einem ATV-ähnlichen Fahrzeug. Nachdem die ESA-Ministerratskonferenz 1992 in Granada (Spanien) beschlossen hatte, das Programm des europäischen Raumgleiters HERMES nicht fortzuführen, erfolgte eine inhaltliche Neuausrichtung der europäischen Beiträge für eine internationale Raumstation. Losgelöst von der Frage eines eigenen bemannten europäischen Transportsystems bestand unter den Fachleuten kein Zweifel an der Notwendigkeit, in Europa über bestimmte eigene Schlüsselkapazitäten für die Raumstation, sogenannte Servicing-Elemente, zu verfügen.

Zu diesen Servicing-Elementen gehörte zunächst der europäische Raumanzug EVA-Suit 2000. Dieses Vorhaben wurde aber nach der Aufnahme Russlands als Partner nicht weiterverfolgt. Umgesetzt wurde der europäische Roboterarm (ERA), der Astronauten bei Außenbordeinsätzen unterstützt und 2012 an der ISS montiert werden soll. Weiterhin zählte zu den Schlüsselkompetenzen das „Automated Rendezvous and Capturing“, also die Fähigkeit, selbstständig einen anderen Raumflugkörper im All anzusteuern und an ihm andocken zu können. Eng hiermit verbunden war die Idee eines „Automated Transfer Vehicles“ für den automatischen Frachtverkehr zur Station. Aufgrund der seinerzeit abgeschätzten logistischen Anforderungen der Raumstation strebte die ESA bis zu zwei ATV-Flüge pro Jahr an. Für die mit Russland ab 1993 kontinuierlich neu angepasste Internationale Raumstation sind bis 2015 insgesamt fünf ATV-Flüge sowie ein weiterer für den Zeitraum 2015 bis 2020 vorgesehen.

Nachdem die ISS-Betriebskosten weitgehend definiert waren, wurde das sogenannte Barter-Abkommen mit der NASA verhandelt. Dieses regelt den Ausgleich der Betriebskosten durch Sachleistungen, sodass die Raumstationspartner möglichst keine Devisen untereinander austauschen müssen.

The Way to ATV

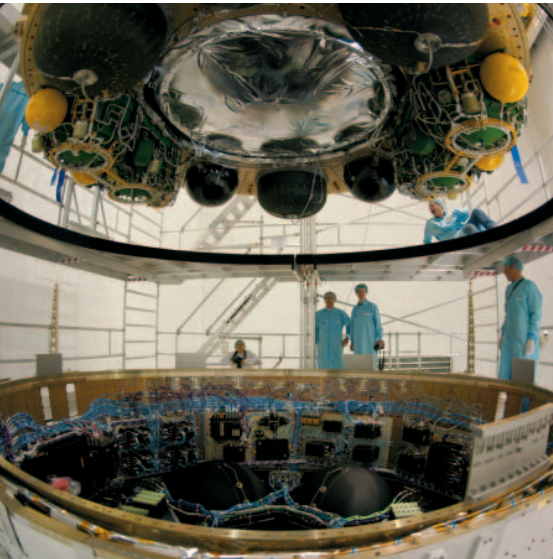
As early as 1987, ESA carried out some initial studies on a vehicle that resembled an ATV. When the ESA Council of Ministers decided at its 1992 meeting in Granada (Spain) to discontinue the programme of the European orbital glider HERMES, the content of the European contribution to the International Space Station had to be rearranged. Apart from the question of Europe having its own crewed transport system, experts were in no doubt about the need for Europe having its own key capacities – called servicing elements – for the space station.

At first, one of these servicing elements was a European space suit called EVA-Suit 2000. However, this project was not pursued when Russia became a partner. A project that was implemented is the European Robotic Arm (ERA). Designed to support astronauts in extra-vehicular activities, it will be mounted on the ISS in 2012. Another key competence is “automated rendezvous and capturing”, meaning the capability to approach and dock on another craft in space under autonomous control. Closely related to this was the idea of an “automated transfer vehicle” to ferry freight to the station. Contemporary estimates of the space station’s logistical requirements prompted ESA to plan up to two ATV flights per year. For the International Space Station, which has been continuously modified together with Russia since its accession in 1993, ESA currently has plans for five ATV flights until 2015, and another is scheduled for the period from 2015 to 2020.

After most of the items in the cost of operating the ISS had been defined, a so-called barter agreement was negotiated with NASA. Regulating the compensation of operating cost by payments in

Data: ATV-2 “Johannes Kepler”

Contracting agency	ESA
Main contractor	EADS-Astrium Space Transportation
Length (launch configuration)	9.79 metres
Greatest diameter	4.48 metres
Solar panel span	22.28 metres
Launch mass	20,060 kilogramme
Fuel mass	6,566 kilogramme
Payloads	
Air	102 kilogramme
Fuel for Russian service module	851 kilogramme
Food, clothing, spares, astronauts’ supplies	1,605 kilogramme
Fuel for ISS re-boost	4,535 kilogramme
Storage capacity for ISS waste	circa 6,500 kilogramme
Main propulsion	4 x 490-Newton engines
Flight and attitude control	28 x 220-Newton engines
Power generation	4,800 Watts
Power consumption, active/standby mode	900 Watts/ 400 Watts
Communication with the ground	S-band via TDRS
Communication with the ISS	S-band via prox.-link
Navigation	GPS, KURS, optical sensors
Launch	February 16, 2011
Docking	February 24, 2011
Scheduled mission duration	nominally six months, scheduled for June 4, 2011



Ingenieure integrieren in Kourou ATV „Johannes Kepler“ in eine Ariane 5-Rakete

Engineers are integrating the "Johannes Kepler" ATV in an Ariane 5 rocket in Kourou

Nach dem Beschluss der ESA-Ministeratskonferenz im Jahr 1995 in Toulouse über die europäische Beteiligung an der ISS ging ATV dann in die Entwicklungs- und Konstruktionsphase über.

Hightech aus Europa

Das Unternehmen EADS Astrium Space Transportation im französischen Les Mureaux zeichnete im Auftrag der ESA für die Entwicklung von ATV verantwortlich. Deutsche Firmen waren mit etwa 24 Prozent beteiligt. ATV ist Teil des europäischen Beitrags im ISS-Entwicklungsprogramm, das den Bau des Prototypen „Jules Verne“ und die Errichtung aller Bodenanlagen, das ATV-Kontrollzentrum in Toulouse sowie die notwendige Anpassung der Ariane-5 Trägerrakete umfasst.

Der Bau aller weiteren ATV wird aus dem ISS-Betriebsprogramm finanziert. Das EADS-Tochterunternehmen Astrium GmbH in Bremen ist hierfür Hauptauftragnehmer, ebenso für die Weiterentwicklung des Konzepts. Alle Komponenten werden in die Hansestadt geliefert und dort montiert.

Auch zahlreiche deutsche Zulieferfirmen arbeiten an ATV mit. Ihr Anteil nahm in der Produktionsphase gegenüber der Entwicklungsphase noch zu. Er beträgt

kind, it keeps the exchange of foreign currency between the space station partners to a minimum.

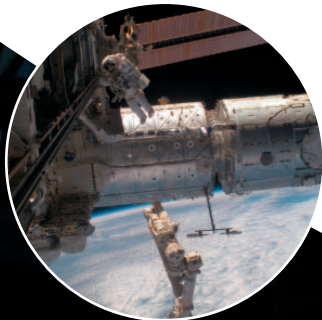
After the ESA Ministerial Council had approved Europe's participation in the ISS at its 1995 meeting in Toulouse, the ATV entered its development and design phase.

Hightech from Europe

Commissioned by ESA, the EADS-Astrium Space Transportation company of Les Mureaux, France, assumed responsibility for the development of the ATV. The share of German companies in the project was about 24 per cent. Forming part of Europe's contribution to the ISS development programme, the ATV project includes building the "Jules Verne" prototype, setting up all facilities on the ground as well as the ATV control centre at Toulouse, and modifying the Ariane-5 launcher as required.

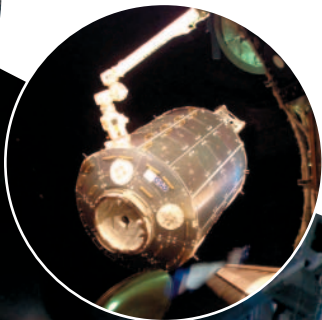
All future ATVs will be built with funds from the ISS operating programme. The key contractor for building the ATVs and refining the concept is Astrium GmbH of Bremen, a subsidiary of EADS. All ATVs will be integrated in Bremen, meaning that all components will be delivered and assembled there.

Numerous German suppliers are working on the European ATV, too. In the production phase, their share was even greater than in the development phase. Their share in the four ATVs that will be built after "Jules Verne" amounts to about 50 per cent. Thus, for example,



23. Oktober 2007:
Start des Verbindungsknotens Node 2 („Harmony“)

*October 23, 2007:
launch of connecting module Node 2 ("Harmony")*



7. Februar 2008:
Start des europäischen Labormoduls COLUMBUS

*February 7, 2008:
launch of the European research module COLUMBUS*

11. März 2008:
Start des ersten Teils des japanischen Labormoduls KIBO Experiment Logistics Module (ELM)

*March 11, 2008:
launch of the first part of the Japanese laboratory module KIBO Experiment Logistics Module (ELM)*

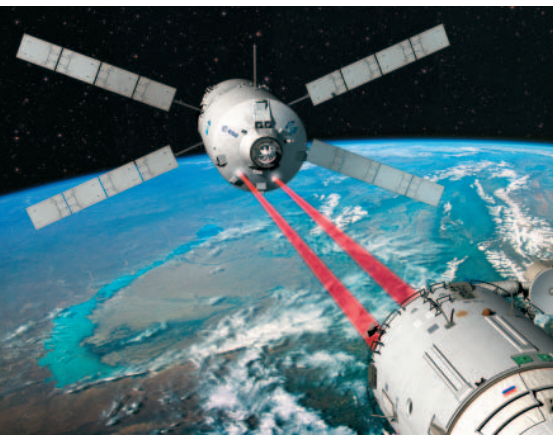


An ATV beteiligt/Involved in ATV	
Astrium GmbH	<p>Entwicklung des fehlertoleranten Zentralrechners (FTC) und Bau für alle Flugeinheiten Entwicklung des Antriebssystems (PRSS) einschließlich Antriebselektronik (PDE) und Bau für alle Flugeinheiten Integration des Antriebssystems (EPB) für alle Flugeinheiten Integration des Avioniksegments (EAB) für alle Flugeinheiten, außer „Jules Verne“ Integration von EAB und EPB und Systemtest mit dem Integrated Cargo Carrier (ICC) bei allen Flugeinheiten Fertigung der 220 Newton Steuertriebwerke für ATV-2 bis ATV-5</p> <p><i>Development and production of a fault-tolerant computer (FTC) for all vehicles Development and production of a propulsion system (PRSS) including electronics (PDE) for all vehicles Integration of the propulsion segment (EPB) in all vehicles Integration of the avionics segment (EAB) in all vehicles except "Jules Verne" Integration of EAB and EPB in all vehicles; system test with the integrated cargo carrier (ICC) Production of 220-Newton control engines for ATV-2 through ATV-5</i></p>
RWE/Azur	<p>Solarzellen für alle Flugeinheiten <i>Solar cells for all vehicles</i></p>
Friwo/SAFT	<p>Nicht-aufladbare Batterien <i>Non-rechargeable batteries</i></p>
Jena Optronik GmbH	<p>Entwicklung und Bau des Telegoniometers für alle Flugeinheiten und Bau von Anteilen des Videometers für alle Flugeinheiten <i>Development and production of telegoniometer for all vehicles; production of videometer parts for all vehicles</i></p>
MT-Aerospace AG	<p>Entwicklung und Produktion der Treibstofftanks des Antriebssystems (EPB) für alle Flugeinheiten, Entwicklung und Bau der Steuerdüsenmodule (Struktur) für alle Flugeinheiten, Bau des Wasser- und Gas-Versorgungssystems für alle Flugeinheiten</p> <p><i>Development and production of propulsion segment (EPB) fuel tanks for all vehicles Development and production of control jet modules (structure) for all vehicles Production of water and gas distribution systems for all vehicles</i></p>
OHB System GmbH	<p>Entwicklung des Meteoriten- und Debris-Schutzschildsystems (MDPS) für das Antriebssegment von „Jules Verne“, Verkabelung des Antriebssegments von „Jules Verne“ und aller weiteren Flugeinheiten Transportcontainer (MGSE) für das Nutzlastmodul</p> <p><i>Development of the meteorite and debris protection shield (MDPS) for the propulsion segment of "Jules Verne" Cabling for the propulsion segment of "Jules Verne" and all subsequent vehicles Transport containers (MGSE) for the payload module</i></p>
TESAT Spacecom GmbH & Co KG	<p>Zentraleinkauf der elektrischen und elektronischen Bauteile (EEE-Parts) für alle Flugeinheiten <i>Central purchasing of electrical and electronic components (EEE parts) for all vehicles</i></p>
Vega Informations-Technologien GmbH	<p>Support für Simulationsmodelle <i>Support for simulation models</i></p>
DLR Oberpfaffenhofen	<p>Koordination der Gesamtkommunikation zwischen den Kontrollzentren ATV-CC-Toulouse, MCC-Houston, MCC-Moskau und Redù in Belgien im Auftrag der Astrium GmbH <i>Overall coordination of the communication between ATV-CC Toulouse, MCC-Houston, MCC-Moscow and Redù (Belgium) on behalf of Astrium GmbH</i></p>
DLR Lampoldshausen	<p>Testkampagnen der deutschen wiederzündbaren Oberstufentriebwerke der Ariane 5ES für den ATV-Einsatz sowie teilweise für die 220 Newton-Steuertriebwerke</p> <p><i>Campaigns to test the suitability of the German re-ignitable upper-stage engines of Ariane 5ES for ATV missions Campaigns to test part of the 220-Newton control engines</i></p>
DLR Bonn	<p>Politische Steuerung des europäischen ISS-Programms (deutscher Anteil) über das DLR Raumfahrtmanagement im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) <i>Political direction of the European ISS-Programm (German Part) via the DLR Space Administration on behalf of the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi)</i></p>



31. Mai 2008:
 Start des zweiten Teils des japanischen
 Labormoduls KIBO Pressurized Module (PM)

May 31, 2008:
 launch of the second part of the Japanese
 laboratory module KIBO Pressurized Module
 (PM)



Die Darstellung zeigt die letzte Phase des Anflugs von ATV „Johannes Kepler“ an die ISS vor dem Andocken. Stilisiert sind die Infrarotlaser des Telegoniometers. Mit dem menschlichen Auge sind sie nicht sichtbar.

The animation shows ATV "Johannes Kepler" in the last phase of its approach before docking on the ISS. The infrared laser beams of the telegoniometer are shown for purposes of illustration. They are not visible to the human eye.

etwa 50 Prozent bei den vier ATV nach „Jules Verne“. So werden bei EADS Astrium in Lampoldshausen beispielsweise die Antriebssektion gefertigt und Steuerdüsenmodule integriert. Die OHB System GmbH in Bremen entwickelte den Meteoritenschutzschild für die Antriebssektion und liefert die Verkabelung des Antriebssegments. Das Unternehmen MT-Aerospace in Augsburg stellt unter anderem die Treibstofftanks her. Die Firma Jena Optronik entwarf und produziert die sogenannten Telegoniometer, den wesentlichen Teil der Sensoren für das Rendezvous-Manöver.

Insgesamt sind 30 Firmen aus zehn europäischen Staaten an der ATV-Produktion beteiligt. Acht Firmen aus Russland und den USA liefern Produkte und Bauteile. So kommt etwa das Andocksystem, das sich bisher bei den Sojus- und Progresskapseln bewährt hat, aus Russland. Die vier Haupttriebwerke für jedes ATV liefert die US-Firma Aerojet. Weltweit arbeiten etwa 1.500 Personen in der Großindustrie, in kleinen und mittelständischen Unternehmen und in den Raumfahrt-Agenturen an dem Projekt.

ATV ist das komplexeste Raumfahrzeug, das je in Europa gebaut wurde. Sein

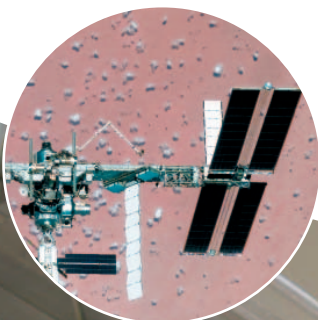
EADS Astrium manufactures the propulsion section and integrates control-jet modules at Lampoldshausen. OHB System GmbH of Bremen has developed the meteorite protection shield for the propulsion section and supplies the cabling for the propulsion segment. MT-Aerospace of Augsburg makes fuel tanks, among other things. Having designed the so-called telegoniometers that are a crucial element in the sensor system for rendezvous manoeuvres, Jena Optronik now produces them.

All in all, 30 companies from ten European states are involved in the production of the ATV. Eight companies from Russia and the USA supply products and components. Thus, the docking system that has been working so well in the Soyuz and Progress capsules comes from Russia. The four main engines required by each ATV are supplied by Aerojet, a US company. All over the world, about 1,500 persons are working on the project in industrial corporations, small and medium-sized enterprises, and space agencies.

The ATV is the most complex spacecraft ever built in Europe. Its level of automation and fault tolerance markedly

Kosten im Überblick Cost Overview

ATV-Entwicklungsprogramm inklusive Bodensegment, Kauf einer Ariane-5-Trägerrakete und Ariane-5-Anpassung	circa 1,4 Milliarden Euro
<i>ATV development programme including the ground segment, the purchase and modification of an Ariane-5 launcher</i>	<i>circa 1.4 billion euros</i>
davon ATV-1 „Jules Verne“ (nur Raumfahrzeug)	circa eine Milliarde Euro, deutscher Anteil 24 Prozent
<i>of which ATV-1 "Jules Verne" (spacecraft only)</i>	<i>circa one billion euros, Germany's share 24 per cent</i>
ATV-Produktionsprogramm (vier weitere ATVs nach „Jules Verne“)	circa eine Milliarde Euro, deutscher Anteil 50 Prozent
<i>ATV production programme (four more ATVs after "Jules Verne")</i>	<i>circa one billion euros, Germany's share 50 per cent</i>



15. März 2009:
Start des Solarsegments S6

*March 15, 2009:
launch of the solar truss
structure S6*



15. Juli 2009:
Start des äußeren Teils des japanischen Labormoduls KIBO Exposed Facility (EF)

*July 15, 2009:
launch of the external platform of
the Japanese laboratory module
KIBO Exposed Facility (EF)*

Automationsgrad und seine Fehlertoleranz sind wesentlich höher als bei den russischen Soyuz- oder Progress-Fahrzeugen. Außer Russland und Japan verfügt somit nur Europa über ein autonomes Raumfahrzeug, das in der Lage ist, sich automatisch an die ISS anzunähern und anzudocken.

Die gesamten Entwicklungskosten belaufen sich auf etwa 1,35 Milliarden Euro. Darin enthalten sind der Prototyp (ATV-1 „Jules Verne“ mit etwa einer Milliarde Euro), das Bodensegment, die Anpassung der Ariane-5 sowie die Träger-rakete selbst. Deutsche Firmen erhielten bei „Jules Verne“ Aufträge in Höhe von etwa 240 Millionen Euro.

Erfolg im All

Nach 202 Tagen im All endete schließlich am 29. September 2008 Europas erste ATV-Mission so spektakulär wie sie begonnen hatte: mit Hitze und Feuer. Das Raumfahrzeug verglühte etwa 75 Kilometer über dem Südpazifik. Selbst die letzte Phase, der Wiedereintritt des Vehikels in die Erdatmosphäre, war Gegenstand der Forschung. Die Reste von ATV-1 gingen in einem unbewohnten Bereich des Pazifischen Ozeans nieder.

Von der ISS aus wurde die letzte Phase der Mission verfolgt: FIALKA, ein Instrument zur Beobachtung im optischen und im UV-Bereich, ergänzte Instrumente auf Flugzeugen, die den Wiedereintritt von ATV ebenfalls aufgezeichnet haben. Die Ergebnisse sollen dazu dienen, Modelle von Simulationsprogrammen der ESA und der NASA zu überprüfen. Dadurch sollen noch genauere Simulationen des

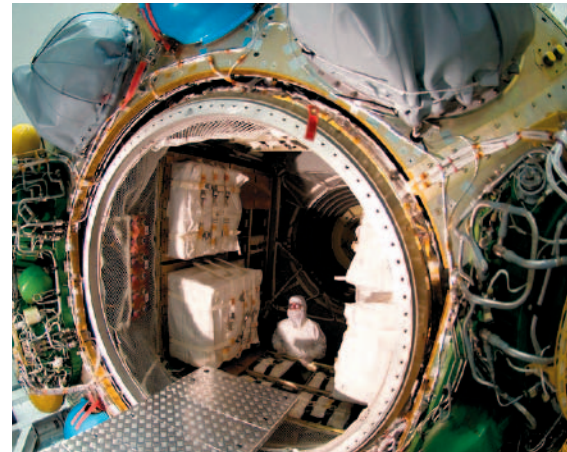
exceeds that of the Russian Soyuz and Progress vehicles. Except Russia and Japan, therefore, Europe alone has an autonomous spacecraft capable of approaching and docking on the ISS automatically.

The total cost of development amounts to about 1.35 billion euros. This includes the prototype (ATV 1 „Jules Verne“, about one billion euros), the ground segment, the modification of Ariane-5, and the launcher itself. German companies received orders worth about 240 million euros in connection with „Jules Verne“.

Success in Space

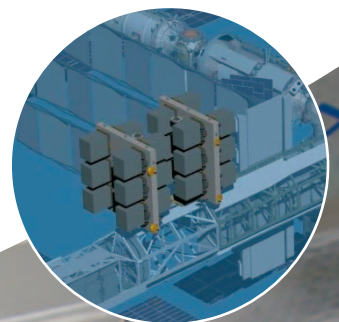
After 202 days in space, Europe's first ATV mission ended on September 29, 2008, as spectacularly as it had begun: in heat and fire. The spacecraft burned up about 75 kilometres above the southern Pacific. Even the last phase, the vehicle's destructive re-entry into the Earth's atmosphere, formed an object of research. The remnants of ATV-1 came down in an uninhabited region of the Pacific Ocean.

The last phase of the mission was also followed from the ISS, where the instruments of the planes were complemented by FIALKA, an instrument designed for observations in the visual and UV band. Two planes equipped with special sensors and cameras operating in the visual, infrared, and ultraviolet range observed the ATV as it flew through the atmosphere, heated up, and ultimately broke apart. The results would be used to validate modules in simulation programmes



ATV „Jules Verne“ wird in Kourou mit Fracht beladen

ATV „Jules Verne“ being loaded with cargo in Kourou



16. November 2009:
Start der externen Logistik-
plattformen EXPRESS Logistics
Carrier (ELC) 1 und 2

November 16, 2009:
launch of the external logistics
platforms EXPRESS Logistics
Carrier (ELC) 1 and 2



10. November 2009:
Start des russischen Dockingmoduls
POISK Mini-Research Module 2

November 10, 2009:
launch of the Russian docking mod-
ule POISK Mini-Research Module 2



Am 16. Februar 2011 startete der zweite europäische Raumtransporter, das ATV (Automated Transfer Vehicle) „Johannes Kepler“ um 22:50 Uhr MEZ mit einer Ariane 5ES vom Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guyana zur Internationalen Raumstation (ISS)

The Automated Transfer Vehicle (ATV) „Johannes Kepler“ was launched on a specially modified launcher, the Ariane 5ES, at 22:50 CET on February 16, 2011, from spaceport Kourou in French-Guiana

Auseinanderbrechens von Raumfahrzeugen beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre möglich werden. Ziel ist eine bessere Vorhersage darüber, welche Art von Fragmenten den Wiedereintritt überstehen könnte.

ATV war während seiner Zeit im All nicht nur ein hochwillkommener Zusatzraum für die Astronauten, denen sogar das Schlafen im relativ ruhigen „Jules Verne“ gestattet worden war. Insgesamt wurden zudem vier „Reboosts“ durchgeführt. Nach und nach wurden auch Trinkwasser und Fracht in die ISS umgeladen. Auch die neue Atemluft wurde aus dem ATV in die ISS eingebracht. Mitte Juni 2008 wurde das russische Servicemodul Swesda betankt.

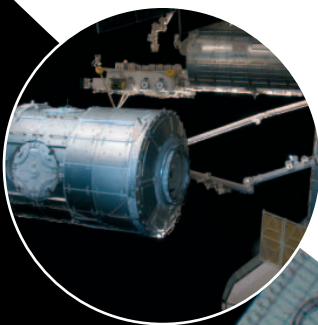
Insgesamt dockte ATV drei Wochen länger als geplant an der Raumstation an. Am 27. August 2008 führte das Raumfahrzeug außerplanmäßig noch ein „Avoidance Manoeuvre“ zur Kollisionsvermeidung mit Weltraumtrümmern für die ISS durch. Dabei wurde die Station horizontal um 180 Grad gedreht, sodass ATV sie mit seinen Triebwerken um etwa einen Meter pro Sekunde abbremsten konnte. Der geringe Höhenverlust schaffte mehr Distanz zu den Trümmerstücken eines ehemaligen russischen Satelliten. Am 5. September 2008 erfolgte das Abdockmanöver. Bis zum Wiedereintritt in die Erdatmosphäre am 29. September 2008, bei dem die zuvor aufgenomme-

used by ESA and NASA. The objective was to improve the simulation of the break-up of a spacecraft when it enters the Earth's atmosphere, permitting more exact predictions of what kind of fragments might survive re-entry.

During its time in space, the ATV was highly welcome not only because it offered additional space to the astronauts, who were even permitted to sleep inside the relatively quiet „Jules Verne“, but also because it performed a total of four re-boosts. Executed at intervals of one month, these orbit-raising manoeuvres serve to compensate losses in the space station's altitude caused by the drag of the residual atmosphere. Gradually, drinking water and freight were moved to the ISS, as was the supply of fresh air. In mid-June 2008, the tanks of the Russian service module Zvezda were replenished.

All in all, the ATV remained docked on the space station for three weeks longer than scheduled. On August 27, 2008, moreover, the spacecraft performed an unscheduled avoidance manoeuvre to keep the space station from colliding with orbital junk. The manoeuvre involved rotating the station horizontally by 180 degrees to enable the ATV to slow it down by about one metre per second with its engines. This small loss of altitude increased the distance to the debris left behind by a former Russian satellite. The undocking manoeuvre took place on September 5, 2008. ATV-1 underwent some more tests of its engines and sensors before its re-entry into the Earth's atmosphere on September 29, 2008, when the waste with which it had been previously loaded burned up together with the spacecraft itself.

The first ATV mission was a landmark step in European astronautics. The fresh operational information it provided will be employed in preparing subsequent missions.



8. Februar 2010:
Start des Verbindungsknotens Node 3 („Tranquility“)

*February 8, 2010:
launch of the connecting module Node 3 („Tranquility“)*

nen Abfälle zusammen mit dem Raumfahrzeug verglühten, absolvierte ATV-1 noch einige Tests mit seinen Triebwerken und Sensoren.

Die erste ATV-Mission war ein wegweisender Schritt für die europäische Raumfahrt. Die operationellen Erkenntnisse fließen in die Vorbereitung der kommenden Missionen ein.

Nachschub für die ISS

„Johannes Kepler“ startete am 16. Februar 2011 um 22:50 Uhr mitteleuropäischer Zeit (MEZ) von Kourou. Das Raumfahrzeug dockte acht Tage später erfolgreich an der Raumstation an und wird dort voraussichtlich drei Monate bleiben.

ATV-2 trägt eine Nutzlast von sieben Tonnen und transportiert auch die deutsche Versuchseinrichtung GEOFLOW 2. Bis ins Jahr 2015 werden die ATV insgesamt 28 Tonnen Fracht zur ISS bringen. Um die ISS zu versorgen, fliegen zusätzlich zu den ATV bis 2011 noch die Space Shuttles der NASA sowie die russischen Progress-Raumschiffe und der japanische Transporter HTV. Ab 2013 sollen kommerzielle US-Anbieter wie SpaceX und Orbital Sciences die Logistik der Space Shuttles weitgehend ersetzen.

Nach dem erfolgreichen Flug von ATV-2 sind bis 2015 drei weitere Flüge geplant. An den nächsten Missionen wird bereits gearbeitet.

ATV-3 „Edoardo Amaldi“ und ATV-4 befinden sich bereits im Bau. Die Bauteile von ATV-5 werden beschafft. „Edoardo Amaldi“ soll im Februar 2012 starten, die weiteren in etwa jährlichen Abständen. ATV-6 könnte in der Mitte des möglichen Verlängerungszeitraums 2015 bis 2020 die ISS versorgen.

Supplies for the ISS

„Johannes Kepler“ was launched on February 16, 2011, at 22:50 CET from Kourou. Eight days later, the vehicle docked successfully on the space station and will remain for at least presumably three months.

The ATV-2 carries a payload of about seven tons including the German experiment equipment GEOFLOW 2. According to current plans, the ATVs will account for about 28 tons of cargo until 2015. Until 2012, the ISS will be supplied by NASA's space shuttle. In addition, there will be Russia's Progress spacecraft and Japan's HTV transfer vehicles. From 2013 onwards, the logistical services of the space shuttles will be largely taken over by commercial US providers, like SpaceX and Orbital Sciences.

After the successful flight of ATV-2, three more flights are scheduled until 2015. Work on the next missions is already going ahead.

ATV-3 „Edoardo Amaldi“ and ATV-4 are being built even now. The components of ATV-5 are being procured. „Edoardo Amaldi“ is scheduled for launching in February 2012, followed by the others at approximately one-year intervals. ATV-6 might supply the ISS in the middle of the extension period from 2015 to 2020.



Höhepunkte der ATV-2-Mission

Die schwerste bisher auf einer Ariane 5ES gestartete Nutzlast

Transport von circa sieben Tonnen Nettolast (einschließlich Treibstoffe)

Neun geplante Reboost-Manöver und Lage-Regelung für die ISS

Betankung des russischen Servicemoduls Svesda

Zusätzlicher Raum (für Experimente und als Schlafplatz für die Crew)

Wiederholte Demonstration aller ATV-Fähigkeiten

Erstes ATV aus der Serienproduktion

ATV-2 mission highlights

The heaviest payload launched so far on an Ariane-5ES

Transport of circa 7 tons of net payload (fuels included)

Nine scheduled re-boost manoeuvres plus ISS attitude control

Fuelling of the Russian Svesda service module

Additional space for experiments (and as a crew dormitory)

Repeated demonstration of all ATV capabilities

First ATV from series production

Der europäische Raumtransporter ATV-2 wird voraussichtlich noch bis Juni 2011 an der ISS angedockt bleiben

The European space transporter ATV-2 will be docked presumably until June 2011 on the ISS



COLUMBUS COLUMBUS

Das europäische Forschungsmodul

Am 7. Februar 2008 war es soweit: Die Raumfähre Atlantis brachte das europäische Weltraumlabor COLUMBUS zur Internationalen Raumstation. Die ESA-Astronauten Hans Schlegel (Deutschland) und Léopold Eyharts (Frankreich) halfen bei der Montage an der ISS mit Außeneinsätzen. Am 11. Februar 2008, 22:44 MEZ, galt die Integration offiziell als beendet. In der Folge wurde unter Mithilfe von Eyharts COLUMBUS in Betrieb genommen.

Die Shuttle-Mission 122 lieferte damit Europas Hauptbeitrag zum internationalen Forschungsprojekt ISS. COLUMBUS ist das erste europäische Weltraumlabor für dauerhafte, multidisziplinäre Forschung im All. Die Integration des 6,9 Meter langen und 4,5 Meter breiten Labors am Verbindungsknoten 2 („Harmony“) war der Abschluss jahrelanger Vorbereitung und harter Arbeit. Mit einer geplanten Lebensspanne von mindestens zehn Jahren schreibt COLUMBUS schon jetzt als erstes europäisches Raumlabor für die

The European Research Module

February 7, 2008 was the day of the big event: the space shuttle Atlantis took off to deliver the European COLUMBUS space laboratory to the International Space Station. The ESA astronauts Hans Schlegel (Germany) and Léopold Eyharts (France) performed Extra Vehicular Activities (EVAs) to assemble COLUMBUS on the ISS. On February 11, 2008, at 10.44 pm CET, the integration was officially declared complete.

With Eyharts' assistance, COLUMBUS was subsequently commissioned. This made shuttle mission 122 Europe's main contribution to this international research project ISS. COLUMBUS is the first European space laboratory designed for permanent multidisciplinary research in space. The integration of the laboratory, 6.9 metres in length and 4.5 metres in width, at Node 2 (Harmony) marked the culminating point of years of preparation and hard work. With its scheduled life of no less than ten years, COLUMBUS has already gone down in history as Europe's first space laboratory for long-term research under space conditions. The laboratory is primarily designed for research in the materials and life sciences as well as for physics and the development of new technologies. Platforms attached to its outer wall serve to expose experiments to free space. Industrial and commercial exploitation has been initiated and will be expanded in the future.



8. Februar 2010:
Start des Aussichtsmoduls Cupola

February 8, 2010:
launch of the observatory module
Cupola

14. Mai 2010:
Start des russischen Fracht-
und Kopplungsmoduls
Rassvet – Mini-Research Module 1

May 14, 2010:
launch of the Russian cargo
and coupling module Rassvet –
Mini-Research Module 1



Langzeitforschung unter Weltraumbedingungen Geschichte. Das Labor ist primär für die Forschungsgebiete Material- und Lebenswissenschaften, Physik und die Entwicklung neuer Technologien ausgelegt. An seiner Außenwand bieten Plattformen Möglichkeiten, Experimente dem freien Weltraum auszusetzen. Die industrielle, kommerzielle Nutzung des Labors wurde ebenfalls eingeleitet und soll künftig ausgebaut werden. Das Labor ist der Hauptarbeitsplatz für die europäischen Astronauten.

Neben der logistischen Versorgung für die Crew und die Raumstation wurden im Zuge der Mission COLUMBUS Ausrüstung und Material für die innere und äußere Ausstattung des europäischen Labors zur ISS gebracht. Zusätzlich zu den Anlagen für Experimente war als neuer Ausrüstungsgegenstand der Stationsbesatzung das „European Fly-wheel Exercise Device“ dabei, ein nach dem Prinzip des induzierten Widerstands arbeitendes Trainingsgerät. Es hilft den Astronauten gegen den Abbau von Muskelmasse und Knochenstärke sowie gegen die Schwächung der Muskelfunktion.

Hightech made in Germany

Als Hauptauftragnehmer für COLUMBUS führte EADS-Astrium in Bremen ein Konsortium von 41 Unternehmen aus 14 Ländern an, das für Entwicklung, Fertigung, Integration und Tests verantwortlich war. Der Festpreisvertrag für die Entwicklung wurde im März 1996 unterzeichnet. Die Gesamtkosten für das Modul betragen einschließlich der Testeinrichtungen 880 Millionen Euro. Hiervon fielen etwa 450 Millionen Euro für die deutsche Industrie an.

Die deutsche Industrie spielte ebenfalls bei der Entwicklung und beim Bau von technisch anspruchsvollen Laborausstattungsgegenständen eine entscheidende

It is at the laboratory that European astronauts spend most of their working hours. In addition to ferrying up the logistical supplies for the crews of the space station, the COLUMBUS mission carried equipment and material for installation inside and outside the European laboratory to the ISS. In addition to new experimental apparatus, the crew received a new piece of equipment called the European flywheel exercise device, which, working by induced friction, will help astronauts to keep the mass and functionality of their muscles from deteriorating and their bones from weakening.

Hightech made in Germany

As main contractor, EADS Astrium of Bremen led a consortium of 41 companies from 14 countries which were responsible for developing, building, integrating, and testing COLUMBUS. Quoting a fixed price, the development contract was signed in March 1996. The total cost of the module amounted to 800 million euros, test facilities included, of which German manufacturers received orders worth about 450 million euros.



Die COLUMBUS-Crew im frisch integrierten Forschungslabor: Unten Stephen Frick und Peggy Whitson (beide NASA). Zweite Reihe: Daniel Tani (NASA), Léopold Eyharts (ESA), Yuri Malenchenko (Roskosmos). Oben: Stanley Love (NASA), Hans Schlegel (ESA), Leland Melvin, Rex Walheim und Alan Poindexter (alle NASA).

The COLUMBUS crew in the freshly-integrated research laboratory. Below: Stephen Frick and Peggy Whitson (both NASA). Second row: Daniel Tani (NASA), Léopold Eyharts (ESA), Yuri Malenchenko (Roskosmos). Top: Stanley Love (NASA), Hans Schlegel (ESA), Leland Melvin, Rex Walheim, and Alan Poindexter (all NASA).



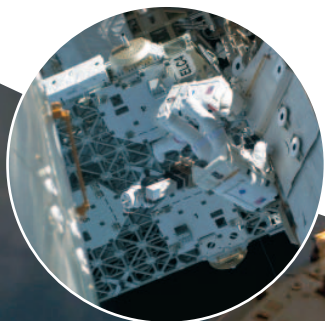
Der deutsche Astronaut Thomas Reiter hantiert mit einem Probeneinschub der MELFI-Gefrieranlage

German astronaut Thomas Reiter handling a sample tray of the MELFI freezer

Rolle. So hatte sie beispielsweise die Systemführung bei der Entwicklung der Experimentieranlagen BIOLAB (für biologische Forschung; EADS Astrium), EPM (European Physiology Modules für medizinische Forschung; OHB) und MSL (Materials Science Lab für materialwissenschaftliche Forschung; EADS Astrium) inne. Weitere deutsche Firmen waren als Unterauftragnehmer an der Entwicklung beteiligt. Auch die Proben-Gefrieranlage MELFI (bis minus 80 Grad; maßgebliche Entwicklung durch die Firma Linde) oder die wissenschaftliche Probenhantier-einrichtung Microgravity Science Glovebox (MSG; EADS Astrium) stammen im Wesentlichen aus Deutschland. Für Entwicklung und Fertigung des Data-Management-Systems (DMS-R), das von EADS Astrium mit einem fehlertoleranten Rechner ausgestattet wurde, war Deutschland ebenfalls verantwortlich. Vom russischen Service-Modul aus lenkt es wichtige Funktionen der ISS-Kontrolle. Das DMS-R wurde bereits im Jahr 2000 installiert und arbeitet seit Anfang 2001 zuverlässig.

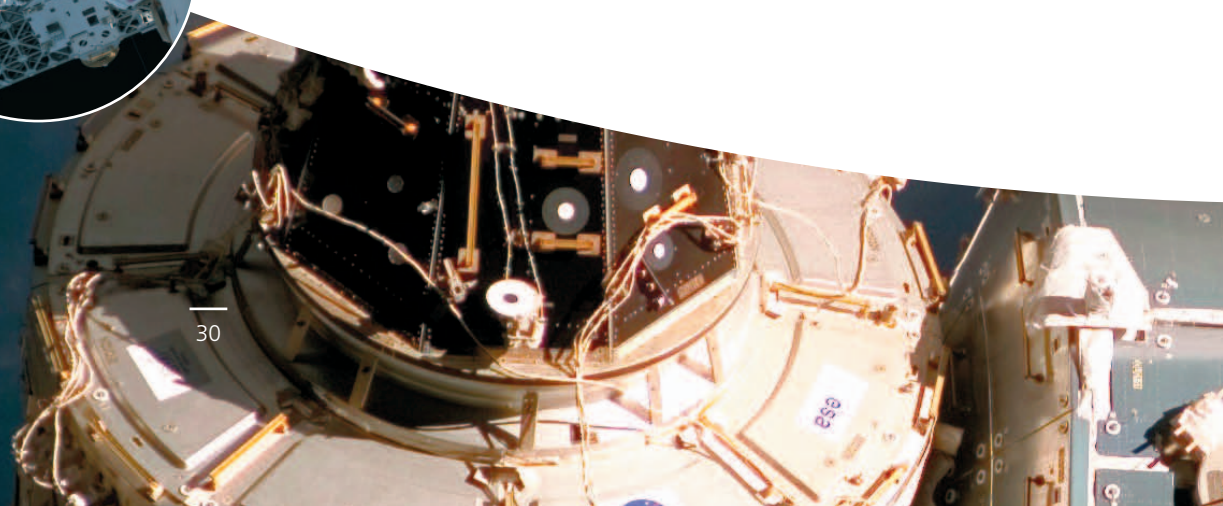
Germany's industry also played a crucial role in the development and construction of technically sophisticated laboratory equipment. Thus, for example, German companies were put in charge of system management in the development of the BIOLAB experimental facilities (for biological research; EADS Astrium), the EPMs (European physiology modules for medical research; OHB), and the MSL (materials science laboratory; EADS Astrium). Further German companies were involved in these developments as subcontractors. Other essentially German developments include the MELFI sample freezer (down to -80 degrees Celsius; development led by Linde) and the Microgravity Science Glovebox sample handling equipment (MSG; EADS Astrium). Furthermore, Germany was responsible for the development and manufacture of the data management system (DMS-R) which was equipped with a fault-tolerant computer by EADS Astrium. Located in the Russian service module, DMS-R handles important ISS control functions. Installed as early as 2000, DMS-R has been working reliably since the beginning of 2001.

Yet another batch of German contributions includes control elements integrated in the European robotic arm (ERA) and the important connecting nodes 2 and 3, which have already been integrated in the ISS. The ERA robotic arm will be delivered to the station by a Russian Proton transport vehicle in 2012.



24. Februar 2011:
Start der externen Logistikplatt-
form EXPRESS Logistics Carrier
(ELC) 4

*February 24, 2011:
launch of the external storage
platform EXPRESS Logistics Carrier
(ELC) 4*



30

Deutschland ist ebenfalls mit Steuerungselementen am Europäischen ISS-Roboterarm (ERA) und den Verbindungsknoten 2 und 3, die bereits in die ISS integriert wurden, beteiligt. Der Roboterarm ERA soll 2012 mit einem russischen Proton-Transporter zur Station gebracht werden.

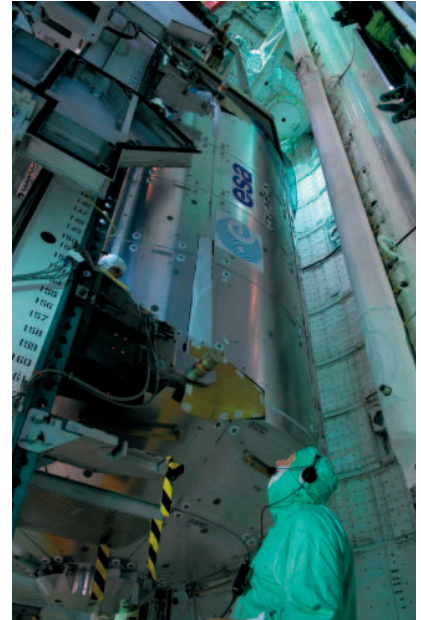
Die COLUMBUS-Infrastruktur

Zwar ist COLUMBUS das kleinste der sechs Labormodule der Raumstation. Trotzdem können hier vom Volumen, der Datenkapazität und dem Energieverbrauch her ebenso viele Experimente wie in den anderen Labors durchgeführt werden. Zudem konnte COLUMBUS mit 2.500 Kilogramm Nutzlast gestartet werden und so Transportkosten senken. Bis zu drei Astronauten können in dem europäischen Labor an wissenschaftlichen Experimenten arbeiten. Die Außenwand des Moduls besteht aus mehreren Lagen der Werkstoffe Aluminium, Kevlar und Nextel, die das Labor vor Beschädigungen durch Mikrometeoriten und Weltraummüll sowie vor kosmischer Strahlung schützen. Die Struktur der Außenwand ermöglicht eine starke Temperaturisolierung. Die Solargeneratoren der Raumstation versorgen COLUMBUS mit einer Leistung von 20 Kilowatt, von denen 13,5 Kilowatt für die wissenschaftlichen Einrichtungen genutzt werden können.

Im Inneren ist das europäische Raumlabor mit 16 Racks ausgestattet, in denen – ähnlich wie bei Einbauschränken – Experimentanlagen, Laborausrüstung, Computer und technische Systeme untergebracht sind. Sie können Versuchseinrichtungen

The Infrastructure of COLUMBUS

COLUMBUS is the smallest of six laboratory modules on the space station. In spite of terms of volume, data capacity, and energy consumption, the same number of experiments can be carried out here as in the other laboratories. Moreover, COLUMBUS managed to carry 2,500 kilogrammes of payload at launch time to keep transport cost low. The European laboratory can accommodate up to three astronauts working on scientific experiments at any one time. The module's outer wall consists of several layers of the materials aluminium, Kevlar, and Nextel to protect it from damage by micro-meteorites and space junk as well as from cosmic radiation. Moreover, the structure of the outer wall provides excellent heat insulation. The space station's solar generators provide COLUMBUS with 20 kilowatts of power, of which 13.5 kilowatts may be used to operate scientific equipment.



Das europäische Forschungslabor COLUMBUS auf seinem Weg in die Nutzlastbox des Space Shuttle Atlantis

The European COLUMBUS research laboratory on its way into the payload bay of the Atlantis space shuttle



24. Februar 2011:
Start des permanenten
Logistikmoduls PMM Leonardo

*February 24, 2011:
launch of the permanent
logistics module PMM Leonardo*



Im Forschungslabor COLUMBUS stehen den Wissenschaftlern folgende Racks zur Verfügung:

BIOLAB: Rack zur Untersuchung von Mikroorganismen, Zellkulturen und Gewebeproben sowie kleiner Pflanzen oder Tiere, um die Rolle der Schwerkraft für Entwicklung und Wachstum von Organismen besser verstehen zu lernen.

Fluid Science Laboratory: Rack zur Untersuchung von Flüssigkeiten, insbesondere deren Verhalten. Ziel sind Verbesserungen in der Energiegewinnung, der Effektivität von Treibstoffen oder bei Umweltfragen.

European Physiology Modules: Rack zur Untersuchung des menschlichen Körpers und dessen Verhalten in Schwerelosigkeit anhand von Selbstversuchen der Astronauten. Muskel- und Knochenschwund, Flüssigkeitskreisläufe, Atmung, Stoffwechsel, Immunsystem und Gehirnaktivitäten können genau analysiert werden.

European Drawer Rack: Rack für den flexiblen Einbau kleinerer Experimente unterschiedlicher Disziplinen.

von bis zu 700 Kilogramm Masse aufnehmen. Die Racks sind nach einem internationalen Standard gebaut, der den Austausch mit amerikanischen und japanischen Experimentmodulen ermöglicht. Diese stellen die Schnittstelle für Stromversorgung, Kühlsysteme sowie Video- und Datenleitungen bereit. Bei Bedarf können die Experimentanlagen getauscht oder ersetzt werden.

Per Tele-Operation können Wissenschaftler von der Erde aus teilweise direkt in den Versuchsablauf eingreifen und Parameter ändern. Drei der 16 Racks sind System-Racks, die zum Beispiel die Kabinenluftaufbereitung und -kontrolle, Steuerung und Überwachung der Kühlkreisläufe, Energieverteilung, Datenmanagement und das Feuerunterdrückungssystem steuern. Drei weitere Racks dienen als Stauraum.

COLUMBUS ist am Knoten 2 angedockt. Über diesen Knoten wird Frischluft in das Modul eingeleitet, die aus dem amerikanischen und russischen Teil der Station bezogen wird. Ein europäisches System zur Sauerstoffaufbereitung (ACLS Advanced Closed Loop Life Support System) befindet sich in der Entwicklung. ACLS, vergleichbar mit dem amerikanischen System, soll nach dem

In its interior, the European space laboratory is furnished with 16 racks which – similar to fitted cupboards – hold experimental apparatus, laboratory equipment, computers, and technical systems. Up to 700 kilogrammes of experimental equipment can be accommodated. All racks are built to an international standard to make them interchangeable with American and Japanese experimental modules. They provide a port for power supply, cooling systems, as well as CCTV and data cables. Experimental facilities can be exchanged or replaced as required.

Tele-operation enables scientists on Earth to intervene in experiments and change parameters if required. Three of the sixteen racks contain systems which handle, for example, the regeneration and monitoring of the cabin air, the control and monitoring of the cooling circuits, the distribution of energy, the management of data, and fire suppression. Three of the other racks provide storage space.

COLUMBUS is docked on node 2, from where oxygen – provided by the American and Russian sections – is induced in the European laboratory. The development of a European oxygen regeneration system (ACLS, Advanced Closed-Loop Life Support System) is in progress. Comparable to the American system, ACLS will be based on the closed-cycle principle. The water (process water, condensate and fresh water) on the ISS is used to generate enough oxygen for three astronauts. Once ACLS becomes permanently operational, the volume of water to be transported annually will be reduced by about 500 kilogramme, saving ten million euros in the European share of the operating cost.



**geplant für April 2011:
Start des Weltraumforschungsmoduls
Alpha-Magnet-Spektrometer 2**

**scheduled for April 2011:
launch of the research module
Alpha-Magnet-Spectrometre 2**



**geplant für April 2011:
Start der externen Logistikplattform
ExPRESS-Logistics Carrier (ELC) 3**

**scheduled for April 2011:
launch of the external logistics plat-
form ExPRESS Logistics Carrier (ELC) 3**

Prinzip eines geschlossenen Kreislaufs funktionieren. Der Sauerstoff für drei Astronauten wird aus dem auf der ISS vorhandenen Wasser (Brauchwasser, Kondensat und Frischwasser) erzeugt. Mit der dauerhaften Inbetriebnahme von ACLS könnte der Wassertransport um jährlich etwa 500 Kilogramm gesenkt und dadurch zehn Millionen Euro des europäischen Betriebskostenanteils eingespart werden.

Verunreinigungen der Kabinenluft können eine ernste Gefahr für die Astronauten der ISS bedeuten, zur Evakuierung der Station führen und so Missionen ernsthaft gefährden. Um unnötige Evakuierungen zu vermeiden, analysiert das Infrastrukturelement ANITA (Analyzing Interferometer for Ambient Air) 32 gasförmige Verunreinigungen der Kabinenluft. ANITA wurde bereits erfolgreich getestet. Genauigkeit und Zuverlässigkeit dieser Messtechnologie bahnen einer neuen Generation von Scannern für Spurengase den Weg. Überlegungen zu einem ANITA der zweiten Generation sind im Gange.

An der Außenhülle können an vier Plattformen Experimente angebracht werden. Die Forscher setzen so ihre Versuchsanordnungen direkt dem Weltraum aus. Auch eine wissenschaftliche Betrachtung der Sonne und der Erde wird so möglich.

Cabin air pollution may present a serious threat to the astronauts on the ISS, so much so that the station might have to be evacuated, gravely endangering its mission. To avoid unnecessary evacuations, an infrastructural element called ANITA (analysing interferometer for ambient air) checks 32 gaseous pollutants in the cabin air. ANITA has already been tested successfully. The accuracy and reliability of this new measuring technology is paving the way for a new generation of trace gas scanners. The development of a "second-generation" ANITA is being considered.

Four platforms on the outer skin accommodate experiments which researchers want to expose directly to space. Moreover, they enable scientific observations of the Sun and the Earth.

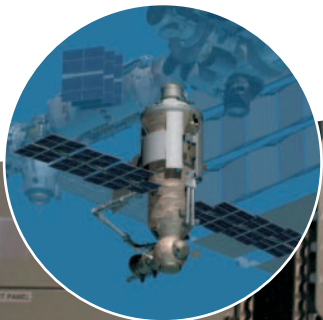
Scientists have access to the following racks inside the COLUMBUS research laboratory:

BIOLAB: rack for examining micro-organisms, cell cultures, and tissue samples as well as small plants or animals in order to improve our understanding of the part played by gravity in the development and growth of organisms.

Fluid science laboratory: rack to examine fluids and especially their behaviour. The aim is to improve energy generation methods, the efficiency of fuels, and environmental aspects.

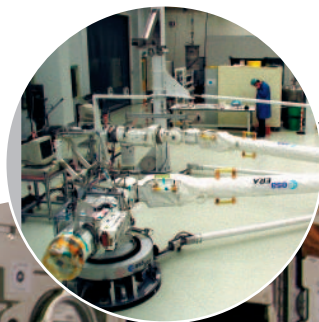
European physiology modules: rack to examine the human body and its behaviour in microgravity by astronauts experimenting on themselves. The equipment can precisely analyse muscle and bone atrophy, fluid cycles, respiration, the metabolism, the immune system, and the activity of the brain.

European drawer rack: rack available for accommodating smaller experiments in various disciplines.



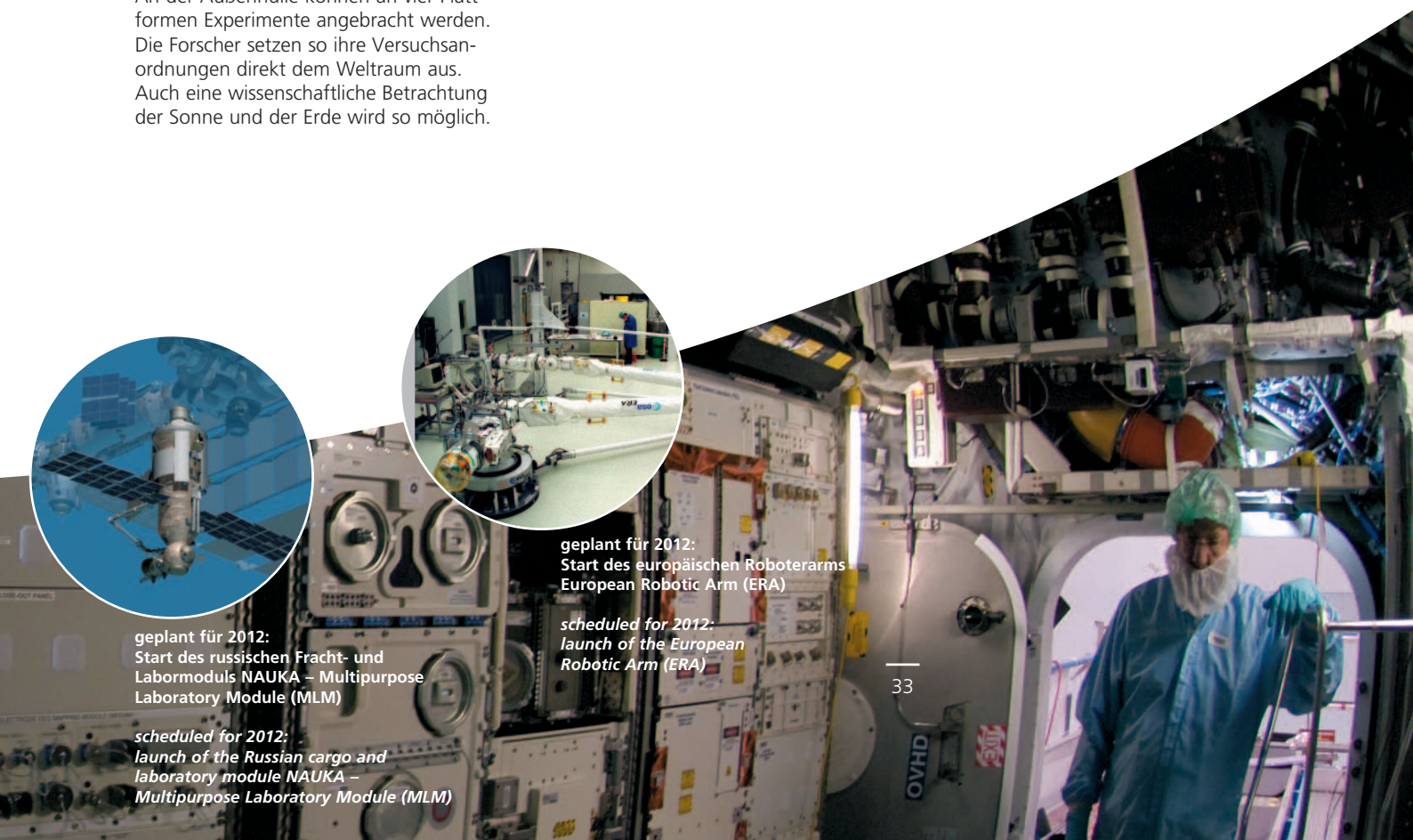
geplant für 2012:
Start des russischen Fracht- und
Labormoduls NAUKA – Multipurpose
Laboratory Module (MLM)

scheduled for 2012:
launch of the Russian cargo and
laboratory module NAUKA –
Multipurpose Laboratory Module (MLM)



geplant für 2012:
Start des europäischen Roboterarms
European Robotic Arm (ERA)

scheduled for 2012:
launch of the European
Robotic Arm (ERA)







DEUTSCHE FORSCHUNG
AUF DER ISS

*GERMAN RESEARCH
ON THE ISS*



Forschung unter Weltraumbedingungen

Research under Space Conditions

Von einfachen physikalischen bis zu komplexen biologischen Systemen – die Gravitation beeinflusst alle Vorgänge auf unserer Erde. Häufig spielt sie eine unübersehbare Rolle: Gegenstände fallen zu Boden, Wasser fließt ins Tal, und Gasblasen im kochenden Wasser treiben nach oben. Bei vielen Vorgängen in Natur und Technik ist der Einfluss der Schwerkraft jedoch nicht unmittelbar zu erkennen.

Dennoch ist sie als konstante Größe auch hier von grundsätzlicher Bedeutung. In der Evolution sind Erdanziehung und Leben auf unserem Planeten seit rund dreieinhalb Milliarden Jahren untrennbar miteinander verbunden. Unser ganzes Leben ist ein ständiger Kampf mit der Schwerkraft: vom Laufenlernen eines Babys bis zu den Gebrechen des alten und kranken Menschen.

Wenn Wissenschaftler etwas über die Rolle eines Faktors in einer Gleichung erfahren wollen, verändern sie seine Größe oder schalten ihn sogar ganz aus. Für den Faktor Schwerkraft ist dies für längere Zeiträume erst durch die Raumfahrt möglich geworden. In unmittelbarer Erdnähe ist Schwerelosigkeit nur für kurze Zeit möglich: im Fallturm Bremen, auf Flugzeugparabelflügen oder auf Forschungsraketen. Ist länger andauernde Schwerelosigkeit für die Forschung notwendig, muss die Wissenschaft die Erde verlassen und in den Weltraum gehen. Dort stehen Forschungssatelliten wie FOTON und BION oder eben die ISS zur Verfügung. Das Programm „Forschung unter Weltraumbedingungen“ bündelt diese Aktivitäten und bildet so eines der Fachprogramme des Nationalen Raumfahrtprogramms.

From simple physical to complex biological systems, the force of gravity influences everything that happens on our Earth. In many ways, the effects of gravity are there for all to see: things fall to the ground, water flows downhill, and gas bubbles rise in boiling water. At the same time, there are many natural and technical processes in which the influence of gravity is not immediately distinguishable.

Yet it is as fundamental a constant here as elsewhere: throughout the history of evolution, i.e. for three billion years and a half, life on our planet has been inextricably interwoven with the force of gravity. Our entire life is spent in a permanent struggle against gravity, from babies learning to toddle to elderly and sick people suffering from aches and pains.

When scientists want to learn about the part played by a certain factor in an equation, they normally change its intensity or even eliminate it altogether. Gravity, however, can be eliminated only in space, at least for prolonged periods. Near to Earth, microgravity can be realised only briefly: in the Bremen drop tower, in aircraft on a parabolic trajectory, or in research rockets. Whenever lengthier periods of microgravity are needed in research, science must leave Earth behind and go to space where research satellites like FOTON or BION and, of course, the ISS are available. Bundling up all research efforts, a programme entitled Research Under Space Conditions was set up to explore the influence of gravity changes, forming a separate research focus within Germany's national space programme.

Mit der Forschung unter Weltraumbedingungen verfolgt das DLR drei übergeordnete Ziele:

Die Natur erforschen:

Der Weltraum bietet einzigartige Möglichkeiten, die Gesetze der Physik von der Relativitätstheorie bis zur Quantentheorie zu überprüfen und den Urfragen der Menschheit nachzugehen. Aufbruch zu neuen Horizonten in der Physik und Erforschung grundlegender Lebensfunktionen sind Schwerpunkte der Forschung im Weltraum.

Anwendungspotenziale eröffnen:

Technologischer Fortschritt erfordert Wissen um grundlegende Phänomene. Weltraumexperimente helfen, diese Phänomene zu erklären. Das Programm ist ein wichtiger Impulsgeber für innovative Technologien in Materialforschung und Verbrennung sowie für neue Diagnose- und Therapiemethoden in der Medizin.

Exploration ermöglichen:

Für zukünftige Langzeitmissionen zu Mond, Mars oder anderen fernen Zielen wird das Programm einen wichtigen Beitrag leisten. Für derart ausgedehnte Reisen müssen grundlegende Voraussetzungen geschaffen werden, etwa durch Entwicklung neuer Technologien, aber auch durch die Suche nach Methoden, mit denen wir die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Astronauten langfristig erhalten können.

Auf diese übergeordneten Ziele wird in vier thematischen Schwerpunkten hingearbeitet:

- Erforschung grundlegender Lebensfunktionen,
- Entwicklung neuer Diagnostikmethoden und Therapien in der Medizin,
- Erweiterung der Horizonte in der physikalischen Forschung,
- innovative Materialforschung.

The DLR pursues three overarching goals with its Research Under Space Conditions programme:

To Explore Nature:

Space offers unique opportunities to review the laws of physics, from the theory of relativity to the quantum theory, and to investigate mankind's most fundamental questions. Setting out for new horizons in physics and exploring some of the fundamental functions of life are the key ambition of scientific research in space.

To Open up Application Potentials:

To make progress in technology, we need to know about fundamental phenomena which can be explained by experiments in space. This being so, the programme is a source of inspiration for innovative technologies in materials and combustion research as well as for new methods of medical diagnosis and treatment.

To Enable Exploration:

The programme will contribute a great deal to future long-range missions to the Moon, Mars, or other remote destinations, not least because it makes use of the ISS. Before we can undertake such lengthy journeys, however, we need to prepare the ground by, for example, developing new technologies or searching for methods to safeguard the health and performance of astronauts over prolonged periods.

We pursue these overarching goals under four specific research topics, namely

- *to investigate basic vital functions,*
- *to develop new methods of diagnosis and treatment in medicine,*
- *to expand the horizons of physical research, and*
- *to explore innovative materials.*

Fluggelegenheiten für Forschung unter Weltraumbedingungen / Flight Opportunities for Research under Space Conditions

Unbemannt / Unmanned



Fallturm 5–9 sec
Drop Tower 5–9 sec



Forschungsrakete 6–12 min
Sounding Rocket 6–12 min



Satellit < 1 Monat
Satellite < 1 Month

Bemannt / Manned



Parabelflüge 22 sec
Parabolic Flights 22 sec



Raumstation > 1 Monat
International Space Station ISS > 1 Month

Experimente von 2001 bis 2010

Experiments from 2001 till 2010

Lebenswissen- schaften – Biologie

Die Schwerkraft bestimmt das Leben auf der Erde. Alle Vorgänge auf unserem Heimatplaneten laufen unter dem Einfluss von Gravitation ab. Deswegen lässt sich deren Bedeutung für viele Funktionen des Lebens nur in der Schwerelosigkeit erforschen. Dabei beobachten die Wissenschaftler, wie Zellen und Organismen reagieren und wie biologische Vorgänge unter diesen Bedingungen ablaufen. Unter irdischen Schwerkraftbedingungen wachsen Pflanzenwurzeln immer in Richtung Erdmittelpunkt, Sprossen dagegen zum Licht. Wie gelingt ihnen das? Wie orientieren oder entwickeln sich Lebewesen bei fehlender Schwerkraft? Aus den Weltraumexperimenten gewinnen die Forscher Erkenntnisse über Mechanismen, mit denen Organismen die Schwerkraft wahrnehmen und und wie sie auf diese reagieren. Diese Erkenntnisse sind nicht nur für die Grundlagenforschung von großer Bedeutung. Auch bei biotechnologischen Vorgängen macht man sie sich zunutze. Weltraumexperimente helfen zudem, die Entstehung, Verbreitung und Entwicklung des Lebens besser zu verstehen.

DOSMAP Erstes nicht-amerikanisches biowissenschaftliches Experiment auf der ISS

Koordination: Dr. Günther Reitz,
DLR Köln

Mit dem Experiment DOSMAP zur Messung des Strahlenfelds begann für die deutsche Wissenschaft die biowissenschaftliche Forschung auf der ISS. In

Life Sciences – Biology

Gravity controls life on Earth. Virtually all processes are influenced by the force of gravity. For this reason, its importance for many vital functions can be explored only in its absence. Scientists may then observe how cells and organisms respond to these conditions, and what course biological processes take. In Earth's normal gravity, the roots of a plant will always grow towards the planetary centre while its shoots grow towards the light. How does it do that? How do living beings develop or get their bearings in the absence of gravity? From experiments in space, researchers draw conclusions about the mechanisms by which organisms perceive gravity and respond to it. Such insights are of great importance not only for basic research but also for our handling of specific biotechnological processes. What is more, space experiments help us to improve our knowledge about the origin, distribution, and evolution of life.

DOSMAP The First Non-American Experiment in Life Sciences on the ISS

Coordinator: Dr Günther Reitz,
DLR Cologne

The DOSMAP experiment to measure the radiation field marked the beginning of German life sciences research on the ISS. In a way, history was repeating itself: in 1972, the first German life sciences experiment in space was concerned with measuring radiation – BIOSTACK on Apollo 16.

Since then, numerous passive and active radiation measuring devices (dosimeters) have been developed and refined for use in space. Passive dosimeters supply radiation levels accumulated over time, whereas active ones measure current exposure rates. Accumulated over many



gewisser Weise wiederholte sich hier Geschichte: Auch das erste deutsche bio-wissenschaftliche Weltraumexperiment beschäftigte sich 1972 mit Strahlungsmessung – BIOSTACK auf Apollo 16.

Seitdem wurden für die Raumfahrt viele passive und aktive Strahlungsmessgeräte (Dosimeter) entwickelt und verfeinert. Passive Dosimeter liefern einen über die Zeit summierten Wert der Strahlung. Aktive messen aktuelle Expositionsraten. Die langjährige Expertise des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin des DLR hat bei diesen Entwicklungen eine entscheidende Rolle gespielt: Das vom Institut und seinen nationalen und internationalen Kooperationspartnern neu entwickelte Dosimeterset wurde mit zwei Shuttle-Flügen im März und April 2001 zur ISS geschickt. Die Messungen dauerten von März bis August 2001. Nach deren Abschluss begann die Auswertung auf der Erde.

Die inzwischen vorliegenden und bereits publizierten Ergebnisse weisen auf große Unterschiede in der Strahlenbelastung an verschiedenen Stellen des US-Labors und des Knotens 1 hin, was durch die unterschiedliche Abschirmung erklärt werden kann. Zudem nimmt die Strahlenbelastung bei einer Veränderung der Umlaufbahn der ISS von 386 auf 404 Kilometer um rund 30 Prozent zu. Insgesamt ist die Strahlenbelastung wegen der besseren Abschirmung aber deutlich geringer als bei den Ende der Neunzigerjahre durchgeführten Shuttle-Missionen oder auf der russischen MIR-Station. Wegen der Komplexität des Strahlenfelds und seiner zeitlichen Änderungen sind allerdings weitere kontinuierliche Messungen notwendig, die nach Ende des DOSMAP-Experiments mit anderen Geräten in Angriff genommen wurden.

years, the expertise of the DLR's Institute of Aerospace Medicine played a crucial role in these developments: a set of dosimeters newly developed by the institute and its national and international cooperation partners was sent to the ISS on two shuttle flights in March and April 2001. Measurements were taken from March to August 2001, after which the data were evaluated on Earth.

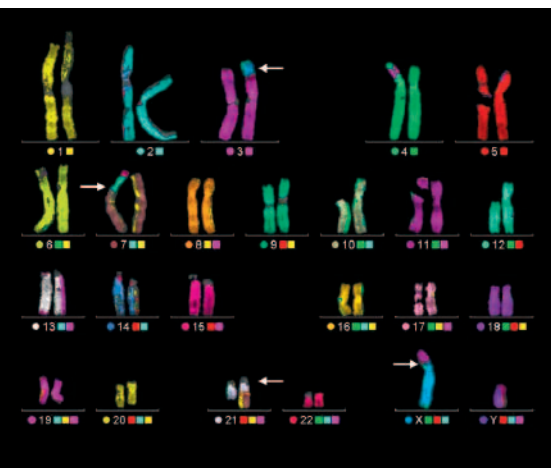
The results that have become available and have been published so far indicate great differences in radiation exposure at various locations in the US laboratory and the Harmony Node, which may be explained by variations in shielding effectiveness. Moreover, radiation exposure grows by around 30 per cent if the orbital height of the ISS is increased from 386 to 404 kilometres. All in all, however, improved shielding has reduced radiation exposure considerably below the level recorded on the shuttle missions of the late 1990s or on the Russian MIR station. However, because the radiation field is complex and changes over time, it was found that further continuous measurements would be needed. These began after the end of the DOSMAP experiment, using different equipment.



Astronaut James S. Voss baut die Apparatur des Experiments DOSMAP (Dosimetric Mapping) in das Human Research Facility (HRF)-Rack im amerikanischen Labor DESTINY ein

Astronaut James S. Voss installing the apparatus for the DOSMAP (dosimetric mapping) experiment in the Human Research Facility (HRF) rack of the American DESTINY laboratory





Die Aufnahme zeigt eine komplexe Veränderung der Chromosomen von Langzeitastronauten. Besonders betroffen sind die Chromosomen 3, 7, 12, 15 und das X-Chromosom.

This image shows the complex changes in the chromosomes of long-term astronauts. Chromosomes 3, 7, 12, and 15 as well as the X-chromosome are particularly affected.

CHROMOSOME Strahlenbelastung von Astronauten

Koordination: Prof. Günter Obe;
Dr. Christian Johannes, Universität Essen

Die Auswirkungen der Weltraumstrahlung auf den Menschen untersuchte die Experimenterserie CHROMOSOME und CHROMOSOME 2, die zwischen November 2002 und April 2008 auf der ISS durchgeführt wurde.

Weltraumlangzeitaufenthalte können aufgrund der Strahlung zu erhöhten Mutationsraten von Chromosomen führen – ein Hinweis für ein erhöhtes Krebsrisiko. Mit Hilfe neuer, cytogenetischer Methoden versuchten Forscher der Universität Essen, Erkenntnisse über die erbgutverändernde Strahlenbelastung von Astronauten zu gewinnen. Hierzu werden die Chromosomen von peripheren Lymphocyten im Blut auf Veränderungen untersucht. Diese Methode wird inzwischen auch zur Erfassung der mutagenen Belastung durch Umweltgifte beim Menschen angewendet. Chromosomale Veränderungen dienen so als „biologischer Strahlungsmesser“.

Im Weltraum wurden die Untersuchungen sowohl an den ISS-Langzeitcrews als auch zum Vergleich an Astronauten und Kosmonauten durchgeführt, die sich während Shuttle- oder Sojus-Flügen nur für wenige Tage bis zwei Wochen im Weltraum aufgehalten hatten. Die Ergebnisse zeigten eine deutliche Erhöhung der Mutationsrate nur für die Langzeitbesatzungen. Bei den Kurzzeitcrews wurden keine Veränderungen festgestellt.

Zum Glück besitzen die Zellen einen wirksamen Reparaturmechanismus, so dass bei Kontrolluntersuchungen wenige Monate nach Ende der Langzeitmissionen keine Veränderungen an Chromosomen mehr nachgewiesen werden konnten. Die Ergebnisse zeigen, dass das Strahlen-

CHROMOSOME The Astronauts' Exposure to Radiation

Coordinators: Prof. Günther Obe;
Dr Christian Johannes, Essen University

The effects of cosmic radiation on human beings were examined in a series of experiments called CHROMOSOME and CHROMOSOME 2, which were run on the ISS between November 2002 and April 2008.

During long-term sojourns in space, radiation may increase the mutation rate of chromosomes, which ultimately implies an increased risk of developing cancer. With the aid of new cytogenetic methods, researchers from Essen University attempted to arrive at precise conclusions regarding the mutagenicity of radiation in astronauts. To this end, they looked for changes in the chromosomes of peripheral lymphocytes in the bloodstream. By now, this method is being used to measure the mutagenic effect of environmental contaminants on humans. Thus, chromosomal changes serve as a "biological dosimeter".

In the space context, examinations of long-term ISS crew members were compared to the results obtained from astronauts and cosmonauts who had been on shuttle or Soyuz flights, remaining in space for brief periods ranging from a few days to two weeks. It was found that mutation rates increase notably only in long-term crew members. Members of short-term crews showed no changes.

Luckily enough, cells have an effective repair mechanism, so that follow-up checks conducted a few months after the end of a long-term mission found no demonstrable chromosomal changes. The results show that, while the field of radiation in near-Earth space does impose a certain stress on astronauts, their missions do not entail an indefensible health hazard thanks to radiation protection and the effectiveness of bio-

feld des erdnahen Weltraums zwar die Astronauten belastet. Durch Strahlenschutzmaßnahmen und effektive biologische Reparaturmechanismen führen die Missionen allerdings nicht zu einer unverantwortbaren Gefährdung der Gesundheit. Künftige Langzeitmissionen zum Mond oder Mars erfordern jedoch aufgrund der starken Wirkung schwerer Ionen in der Weltraumstrahlung eine verbesserte Abschirmung sowie die Entwicklung anderer Gegenmaßnahmen.

EXPOSE-EuTEF Experimente zur Entstehung des Lebens

Koordination: Dr. Gerda Horneck, Dr. Günther Reitz, Dr. Petra Rettberg, alle DLR Köln; Dr. Jean Pierre Paul de Vera, DLR Berlin-Adlershof; Prof. Donat-Peter Häder, Universität Erlangen

Für die Strahlen- und Astrobiologen brach mit dem Start von EXPOSE-EuTEF (European Technology Exposure Facility) ein neues Kapitel auf der Suche nach der Entstehung und Ausbreitung des Lebens an. Die Anlage wurde gemeinsam mit COLUMBUS zur ISS gebracht und an der Außenhülle installiert. Zwei Wochen später wurde EXPOSE-EuTEF vom Microgravity User Support Centre (MUSC) im DLR in Köln aus aktiviert, Klappen und Ventile geöffnet und die Proben den lebensfeindlichen Bedingungen des Weltraums – extremen Temperaturschwankungen, Solar- und kurzweiliger UV-Strahlung, Ultrahochvakuum – ausgesetzt. Ein anderer Teil wurde mit simulierten Marsbedingungen – dünne Atmosphäre, hauptsächlich aus Kohlendioxid, solares Spektrum wie auf der Marsoberfläche – konfrontiert. Regelmäßig wurden die gemessenen Daten zur Sonneneinstrahlung und Temperatur auf die Erde gesendet.

Gut 18 Monate reisten die Proben der acht Forschergruppen unter der operativen Koordination des DLR im Welt- raum, ehe sie am 12. September 2009 mit EXPOSE-EuTEF wieder zur Erde zurückkehrten. Alle drei Einsätze wurden im

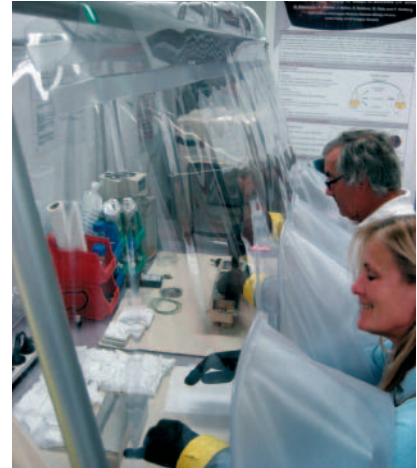
logical repair mechanisms. However, future long-range missions to the Moon or Mars will require shielding improvements and the development of other countermeasures.

EXPOSE-EuTEF Experiments on the Origin of Life

Coordinators: Dr Gerda Horneck; Dr Günther Reitz; Dr Petra Rettberg, all DLR Cologne; Dr Jean Pierre Paul de Vera, DLR Berlin-Adlershof; Prof. Donat-Peter Häder, Erlangen University

For radiation and astrobiologists, the launch of EXPOSE-EuTEF (European Technology Exposure Facility) marked the opening of a new chapter in their search for knowledge about the origin and spread of life. Together with COLUMBUS, the experiment was carried to the ISS and installed on the station's outer hull. Two weeks later, EXPOSE-EuTEF was activated by the Microgravity User Support Centre (MUSC) at DLR Cologne, flaps and valves were opened, and samples were exposed to the inhospitable conditions prevailing in space – extreme temperature fluctuations, solar and short-wave UV radiation, and hard vacuum. Some were confronted with a simulated Martian environment: a thin atmosphere mainly consisting of carbon dioxide and a solar spectrum like that on the surface of Mars. At regular intervals, solar-irradiation and temperature data measured were transmitted to Earth.

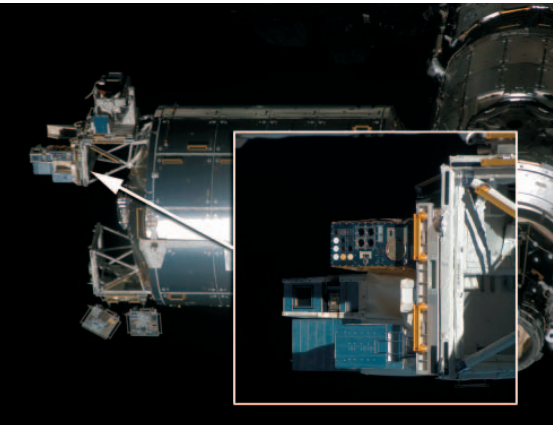
For somewhat more than 18 months, the samples of the eight research groups travelled through space under DLR's operational control until EXPOSE-EuTEF came back to Earth on September 12, 2009. Delivered to DLR Cologne, all three trays were opened under an inert



Zurück auf der Erde: Die Proben-träger von EXPOSE-EuTEF werden in Stickstoff-atmosphäre im DLR in Köln ausgebaut

Back on Earth: sample trays from EXPOSE-EuTEF being removed under a nitrogen atmosphere at DLR Cologne





Die Experimentanlage EXPOSE-EuTEF an der Außenseite des europäischen Labors COLUMBUS

View of the experiment platform on the outside of the European COLUMBUS laboratory showing the EXPOSE-EuTEF experiment assembly

DLR in Köln in Empfang genommen und in Stickstoff-Schutzgasatmosphäre geöffnet. Die Proben wurden ausgebaut. Die verschiedenen beteiligten internationalen Forschergruppen erhielten anschließend ihre Proben zurück, um den Effekt des Weltraumaufenthalts zu untersuchen. Sie überprüften die Überlebensfähigkeit der Organismen und suchten nach Schäden oder Veränderungen des genetischen Materials. Hintergrund dieser Forschung ist die Frage, ob Leben auf der Erde entstanden sein muss oder durch Meteoriten von Planet zu Planet übertragen werden könnte (Panspermie-Hypothese). Die Versuchsergebnisse sollen auch zeigen, ob Mikroorganismen an Bord von Raumschiffen zu anderen Planeten gebracht werden und dort überleben können.

Um Vergleiche anstellen zu können, stammten die Organismen bei diesen Experimenten aus sehr unterschiedlichen Umgebungen und Kategorien: eine Blaualge, die auch auf der Erde hoher UV-Strahlung ausgesetzt ist, ein Bakterium aus einem alpinen Salzstock, der überall vorkommende *Bacillus subtilis* (Heubazillus), Konidien (Pilzsporen) von *Trichoderma* (filamentöse Pilze) sowie Sporen von drei verschiedenen Farnarten und verschiedene Flechten. Flechten sind symbiotische Organismen aus Algen oder Blaualgen (Cyanobakterien) und bestimmten Pilzen.

Bisher vorliegende Ergebnisse zeigten eine bemerkenswerte Überlebensfähigkeit verschiedener Organismen – nicht nur von Mikroorganismen und Sporen. Die Flechte *Xanthoria elegans* (Zierliche Gelbflechte) erwies sich als besonders hartnäckig. Doch wie arrangiert sie sich mit den Extremsituationen im All? Im Weltraumvakuum verdampft Wasser

nitrogen atmosphere and their samples removed and returned to the participating international research groups, to be checked for changes caused by their stay in space. Organisms were examined for survivability and any damage to, or changes in, their genetic material. The background to this research is formed by the question of whether life necessarily has originated on Earth or may have been transported from planet to planet on meteorites (Panspermia hypothesis). Moreover, test results are supposed to show whether spaceships can be invaded by microorganisms that are able to survive in them.

*To facilitate comparison, the organisms in these experiments came from very different environments and categories: a strain of blue-green algae that are exposed to hard UV radiation on Earth, a bacterium from an Alpine salt dome, the ubiquitous *Bacillus subtilis* (hay bacillus), conidia (spores) of *Trichoderma* (filamentous fungi), and spores of three different kinds of fern and lichen. Lichen are symbiotic organisms formed by algae or blue-green algae (cyanobacteria) and certain fungi.*

*The results presented so far show remarkable survivability in various organisms, not only in micro-organisms and spores. *Xanthoria elegans*, the elegant sunburst lichen, proved itself particularly resilient. But how does it cope with the extreme conditions of space? Water instantly evaporates in the vacuum of space. To survive, organisms must be able to withstand long periods of extreme dryness – another riddle to be solved.*

The Panspermia hypothesis has not been conclusively confirmed by these results. Even if organisms are capable of surviving a journey through space they will be confronted with extreme temperatures as they enter the Earth's atmosphere. Whether or not layers of dust or grit cov-

sofort. Um überleben zu können, müssen die Organismen lange Perioden in extremer Trockenheit überstehen – ein weiteres Rätsel, das es zu lösen gilt.

Die Panspermie-Hypothese ist durch diese Ergebnisse noch nicht endgültig bestätigt: Selbst wenn die Organismen die Reise durch den Weltraum überstehen, sind sie mit den extremen Temperaturen beim Eintritt in die Erdatmosphäre konfrontiert. Ob eine Staub- oder Steinschicht, welche die Organismen bedeckt, vor der Hitze schützen kann, werden entsprechende Versuche zeigen.

AT-SPACE und WAICO Pflanzliche Gene und Schwerkraft

Koordination: Prof. Klaus Palme, Universität Freiburg; Prof. Günther Scherer, Leibniz Universität Hannover

Für Pflanzen ist es wichtig, die Schwerkraft wahrzunehmen und darauf zu reagieren: Wurzeln müssen zur Verankerung und zur Nährsalz- und Wasseraufnahme in den Boden wachsen (positiver Gravitropismus), der Spross nach oben (negativer Gravitropismus), um die Blätter für die Photosynthese zum Licht zu bringen. Ziel des Experiments AT-SPACE, das im Oktober 2007 von der Universität Freiburg durchgeführt wurde, war ein besseres Verständnis der verschiedenen Schritte bei der Wahrnehmung und Verarbeitung von Schwerkraft bei Pflanzen auf molekularer Ebene. WAICO, das in zwei Versuchsserien jeweils im Frühjahr 2008 und 2010 das BIOLAB im COLUMBUS-Labor nutzte, sollte auch noch andere Phänomene, die bei der Ausrichtung der Wurzelspitze eine Rolle spielen, untersuchen. Eines hiervon ist das Hin- und Herschwingen der Wurzelspitze. Dadurch wächst die Wurzel spiralförmig und bohrt sich in die Erde.

Untersuchungsobjekt war die Modellpflanze der Genetiker *Arabidopsis thaliana*, die Ackerschmalwand. Aufgrund ihres kurzen Lebenszyklus, ihrer geringen Größe und des relativ kleinen Genoms eignet

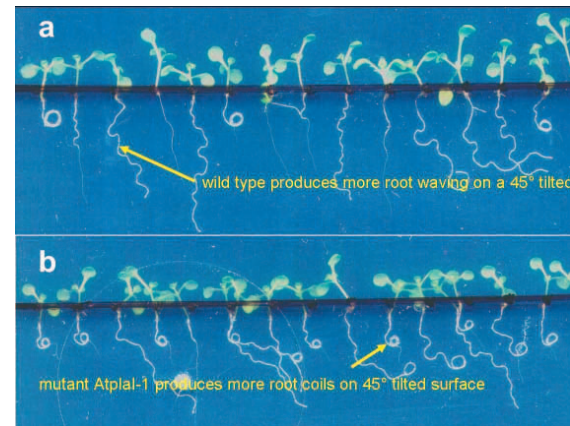
ering the organisms can protect them from heat will be investigated in future experiments.

AT-SPACE and WAICO Plant Genes and Gravity

Coordinators: Prof. Klaus Palme, Freiburg University; Prof. Günther Scherer, Leibniz University Hannover

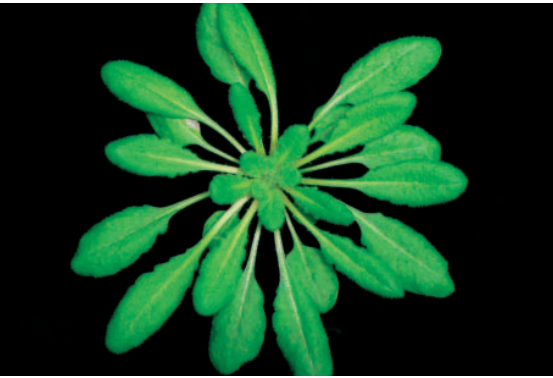
Plants depend on their ability to sense and respond to gravity: to anchor them and supply them with nutrient salts and water, their roots must grow downward into the soil (positive gravitropism), whereas their shoots must grow upwards (negative gravitropism) so that their leaves may be exposed to the light for photosynthesis. Conducted by Freiburg University in October 2007, the AT-SPACE experiment was intended to improve our understanding of the various steps plants pass through in sensing and assimilating gravity at the molecular level. WAICO, which used the BIOLAB of COLUMBUS in two series of tests run in the spring of 2008 and 2010, investigated other phenomena that influence the orientation of root tips. One of these is the swinging movement of the tip which causes the root to grow in a spiral, drilling into the soil.

*The object of study was that model plant of all geneticists, *Arabidopsis thaliana*, or mouse-ear cress. Its brief life cycle, small size, and relatively small genome make it an ideal object of research in microgravity. Thus, its entire genome can be analysed on a single microchip, making it relatively*



Auch in Schwerelosigkeit wachsen Wurzeln der Ackerschmalwand (a Wildtyp; b Mutante) spiralförmig und bohren sich so in die Erde

Also in microgravity, roots of mouse-ear cress (a wildtyp, b mutant) grow in spirals, drilling their way into the soil



Ideal für die Forschung in Schwerelosigkeit: die Ackerschmalwand (Foto: Marco Todesco/ Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie)

Ideal for research in microgravity: the mouse-ear cress (Picture: Marco Todesco/Max Planck Institute for Developmental Biology)

sie sich ideal für Forschung in der Schwerelosigkeit. So kann ihr gesamtes Genom auf einem einzigen Mikrochip analysiert und damit die Genexpression beispielsweise nach Wachstum unter den verschiedenen Schwerkraftbedingungen relativ leicht verglichen werden. Zudem ähnelt ihr Genom dem von Nutzpflanzen wie Sojabohne, Baumwolle und von verschiedenen Gemüsesorten und Ölpflanzen.

Erste Analysen zeigen, dass die Ausprägung vieler Gene in der Schwerelosigkeit verstärkt, anderer aber auch gehemmt ist. Die Wissenschaftler sind dabei, diese zu identifizieren und sie bestimmten Aufgabenbereichen zuzuordnen, um so zu einem umfassenden Bild der Schwerkrafteffekte auf genetischer Ebene zu gelangen. Bei WAICO zeigte sich zudem, dass – anders als erwartet – die Wurzeln auch in der Schwerelosigkeit eine typische schraubenförmige Anordnung der äußeren Wurzelzellen entwickeln. Molekularbiologische Analysen deuten darauf hin, dass eine Störung des schwerkraftregulierten Transports des Pflanzenhormons Auxin vorliegen könnte.

XENOPUS **Entwicklung von Kaulquappen**

Koordination: Prof. Eberhard Horn, Universität Ulm

Ein zeitweiliger Aufenthalt in einer reizfreien Umgebung bei Mensch und Tier kann sich nachteilig auf die Entwicklung von Sinnesleistungen wie Sehen, Hören, Fühlen oder Riechen auswirken. Dabei gibt es eine Zeitspanne, in der ein Reizentzug die Sinnesentwicklung besonders nachteilig prägt.

easy to compare gene expression in, for example, growth under various gravity conditions. Moreover, its genome resembles that of crops like soybean, cotton, various vegetables, and oil plants.

Tentative analyses show that microgravity enhances the expression of many genes and inhibits that of others. At the moment, scientists are working to identify these genes and attribute specific functions to them in order to obtain a comprehensive picture of the effects of gravity at the genetic level. Moreover, WAICO showed that, contrary to expectations, the outer cells of roots develop their typical helical arrangement even in microgravity. Molecular-biology analyses indicate that the gravity-regulated transport of auxin, a plant hormone, might be impaired.

XENOPUS **Developmental Biology of Tadpoles**

Coordinator: Prof. Eberhard Horn, Ulm University

In both humans and animals, staying for a time in an environment that is free from stimuli may have a detrimental effect on the development of the visual, auditory, haptic, or olfactory senses. Moreover, there is a period of time in which the absence of stimulation has a particularly harmful effect on sensory development.

Experiments in space were mounted to see whether this age-dependent sensitivity also occurs in the development of the vestibular system. Scientists of Ulm University conducted four sets of experiments in which tadpoles of the clawed frog were exposed to microgravity. In embryos and very young tadpoles, which began to develop their vestibular system during their stay in space, microgravity was found to have a marked effect on the development of swimming mechanisms and the vestibular-ocular reflex (VOR) – an eye movement triggered by tilting. The extent to which the VOR

Weltraumexperimente sollten zeigen, ob diese altersabhängige Empfindlichkeit auch bei der Entwicklung des Gleichgewichtssinns besteht. In vier Experimentserien setzten Wissenschaftler der Universität Ulm Kaulquappen des Krallenfroschs der Schwerelosigkeit aus. Bei Embryonen und sehr jungen Kaulquappen, deren Entwicklung des Gleichgewichtssinns während des Weltraumaufenthalts begann, zeigten die Experimente deutliche Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf die Entwicklung der Schwimmmechanismen und des Vestibulo-Okulären Reflexes (VOR) – eine durch die Kippung des Tieres ausgelöste Augenbewegung. Das Ausmaß der VOR-Änderungen war vom Alter der Kaulquappen während ihres Weltraumfluges abhängig. Es gibt also eine für die Entwicklung des Gleichgewichtssystems kritische Zeitspanne.

Ob diese Erkenntnisse auf den Menschen übertragen werden können, muss noch erforscht werden. Allerdings ähneln dessen Gleichgewichtssensoren durchaus denen des Froschs und lösen auch gleichartige Reaktionen der Augen aus.

Mistel-Lectin und rRNA Kristallisation von Makromolekülen

Koordination: Prof. Volker A. Erdmann, Freie Universität Berlin; Prof. Christian Betzel, Universität Hamburg

Am 7. Oktober 2009 vergab das Nobelpreis-Komitee den Nobelpreis für Chemie an die Israelin Ada Yonath sowie zwei amerikanische Kollegen für ihre bahnbrechenden Arbeiten zur Struktur und Funktion von Ribosomen.

changed was found to depend on the age of the tadpoles during their flight in space. In other words, there is a period that is critical for the vestibular system.

Whether these discoveries equally apply to human beings will have to be explored in the future. To be sure, their balance sensors do resemble those of frogs, and they trigger identical eye responses.

Mistletoe Lectin and rRNA Crystallisation of Macromolecules

Coordinators: Prof. Volker A. Erdmann, Free University of Berlin; Prof. Christian Betzel, Hamburg University

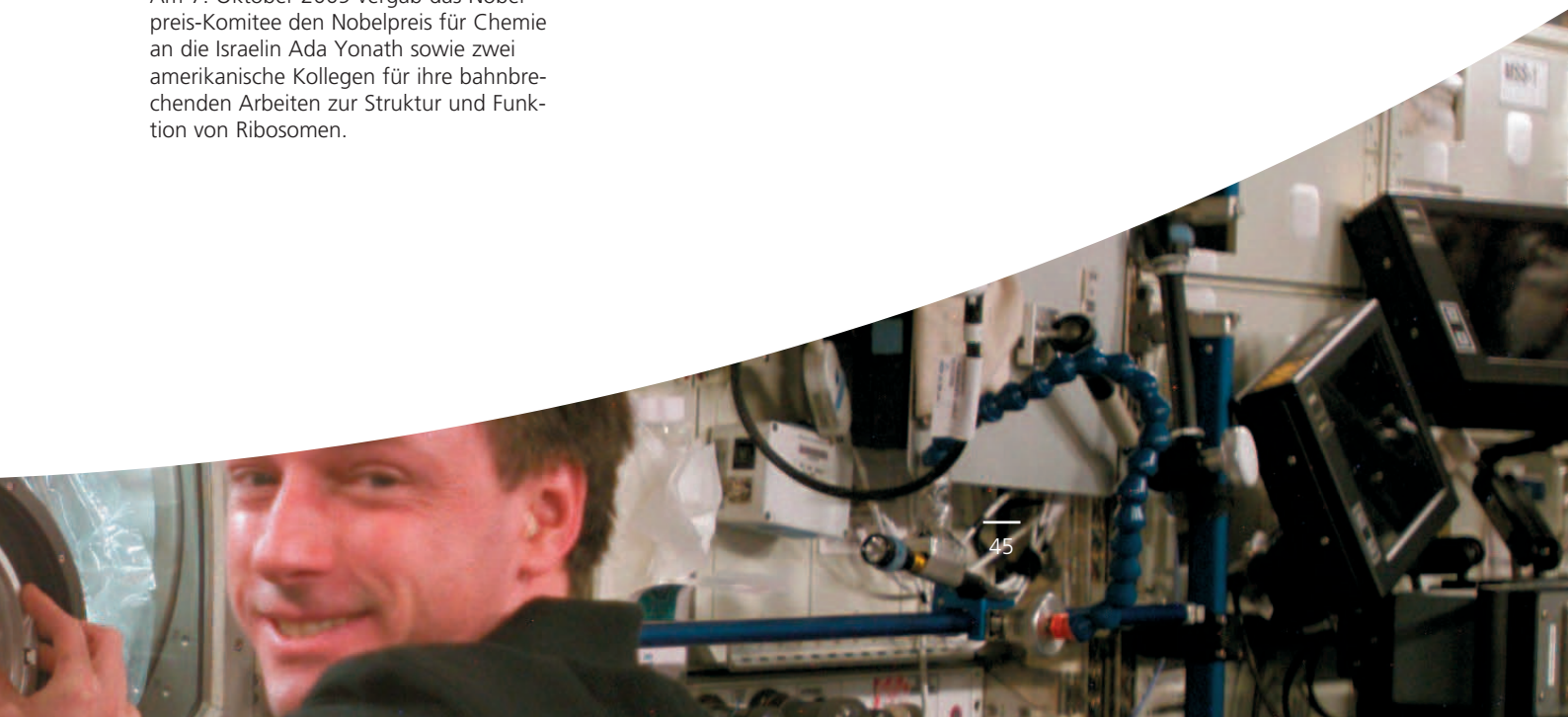
On October 7, 2009, the Nobel Prize Committee awarded the Nobel prize for chemistry to Ada Yonath, an Israeli, and two American colleagues for their ground-breaking work on the structure and function of ribosomes.

Mrs Yonath's cooperation partners from the German Electron Synchrotron (DESY) and the FU Berlin as well as other scientists pursued the subject further, making use of the ISS for their experiments in recent years.



Das Experiment XENOPUS testete die Entwicklung des Gleichgewichtssinns bei Kaulquappen in Schwerelosigkeit

The XENOPUS experiment examined the development of the vestibular system in tadpoles exposed to microgravity





Preisgekrönte Forschung: Am 7. Oktober 2009 nahm die Israelin Ada Yonath den Nobelpreis für Chemie entgegen (Pontus Lundahl/epa/dpa)

Prize-winning research: on October 7, 2009, Israeli Ada Yonath accepted the Nobel prize for chemistry (Pontus Lundahl/epa/dpa)

Yonaths Kooperationspartner vom Deutschen Elektronen Synchrotron (DESY) und von der FU Berlin haben – zusammen mit anderen Wissenschaftlern – diese Thematik weiterentwickelt und in den letzten Jahren die ISS für ihre Experimente genutzt.

Grundlage für die Analyse von Kristallstrukturen ist die möglichst perfekte Kristallisation der zu untersuchenden Substanzen. Genaue Kenntnis der Struktur ist Voraussetzung, ihre Eigenschaften und Funktionen zu verstehen, um beispielsweise pharmazeutische Anwendungen eines bestimmten Proteins zu verbessern. Aufgrund des Fehlens von Sedimentation und des gravitationsbedingten Flüssigkeitstransports führen Kristallisationsexperimente in der Schwerelosigkeit oft zu regelmäßigeren Strukturen im Kristall. Fortschritte in der Strukturaufklärung gerade bei großen Molekülen werden so möglich. Diesen Vorteil wollten sich auch deutsche Wissenschaftler zunutze machen und haben zwischen 2002 und 2009 insgesamt dreizehn deutsche Projekte zur Proteinkristallisation auf der ISS durchgeführt.

Tatsächlich konnte man die Strukturaufklärung für verschiedene Moleküle verbessern. In einigen Fällen wie bei bestimmten Oberflächenproteinen von Bakterien gelang zum ersten Mal eine Kristallisation. Eine Arbeitsgruppe der Universität Hamburg erreichte in verschiedenen Experimenten eine verbesserte Strukturanalyse des Mistel-Lectins. Erstmals konnten die chemischen Abläufe erklärt werden. Das Mistel-Lectin ist die Hauptkomponente in den Extrakten der Mistel und wird zur Stärkung des Immunsystems bei der Krebstherapie eingesetzt. Mit den Weltraumexperimenten

To facilitate analysing crystalline structures, the crystallisation of the substances under investigation should be as perfect as possible. Precise knowledge of such structures is a prerequisite for understanding their properties and functions in order to, for example, optimise the pharmaceutical application of a protein. In the absence of sedimentation and convection, i.e. the gravity-related transport of liquids, crystallisation experiments in microgravity often produce more regular crystalline structures. This, in turn, permits identifying the structures especially of larger molecules in greater detail. Intending to take advantage of this fact, German scientists completed a total of thirteen protein crystallisation projects on the ISS between 2002 and 2009.

And indeed, the structures of various molecules are now better understood. In some cases, including certain bacterial surface proteins, crystallisation was successful for the first time. A working group of Hamburg University succeeded in improving the structural analysis of mistletoe lectin and in explaining the chemical processes that go on. The key component of mistletoe extracts, mistletoe lectin, is used to strengthen the immune system in the treatment of cancer. Together with parallel studies on the ground, these experiments in space laid the foundation for improving the pharmaceutical applications of this protein.

Ribonucleic acids (RNA) form the link between the genetic information encoded in the DNA and its expression in proteins. In experiments run on the ISS in 2002, scientists from Berlin TU who were collaborating with the NOXXON AG pharmaceutical company succeeded in crystallising mirror RNA molecules for the first time. The advantage of these nucleic acids lies in their great durability in human blood, which makes them ideal for combating tumours or viral diseases such as AIDS. The experiments were mainly concerned with the exact arrangement of water molecules within the helix and in

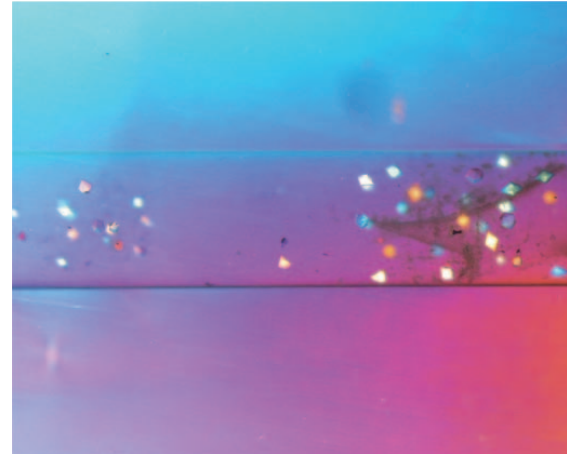
und den begleitenden Untersuchungen am Boden wurden die Grundlagen gelegt, die pharmazeutischen Anwendungen dieses Proteins zu verbessern.

Ribonucleinsäuren (RNA) sind das Bindeglied zwischen der genetischen Information der DNA und dem Aufbau der Proteine. In Versuchen auf der ISS im Jahre 2002 kristallisierten Wissenschaftler der TU Berlin in Zusammenarbeit mit der Pharmafirma NOXXON AG zum ersten Mal spiegelbildliche RNA-Moleküle, die im menschlichen Blut besonders beständig sind. Dadurch erscheinen sie besonders geeignet, Tumore oder virale Erkrankungen wie AIDS wirksam zu bekämpfen. Bei den Experimenten ging es vor allem um die exakte Anordnung von Wassermolekülen innerhalb der Helix und in deren Umgebung, die für den Erhalt der räumlichen RNA-Struktur wichtig sind. Das aus diesen Experimenten gewonnene Modell der 5S rRNA eröffnet neue Einsichten in die Interaktion von Antibiotika mit ribosomalen RNA und ermöglicht das Design effektiverer Wirkstoffe.

Weitere Experimente wurden von den Berliner Wissenschaftlern Ende 2008 und Ende 2009 durchgeführt. Die Wissenschaftler erwarten, dass die Strukturanalyse der RNA-Proben zu einem besseren Verständnis der Ribosomenfunktion beiträgt. Damit schließt sich gewissermaßen der Kreis, haben doch dieselben Berliner Wissenschaftler vor mehr als 20 Jahren gemeinsam mit der Nobelpreisträgerin Prof. Ada Yonath die Grundlagen für die Erforschung der Struktur der Ribosomen geschaffen.

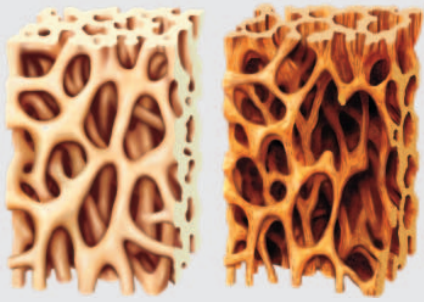
its environment which is important for preserving the three-dimensional structure of the RNA. The 5S rRNA model developed as part of these experiments opens up new insights into the interaction between antibiotics and ribosomal RNAs, enabling the design of more effective agents.

Late in 2008 and in October 2009, the Berlin scientists ran further experiments which are still being analysed. Ultimately, they expect structural analyses of RNA samples to improve our understanding of the functions of ribosomes. In a manner of speaking, this marks a return to the starting point, for it was the very same Berlin scientists who, together with the Nobel prize winner, Ada Yonath, laid the foundations for the exploration of the structure of ribosomes more than 20 years ago.



Kristalle des Proteins Mistel-Lectin I (JAXA)

Crystals of the protein mistletoe lectin I (JAXA)



Experimente auf der ISS untersuchen auch den Knochenstoffwechsel. Im All baut sich die Knochenmasse stärker ab als auf der Erde und lässt die Knochen osteoporotisch erscheinen (links: gesunder Knochen; rechts: osteoporotischer Knochen). (Frank Geisler/dpa)

Experiments on ISS also study the metabolism of bones. Under the conditions of microgravity, the mass of bones is reduced and makes the bone structure comparable to osteoporosis (left: healthy bone; right: osteoporosis). (Frank Geisler/dpa)

Lebenswissenschaften – Raumfahrtmedizin

Die Forschung in der Schwerelosigkeit ist von besonderem Interesse für die Medizin. Innerhalb weniger Wochen unterliegen Astronauten im All körperlichen Veränderungen, die mit dem Alterungsprozess des Menschen sehr gut vergleichbar sind. Dadurch können wir im Zeitraffer studieren, was sonst ein halbes Leben dauert. Darüber hinaus sind die Veränderungen beim Astronauten reversibel, sodass auch die Rückanpassung an die Schwerkraft auf der Erde untersucht werden kann.

Was die Astronauten an Bord der ISS erfahren, verändert unser Wissen um den menschlichen Körper. Vor allem das Zusammenspiel der verschiedenen Systeme wie Muskeln, Knochen, Herz-Kreislauf-, Gleichgewichts- und Immunsystem erscheint in einem neuen Licht. Dieses Wissen fließt zum einen in die Diagnostik und Therapie kranker Menschen ein, trägt zum anderen aber auch zur Erhaltung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Menschen in einer alternden Gesellschaft bei. So führte Forschung unter Weltraumbedingungen bereits zu neuen Trainingsmethoden, zu Therapien für die Behandlung von Osteoporose oder zu Instrumenten zur Messung des Augeninnendrucks und der Augenbewegungen, beispielsweise bei der Schielanalyse.

Life Sciences – Space Medicine

Research in microgravity is of particular interest in medicine. Within a few weeks, astronauts in space undergo physical changes that closely resemble those caused by the process of ageing in the human body. In a manner of speaking, this permits us to study in double-quick time processes that normally extend over half a lifespan. Moreover, the changes experienced by astronauts are reversible, so that their re-adaptation to gravity on Earth can be studied as well.

What astronauts are experiencing on board the ISS has changed our knowledge of the human body. Especially the interplay between the muscle, bone, cardiovascular, equilibrium, and immune systems appears in a different light. Such knowledge can be brought to bear on the diagnosis and therapy of the sick, but it also helps to maintain the health and vitality of people in an ageing society. Thus, research under space conditions has already brought forth new forms of physical exercise, new therapies for the treatment of osteoporosis, and new instruments to measure intraocular pressure and track the movements of the eye, the latter being used, for example, in the analysis of strabismus.

ETD Human Orientation in Space

Coordinator: Prof. Andrew Clarke, Charité Berlin

What was probably the most extensive German experiment yet concluded in space medicine was concerned with motion sickness, also known as kinetosis. Related problems include a variety of symptoms such as paleness, cold sweat, nausea, and vomiting. In addition, many people feel lethargic and tired. As these phenomena frequently occur on ship-

ETD Orientierung des Menschen im Raum

Koordination: Prof. Andrew Clarke,
Charité Berlin

Das wohl umfangreichste abgeschlossene deutsche Experiment der Raumfahrtmedizin befasste sich mit der Bewegungs-krankheit – auch Kinetose genannt. Die auftretenden Probleme bestehen aus einer Reihe von Symptomen, wie etwa Hautblässe, kalter Schweißausbruch, Übelkeit und Erbrechen. Zusätzlich stellt sich oft ein Gefühl von Lethargie und Müdigkeit ein. Diese Phänomene treten häufig bei Schiffsreisen auf und werden daher auch als See- oder Reisekrankheit bezeichnet. Treten bei Astronauten die gleichen Symptome aufgrund von veränderten Schwerkraftbedingungen auf, spricht man von Raumkrankheit.

Ursache für die Kinetose ist ein sensorischer Konflikt, bei dem vorwiegend zwei verschiedene Systeme des Körpers „konkurrieren“ – einerseits der Gleichgewichtssinn, andererseits das optische System. Liefern uns die beiden Systeme widersprüchliche Informationen, kann es zu einem sensorischen Konflikt kommen. Das optische System übermittelt beispielsweise in der Schwerelosigkeit die üblichen Informationen, während das Gleichgewichtsorgan keine Reizung über unsere gewohnte Ausrichtung des Kopfes zur Schwerkraft erfährt.

Die Untersuchung des Gleichgewichtssystems erfolgt in der klinischen Diagnose oft mittels der Messungen der Augenbewegungen. Für den Einsatz auf der ISS wurde hierzu das 3D-ETD (Eye Tracking Device) entwickelt.

Die Experimentserie begann im April 2004. Bereits wenige Wochen später zeigte die Auswertung der ersten Messungen, dass sich die sogenannte Listingsche Ebene in Abhängigkeit von den Schwerkraftbedingungen ändert. Dieser Befund bestätigte sich bei weiteren Kosmonauten, die sich

board journeys, they are also known as sea or travel sickness. In astronauts, who suffer from the same symptoms because of the change in gravity, this is called space sickness.

Kinetosis is caused by a sensory conflict, a “competition” between two different body systems. On the one hand, there is the sense of balance. On the other, there is the optical system. If these two systems provide us with conflicting information, a sensory conflict may result. In microgravity, for example, the information communicated by our optical system is perfectly normal, whereas the vestibular system receives no stimulus from our habitual orientation of the head’s position relative to the direction of gravity.

In clinical diagnosis, the vestibular system is often examined by measuring eye movements. For this purpose, the 3-D ETD (Eye Tracking Device) was developed for use on the ISS.

A series of related experiments was begun in April 2004. No more than a few weeks later, the first measurements had been evaluated, showing that Listing’s plane changes with the gravitational environment. Confirmed by examinations of other cosmonauts who volunteered as subjects until the middle of 2008, this finding is consistent with the results obtained on parabolic flights. When the eye moves rapidly, Listing’s plane is where all axes of rotation are situated – an internal coordinate system for the optical system. When gravity returns, the systems will re-adapt after some time.

The results do suggest that gravity influences not only the vestibular system but also the control of eye movements and thus the very process of seeing. Moreover, gravity affects the coordination of the interaction between the vestibular and the eye motor system within the



Der russische Kosmonaut Sergey Krikalev führte ein Experiment mit dem Eye Tracking Device durch. Das wohl umfangreichste abgeschlossene deutsche Experiment der Raumfahrtmedizin befasste sich mit der Bewegungs-krankheit – auch Kinetose genannt.

Russian cosmonaut Sergey Krikalev experimenting with the eye tracking device. What is arguably the most extensive space medicine experiment ever completed by Germany investigated motion sickness, also known as kinetosis.



Eye Tracking kommt auf der Erde zum Beispiel in der Augenlaser-Chirurgie zum Einsatz (Chronos Visions)

On Earth, eye tracking is used, for example, in the case of ophthalmologic surgery (Chronos Visions)

bis Mitte 2008 für Versuche zur Verfügung stellten und passt auch zu Ergebnissen aus Parabelflügen. In dieser Listingschen Ebene liegen bei raschen Augenbewegungen alle Drehachsen des Auges – ein internes Koordinatensystem für das optische System. In der Schwerkraft gleichen sich die Systeme nach längerer Zeit wieder an.

Die Ergebnisse legen nahe, dass nicht nur das Gleichgewichtssystem, sondern auch die Steuerung der Augenbewegung – und damit der Sehvorgang selbst – durch die Schwerkraft beeinflusst wird. Zudem ist die Wechselwirkung im zentralen Nervensystem zwischen dem Gleichgewichtssystem und der Augenmotorik weniger koordiniert. Die Ergebnisse bestätigen die Schwerkraft als maßgebliche Bezugsgröße für unsere räumliche Orientierung.

Inzwischen wird das Eye Tracking Device in verschiedenen kommerziellen Anwendungen in Berlin erfolgreich vermarktet. Die Einsatzfelder reichen von der Verlaufskontrolle bei der Laser-Hornhautabtragung zur Behandlung von Kurzsichtigkeit bis zur Diagnose einer Vielzahl von neurologischen Erkrankungen – zum Beispiel von Schwindel. Auch zur Verfolgung der Kopf- und Augenbewegung von Probanden bei der Werbewirkungsforschung und zur Feststellung der Müdigkeit von Lkw- und Busfahrern wird diese Technologie eingesetzt.

central nervous system. The results confirm that gravity is indeed the key reference factor for our orientation in space.

By now, various commercial variants of the eye tracking device are being marketed successfully by two spin-off companies located in Berlin. Applications range from process control in corneal laser ablations to treat myopia to the diagnosis of a multitude of neurological complaints, including vertigo. Research into the effectiveness of advertising uses the technology to track the head and eye movements of test subjects, and it is also used to identify fatigue in bus and lorry drivers.

PMDIS/TRAC Adaptation Processes in Motor Coordination

*Coordinator: Prof. Otmar Bock,
DSHS Cologne*

When German astronaut Thomas Reiter returned from the Astrolab mission, the event marked the beginning of the German-Canadian PMDIS/TRAC experiment (Perceptual Motor Deficits in Space/Test of Reaction and Adaptation Capabilities). PMDIS/TRAC was a project implemented jointly by the German Sports University of Cologne (DSHS) and the York University of Toronto, with NASA participating. DLR essentially supported the development of the experiment rig by the German space industry as well as the Sports University's research. Canada, an ISS partner state, provided the requisite resources.

PMDIS/TRAC was intended to analyse motor coordination specifically during the processes of adaptation to microgravity in space and to gravity on Earth. Medical researchers at the Cologne University investigated changes in the manual dexterity of astronauts in the course of a space mission. Further tests were

PMDIS/TRAC Anpassungsprozesse der Bewegungskoordination

Koordination: Prof. Otmar Bock,
DSHS Köln

Die Rückkehr des deutschen Astronauten Thomas Reiter nach der Astrolab-Mission markierte gleichzeitig den Beginn des deutsch-kanadischen Experiments PMDIS/TRAC (Perceptual Motor Deficits in Space/ Test of Reaction and Adaptation Capabilities). PMDIS/TRAC war ein gemeinsames Projekt der Deutschen Sporthochschule Köln (DSHS) und der York-University Toronto unter Beteiligung der NASA. Das DLR hat im Wesentlichen die Entwicklung der Experimentanlage durch die deutsche Raumfahrtindustrie sowie die Forschung an der Sporthochschule unterstützt. Kanada stellte als ISS-Partner die notwendigen Ressourcen bereit.

Beim Experiment PMDIS/TRAC sollte die Koordination von Bewegungen insbesondere während der Anpassungsprozesse an die Schwerelosigkeit und nach der Rückkehr zur Erde analysiert werden. Im Detail untersuchen Kölner Sportmediziner, wie sich die manuelle Geschicklichkeit von Astronauten im Laufe einer Weltraummission verändert. Weitere Tests maßen die Aufmerksamkeit des räumlichen Wahrnehmungsvermögens und anderer kognitiver Funktionen.

Das Experiment baut auf früheren Forschungsergebnissen dieser Arbeitsgruppen auf. Während der Spacelab-Mission Neurolab im Jahre 1998 und auf späteren Parabelflügen hatten die Wissenschaftler herausgefunden, dass Versuchspersonen in Schwerelosigkeit für die Lösung einer Aufgabe mehr Rechenkapazität im Gehirn zur Verfügung stellen, um vergleichbar gute Ergebnisse wie unter normalen Schwerkraftbedingungen zu erzielen. Für Langzeitastronauten gelten diese Ergebnisse nicht: Bei ihnen war die Feinmotorik über einen längeren Zeitraum beeinträchtigt und normalisierte sich in Schwerelosigkeit nur langsam.

concerned with measuring the alertness of spatial perceptivity and other cognitive functions.

The experiment was built on earlier research results of the aforementioned working groups. During the Neurolab Spacelab mission in 1998 as well as on subsequent parabolic flights, scientists had found that subjects in microgravity employed more computing power in their brains to solve a problem than they would have required to achieve results of comparable quality in normal gravity. These findings did not apply to long-term astronauts: their fine motor skills remained impaired for prolonged periods in microgravity and took a long time to return to normal.

The results of these experiments are not only important for planning future crewed space missions, they also improve our understanding of motor control in general. Motor learning has recently become a much-investigated subject in neuroscientific research, not least in the light of our ageing society.



Astronautin Sunita Williams testet während des Experiments PMDIS/TRAC die Koordination ihrer Bewegungen während der Anpassung an die Schwerelosigkeit

Astronaut Sunita Williams testing her motor coordination during adaptation to microgravity under the PMDIS/TRAC experiment



Die Ergebnisse aus diesen Experimenten sind nicht nur für die Planung künftiger bemannter Weltraummissionen von Bedeutung. Sie tragen auch zum besseren Verständnis der Bewegungskontrolle bei. Generell ist das Thema „Motorisches Lernen“ – nicht zuletzt vor dem Hintergrund einer alternden Gesellschaft – derzeit ein intensiv untersuchtes Feld der neurowissenschaftlichen Forschung.

Physik

Mit Experimenten im Weltraum lassen sich grundlegende Erkenntnisse gewinnen, die uns auf der Erde verborgen bleiben, da die Schwerelosigkeit Auswirkungen auf die folgenden physikalischen Prozesse hat: In Flüssigkeiten entfallen die Auftriebskonvektion, der hydrostatische Druck und die Sedimentation. Unter erhöhter Temperatur dehnen sich flüssige Stoffe aus, ihre Dichte nimmt ab und bei Normalgravitation strömen sie nach „oben“. Der Wegfall dieser Auftriebskonvektion in Schwerelosigkeit ermöglicht zum Beispiel, theoretische Vorstellungen von Transportprozessen in Flüssigkeiten und Gasen zu überprüfen. Plasmakristalle kann man unter Gravitation lediglich zweidimensional erzeugen. Nur unter der Schwerelosigkeit können dreidimensionale Kristalle hergestellt und untersucht werden. Praktische Anwendungen, etwa zur Beschichtung von elektronischen Mikrochips, zeichnen sich hier ab. Schwerelosigkeit ermöglicht auch die Erkundung von Quantenphänomenen – etwa das Verhalten von Materie am Temperaturnullpunkt – oder die Erforschung der Planetenentstehung.

Physics

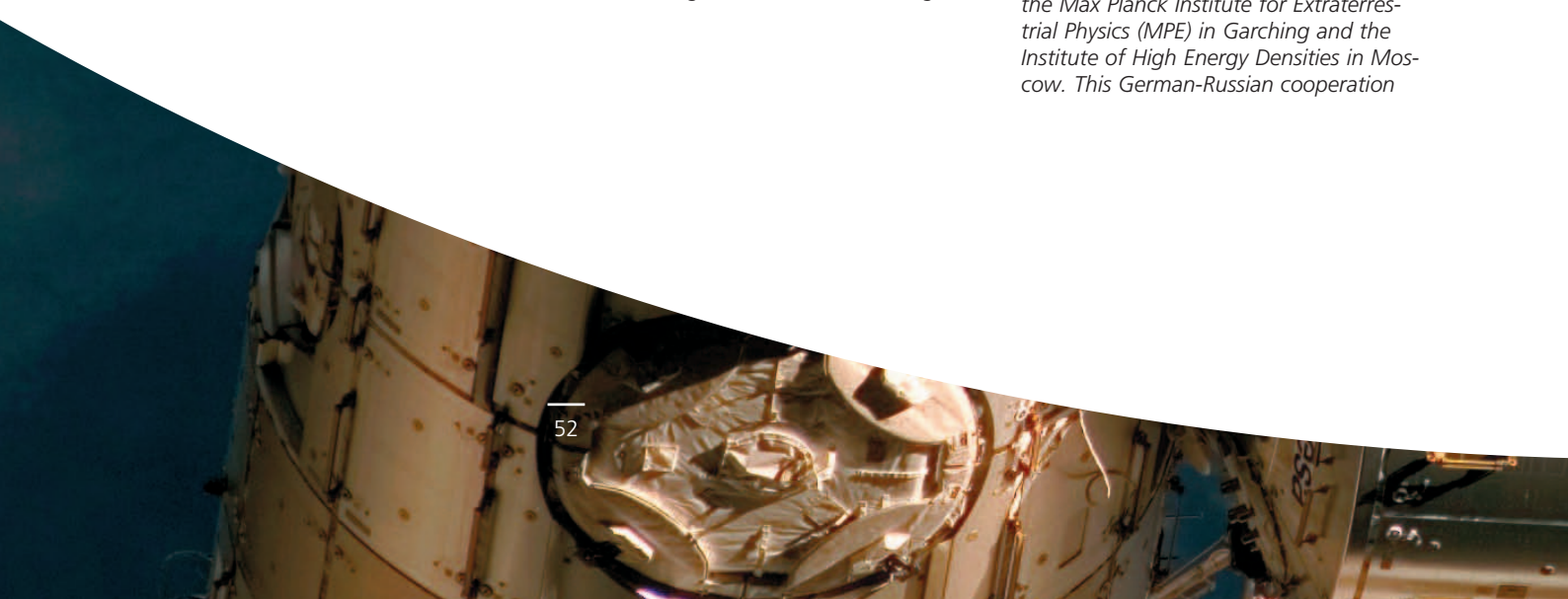
Because microgravity affects the following physical processes, experiments in space may yield fundamental discoveries that remain hidden to us on Earth: liquids are no longer subject to buoyancy convection, hydrostatic pressure, or sedimentation. At elevated temperatures, liquids expand, their density decreases, and they flow “upwards” in normal gravity. As convection does not operate in microgravity, theoretical concepts of transport processes in liquids and gases may be put to the test in space. Thus, only two-dimensional plasma crystals can be generated in normal gravity. In microgravity, on the other hand, three-dimensional crystals can be created and examined. Practical applications such as coatings for electronic microchips are emerging. Moreover, microgravity permits exploring certain quantum phenomena, such as the behaviour of matter at absolute zero, or studying the early phases of planetary development.

PKE

Phase Transitions in Plasma Crystals

Coordinators: Prof. Gregor Eugen Morfill, MPE Garching; Dr Vladimir Molotkov, RAS Moscow

Begun in March 2001, the first scientific experiment on the ISS was a series of tests to explore complex plasmas which continues to this day. The plasma crystal experiment (PCE) and its related research programme were implemented jointly by the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE) in Garching and the Institute of High Energy Densities in Moscow. This German-Russian cooperation



PKE Phasenübergänge in Plasmakristallen

Koordination: Prof. Gregor Eugen Morfill, MPE Garching; Dr. Vladimir Molotkov, RAdW Moskau

Als erstes wissenschaftliches Experiment auf der ISS begann im März 2001 eine sich bis heute erstreckende Experimentserie zur Erforschung komplexer Plasmen. Das Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik (MPE) in Garching und das Institut für Hochenergiedichten in Moskau führten gemeinsam das Plasmakristall-Experiment (PKE) sowie das dazugehörige Forschungsprogramm in der Experimentieranlage PK-3 durch. Dieses deutsch-russische Kooperationsprojekt wurde mit Unterstützung der ersten permanenten Crew realisiert. Das Experimentalprogramm wurde im Herbst 2001 durch Beteiligung französischer Wissenschaftler trilateral erweitert. Bis Ende 2005 wurden insgesamt 13 Experimentläufe absolviert.

Die Experimentieranlage „PK-3“ wurde im Auftrag des DLR in Deutschland entwickelt. Der russische Partner Energya/Rosaviakosmos transportierte sie zur ISS, stellte die Unterbringung in der Luftschleuse zwischen den Raumstationsmodulen Sarja und Swesda sicher und lieferte alle weiteren Ressourcen zum Betrieb der Anlage einschließlich des Transports von Anlagenkomponenten zwischen Erde und Orbit.

Ein komplexes Plasma besteht aus einem Niedertemperaturplasma – einem elektrisch geladenen Gas mit freien Elektronen und Ionen, wie etwa das Leuchtmedium in einer Leuchtstoffröhre – und kleinen Partikeln („Staub“) von 1 bis 20 Mikrometer Größe. Die Partikel werden in dem Gas elektrostatisch aufgeladen und treten miteinander in Wechselwirkung. Abhängig von den Experimentbedingungen – variiert werden das plasmazerzeugende elektrische Feld und der Gasdruck – verändert ein solches komplexes Plasma seine Struktur und verhält

project was realised on the PK-3 experimental facility with the support of the first permanent crew. In the autumn of 2001, the programme was expanded under the participation of French scientists into a trilateral undertaking. At all, 13 experimental campaigns were run until end of 2005.

Commissioned by DLR, the PK-3 experimental facility was developed in Germany. The Russian project partner, Energya/Rosaviakosmos, transported it to the ISS, securely stowed it in the airlock between the Zarya and Zvezda modules, and delivered all other resources required to operate the facility, including the shuttling of system components between Earth and orbit.

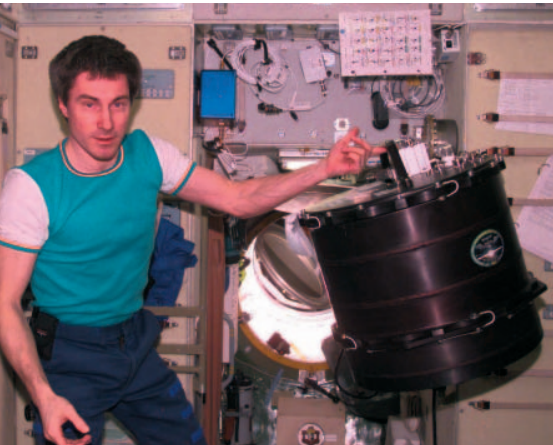
A complex plasma consists of a low-temperature plasma – an electrically charged gas incorporating free electrons and ions, comparable to the fluorescent gas in a neon tube – and small particles (“dust”) measuring between 1 and 20 micrometres. The particles are electrostatically charged in the gas and begin to interact



ESA-Astronaut Thomas Reiter arbeitet an der Plasmakristall-Apparatur PK-3 im Swesda-Modul

ESA astronaut Thomas Reiter working on the PK-3 plasma crystal apparatus in the Zvezda module





Kosmonaut Sergey Krikalev mit dem Plasmakristall-Experimentcontainer an Bord der Internationalen Raumstation

Cosmonaut Sergey Krikalev with the Plasma Crystal Experiment container onboard the International Space Station

sich wie eine Flüssigkeit, ein Gas oder mit dreidimensionaler regelmäßiger Anordnung der Partikel wie ein metallischer Kristall. Diese geordnete Struktur bezeichnet man auch als „Plasmakristall“. Sie konnte erstmals 1994 experimentell nachgewiesen werden.

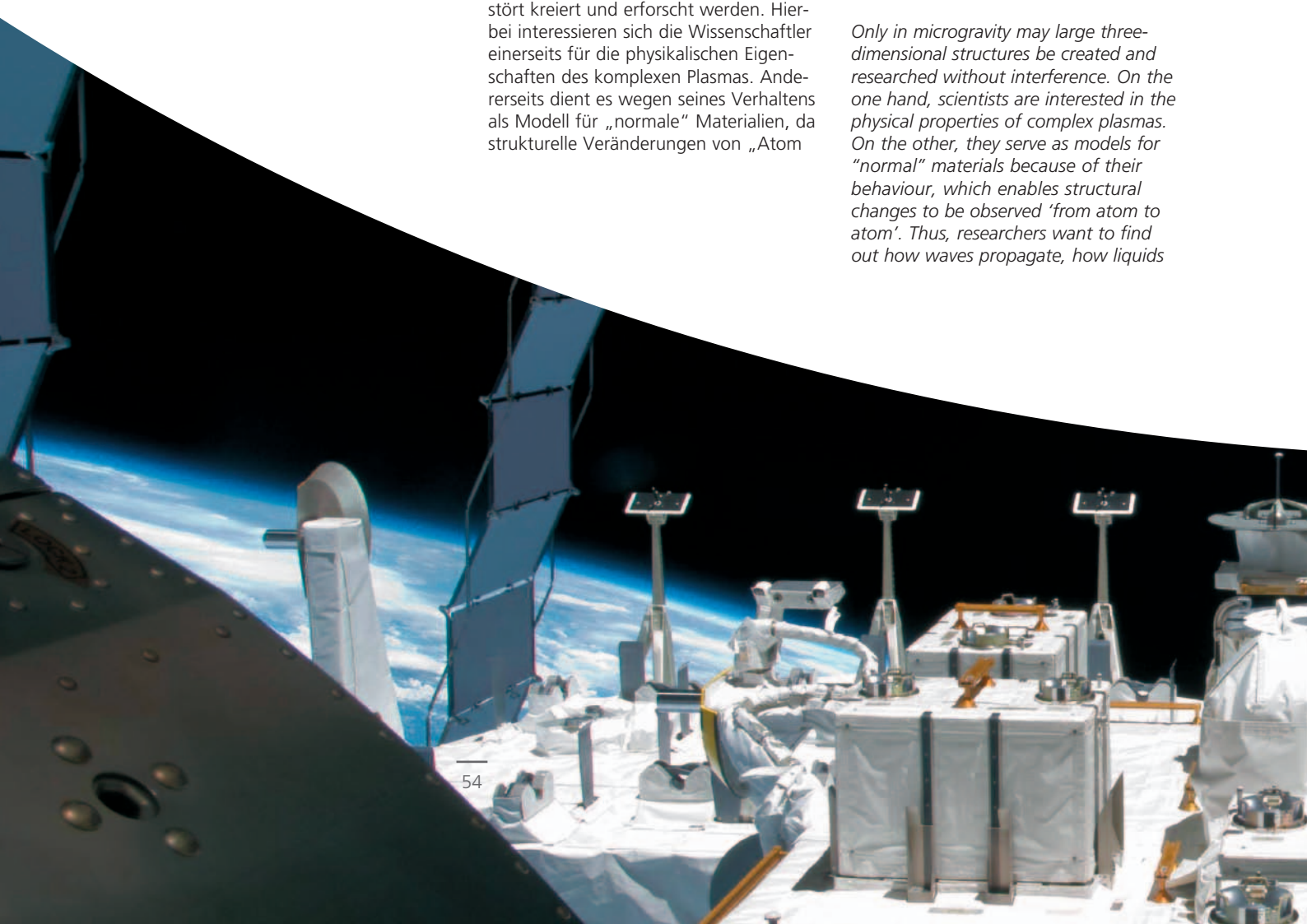
Für ein gewöhnliches Plasma ist die Schwerkraft von untergeordneter Bedeutung. Ein komplexes Plasma reagiert jedoch aufgrund der hundert Milliarden Mal größeren Masse der eingebrachten Mikropartikel im Vergleich zu Elektronen und Ionen sehr empfindlich auf die Schwerkraft: Die Partikel sinken ab und stauchen das komplexe Plasma in Richtung der Schwerkraft. Daher ist ein Plasmakristall auf nur wenige Gitterebenen begrenzt.

Nur unter Schwerelosigkeit können große dreidimensionale Strukturen ungestört kreiert und erforscht werden. Hierbei interessieren sich die Wissenschaftler einerseits für die physikalischen Eigenschaften des komplexen Plasmas. Andererseits dient es wegen seines Verhaltens als Modell für „normale“ Materialien, da strukturelle Veränderungen von „Atom

with it, with the two reaction partners behaving like a substance. Depending on the experimental parameters – variables include the electrical field which generates the plasma and the pressure of the gas – such a complex plasma will change its structure, behaving like a liquid, a gas or, if particles are regularly arranged in three dimensions, a metallic crystal. Such an ordered structure is also known as a ‘plasma crystal’. It was first demonstrated experimentally in 1994.

For an ordinary plasma, gravity is not an important force. Because the mass of the incorporated microparticles is a hundred billion times greater than that of the electrons and ions, a complex plasma responds to gravity in a highly sensitive way: particles sink downward, compressing the complex plasma in the direction of gravity. For this reason, a plasma crystal is limited to a few lattice levels.

Only in microgravity may large three-dimensional structures be created and researched without interference. On the one hand, scientists are interested in the physical properties of complex plasmas. On the other, they serve as models for “normal” materials because of their behaviour, which enables structural changes to be observed ‘from atom to atom’. Thus, researchers want to find out how waves propagate, how liquids



zu Atom“ beobachtet werden können. So interessieren sich die Forscher dafür, wie sich Wellen ausbreiten, wie sich Flüssigkeiten mischen, wie ein Flüssigkeitswirbel entsteht oder wie ein Kristall schmilzt. Besondere Aufmerksamkeit widmen sie dem Übergang von flüssig zu gasförmig und dem kritischen Punkt, an dem der Unterschied zwischen Flüssigkeit und Gas verschwindet.

Komplexe Plasmen sind in der Natur weit verbreitet. Sie treten in interstellaren Molekülwolken, planetaren Ringsystemen wie bei Saturn oder in Kometenschweifen auf. In der Plasmatechnologie sind sie häufig als störende Verunreinigungen anzutreffen. Für komplexe Plasmen zeichnen sich langfristig auch praktische Anwendungen ab, etwa zur Beschichtung von elektronischen Mikrochips, bei der Fertigung von Solarzellen und Flachbildschirmen.

Vorhandenes Lehrbuchwissen über die Stärke der in einem Plasma wirkenden Kräfte musste aufgrund der mit PK-3 gewonnenen Daten revidiert werden. Entdeckt wurde zudem die Ausbildung einer scharfen Grenzschicht im komplexen Plasma, die bisher nur bei Plasma-Wechselwirkungen mit festen Wänden bekannt war. Dabei ist es durch gezielte Versuche gelungen, einem in der terrestrischen Plasmatechnologie bekannten Verunreinigungseffekt durch Staubpartikel auf die Spur zu kommen.

mix, how a vortex develops in a liquid, or how a crystal melts. Besides, they are paying particular attention to the transition from the liquid to the gaseous state as well as to the critical point at which the difference between liquid and gas vanishes.

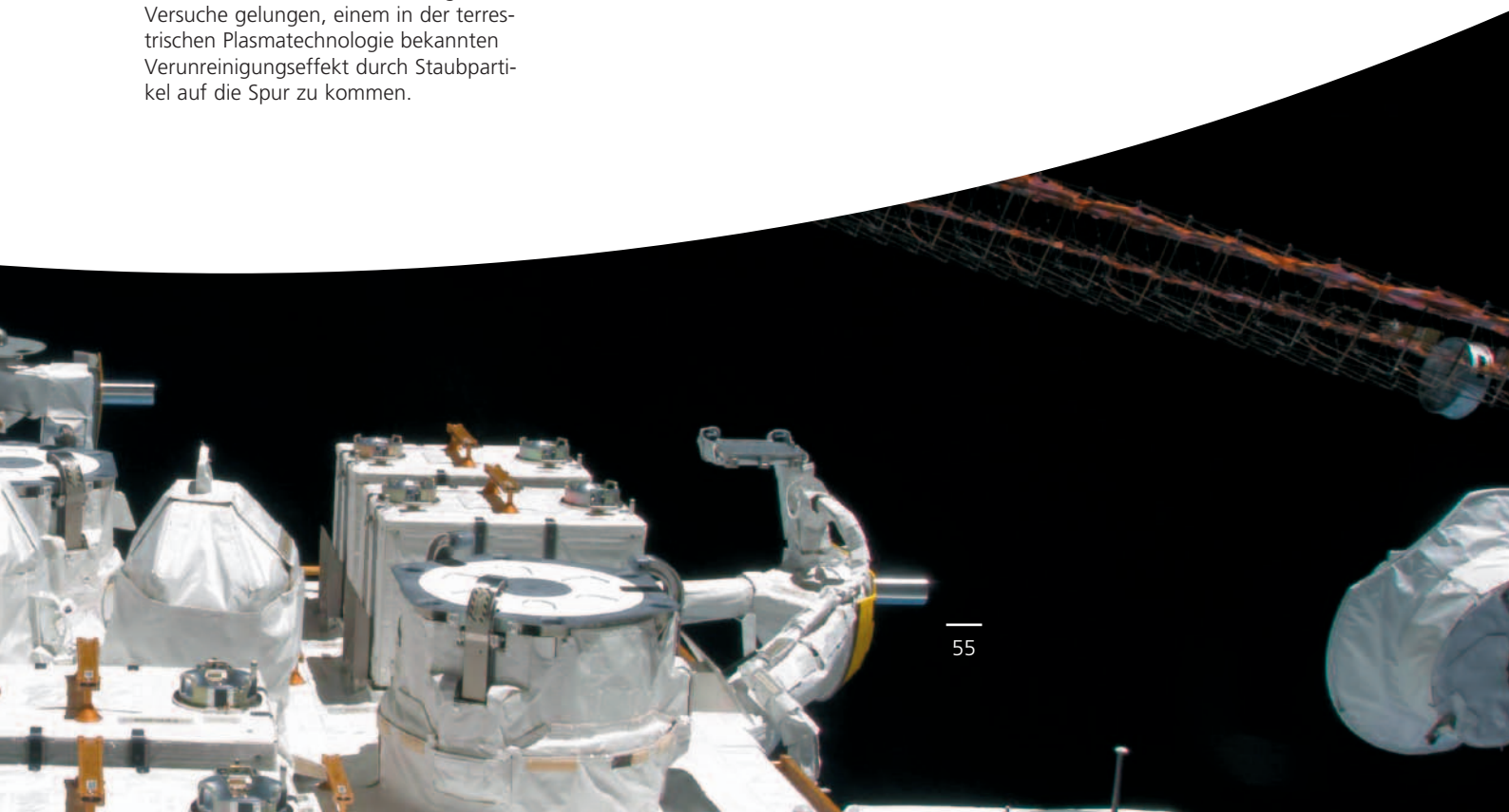
Complex plasmas abound in nature. They are found in interstellar molecular clouds, planetary ring systems like that of Saturn, and the tails of comets. In plasma technology, they frequently appear as contaminants. There are signs of future practical applications emerging for complex plasmas as, for example, coatings for electronic microchips and in the manufacture of solar cells and flat screens.

Textbook information about the strength of the forces acting in a plasma had to be revised once the PK-3 data came to hand. Moreover, it was discovered that complex plasmas will form sharply-defined boundary layers so far known only from interactions between a plasma and a solid wall. In targeted experiments, researchers succeeded in tracking down a dust-particle contamination effect known from terrestrial plasma technology.



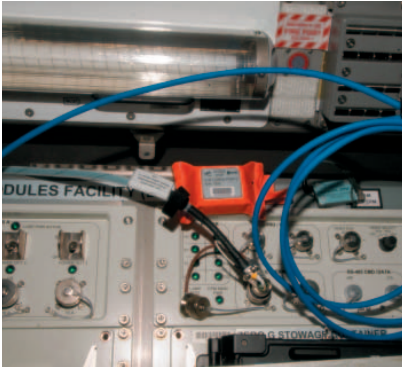
Der Astronaut Thomas Reiter trainierte in Moskau, begleitet von Wissenschaftlern des MPE und des russischen RAW, an dem Trainingsmodell von PK-3 Plus

In company of scientists of the MPI and the Russian RAW, the German astronaut Thomas Reiter underwent a PK-3 training programme in Moscow



Experimente ab 2011

Experiments from 2011



DOSIS misst die Strahlenbelastung der Astronauten an zehn verschiedenen Stellen im COLUMBUS-Labor

DOSIS measures the astronauts' radiation exposure in ten different locations in the COLUMBUS laboratory

Mit seinen hochmodernen Anlagen zur Forschung in Biologie, Medizin und Fluidphysik sowie den extern angebrachten Geräten für die Astrobiologie, Solarforschung und Technologie steht COLUMBUS als Europas Labor im All für die nächsten Jahre der Spitzenforschung unter Welt-raumbedingungen zur Verfügung. Deutsche Forschungsprojekte werden dabei auch in der Zukunft eine herausragende Rolle spielen. Im Folgenden sind Projekte deutscher Wissenschaftler näher beschrieben, die derzeit (Stand März 2011) auf der ISS durchgeführt werden oder in Kürze beginnen.

Lebenswissen-schaften – Biologie

Abgeschlossene biologische Experimente beschäftigten sich mit der Strahlenbelastung der Astronauten an Bord der ISS, mit der Fähigkeit von Organismen, den extremen Bedingungen des Weltraums zu widerstehen, mit Proteinkristallisation, mit der Wahrnehmung und Verarbeitung von Schwerkraft sowie mit raumfahrtmedizinischen Fragestellungen. Laufende oder in Kürze beginnende Experimente führen diese fort oder verfolgen neue Konzepte. Dabei wird das Zusammenspiel der verschiedenen Systeme des menschlichen Körpers und ihre Langzeit-Veränderungen in der Schwerelosigkeit in den Mittelpunkt gestellt, also integrative Physiologie im besten Sinne betrieben.

DOSIS Weiteres Experiment zur Strahlenbelastung

Koordination: Dr. Günther Reitz,
DLR Köln

Die Strahlenbelastung der Astronauten an Bord der ISS stand schon im Fokus

With its leading-edge equipment for research in biology, medicine, and fluid physics and its range of externally-installed devices for astrobiology, solar and technology research, COLUMBUS will be available in the next few years for top-flight research under space conditions as Europe's "laboratory in space". In all this, German scientists will continue to play an eminent part in the future. The following is a description of German scientific projects that are either ongoing (March 2011) on the ISS or will be implemented soon.

Life Sciences – Biology

Previously completed biological experiments addressed the radiation exposure of the astronauts on board the ISS, the ability of biological specimens to resist the extreme conditions of space, protein crystallisation, perception of and response of organisms to gravity as well as space medicine aspects. Current or recently selected experiments partially continue this approach or pursue new concepts to investigate, for example, the interplay of the various systems of the human body and their long-term changes in microgravity, i.e. integrative physiology at its best.

DOSIS Another Experiment on Radiation Exposure

Coordinator: Dr Günther Reitz,
DLR Cologne

The radiation exposure of astronauts on board the ISS was in the focus of DOSMAP, the first biological experiment on the space station. It is the key concern of DOSIS to establish individual levels to which astronauts can be exposed without endangering their health. In May 2009, the apparatus for measuring radiation exposure was transported to the

von DOSMAP – dem ersten biologischen Experiment auf der ISS. Die Bestimmung der individuellen Dosierung zum Schutz der Gesundheit der Astronauten ist zentrales Anliegen von DOSIS. Im Mai 2009 wurde die Apparatur zur Messung der Strahlenbelastung zur Raumstation gebracht und von dem europäischen Astronauten Frank de Winne installiert. An insgesamt zehn verschiedenen Stellen innerhalb von COLUMBUS wurden die Detektoren angebracht, um ein möglichst komplettes Bild über die Verteilung der Strahlenbelastung innerhalb des Weltraumlabor zu erhalten. Diese Daten sollen anschließend mit denen verglichen werden, die mit baugleichen Detektoren in der Außenanlage EXPOSE-EuTEF gemessen und zur Erde zurückgebracht wurden.

Während weitere Messungen laufen, standen bereits im August 2009 erste Daten zur Auswertung zur Verfügung. Zusammen mit den Messdaten in anderen Modulen der Raumstation – entnommen durch die internationalen Partner – soll so eine Beschreibung des Strahlenfelds in der gesamten Raumstation erstellt werden.

MATROSHKA Ein „Phantom“ im Dauereinsatz

Koordination: Dr. Günther Reitz,
DLR Köln

Von Februar 2004 bis August 2005 befand sich ein „Phantom“ an der Außenwand der ISS, das seither der Besatzung in der Station Gesellschaft leistet und in Experimente eingebunden ist. Hierbei handelt es sich um ein Experiment zur Messung der Strahlenbelastung innerhalb und außerhalb der ISS. MATROSHKA heißt die Spezialpuppe – entwickelt und gebaut vom DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin.

space station, to be installed by the European astronaut Frank de Winne. Detectors were mounted in a total of ten different locations within COLUMBUS in order to obtain a complete picture of the way in which radiation is distributed in the space laboratory. Next, the data will be compared to those measured by identical detectors in the EXPOSE-EuTEF facility, which were returned to Earth on shuttle flight STS-128.

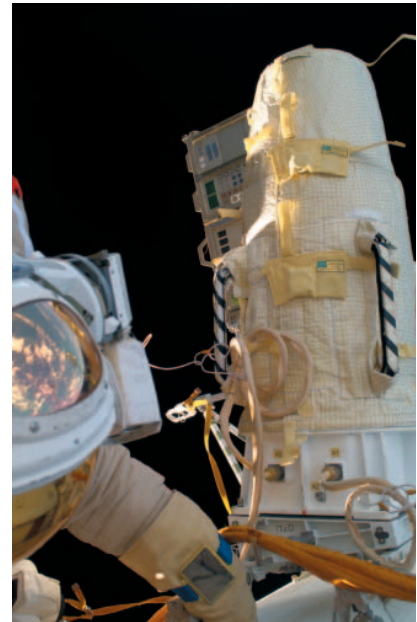
While measurements are still going on, the first data became available for evaluation as early as August 2009. By pooling these with data gathered in other modules of the space station by international partners, it is intended to develop a description of the radiation field in the entire space station.

MATROSHKA A „Phantom“ on Permanent Duty

Coordinator: Dr Günther Reitz,
DLR Cologne

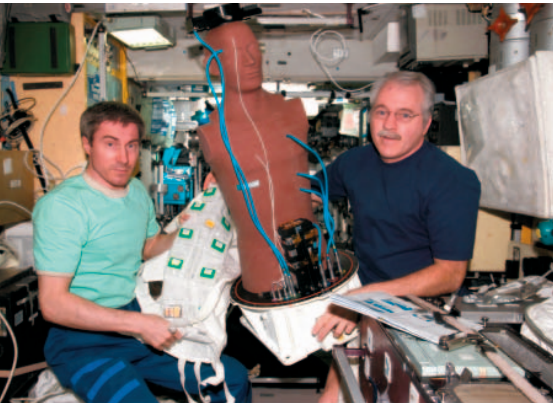
From February 2004 to August 2005, a “phantom” haunted the outer wall of the ISS and since then it is paying company to the station’s crew and is involved in experiments for measuring radiation exposure inside and outside the ISS. MATROSHKA is the name of this special dummy, developed and built by the DLR Institute of Aerospace Medicine.

Consisting of a head and upper body, the phantom dummy resembles a human torso. Inside it, active and passive radiation detectors are distributed over more than 1,600 locations, including those of various human organs. To mimic the protective effect of a space suit, the dummy was encased in a container of carbon fibre during its stay outside. The valuable



Die Weltraumpuppe MATROSHKA misst die Strahlenbelastung: ohne „Kleidung“ als dem Menschen nachempfunder Oberkörper; gekleidet in Poncho und Kappe; eingehüllt in einen Behälter aus Kohlefaser zur Simulation der Schutzwirkung des Raumanzugs; überzogen mit thermischer Isolierung

The space dummy MATROSHKA measures the strength and composition of cosmic radiation: without “clothes” as a human remake body; clothed in poncho and cap; covered in a case of carbon fibre to simulate the safety of a spacesuit; coated with thermal insulation



Die Astronauten Sergey Krikalev (l.) und John Phillips mit der Spezialpuppe MATROSHKA zur Messung der Weltraumstrahlung

Astronauts Sergey Krikalev (l.) and John Phillips with the MATROSHKA dummy, which serves to measure cosmic radiation

Die Puppe selbst – mit Kopf und Oberkörper – ähnelt einem menschlichen Torso. Innerhalb der Puppe befinden sich an über 1.600 Positionen, unter anderem an den Orten verschiedener menschlicher Organe, aktive und passive Strahlungsdetektoren. Um die Schutzwirkung des Raumanzugs zu simulieren, umgab die Puppe während ihres Aufenthalts außerhalb der ISS ein Behälter aus Kohlefaser. MATROSHKAs Sensoren haben bereits wertvolle Daten geliefert. Die beteiligten Wissenschaftler werten sie aus, um herauszufinden, wie viel und welche Art von Strahlung an den verschiedenen Organen des menschlichen Körpers ankommt.

Mit weiterentwickelten Sensoren ausgestattet, hat MATROSHKA im Jahr 2010 die Strahlenbelastung im Inneren des japanischen KIBO-Moduls gemessen. Später soll die Anlage die Messungen außerhalb der ISS wieder aufnehmen.

Durch die von MATROSHKA gesammelten Daten der Strahlungsart und -intensität lassen sich die Risiken kosmischer Strahlung für den menschlichen Körper einschätzen und Gegenmaßnahmen entwickeln, die zu einem geeigneten Schutz führen.

EXPOSE-R Ursprung des Lebens auf der Erde

Koordination: Dr. Gerda Horneck, DLR Köln; Prof. Dr. Donat-P. Häder, Universität Erlangen

Die Anlage EXPOSE-R wurde im November 2008 zur ISS gebracht. Am 10. März 2009 wurde die astrobiologische Expositionseinheit auf dem Swesda-Modul des russischen Segments angebracht. Ende 2010 kamen Proben von EXPOSE-R zur Auswertung in die irdischen Labors der beteiligten Wissenschaftler zurück. Die Anlage selbst blieb in der ISS und soll Mitte 2012 mit neuen biologischen Proben wieder an der Außenseite des russischen Moduls montiert werden.

data hitherto delivered by MATROSHKA's sensors are being evaluated by participating scientists in order to find out how much and what kind of radiation arrives at various organs of the human body.

In 2010, equipped with advanced sensors, MATROSHKA has measured radiation exposure inside the Japanese KIBO module. After that, the phantom may resume its measurements outside the ISS again.

The data collected by MATROSHKA on the type and intensity of radiation permit assessing the risks presented by cosmic radiation to the human body and developing countermeasures to establish a suitable protection system.

EXPOSE-R The Origin of Life on Earth

Coordinators: Dr Gerda Horneck, DLR Cologne; Prof. Donat-P. Häder, Erlangen University

In November 2008, the EXPOSE-R facility arrived on the ISS. On March 10, 2009, this astrobiological exposure unit was attached to the Svezda module of the Russian segment. At the end of 2010, the samples taken by EXPOSE-R were returned for evaluation to the terrestrial laboratories of the participating scientists. Parked for the time being inside the ISS, the unit is scheduled to receive new biological samples in mid 2012. Then EXPOSE-R will be mounted again on the outer skin of the Russian module.

EXPOSE-R, its eight experiments and c. 1,200 samples are used by scientists to explore the question of the origin of life on Earth. In cooperation with Aachen University of Applied Sciences (RWTH Aachen) and the Technical University of Munich (TU Munich), the radiation biology department of the DLR Institute of Aerospace Medicine is running an experiment called SPORES (spores in artificial meteorites), one of six astrobiological experiments implemented by the ROSE

Mit EXPOSE-R, seinen acht Experimenten und circa 1.200 Einzelproben erforschen Wissenschaftler die Frage nach dem Ursprung des Lebens auf der Erde. Die Abteilung Strahlenbiologie im DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, die dabei mit der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen) und der Technischen Universität München (TU München) kooperiert, führt das Experiment „SPORES – Spores in artificial Meteorites“ durch – eines von sechs astrobiologischen Experimenten des „ROSE-Consortiums“ (Response of Organisms to Space Environment) – koordiniert vom DLR. Zusätzlich messen die in der Experimentieranlage EXPOSE-R eingebundenen Dosimeter die ionisierende wie auch die solare UV-Strahlung.

Die Wissenschaftler mischten oder überdeckten Sporen von Bakterien, Pilzen und drei verschiedenen Farnarten mit Meteoritenmaterial und setzten sie den extremen Bedingungen des Weltraums aus. Nach der Rückkehr zur Erde bestimmten die Biologen die Überlebensrate der Sporen, um die Panspermie-Hypothese zu überprüfen.

TRIPLE LUX **Dreimal Licht für die Rätsel der Immunforschung**

Koordination: Prof. Berthold Hock, TU München; Prof. Oliver Ullrich, Universitäten Magdeburg/Zürich; Prof. Peter Diedrich Hansen, TU Berlin; Dr. Petra Rettberg, DLR Köln

Die Ursachen und Mechanismen für die Beeinträchtigung des Immunsystems von Astronauten sind trotz jahrelanger Forschung noch immer weitgehend unverständlich. In verschiedenen Experimenten versuchen auch deutsche Wissenschaftler in sehr unterschiedlichen Ansätzen, Licht ins Dunkel zu bringen: Während beispielsweise bei dem Experiment IMMUNO der ganze Mensch im Mittelpunkt steht,

consortium (Response of Organisms to Space Environment) which is coordinated by DLR. At the same time, the dosimeters integrated in the EXPOSE-R experimental facility keep measuring the ionising and solar-UV radiation.

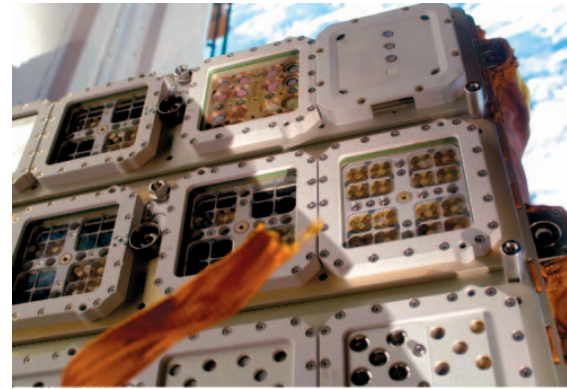
Spores of bacteria, fungi, and three different species of fern were mixed or covered with meteorite material and exposed to space. After return to Earth, biologists will determine the survival rate of the spores to validate the Panspermia hypothesis.

TRIPLE LUX **Triple Light on the Mysteries of Immune Research**

Coordinators: Prof. Berthold Hock, Munich TU; Prof. Oliver Ullrich, Magdeburg/Zürich Universities; Prof. Peter Diedrich Hansen, Berlin TU; Dr Petra Rettberg, DLR Cologne

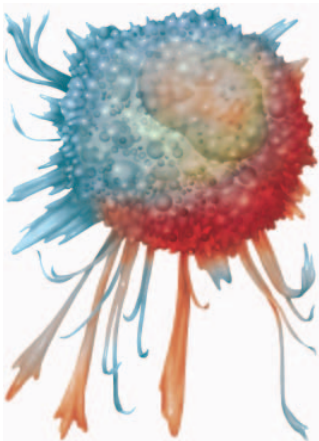
To a large extent, the causes and mechanisms of immune system impairment in astronauts are not yet understood despite years of research. In a variety of experiments, German scientists are attempting to shed some light into the darkness, pursuing approaches that differ greatly: while the IMMUNO experiment, for example, revolves around man as a whole, the scientists of TRIPLE LUX chose a cellular and genetic approach to come closer to a solution of the problem.

Three sub-projects investigate the influence of microgravity and cosmic radiation on cells of the immune system, which is old in terms of evolutionary



Das Experiment EXPOSE-R setzt Proben der Strahlung des Weltalls aus und geht so der Frage nach, ob Organismen im Weltall überleben können

In pursuit of the question of whether organisms can survive in space, samples are exposed to cosmic radiation in the EXPOSE-R experiment



Sogenannte Fresszellen sind die erste Verteidigungslinie der Immunabwehr (Frank Geisler/dpa)

Macrophages are the first line of defence in the immune system (Frank Geisler/dpa)

haben die Wissenschaftler bei TRIPLE LUX einen zellulären und genetischen Ansatz gewählt, um der Problemlösung näherzukommen.

In drei Teilprojekten wird hier der Einfluss von Schwerelosigkeit und Weltraumstrahlung auf Zellen des angeborenen, entwicklungsbiologisch alten Immunsystems untersucht. Bei diesem Immunsystem nehmen im Wesentlichen Partikel oder Zellen andere Zellen auf (Phagozytose). So bekämpfen Fresszellen (Makrophagen) Krankheitserreger und bilden bei höheren Organismen – auch bei uns Menschen – die erste Verteidigungslinie der Immunabwehr, bevor das adaptive Immunsystem mit seinen Antikörpern und weiteren Zellen und Molekülen in Aktion tritt.

Während beim Teilprojekt A der Universitäten München und Magdeburg/Zürich Immunzellen von Mäusen zum Einsatz kommen, sind es beim Teilprojekt B der Technischen Universität Berlin Zellen des Blutsystems von Muscheln. Diese übernehmen bei den Muscheln als entwicklungs geschichtlich sehr alten Organismen die Aufgabe der Phagozytose, dienen also der Beseitigung von Mikroorganismen und stärken so die Immunabwehr. Damit verfügen Muscheln über ein mit dem Menschen vergleichbares, angeborenes Immunsystem.

Für die Analyse der Wirkung von Schwerelosigkeit und Weltraumstrahlung wurde eine neue Methode entwickelt, bei der von veränderten Lichtsignalen auf die Beeinträchtigung wichtiger Lebensfunktionen der Zellsysteme geschlossen wird. In der Umweltanalytik kommt dieses Verfahren beispielsweise zur frühzeitigen Erkennung von immunotoxischen Substanzen in Oberflächengewässern, bei der Kontrolle von Abwässern oder auch in der Innenraumhygiene zur Anwendung.

biology. The essential mechanism on which the immune system is based involves the absorption of particles or cells by other cells (phagocytosis). Thus, phagocytes or macrophages that combat pathogens form the first line of defence in the immune systems of higher-order organisms, including us humans, the next being the adaptive immune system with its antibodies and other cells and molecules.

While sub-project A, which is run by the universities of Munich and Magdeburg/Zürich, uses immune cells of mice, sub-project B of Berlin Technical University uses cells from the blood system of seashells. In these organisms, which are very old in terms of evolutionary history, these cells assume the function of phagocytosis, i.e. they serve for eliminating microorganisms thus enhancing immune defence and form an inborn immune system in seashells that is comparable to that of human beings.

To analyse the effects of microgravity and cosmic radiation, a new method has been developed in which changing light signals suggest that important vital functions are impaired in cell systems. In environmental monitoring, for example, the method is used in the early identification of immunotoxic substances in surface waters, the inspection of waste water, and interior hygiene.

Implemented by DLR Cologne, sub-project C investigates the possibility that E. coli bacteria might be able to repair radiation damage in microgravity. Although it is known that on Earth, effective mechanisms to repair radiation damage are available in the DNA, there is no proof as yet that these mechanisms also work in microgravity.

In 2011/12, TRIPLE LUX B will be run first in the BIOLAB, followed by A. Results will be immediately available to scientists as there are no samples to be returned.

Im Teilprojekt C des DLR Köln wird die Möglichkeit der Reparatur von Strahlenschäden bei *E. coli* Bakterien in Schwerelosigkeit untersucht. Grundsätzlich weiß man zwar, dass auf der Erde für die Reparatur von Strahlenschäden in der DNA effektive Mechanismen zur Verfügung stehen. Ob diese auch in Schwerelosigkeit funktionieren, ist aber noch nicht bewiesen.

In den Jahren 2011/12 wird im BIOLAB zunächst TRIPLE LUX B, dann A durchgeführt. Die Versuchsergebnisse stehen den Wissenschaftlern direkt zur Verfügung, da ein Probenrücktransport nicht notwendig ist.

Lebenswissenschaften – Raumfahrtmedizin

Die raumfahrtmedizinische Forschung nahm in den ersten Jahren der ISS-Nutzung eine herausragende Rolle im Programm Forschung unter Weltraumbedingungen ein. Während zwei Projekte bereits abgeschlossen werden konnten, wurden neue Experimente zugelassen, die bereits laufen oder demnächst starten.

PULS/PNEUMOCARD Herz-Kreislauf-Analyse und autonomes Nervensystem

Koordination: Dr. Jens Tank, Charité Berlin/MHH Hannover; Roman Baevsky, IBMP Moskau

Kurz- und Langzeit-Raumflüge haben Auswirkungen auf Kreislaufregulation und Stoffwechsel. Die fehlende Schwerkraft verursacht umfangreiche physiologische Veränderungen. So verschiebt sich ein Teil des Blutvolumens in die obere Körperhälfte. Parallel dazu kommt es zu Veränderungen der Regulation des autonomen, nicht willentlich beeinflussbaren Nervensystems. Nach der Rückkehr der

Life Sciences – Space Medicine

During the first few years of ISS exploitation, space-medicine research played an eminent part in the programme of research under space conditions. While two projects have already been completed, new experiments have been approved which are either running or about to begin.

PULS/PNEUMOCARD Cardiovascular Analysis and the Autonomic Nervous System

Coordinators: Dr Jens Tank, Charité Berlin/MHH Hannover; Roman Baevsky, IBMP Moscow

Both short and long-term space flights affect our circulatory regulation and our metabolism. The absence of gravity leads to extensive physiological changes. Thus, part of the blood volume moves to the upper half of the body. In parallel, changes occur in the regulation of the autonomic nervous system, which cannot be influenced consciously. After their return to Earth, astronauts often show cardiovascular regulatory dysfunctions called orthostatic intolerance in the medical terminology.

Similar regulatory disorders are also observed in certain patients on Earth. Scientists intend to use the PULS/PNEUMOCARD experiments to improve their understanding of circulatory disorders in astronauts and to develop new methods of diagnosis and therapy for patients on Earth.

Scientists of the Berlin Charité, the Hanover medical college (MHH) and the Institute for Biomedical Problems (IBMP) have developed a robust, dependable, and



An Bord der ISS testet der Kosmonaut Juri Malentschenko PNEUMOCARD – ein einfaches, robustes und zuverlässiges Gerät zur Kreislaufdiagnostik (IBMP)

On board the ISS: cosmonaut Juri Malentschenko testing PNEUMOCARD, a simple, robust, and reliable device for cardiovascular diagnosis (IBMP)



HealthLab erfasst mit seinen kleinen Komponenten nicht-invasiv mehr als zehn Werte wie beispielsweise Blutdruck, Puls, Atmung und Stimme. Das Bild zeigt eine Probandin beim Parabelflug während des Experiments HealthLab.

The small components of HealthLab register more than ten values non-invasively, including blood pressure, pulse, respiration, and voice. The picture shows a proband during a parabolic flight, preceding the experiment HealthLab.

Astronauten zur Erde treten oft Störungen der Kreislaufregulation auf, die Mediziner als orthostatische Intoleranz bezeichnen.

Ähnliche Störungen der Kreislaufregulation werden auch bei bestimmten Patienten beobachtet. Die Wissenschaftler wollen durch die Experimente PULS/PNEUMOCARD die Ursachen von Kreislaufstörungen bei Astronauten besser verstehen und gleichzeitig neue Diagnostik- und Therapieverfahren für Patienten auf der Erde entwickeln.

Wissenschaftler der Berliner Charité, der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) und des Institut für Biomedizinische Probleme (IBMP) entwickelten ein robustes, zuverlässiges und einfaches Gerät zur Kreislaufdiagnostik. Seit November 2002 wird es im russischen Labor eingesetzt. Bisher vorliegende Ergebnisse zeigen, dass sich Blutdruck, Herz- und Atmungsrate gut an die neuen Bedingungen im Weltraum anpassen. Nach etwa drei Monaten kommt es allerdings zu einem allmählichen Verlust der funktionellen Reserve: Die Systeme sind jetzt stärker ausgelastet und verkraften weiteren körperlichen oder psychischen Stress schlechter als zu Beginn. Problematisch für die Kosmonauten ist aber die bei der Landung auf der Erde notwendige Rückanpassung an die Schwerkraft. Hier treten gerade beim längeren Stehen durchaus Kreislaufprobleme wie bei manchen Patienten und älteren Menschen auf.

Um diese Ergebnisse besser bewerten zu können, untersuchen die Wissenschaftler zum Vergleich auch die Kreislaufregulation bei gesunden Probanden, Querschnittspatienten und Patienten mit bestimmten Gleichgewichtsproblemen – zum Beispiel orthostatischer Intoleranz.

Allerdings treten große individuelle Datenunterschiede bei den Kosmonauten während und nach den Missionen auf. Um statistisch belastbare Ergebnisse zu erhalten, werden die zunächst bis Ende 2009

simple device for circulatory diagnosis that has been used in the Russian laboratory since November 2002. The results obtained so far show that blood pressure, heart rate, and respiration adapt well to the changed conditions in space. After about three months, however, functional reserves gradually begin to dwindle: systems now have to work harder and are unable to cope with extra physical or psychic stress as well as they did in the beginning. However, it is the return to Earth and the re-adaptation to gravity that confronts cosmonauts with a real problem, especially when they have to stand upright for prolonged periods, for then they encounter circulatory problems similar to those of some patients and older people.

To improve their evaluation, scientists benchmark the data obtained from the experiments against the circulatory regulation of healthy subjects, paraplegic patients, and patients with orthostatic intolerance.

To be sure, the individual data obtained from cosmonauts during and after their missions differ widely. To obtain statistically robust results, tests on the ISS which were originally scheduled to end late in 2009 will be continued until the end of 2011. An agreement to this effect has been made with the Russian partners. Encouraged by the results obtained so far, scientists hope to be able to assess astronauts and cosmonauts by their attributes, divide them into a variety of regulatory types, and select them for missions accordingly.

**HealthLab
Measurements to Investigate
Psychological Stress and Circulatory
Regulation**

*Coordinators: Dr Bernd Johannes,
DLR Hamburg; Vyacheslav Salnitski,
IBMP Moscow*

Space missions challenge astronauts not only physiologically but also emotionally.



vorgesehenen Messungen auf der ISS bis Ende 2011 fortgesetzt. Eine entsprechende Vereinbarung mit den russischen Partnern ist getroffen. Ermutigt durch die bisherigen Ergebnisse, hoffen die Wissenschaftler, die angehenden Astronauten und Kosmonauten zukünftig richtig nach ihren Merkmalen einschätzen, sie danach in verschiedene regulatorische Typen unterteilen und entsprechend für eine Mission auswählen zu können.

HealthLab Messungen zur psychischen Belastung und Kreislaufregulation

Koordination: Dr. Bernd Johannes,
DLR Hamburg; Vyacheslav Sahnitski,
IBMP Moskau

Weltraummissionen fordern die Astronauten nicht nur physiologisch, sondern auch psychisch heraus. Das Projekt HealthLab des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin und des Instituts für Biomedizinische Probleme (IBMP) simuliert ein händisch gesteuertes Andockmanöver eines Raumschiffs an eine Raumstation am Boden sowie an Bord der ISS und setzt die Kosmonauten so einer extremen Stresssituation aus. Dabei werden ihre psychischen und physiologischen Reaktionen gemessen und die Leistungsfähigkeit ermittelt. So kann objektiv entschieden werden, welcher Proband in einer konkreten Situation am besten in der Lage ist, bestimmte Aufgaben durchzuführen. HealthLab erfasst dabei mit seinen kleinen, am Körper zu tragenden Komponenten gleichzeitig nicht-invasiv mehr als zehn Werte wie beispielsweise Blutdruck, Puls, Atmung und Stimme.

Andockmanöver sind für den Erfolg einer ganzen Mission entscheidend. Sie fordern die Astronauten mental und motorisch in hohem Maße, da sie zeitgleich alle sechs Freiheitsgrade im Raum kontrollieren müssen. Zum Vergleich: Beim Autofahren ist man lediglich mit zwei unabhängigen Freiheitsgraden konfrontiert, beim Fliegen eines Flugzeugs mit vier.

Run by the DLR Institute of Aerospace Medicine and the Institute of Biomedical Problems (IBMP), the HealthLab project involves simulating a manually-controlled docking manoeuvre between a spaceship and a space station both on the ground and on board the ISS, exposing cosmonauts to an extremely stressful situation. In that situation, their mental and physiological reactions are measured to determine their performance capability. This permits objective decisions as to which of them will be best at performing certain tasks in a concrete situation. HealthLab employs small, non-invasive components worn on the body to register more than ten different readings simultaneously, including blood pressure, pulse rate, respiration, and voice.

Docking manoeuvres are crucial for the success of entire missions, presenting great challenges to the astronauts' mental and motor capabilities because they need to keep all six degrees of freedom that exist in space under control simultaneously. To put that in perspective: driving a car confronts you with no more than two independent degrees of freedom, while flying a plane confronts you with four.

The ultimate aim of HealthLab is to develop a diagnostic method capable of predicting the dependability of actions in other stressful situations. It might serve to determine the stress to which people are exposed who bear great responsibility in their job, such as air traffic controllers, pilots, or explosives experts.



Der russische Kosmonaut Oleg Kononenko führt das Experiment HealthLab auf der ISS durch

The Russian cosmonaut Oleg Kononenko performs the HealthLab experiment on the ISS



Das Fernziel von HealthLab ist, ein diagnostisches Verfahren zu entwickeln, mit dessen Hilfe die Zuverlässigkeit von Handlungen unter Stress auch in anderen Situationen vorhergesagt werden kann. So könnte die Beanspruchung von Menschen ermittelt werden, die eine hohe berufliche Verantwortung tragen, wie beispielsweise Fluglotsen, Piloten oder Sprengstoffexperten.

IMMUNO **Hormonelle und immunologische Veränderungen**

Koordination: Dr. Alexander Choukèr, LMU München

Neben Schwerelosigkeit und Strahlung könnten vielfältige Stressfaktoren wie Isolation, Arbeitsbelastung und Störungen des Schlafrhythmus eine Schwächung des Immunsystems bei Astronauten auslösen. Mit vergleichbaren Problemen unseres Abwehrsystems, teilweise ausgelöst durch dieselben Stressfaktoren, haben Schwerkranke auf der Erde zu kämpfen. In beiden Fällen sollte einerseits eine ausreichende Abwehrkraft zum Schutz vor Krankheitskeimen vorhanden sein. Andererseits darf das Immunsystem auch nicht überbeansprucht werden.

Mit umfangreichen biochemischen Analysen, ergänzt durch psychologische Tests, untersuchen Wissenschaftler der Ludwig-Maximilians-Universität München im Projekt IMMUNO seit April 2006 die Veränderungen des Immunsystems der Langzeit-Crews. Aus Vergleichen mit Isolations- und Betruhestudien erwarten sie Aufschlüsse über die Rolle der einzelnen Faktoren, die das Immunsystem schwächen, sowie über den Mechanismus der Immunabwehr. Diese Kenntnisse sind Voraussetzung für die Entwicklung neuer, vorbeugender sowie therapeutischer Maßnahmen für den Einsatz beim Astronauten sowie beim Schwerkranken in der Intensivmedizin.

IMMUNO **Hormonal and Immunological Changes**

Coordinator: Dr Alexander Choukèr, LMU Munich

Besides microgravity and radiation, a multitude of other stressors might cause the immune system of astronauts to weaken, including isolation, a heavy workload, and a broken sleep rhythm. Severely ill people on Earth struggle with similar problems in their defence mechanism, partly triggered by the same stress factors. In both cases, the immune system should be strong enough to defend the body against pathogens but should not be exposed to undue strain thereby.

Since April 2006, scientists of the Ludwig Maximilian University of Munich who work on the IMMUNO project have been conducting extensive biochemical analyses, complemented by psychological tests, to identify changes in the immune system of long-term crew members. By comparing their findings with isolation and bedrest studies, they hope to learn more about the role of the individual factors that weaken the immune system as well as about the immune defence mechanism. On the basis of this knowledge, new prophylactic and therapeutic methods may be developed for astronauts as well as for severely ill patients under intensive care.

OTOLITH **The Balancing Mechanism in the Inner Ear**

Coordinator: Prof. Andrew Clarke, Charité Berlin

Gravity is a reference for our orientation in space and our coordination of all body movements. In many animal species as well as in humans, sensing gravity is the function of the otolith organs (utricle and saccule) in the vestibular system of

OTOLITH Gleichgewichtssystem im Innenohr

Koordination: Prof. Andrew Clarke,
Charité Berlin

Die Schwerkraft ist Bezugsgröße für räumliche Orientierung und Koordination sämtlicher Körperbewegungen. Bei vielen Tierarten und beim Menschen sind die Otolithenorgane (Utrikulus und Sakkulus) des Gleichgewichtssystems im Innenohr für die Wahrnehmung der Schwerkraft zuständig. Gemeinsam mit dem Sehsinn sowie Sensoren in Muskeln und Gelenken erlaubt das Gleichgewichtssystem eine koordinierte Bewegung und räumliche Orientierung. Alle Bewegungen des Kopfes und seine Stellung gegenüber der Schwerkraft werden ständig gemessen.

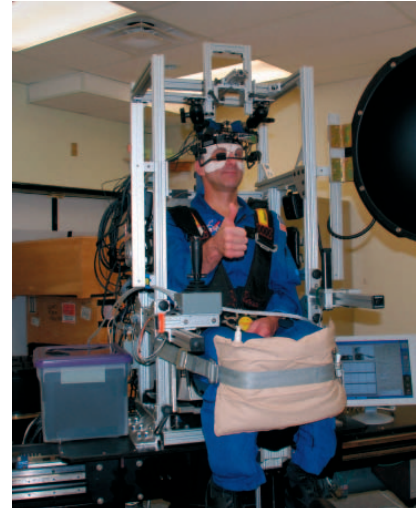
Der Wegfall des Schwerkraftreizes während eines Raumflugs stellt das sensorimotorische System vor eine besondere Herausforderung. Dennoch passt es sich innerhalb weniger Tage an die neue Situation an. Dabei werden die beteiligten neuronalen Mechanismen neu gewichtet und „umprogrammiert“. Nach der Landung auf der Erde beginnt sofort die Rückanpassung an die irdischen Schwerkraftbedingungen. Da die Leistungsfähigkeit der Astronauten während dieser Anpassungsphasen beeinträchtigt sein kann (Raumkrankheit), ist die Entwicklung von Gegenmaßnahmen von großer Bedeutung. Weltraumexperimente bieten hier einzigartige Möglichkeiten.

Im November 2008 startete das Experiment OTOLITH. In der Zeit vor und unmittelbar nach einer Weltraummission wurden mehrere Funktionen der Otolithenorgane unter die Lupe genommen. So können Humanphysiologen den Prozess der Rückanpassung an die irdischen Schwerkraftbedingungen erfassen: Die reflexartigen Augenbewegungen, die räumliche Wahrnehmung sowie die Muskelspannung (Tonus) der gelandeten Astronauten stabilisierten sich wieder. Wissenschaftler der Berliner Charité verwenden für ihre Messungen die jüngst

the inner ear. Acting in concert with our sense of vision and various sensors in muscles and joints, the vestibular system facilitates movement coordination and spatial orientation. All movements of the head and its position relative to the direction of gravity are constantly monitored.

During a flight in space, the absence of the gravity stimulus confronts the sensorimotor system with a challenge, yet it will adapt to the new situation within a few days in a process in which the neuronal mechanisms involved are reweighted and “reprogrammed”. Re-adaptation to normal gravity starts immediately after landing on Earth. As the functional capacity of astronauts may be impaired during such phases of adaptation (space sickness) it is extremely important to develop countermeasures. The opportunities offered in this context by experiments in space are unique.

The OTOLITH experiment was launched in November 2008. In the period before and immediately after each space mission, several functions of the otolith organs were scrutinised in order to enable human physiologists to trace the process of re-adaptation in which the astronauts’ reflex eye movements, their spatial perception, and their muscle tone



Astronauten testen die OTOLITH-Experimentanlage in Houston

Astronauts testing the OTOLITH experimental apparatus in Houston



Bei den ISS-Experimenten unterliegt die Nahrungsaufnahme der Astronauten strengen Kontrollen

In experiments on the ISS, the astronauts' food intake is strictly controlled

etablierte Methode, die zum Beispiel für die Untersuchung von Schwindel zum Einsatz kommt, bereits im klinischen Labor. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse können zur Weiterentwicklung der klinischen Prüfung des vestibulo-okulomotorischen Systems beitragen.

SOLO Natrium-Einlagerung beim Menschen

Koordination: Dr. Petra Frings-Meuthen, DLR Köln; Dr. Martina Heer, Profil Institut für Stoffwechselforschung Neuss/Universität Bonn

Viele Körperphänomene sind an die Ernährung gekoppelt und treten mit ihr in Wechselwirkung. Die neu gewonnenen Erkenntnisse der letzten Jahre haben die Forschung teilweise auf den Kopf gestellt und dafür gesorgt, dass die Ernährungswissenschaft Einzug in die biologische und medizinische Wissenschaft gefunden hat. Bei den ISS-Experimenten unterliegt die Nahrungsaufnahme der Astronauten strengen Kontrollen. Ausscheidungen, Blut- und Urinwerte, Bewegungen und Training werden genauestens erfasst, analysiert und eine Vielzahl von physiologischen Daten erhoben. In dem Experiment SOLO untersuchen Experten des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln und der Universität Bonn mit Hilfe dieser Daten das Zusammenspiel von Ernährung, Salz- und Flüssigkeitshaushalt, Knochen- und Muskelstoffwechsel sowie Blutdruckregulation beim Menschen.

Versuche auf der russischen Raumstation MIR hatten Zweifel an der strengen Kopplung von Salz- und Wasserhaushalt bei Kosmonauten in Schwerelosigkeit ausgelöst und etabliertes Lehrbuchwissen in Frage gestellt. In nachfolgenden Bodenstudien entdeckten Forscher in der Tat einen bislang unbekanntem Mechanismus

gradually stabilise. Established only recently, the method is used even now by scientists of the Berlin Charité in clinical laboratory examinations of vertigo and other complaints.

The results thus gained might help to advance the development of clinical examinations of the vestibulo-oculomotor system.

SOLO Sodium Storage in Humans

Coordinators: Dr Petra Frings-Meuthen, DLR Cologne; Dr Martina Heer, Profil Institute for Metabolic Research Neuss/Bonn University

Many bodily phenomena are related to and interact with nutrition. Recent findings have turned some established science upside down, opening the door to nutritional science to be included among the biological and medical disciplines. During experiments on the ISS the astronauts' diet is rigidly controlled. Excrement, blood and urine levels, movements, and physical exercise sessions are registered and analysed with painstaking precision, with a multitude of physiological data being gathered. In the SOLO experiment, experts of the DLR Institute of Aerospace Medicine in Cologne and of Bonn University are analysing this data to clarify the interrelation between nutrition, the salt, fluid, bone, and muscle metabolism, and human blood pressure regulation.

Tests on the Russian space station MIR have cast doubt on the assumption that the salt and water metabolisms of cosmonauts in microgravity are strictly coupled, calling established textbook wisdom into question. And indeed, subsequent studies on the ground revealed a hitherto unknown salt storage mechanism in the skin. Results show that sodium binds to certain sugar-protein molecules. In addition, salt seems to have a detrimental effect on the skeletal system: bone degeneration increases with the intake of common salt. Does a high intake of

der Salzspeicherung in der Haut. Den Ergebnissen zufolge wird das Natrium an bestimmte Zucker-Eiweiß-Moleküle gebunden. Zudem scheint es auch einen nachteiligen Effekt auf das Skelettsystem zu geben: Hohe Kochsalzzufuhr steigert den Knochenabbau. Intensiviert eine hohe Kochsalzzufuhr den durch die Schwerelosigkeit ohnehin schon stattfindenden Knochenabbau noch zusätzlich? SOLO soll diese Frage beantworten.

THERMO **Wärmeverteilung beim Menschen**

Koordination: Prof. Hans-Christian Gunga, Charité Berlin

Beim Eintritt in die Schwerelosigkeit verteilen sich Körperflüssigkeiten wie Blut und Lymphe rasend schnell um. Analog verändert sich der Wärmehaushalt: Astronauten klagen oft über kalte Füße und Finger. Bei Einsätzen außerhalb der ISS sind Astronauten geschützt durch Raumanzüge zudem extremen thermischen Umweltbedingungen ausgesetzt: plus 200 Grad in der Sonne, minus 180 Grad im Schatten.

Die anstrengende Arbeit kann innerhalb kürzester Zeit zu einem gefährlichen Anstieg der Körperkerntemperatur auf über 39 Grad führen; diese muss deshalb kontinuierlich erfasst werden. Allerdings sind die bisherigen Verfahren aus messtechnischen oder hygienischen Gründen nicht für den alltäglichen Einsatz bei Astronauten geeignet.

Eine Arbeitsgruppe an der Charité Berlin hat daher in enger Zusammenarbeit mit der Drägerwerk AG ein nicht-invasives Messverfahren entwickelt. Der patentierte „Doppelsensor“ erfasst den Wärmefluss am Kopf oder auf dem Brustbein. Über spezielle Algorithmen wird dieser in Körperkerntemperaturen umgerechnet.

salt aggravate the normal degeneration of bones which is induced by microgravity? SOLO is intended to answer that question.

THERMO **Heat Distribution in Humans**

Coordinator: Prof. Hans-Christian Gunga, Charité Berlin

At the onset of microgravity, body fluids like blood and lymph change their distribution at breakneck speed. Heat regulation behaves analogously: astronauts often complain of cold feet and hands. On EVAs, moreover, astronauts are exposed to extreme thermal environmental conditions: plus 200 degrees centigrade in sunshine, minus 180 degrees in shadow.

Strenuous work in a space suit may cause the temperature in the interior of the body to rise very quickly to the dangerous level of 39 degrees and more, which is why it must be monitored continuously. At the same time, traditional methods are not suitable for daily use by astronauts for technical and hygienic reasons.

Cooperating closely with Drägerwerk AG, a team at the Berlin Charité has developed a non-invasive measuring method to deal with this situation. A patented "twin sensor" measures the flow of heat at the head or on the breastbone which is then converted into core temperatures with the aid of special algorithms.

The new sensor that is used in the THERMO experiment on the ISS has already been tested in parabolic flights. In addition, scientists employed a heat



Astronaut Dave Williams misst während eines leistungsphysiologischen Tests auf der ISS kontinuierlich die Körperkerntemperatur mit dem Doppelsensor (gelb) am Kopf. Die Daten werden im Thermolabsystem (silberne Box am Gürtel) aufgezeichnet, danach ausgelesen und per Downlink an die Bodenstation geschickt.

During a physiological performance test on the ISS, astronaut Dave Williams continuously measures his core body temperature with a twin sensor (yellow) attached to his head. The data is recorded in the thermolab system (silver box on the belt), read out, and sent to the ground station by downlink.



Niederleistungsdiagnostik: Der Zeitverlauf der muskulären Sauerstoffaufnahme nach Leistungsänderungen bei leichten Belastungsintensitäten könnte zukünftig Ausbelastungstests von Astronauten ersetzen

In the future, muscle oxygenation histograms taken during physical tests with loads varying between light and medium may eliminate the need for testing astronauts to exhaustion

Auf Parabelflügen wurde der neue Sensor, der beim ISS-Experiment THERMO zum Einsatz kommt, bereits getestet. Zusätzlich setzten die Wissenschaftler eine Wärmebildkamera zur Erfassung der Temperaturverteilung und weitere moderne Verfahren zur Messung von raschen Flüssigkeitsverschiebungen bei wechselnden Schwerkraftbedingungen ein. Ergebnis: Unmittelbar nach Wegfall der Schwerkraft steigt mehr als ein halber Liter Blut von den Beinen aus in Richtung Kopf. Die Wärmeabstrahlung, die bereits auf der Erde zu rund 30 Prozent über den Kopf erfolgt, erhöht sich in der Schwerelosigkeit deutlich.

Seit Oktober 2009 läuft THERMO auf der ISS, wo es mit weiteren leistungsphysiologischen Experimenten der NASA kombiniert wird, um gemeinsam zu detaillierten Erkenntnissen über die Regulation des Herz-Kreislauf-Systems und des Wärmehaushalts zu gelangen. Thermisch gefährdete Berufsgruppen wie Feuerwehr, Polizei und Sondereinsatzkräfte sollen von der neuen Methodik profitieren. Auch im klinischen Alltag kann THERMO bei Operationen und im Neugeborenen-Inkubator zum Einsatz kommen. Bei Herztransplantationen im Berliner Herz-Zentrum wurde der neue Doppelsensor im Jahr 2010 bereits erfolgreich angewendet.

**EKE
Bestimmung der
Ausdauerleistungsfähigkeit**

Koordination: Dr. Uwe Hoffmann,
DSHS Köln

Astronauten müssen während einer laufenden Mission ein umfangreiches Trainingsprogramm absolvieren, um dem Verlust an physischer Fitness zu begegnen. Dazu gehört auch die Ausdauerleis-

imaging camera to record temperature distribution together with other modern methods to measure the rapid movement of fluids under changing gravity conditions. The result: immediately after the onset of microgravity, more than half a litre of blood rises from the legs to the head. Moreover, microgravity causes a marked increase in the proportion of heat radiated from the head, which is 30 per cent even on Earth.

THERMO has been running on the ISS since October 2009. It has been combined with other physiological experiments run by NASA to obtain more detailed information about the regulation of body heat and the cardiovascular system. People in jobs with a high heat risk, such as firemen and members of the police and special forces, stand to benefit from the new method. In the daily routine of a clinic, THERMO may also be used in surgery and in incubators for newborn babies. Furthermore, the new twin sensor has already been used successfully in heart transplants performed at the Berlin Heart Centre in 2010.

**EKE
Determining Aerobic Fitness**

Coordinator: Dr Uwe Hoffmann,
DSHS Cologne

While they are on a mission, astronauts need to follow an extensive exercise programme to counteract the loss of physical fitness. One aspect is aerobic fitness, which is measured in endurance tests and assessed by maximum oxygenation. In these tests, subjects must go to the limits of their physical strength.

Scientists of the German Sports University (DSHS) in Cologne believe that the resultant state of exhaustion can be avoided by recording muscle oxygenation over time in exercise tests that change between light and medium intensity. The method is not universally established yet.

tungsfähigkeit, die mit Hilfe von Ausbelastungstests bestimmt und durch die maximale Sauerstoffaufnahme beurteilt wird. Der Proband muss hierbei bis an die Grenze seiner körperlichen Leistungsfähigkeit gehen.

Will man diese Erschöpfungszustände vermeiden, kann nach Auffassung von Wissenschaftlern der Deutschen Sporthochschule (DSHS) in Köln auch der Zeitverlauf der muskulären Sauerstoffaufnahme nach Leistungsänderungen bei leichten bis mittleren Belastungsintensitäten erfasst werden. Diese Methode ist bislang aber noch nicht allgemein etabliert. Genau hier setzt das Exercise-Kinetics-Experiment (EKE) an.

Vor, während und nach dem Aufenthalt in Schwerelosigkeit müssen die Astronauten spezifische Belastungstests absolvieren. Neben dem Gasaustausch beim Atmen werden dabei auch Herzfrequenz und Herzzeitvolumen bestimmt. Während des ISS-Aufenthalts werden Daten von Leistungstests zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme erhoben und mit den Vergleichsmessungen auf der Erde in das Modell eingerechnet.

EKE soll zur Entwicklung einer Methodik führen, mit der man die körperliche Leistungsfähigkeit anhand der Veränderungen der Sauerstoffaufnahme und der Herz-Kreislauf-Parameter in Abhängigkeit zur Belastungsintensität abschätzen kann. Diese Daten können mit entsprechenden Instrumenten während des Trainings nicht invasiv erhoben werden. Häufige Leistungstest bis zur Erschöpfung werden so vermieden. Während eine Ausbelastung beim Sportler noch akzeptabel sein mag, könnte diese neue „Niederleistungsdiagnostik“ in Zukunft auch bei Kindern und Patienten eingesetzt werden.

This is where the Exercise Kinetics Experiment (EKE) kicks in.

Astronauts must undergo specific fitness tests before, during, and after any stay in microgravity. Measured quantities include the gas exchange during breathing as well as the heart rate and output volume. During their stay on the ISS, fitness test data is gathered to determine maximum oxygenation, and integrated in the model together with reference measurements taken on Earth.

EKE is intended to lead to the development of a methodology that permits assessing physical fitness by changes in oxygenation and cardiovascular parameters in relation to load intensity. Special instruments permit recording such data non-invasively during physical exercise sessions, so that frequent tests to exhaustion can be avoided. While tests to the limit may be acceptable for athletes, this new low-stress diagnostic might be applied to children and patients in the future.





Das Experiment CCF wird durch das Projektteam vom Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) von Bremen aus gesteuert (ZARM)

The capillary channel flow experiment is controlled by the CCF team from the Centre for Applied Space Technology and Microgravitation (ZARM) in Bremen (ZARM)

Physik

Konnten in der Vergangenheit wichtige physikalische Entdeckungen gemacht und neue Werkstoffe entwickelt werden, so hält auch die Zukunft Antworten auf wichtige physikalische Fragen bereit. Darum werden die Plasmakristallexperimente in verbesserten Experimentieranlagen fortgesetzt, Flüssigkeitsströmungen in Kanälen überprüft und die Strömungen im sogenannten zähen Erdmantel überprüft.

CCF Flüssigkeitsströmungen in Kanälen

Koordination: Prof. Michael Dreyer, ZARM, Universität Bremen; Prof. Mark Weislogel, Universität Portland, USA

Im April 2010 brachte ein Space Shuttle die deutsche Forschungsapparatur CCF (Capillary Channel Flow) auf die ISS. Dieses bilaterale Kooperationsprojekt des DLR Raumfahrtmanagements und der NASA erforscht, wie sich Flüssigkeiten in kapillaren Kanälen unter Schwerelosigkeit verhalten. Die NASA ist im Wesentlichen für den Transport der Apparatur zur ISS, deren dortigen Betrieb und das Astronautentraining verantwortlich. Die deutsche Seite stellt die Apparatur für den Bordeinsatz sowie ein Ingenieur- und ein Trainingsmodell zur Verfügung.

Ob Raumsonde, Fernsehsatellit oder auch ein zukünftiger bemannter Mond- oder Mars-Flug: An Bord von Weltraumfahrzeugen ist eine sichere und gezielte Handhabung von Flüssigkeiten von entscheidender Bedeutung. Das gilt sowohl für Treibstoffe als auch für Wasser und verflüssigte Gase. Auf der Erde treten gewöhnlich keine Probleme auf: Benzin in einem Autotank schwappt dank der Erdanziehung immer am Boden. Unter Schwerelosigkeit hingegen verteilt sich der Treibstoff überall im Tank.

Physics

While important physical discoveries have been made and new materials developed in the past, the future, too, holds answers to important questions in the field of physics. To find these answers, plasma crystal experiments are being continued in improved experimental facilities, fluid flows in channels are being investigated, and flows in the tough mantle of the Earth are being examined.

CCF Fluid Flows in Channels

Coordinators: Prof. Michael Dreyer, ZARM, Bremen University; Prof. Mark Weislogel, Portland University, USA

In April 2010, the German CCF (capillary channel flow) research apparatus arrived on the ISS in a space shuttle. Under this bilateral cooperation project between DLR Space Administration and NASA, scientific teams investigate how liquids behave in capillary channels in microgravity. NASA is mainly responsible for transporting the apparatus to the ISS, operating it there, and training the astronauts. The German side provides the apparatus for on-board use as well as an engineering and a training demonstrator.

Whether we are looking at a space probe, an ATV satellite, or even a crewed future flight to the Moon or Mars, liquids need to be handled safely and purposefully on board any spacecraft. This is true for fuels as well as for water and liquefied gases. On Earth, problems do not usually occur: petrol in the tank of a car always slops around at the bottom, thanks to gravity. In zero gravity, by contrast, it would spread all around the tank.

When a rocket engine is ignited in orbit, the great challenge is to convey the fuel to the outlet of the tank and on to the propulsion unit without any bubbles forming in the flow. A promising and technically smart solution is to convey

Den flüssigen Treibstoff bei einer Zündung des Raketentriebwerks im Orbit im Tank zur Auslassöffnung zu fördern und dem Triebwerk blasenfrei zur Verfügung zu stellen, ist daher eine große Herausforderung. Eine vielversprechende und technisch elegante Lösung ist der Einsatz von seitlich offenen Leitungen, sogenannten Kapillarkanälen, in denen Flüssigkeit strömt. Ihre Oberflächenspannung und die gute Benetzung zum Wandmaterial hält sie in den Leitungen. Welche Kräfte dabei wirksam sind und wie sie interagieren, modellieren Wissenschaftler anhand von Gleichungen der Strömungsmechanik mathematisch. Doch diese theoretischen Berechnungen können nur durch Experimente unter Schwerelosigkeit bestätigt werden.

Treibstoffleitungen werden im Experiment modellhaft mit je einem Kapillarkanal aus zwei parallelen beziehungsweise V-förmigen Glasplatten realisiert. Die Länge des Kanals sowie der Volumenstrom der Flüssigkeit sind variabel und können während der Mission verändert werden. Die Stoffeigenschaften der Modellflüssigkeit wie Zähigkeit, Dichte und Oberflächenspannung sind so gewählt, dass sie in Kombination mit der Geometrie des Testkanals realen Treibstofftransporten sehr ähnlich sind. Dadurch werden die Ergebnisse vom Modell leicht übertragbar auf eine Anwendung im Raumfahrzeugtank. Eine hochauflösende Kamera filmt den Flüssigkeitsstrom und sendet die Daten direkt zur Bodenstation, von wo aus die Versuchsleiter in den Ablauf eingreifen können. Mit dem Experiment lässt sich präzise ermitteln, bei welcher Geschwindigkeit die Strömung abreißt und warum das geschieht.

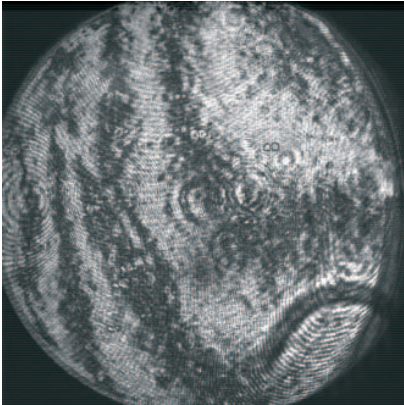
fluids in ducts that are open along the side, called capillary channels. The fluid is kept in the channel by its own surface tension and good wall-material wetting. The forces that control the process and the interactions between them are described in mathematical models based on flow-mechanical equations. However, such theoretical calculations can be validated only by experiments in microgravity.

In these experiments, fuel lines are modelled by capillary channels consisting of two panes of glass arranged in parallel and/or in a v-shape. Both the length of the channels and the volume flow rate of the fluid may be varied during the mission. Together with the geometry of the test channel, the properties of the model fluid, such as viscosity, density, and surface tension, have been chosen so that a real-life fuel transport process can be mimicked very closely. This makes it easy to apply the results obtained from the ISS model to the operation of a space vehicle tank. Images of the fluid flow taken by a high-resolution camera are transmitted directly to a ground station from which experimenters can control the process. The test permits determining precisely the rate at which the flow stalls, and why it does.



Am 27. Dezember 2010 experimentierte der NASA-Astronaut Scott Kelly mit der „Capillary Channel Flow“ (CCF) Hardware in der „Microgravity Science Glovebox“ (MSG)

On December 27, 2010, NASA astronaut Scott Kelly worked with “Capillary Channel Flow” (CCF) experiment hardware in the “Microgravity Science Glovebox” (MSG)



Das Experiment GEOFLOW der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus simuliert die Strömungen im Erdinneren

Run by the Technical University of Brandenburg in Cottbus, the GEOFLOW experiment simulates flows in the Earth's interior

GEOFLOW Ein Blick ins Innere der Erde

Koordination: Prof. Christoph Egbers,
BTU Cottbus

Wie verhält sich die Erde in ihrem tiefen Inneren? Das Experiment GEOFLOW soll auf diese Frage eine Antwort finden, indem die geophysikalischen Strömungen, die in der schmelzflüssigen Schicht zwischen Mantel und festem Kern im Inneren der Erde vorkommen, nachgestellt werden. Nachdem die erste Experimentserie 2009 auf der ISS erfolgreich abgeschlossen wurde, simulieren Wissenschaftler nun in einem zweiten Zyklus die Strömungen im zähen Erdmantel. Sie erhoffen sich aber auch Erkenntnisse über die globalen Bewegungen in Ozeanen oder in der Atmosphäre.

Zwischen einer inneren, massiven Kugel und einer äußeren Hohlkugel befindet sich eine Ölschicht. Diese Konstruktion bildet im Experiment die Verhältnisse im Erdinneren nach. Die auf den Erdmittelpunkt gerichtete Gravitation wird durch Anlegen einer Hochspannung zwischen der äußeren und der inneren Kugel simuliert. Schwerelosigkeit ist notwendig, damit sich ein unverzerrtes, zentralsymmetrisches Kraftfeld ausbildet – analog zum Gravitationsfeld. Die Strömungsphysik ist auf die Verhältnisse im Erdinneren modellhaft übertragbar.

GEOFLOW ist ein etwa schuhkartongroßer Experimentcontainer. Es war das erste Fluidphysik-Experiment, das im Fluid Science Labor von COLUMBUS ablief. Im Experiment GEOFLOW II wird ab 2011 mit einer neuen, im Bodenlabor ausgetauschten Flüssigkeit zwischen den Kugeln experimentiert. Ihre Zähigkeit ist stark temperaturabhängig. So lassen sich Strömungsverhältnisse im Erdmantel nachbilden.

GEOFLOW A Look into the Earth's Interior

Coordinator: Prof. Christoph Egbers,
BTU Cottbus

How does the Earth behave deep in its interior? The GEOFLOW experiment is intended to find an answer to this question by simulating the geophysical flows that operate in the molten layer between the Earth's mantle and its solid core. After the successful conclusion of the first series of experiments on the ISS in 2009, scientists are now simulating flows in the tough mantle in a second test cycle which they hope will also reveal information about global movements in oceans or the atmosphere.

The gap between an inner massive bowl and an external hollow bowl is filled with oil. In this way, the Earth's interior is simulated. Centripetal gravitation is simulated by applying high-voltage electricity to the space between the bowls. Microgravity is needed to ensure that the force field which forms is undistorted and centrally symmetric, like the gravitational field. The model's flow physics reflect the situation in the Earth's interior.

The container of the GEOFLOW experiment is about the size of a shoebox. It was the first experiment in fluid physics to be run in the fluid science laboratory of COLUMBUS. For GEOFLOW II, which will start in 2011, the fluid between the bowls will be replaced in the terrestrial laboratory by a new fluid whose viscosity is highly temperature-dependent, so that flow conditions in the Earth's mantle can be simulated.

PK-3-Plus Complex Plasmas in Microgravity

Coordinators: Prof. Gregor Eugen Morfill,
MPE Garching; Dr Vladimir Molotkov,
RAW Moscow

PK-3-Plus Komplexe Plasmen in Schwerelosigkeit

Koordination: Prof. Gregor Eugen Morfill,
MPE Garching; Dr. Vladimir Molotkov,
RAdW Moskau

Mitte Januar 2006 wurde die Anlage PK-3-Plus zur Plasmaforschung in Betrieb genommen. PK-3-Plus dient der Erforschung komplexer Plasmen, die sich durch das deutsch-russische Experiment besser erzeugen und manipulieren lassen. Mit gezielten Experimenten wurden einzelne Effekte der Festkörper-, Flüssigkeits- und Plasmaphysik in einem nur unter Schwerelosigkeit zugänglichen Bereich der Plasmen bereits untersucht.

Das Experimentalprogramm wird voraussichtlich bis 2012 andauern. Betrieben wird die Einrichtung vom Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching und dem Institut für Hochenergie-dichten der russischen Akademie der Wissenschaften in Moskau. Mit der neuen Apparatur soll das grundlegende Verständnis über Vorgänge in kristallin geordneten Festkörpern erweitert werden. Die Experiment-anlage löste die Einrichtung PK-3 ab, die als erstes wissenschaftliches Experiment auf der ISS von März 2001 bis Juli 2005 mit zwei bis drei Experimentserien pro Jahr in Betrieb war.

PK-4 Die nächste Generation

Koordination: Prof. Gregor Morfill;
Prof. Markus Thoma, MPE Garching

PK-4 befindet sich in der Vorbereitungsphase, die durch ESA und DLR unterstützt wird. 2013 soll die neue Anlage im russischen Teil der ISS zum Einsatz kommen. Im Gegensatz zu seinen Vorgängern besteht die Plasmakammer aus einer langen Glasröhre. Sie ist besonders für die Untersuchung der flüssigen komplexen Plasmen geeignet. Ein wichtiges Thema bei den Experimenten ist die

PK-3-Plus, a plasma research facility, became operational in mid-January 2006. Designed for research into complex plasmas, the German-Russian experiment offers improved conditions for generating and manipulating plasmas of this kind. So far, various effects in solid- and fluid-state as well as plasma physics have been investigated under conditions that are accessible only in microgravity.

The experimental programme will be continued until 2012. The facility is operated jointly by the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics in Garching and the Institute of High Energy Densities of the Russian Academy of Sciences in Moscow. The new apparatus is intended to improve our basic understanding of processes that operate in crystalline solid bodies. It replaces the PK-3 facility, the first scientific experiment to be performed on the ISS, on which two to three series of experiments per year were run between March 2001 and July 2005.

PK-4 The Next Generation

Coordinators: Prof. Gregor Morfill;
Prof. Markus Thoma, MPE Garching

PK-4 is currently undergoing its preparatory phase with the support of ESA and DLR. It is intended to deploy the new facility in the Russian segment of the ISS in 2013. Unlike its predecessors, its plasma chamber consists of a long glass tube specially designed for investigating fluid complex plasmas. Among other things, experiments focus on investigating flow properties, in turbulences, for example, in large clouds containing several million micro-particles as well as in small systems containing only a few.



Kosmonaut Valery I. Tokarev während der Expedition 12 im Januar 2006 mit der PK-3-Plus-Anlage

Cosmonaut Valery I. Tokarev with the PK-3 Plus apparatus during expedition 12 in January 2006



Während eines Parabelflugs an Bord des Airbus A300 Zero-G fanden Eignungstests und ergänzende Untersuchungen an der PK-4-Anlage statt

The PK-4 apparatus was subjected to capability tests and supplementary examinations during a parabolic flight on board the Airbus A300 Zero-G

Untersuchung von Strömungseigenschaften wie etwa bei Turbulenzen in großen Mikropartikelwolken mit einigen Millionen Teilchen, aber auch in kleinen Systemen aus wenigen Teilchen.

Mit PK-4 haben die Wissenschaftler bereits an vier Parabelflugkampagnen teilgenommen. Ziel dieser Experimente waren dabei neben wissenschaftlichen Untersuchungen auch Funktionstests der Apparatur in Schwerelosigkeit.

Materialdesign

Metallische und halbleitende Werkstoffe werden überwiegend aus dem flüssigen Zustand mittels schmelztechnischer Verfahren hergestellt. Schwerelosigkeit bietet durch das Ausschalten von Störkräften in der Schmelze entscheidende Vorteile, um die Wechselbeziehung zwischen Erstarrungsbedingungen, Werkstoffgefüge und den Eigenschaften eines Werkstoffs aufzuklären. In der Schwerelosigkeit können Materialforscher behälterfreie Verfahren anwenden, bei denen die geschmolzene Probe frei schwebt. Dadurch lassen sich wichtige Eigenschaften wie Oberflächenspannung und Zähigkeit wesentlich genauer bestimmen als in irdischen Labors. Solche präzisen Daten sind für möglichst realitätsnahe Computersimulationen wichtig, die in der Industrie stetig an Bedeutung gewinnen. Sie ermöglichen das energiesparende Entwickeln neuer Werkstoffe.

MICAST und CETSOL Materialdesign in Schwerelosigkeit

Koordination: Prof. Lorenz Ratke, DLR Köln; Dr. Ing. Gerhard Zimmermann, ACCESS e. V. Aachen

Seit November 2009 laufen im Materials Science Lab (MSL) der ESA Experimentserien zur Erforschung von Erstarrungsvorgängen an metallischen Legierungen. In den Experimenten Microstructure

PK-4 has already been tested by scientists in four parabolic-flight campaigns. Next to scientific investigations, these experiments served to test the functionality of the apparatus in microgravity.

Materials Design

Metallic and semi-conducting materials are mostly produced from the liquid state by melt technologies. Because it eliminates spurious forces within the melt, microgravity offers crucial advantages in clarifying the interaction between solidification conditions and the structure and properties of the resultant material. Furthermore, important melt properties such as surface tension and toughness can be measured much more precisely than in terrestrial laboratories by containerless methods that operate in zero gravity, with the melt sample floating freely. Such accurate data are essential for further improvements in the realism of computer simulations. Steadily gaining in importance, these simulations enable the industry to develop new materials by more energy-efficient methods.

MICAST and CETSOL Materials Design in Microgravity

Coordinators: Prof. Lorenz Ratke, DLR Cologne; Dr. Ing. Gerhard Zimmermann, ACCESS e. V. Aachen

Since November 2009, ESA's materials science lab (MSL) has been running various series of experiments to investigate solidification processes in metallic alloys.

In two experiments, MICAST (microstructure formation in casting of technical alloys) and CETSOL (columnar-to-equiaxed transition in solidification processing), cast-aluminium alloys are made to solidify in a largely convection-free process. Then again, during solidification, metallic melts are also exposed to a steadily rotating magnetic field in order to implant a spurious additional flow in

Formation in Casting of Technical Alloys (MICAST) und Columnar-to-Equiaxed Transition in Solidification Processing (CETSOL) werden Aluminium-Gusslegierungen weitgehend ohne Konvektion erstarrt. Andererseits werden die metallischen Schmelzen während der Erstarrung auch einem gleichmäßig rotierenden Magnetfeld ausgesetzt, um eine Störung in Form einer zusätzlichen Schmelzströmung aufzuprägen. Sämtliche Proben von der ISS werden anschließend mit Proben verglichen, die auf der Erde unter analogen Versuchsbedingungen erstarrten. Die Forscher wollen die verschiedenen Einflussgrößen auf die Erstarrungsprozesse besser verstehen und so verfeinerte mathematische Modelle zur Vorhersage der inneren Struktur von Gussteilen gewinnen. So sollen Werkstoffe mit verbesserten Eigenschaften oder geringeren Produktionskosten auf der Erde hergestellt werden.

Doch der Schritt vom „trial and error“ hin zum computergestützten Produktdesign ist eine Herausforderung für die Weiterentwicklung von Herstellungsprozessen und ihrer Produkte. Hierbei werden Simulationsmodelle von der mikroskopischen Erstarrung bis zur Gussimulation eines Bauteils verwendet, die auf genauen Kenntnissen der physikalischen Gesetze und den Eigenschaften der Schmelze beruhen. Durch Forschung unter Schwerelosigkeit konnten neue experimentelle Methoden erschlossen werden, um Eigenschaften von Schmelzen und Erstarrungsprozessen detailliert zu erforschen. In Abwesenheit der Schwerkraftwirkung spielen Dichteunterschiede in der Schmelze keine Rolle; dadurch lassen sich Sedimentation und Konvektion minimieren und somit Schmelzen unter rein diffusen Bedingungen untersuchen und erstarren. Die inhaltlichen Schwerpunkte der materialwissenschaftlichen Forschung unter Weltraumbedingungen orientieren sich zunehmend an technologisch relevanten Fragestellungen und Legierungssystemen aus den Bereichen Leichtmetalllegierungen, Hochleistungswerkstoffe und Halbleitermaterialien.

the melt. In the next step, all samples from the ISS are compared to others that solidified under analogous conditions on Earth. Researchers intend to improve their understanding of the various factors that influence solidification processes in order to refine their mathematical models to predict the inner structure of castings. The aim is to make materials on Earth which feature improved properties or lower production costs.

However, the step from trial-and-error methods to computer-based product design is a key challenge in the development of manufacturing processes and end products. Based on accurate knowledge of the applicable physical laws and the properties of the material, the models used for the purpose simulate anything from microscopic solidification to the pouring of a casting. Research in microgravity has opened up new experimental methods for investigating the properties of melts and solidification processes in detail. In the absence of gravity, differences in melt density lose their importance and the effects of sedimentation and convection-driven flows are minimised, so that melts and their solidification can be investigated under purely diffuse conditions. Materials-science research under space conditions is increasingly focussing on questions of technological relevance, light-metal alloy systems, and heavy-duty and semiconductor materials.



Industrieforschung im Weltraum

Industrial Research in Space



Der ESA-Astronaut Frank De Winne arbeitet mit der „Microgravity Science Glovebox“ (MSG) im COLUMBUS-Modul auf der ISS

European Space Agency astronaut Frank De Winne works in the “Microgravity Science Glovebox” (MSG) located in the COLUMBUS laboratory of the ISS

Fast jeder moderne Entwicklungs- und Fertigungsprozess stellt die Industrie vor vielfältige Herausforderungen. In manchen Fällen konnte die Raumfahrt bereits die Suche nach einer Lösung unterstützen, indem sie Experimente in Schwerelosigkeit ermöglicht. Dank der Raumfahrt als Dienstleister, die speziell auf die Bedürfnisse des Kunden zugeschnittene Versuche ermöglicht, haben forschende Unternehmen – zum Beispiel bei künstlichen Nanostrukturen – schon Forschungsfortschritte erzielt.

Kann Forschung im Weltraum für ein Wirtschaftsunternehmen gewinnbringend sein? Industrielle Versuche lohnen sich immer dann, wenn am Boden herrschende Schwerkraft gute Ergebnisse verhindert oder zeitlich verzögert. Zwischen zehn und 30 Prozent der europäischen Forschungsressourcen an Bord der ISS sollen langfristig für die Industrie zur Verfügung stehen.

Fluggelegenheiten bestehen auch für kleine und mittlere Unternehmen, die Forschung in Weltraumlaboren als lohnende Investition in die Zukunft erkennen. Die ISS wird aber weder kurz-, noch mittelfristig eine „Fabrik im All“ sein. Unternehmen können auf der ISS Erfahrungen sammeln und diese bei der Produktion auf der Erde in großem Maßstab umsetzen – Know-how-Transfer vom Weltraum zur Erde mit zeitnaher Rendite.

Die DLR-Initiative „GoSpace“ bietet die notwendigen Informationen über das Potenzial von Forschung in der Schwerelosigkeit. Sie übernimmt die Funktion eines Brückenbauers zwischen Raumfahrt

Almost any modern development and manufacturing process puts industry before a host of challenges. Astronautics has more than once been helpful in finding a solution by facilitating experiments in a microgravity environment.

Thanks to astronautics acting as a service provider, offering experiments tailored to customer needs, research-based companies have come closer to the solutions they were looking for, such as, for instance, synthetic nanostructures. But – can research in space be at all profitable for a business enterprise? Space-borne industrial experiments are worth their while in all cases where good results are prevented or delayed by the gravity that prevails on the ground. In future, between 10 and 30 per cent of Europe’s research capacity on board the ISS should be available for industrial research.

Flight opportunities are available to small and medium-sized enterprises, too, where research in space laboratories is increasingly recognised as a profitable, forward-looking investment, although the ISS is not likely not become a space factory either in the short or in the medium term. It will be a place for companies to gather experience from which they can benefit on a large scale in their production on Earth – a transfer of knowledge from space to Earth that pays off nearly immediately.

DLR’s GoSpace initiative aims to provide all requisite information about the potential of research in microgravity. GoSpace acts as a bridge-building activity bringing together astronautics and industry, always with a focus on the individual company’s benefit. What outcomes can a manufacturer of bone implants expect? What

und Industrie. Dabei steht der individuelle Nutzen der Firma im Vordergrund: Welche Ergebnisse kann ein Hersteller von Knochenimplantaten erwarten? Welche Vorteile kann ein Unternehmen durch thermophysikalische Untersuchungen von Metalllegierungen erlangen? Antworten auf diese Fragen lassen sich nur individuell erarbeiten. Das GoSpace-Team gibt der forschenden Industrie hierzu Orientierungshilfen und konkrete Handlungsempfehlungen.

Für Wirtschaftsunternehmen lassen sich „Brücken in den Weltraum“ nur bauen, wenn Hemmnisse bei Vorbereitung, Experimentdurchführung und Auswertung beseitigt werden. Interessierte Firmen können dem DLR Raumfahrtmanagement und GoSpace Projekte vorschlagen oder sich beraten lassen. Jeder industrielle Vorschlag wird fallspezifisch mit dem Ziel begutachtet, den jeweils optimalen Weg für das Unternehmen zu finden und umzusetzen. Mögliche Missionsmodelle und Experimentabläufe werden mit dem Unternehmen diskutiert und notwendige Kooperationen mit Wissenschaftlern ins Leben gerufen. Der Nutzer erhält durch GoSpace Zugriff auf das erforderliche Know-how. Auch die finanziellen Rahmenbedingungen werden analysiert: Wie könnte eine Kofinanzierung der Flug- und Betriebskosten durch Raumfahrtmanagement und Unternehmen aussehen? Welche Fördermittel stehen zur Verfügung?

Das Unternehmen hat in allen Phasen Gelegenheit, auf Grundlage aktueller Ergebnisse und Projektfortschritte zu entscheiden, ob, wann und in welcher Form der nächste Schritt unternommen werden soll. Seit 2002 folgen Firmen der verschiedensten Branchen dem Angebot



GoSpace

INDUSTRIELLE FORSCHUNG IN SCHWERELOSIGKEIT

benefits may a company obtain by investigating the thermo-physical properties of metal alloys in space? Answers to these questions can be given only on a case-by-case basis. DLR's experienced GoSpace team provides research-based companies with highly relevant guidance and recommendations.

A business company can only build a "bridge to space" after all obstacles hampering the preparation, implementation and evaluation of experiments have been moved out of the way. Assistance is provided by DLR's Space Administration and the GoSpace team when contacted by companies with an enquiry about a potential project. Each industrial proposal is reviewed specifically, the objective being to find and implement the best possible approach for the company in question. Options concerning mission models and experiment procedures are discussed, and cooperation with scientists is initiated as required. GoSpace



Während der Astrolab-Mission führte der ESA-Astronaut Thomas Reiter auch das Experiment Skin Care im Rahmen der GoSpace-Initiative durch

During the Astrolab mission, the ESA astronaut Thomas Reiter accomplished the Skin Care experiment – a part of the GoSpace initiative

des DLR Raumfahrtmanagements, Zugang zu Versuchen in der Schwerelosigkeit zu erhalten. Interessante Beispiele kommen sowohl aus Feldern der „klassischen“ Forschung unter Weltraumbedingungen, wie Materialforschung und Humanphysiologie, als auch aus anderen Bereichen wie etwa der Pharmazie und der Nanotechnologie. Die industrielle Nutzung der ISS lässt sich mit der Fertigstellung der Raumstation ausweiten.

Deutschland hat den größten Nutzungsanteil in Europa, der nicht nur der Wissenschaft, sondern auch der forschenden Industrie zugute kommen soll. Für Forscher aus der Nichtraumfahrtindustrie ist das Experimentieren in Schwerelosigkeit Neuland, das erobert werden muss. Die Initiative GoSpace hilft, diese Herausforderung zu meistern. Im besten Fall kann sie eine umfassende Nahtstelle zwischen Industrieforschern und der Raumfahrt sein. GoSpace hat mögliche Themenbereiche der industriellen Forschung in der Schwerelosigkeit analysiert. Erfolg verspricht etwa in den Materialwissenschaften die Untersuchung der thermophysikalischen Eigenschaften von Stahllegierungen, Nano- und Partikeltechnologien und die Energie- und Verbrennungsforschung. In den Lebenswissenschaften sind die Knochen demineralisierung und Osteoporoseforschung, die Haltbarkeit von Implantaten, Telemedizin sowie die Proteinkristallisation zur Arzneimittelentwicklung von Interesse.

gives its users access to the knowledge they need. Financial conditions will be analysed as well: what co-funding could be arranged between DLR Space Administration and the company to cover flight and operating costs? What state grants might be available?

In all phases of a project the company can decide on the basis of current results and progress whether, when, and in what form the next step is to be taken. Since 2002, companies from a wide range of industries have followed the offer of DLR Space Administration to consider the option of seeking access to experiments in microgravity. There have been interesting examples not only from 'established' fields of research in a microgravity environment, such as materials research and human physiology, but also from other sectors, such as pharmacology and nanotechnology. Regarding the utilisation of the ISS, Germany holds the greatest part of the European countries. This advantage should be used for industry doing science as well as for the programme Research under Space Conditions. This kind of research may be quite new for scientists working for the non space flight industry. GoSpace helps to force this challenge. At the best, the initiative could be a junction between industry and space flight. GoSpace has analysed all of the possible topics in industrial research in microgravity. In materials science, the research of thermophysical attributes of ferrous alloys, nano and particle technologies and the energy and combustion research should be successful fields in future. For life science, research of osteoporosis, the durability of implants, the telemedicine and the crystallisation of proteins to design drugs are quite interesting.

Schülerexperimente auf der ISS

Student Experiments on the ISS

Nachwuchsförderung spielt auch bei der Forschung auf der ISS eine Rolle: So hat das DLR Raumfahrtmanagement im Auftrag der Bundesregierung seit dem Jahr 2000 mehrere Experimente zur ISS für Schülerinnen und Schüler aller Altersklassen und aller Schulformen organisiert und war über einen Schülerwettbewerb an Missionen zur Internationalen Raumstation beteiligt. Im April 2004 konnten auf Einladung der Niederlande mit Unterstützung der ESA in deutschen Grundschulen rund 80.000 Schüler am Experiment „Seeds in Space“ des ESA-Astronauten André Kuipers teilnehmen. Deutsche Universitäten unterstützten die Lehrer.

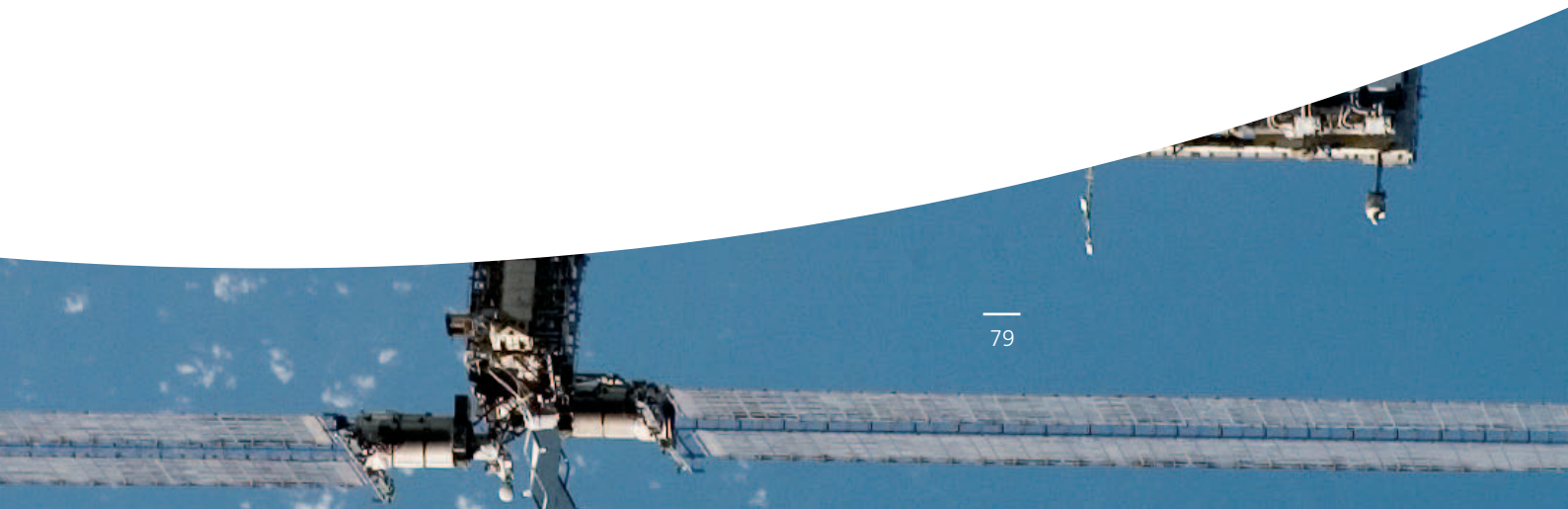
Zwei Jahre später ermöglichten die ESA und das DLR im Herbst 2006 allen deutschen weiterführenden Schulen mit den Klassen 5 und 6 die Teilnahme am „Oil Emulsion Experiment“. Dieses Experiment wurde von dem deutschen Astronauten Thomas Reiter im Rahmen der Astrolab-Mission auf der ISS sowie parallel auf der Erde in den Schulklassen umgesetzt.

„Tracking the ISS – ihr Weg ist Euer Ziel“ steht für ein außergewöhnliches mathematisches Experiment, zu dem 2006/2007 alle Schüler ab der 10. Klasse eingeladen waren: Mit Hilfe der Triangulations-Methode sollten sie die aktuelle Position der ISS möglichst exakt bestimmen. 99 Schüler aus allen Teilen Deutschlands wurden im September 2008 zum „Space Triangulation Symposium“ eingeladen, um ihr Projekt in Berlin vorzustellen und bewerten zu lassen. Die aus Wissenschaftlern und Pädagogen bestehende Jury war von dem hohen Niveau vieler Untersuchungen überrascht und kürte drei Sieger. Zudem wurde ein Sonderpreis Elektronik verliehen.

The promotion of young researchers also plays a part in the labs of the ISS. Acting on behalf of the Federal Government, DLR Space Management began in 2002 to arrange for a number of experiments to be conducted on the ISS for the benefit of students of all age groups and school categories. It also held a student contest for contributing a research mission to the International Space Station. At the invitation of the Netherlands and with ESA's support, around 80,000 pupils from German primary schools were able to take part in the Seeds in Space experiment run by ESA astronaut André Kuipers in April 2004. German universities offered teacher support.

Two years later, in the autumn of 2006, ESA and DLR offered 5th and 6th formers from all German secondary schools an opportunity to participate in the 'oil emulsion experiment' implemented by German ESA astronaut Thomas Reiter on the ISS as part of the Astrolab mission and, simultaneously, in classrooms on Earth.

"Tracking the ISS – its path is your aim" was the title of an unusual mathematical experiment which all students from the 10th form on up were invited to join in 2006/07: the assignment was to determine the current position of the ISS as precisely as possible by triangulation. In September 2008, 99 entrants were invited to Berlin's Space Triangulation Symposium to present their studies before a jury. Composed of experts and educationalists, the jury was impressed by the high academic standard of many of the studies. It elected three winners. The jury also awarded a special prize in electronics.







DIE ISS IM ZEITRAFFER

THE ISS IN FAST MOTION



Vergangenheit

The Past

Die ersten Raumstationen

Am 19. April 1971 brachte die Sowjetunion mit SALJUT 1 ihre erste Orbitalstation in den Weltraum. Ihr gelang damit ein bedeutender Schritt hin zu einer permanenten Präsenz des Menschen im Erdorbit. Mit SALJUT 6 wurde 1977 die nächste Generation von Raumstationen gestartet. Mit einem zweiten Andockring für Versorgungsschiffe ausgestattet, konnte sie wesentlich länger im All bleiben. Vom 27. August bis 3. September 1978 arbeitete hier Sigmund Jähn im Rahmen der INTERKOSMOS-Kooperation zwischen der DDR und der UdSSR als erster deutscher Kosmonaut. Im April 1982 folgte SALJUT 7, auf der sich zwei Monate später der Franzose Jean-Loup Chrétien als erster westlicher Kosmonaut an Bord einer sowjetischen Raumstation aufhielt.

In der Sowjetunion wurde währenddessen die dritte Generation von Raumstationen konzipiert, die schließlich am 20. Februar 1986 erfolgreich in einen Orbit auf ungefähr 300 Kilometer Höhe gebracht wurde: das multi-modulare Raumlabor MIR. Mit seinen fünf For-

The Early Space Stations

On April 19, 1971, the Soviet Union launched its first orbital station, SALYUT 1, marking the successful completion of a major step towards establishing man permanently in orbit around Earth. In 1977, SALYUT 6 followed, representing the next generation of space stations which, equipped with a second docking port for supply ships, could remain much longer in space. From August 27 to September 3, 1978, Sigmund Jähn was the first German cosmonaut to work on SALYUT 6 under the INTERCOSMOS cooperation between the GDR and the USSR. In April 1982, SALYUT 7 was launched, where two months later, Jean-Loup Chrétien, a Frenchman, became the first astronaut from the West to stay on board a Soviet space station.

Meanwhile, a third generation of space stations was being designed in the Soviet Union, embodied in the multi-modular space laboratory MIR, which was finally launched into orbit on February 20, 1986 at an altitude of about 300 kilometres. With its five research segments that were later docked on to the base module, it reached a mass of more than 120 tons. Designed for a life of twelve years, it actually lived far beyond the collapse of the leading power of the East. Hanging on after the end of the Cold War until its final controlled crash on March 23, 2001, MIR offered scientists from the West as well as from the East opportunities to conduct long-term research in space. The first countermove of the USA was SKYLAB. Installed in the third stage of the last SATURN V ever launched, it offered a crew of three an opportunity to stay on board three times for a total of 171 days in 1973 to conduct scientific and technical experiments in solar and comet research, materials science, medicine, pharmacology, Earth observation, meteorology, biology, and chemistry.

schungssegmenten, die später an das Basismodul angekoppelt wurden, erreichte die MIR eine Masse von über 120 Tonnen. Nach der Überwindung des Kalten Kriegs bot sie bis zu ihrem kontrollierten Absturz am 23. März 2001 auch westlichen Wissenschaftlern die Chance zur Langzeitforschung im All. Die USA hatten dem zunächst SKYLAB entgegengesetzt. Eingerichtet in der dritten Stufe der letzten gestarteten SATURN V bot die einzige US-amerikanische Station 1973 dreimal einer dreiköpfigen Besatzung insgesamt 171 Tage Aufenthalt für wissenschaftliche und technische Experimente in den Bereichen der Sonnen- und Kometenforschung, Materialkunde, Medizin und Pharmazie, Erdbeobachtung, Meteorologie, Biologie und Chemie.

Eine Raumstation des Westens

In den Neunzehnhundertachtzigerjahren suchte die NASA längerfristige astronautische Erfahrungen im Orbit sowie wissenschaftliche Experimentiereinrichtungen und kommerzielle Einsatzmöglichkeiten. Am 25. Januar 1984 beauftragte US-Präsident Ronald Reagan die NASA mit der Entwicklung einer dauerhaft besetzten Raumstation für Wissenschaft und industrielle Forschung sowie für die Herstellung von besonderen Werkstoffen und Arzneien. Hierzu luden die USA ihre Partner Kanada, Japan und Europa ein. Geplanter Start war 1992, das Jubiläumsjahr der Wiederentdeckung Amerikas durch Christoph Columbus.

Insbesondere Deutschland, Italien und Frankreich, welche die neuen Großvorhaben der westeuropäischen Raumfahrt bestimmten. Frankreich konzentrierte sich auf die Weiterentwicklung der Trägerrakete zur Ariane 5 sowie auf die Konzipierung des bemannten Raumgleiters HERMES. Deutschland legte mit Italien den Schwerpunkt auf das COLUMBUS-Programm. Die Verantwortlichen

A Space Station of the West

In the 1980s, NASA was looking for ways to prolong the crew's orbital experience in astronautics, new scientific experiments, and commercial applications. In addition, a space station owned by the Western nations was conceived as symbolising peaceful cooperation as well as the technological dominance of the "free world" at a time when the nuclear arms race was exacerbating the political confrontation between East and West. On January 25, 1984, President Reagan commissioned the NASA to develop a permanently-manned space station that was to be used for scientific and industrial research as well as for the production of special materials and medicines. Therefore, the USA invited their partners Canada, Japan and Europe. It was to be launched in 1992, the jubilee year of the rediscovery of America by Christopher Columbus.

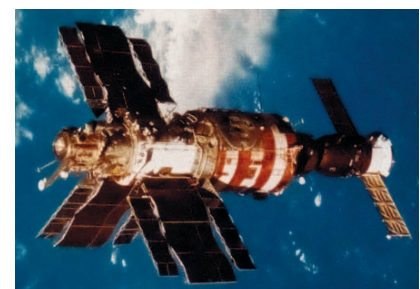
The new large-scale space programmes in Western Europe were dominated by Germany, Italy, and France. France concentrated on developing ARIANE 5 from the European launcher and designing a manned European orbital glider to be named HERMES. Germany focussed on COLUMBUS together with Italy. Those expected all this to provide a boost to technological development because of the unprecedented requirements that would have to be met with regard to the reliability, precision, and controllability of complex technical systems. Engineers and researchers were looking forward to powerful impulses in the fields of automation and robotics, materials research, process and production technology, data processing, and telecommunications.

In 1985, the ESA Council of Ministers, meeting in Rome, approved Europe's contribution towards the American space station. The conditions that would govern



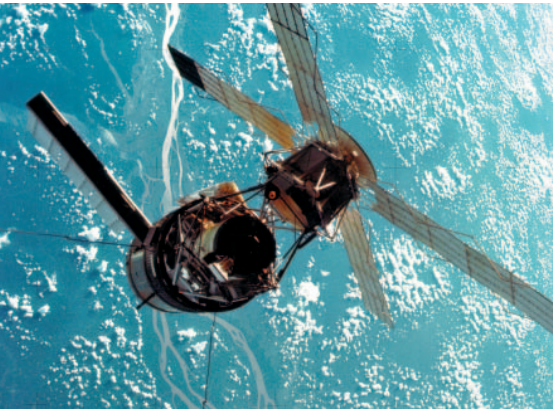
Die erste Idee für eine „Raumwarte“ im All hatte der Raumfahrttheoretiker Hermann Noordung 1929 in seinem Buch „Das Problem der Befahrung des Weltraums“ skizziert. Sie diente 40 Jahre später Stanley Kubrick als Vorlage für seinen Kultfilm „2001: A Space Odyssey“.

The idea of a "space observatory" was first proposed by space-travel theorist Hermann Noordung in his 1929 book "The problem of travelling in space". 40 years later, Stanley Kubrick developed from it his cult movie 2001: A Space Odyssey.



Am 19. April 1971 wurde die erste Raumstation SALJUT 1 gestartet. Die letzte Raumstation dieser Serie war SALJUT 7 (im Bild).

The first space station, SALLYUT 1, was launched on April 19, 1971. The last space station in the series was SALLYUT 7 (shown in picture).



Das amerikanische Weltraumlabor SKYLAB bot 1973 dreimal einer dreiköpfigen Besatzung insgesamt 171 Tage Aufenthalt für wissenschaftliche und technische Experimente

On three occasions in 1973, the American SKYLAB space laboratory accommodated crews of three for a total of 171 days of scientific and technical experiments



Deutschlands erster Kosmonaut im Weltall: Sigmund Jähn

Germany's first cosmonaut in space: Sigmund Jähn

erhofften sich einen Technologieschub aufgrund bisher nicht gekannter Anforderungen an Zuverlässigkeit, Präzision und Beherrschbarkeit komplexer technischer Systeme. Starke Impulse erwarteten die Ingenieure und Forscher vor allem in der Automation und Robotik, der Materialforschung, Verfahrens- und Fertigungstechnik, der Datenverarbeitung und der Telekommunikation.

1985 beschloss der ESA-Ministerrat in Rom die europäische Beteiligung an der amerikanischen Raumstation. Auf dem ESA-Ministerrat in Den Haag 1987 wurde das COLUMBUS-Programm von den europäischen Fachministern bestätigt und eine weitere, dreijährige Vorbereitungsphase verabschiedet. Ziel war damals, COLUMBUS mit Ariane 5 zu starten. Der europäische Beitrag zur Internationalen Raumstation sollte aus einem fest mit der Kernstation verbundenen Modul, einem zeitweilig bemannbaren, frei fliegenden Labor, einer polaren, unbemannten Forschungsplattform und einem Datenrelais-Satelliten bestehen.

Während das Raumstationsprogramm in Europa wuchs, gab es in den USA zunehmend Probleme: Zum einen führten die komplizierten jährlichen Budgetverhandlungen im Kongress zu Verzögerungen. Zum anderen sorgten die unterschiedlichen Auffassungen über den Charakter der Raumstation als Forschungslabor oder als orbitaler „Bahnhof“ für die astronautische Erforschung des Welt-raums für Verzug. Vor allem aber der Verlust des Space Shuttle Challenger am 28. Januar 1986 streckte die zeitliche Umsetzung des Programms um mehrere Jahre. 1987 wurde der Station immerhin ein erster, politisch motivierter Name gegeben: FREEDOM (Freiheit). Das Unterfangen einer internationalen Raumstation war nicht einfach, denn sie bedeutete etwas gänzlich Neues für die Zusammen-

Europe's participation were negotiated during subsequent European-American talks. When the ESA Council of Ministers met next at The Hague in 1987, the European Ministers endorsed the COLUMBUS programmes and approved another three-year phase of preparation. At the time, the objective was to launch COLUMBUS on ARIANE 5. According to plan, Europe's contribution towards the International Space Station now included a module firmly docked to the core station, a temporarily manned free-flying laboratory, an unmanned research platform in a polar orbit, and a data relay satellite.

While the spacestation programme was growing apace in Europe, more and more problems arose in the USA: On the one hand, delays were caused by the complicated annual negotiations about the budget in Congress. On the other, further delays were caused by differences of opinion about whether the space station should be a research laboratory or an orbital "way station" for the future astronomical exploration of space. Most important of all, the loss of the Challenger space shuttle on January 28, 1986 stretched the time required to implement the programme by several years. At least, the station was given its first, politically motivated name in 1987: FREEDOM.

There were many reasons why an international space station was a difficult undertaking, for it constituted an entirely novel problem in cooperation within the community of nations. Partner states had to agree not only on a technological concept and the way in which the station was to be used but also on a legal framework. Regulations covering these questions were encoded in an intergovernmental agreement in 1988. Called a "treaty without precedent", it is one of the most voluminous documents in international cooperation. Among other



arbeit in der Völkergemeinschaft. Die Partnerstaaten mussten sich nicht nur auf ein technologisches Konzept und die Nutzung der Station, sondern auch über den rechtlichen Rahmen einigen. 1988 wurden diesbezügliche Regelungen in einem internationalen Regierungsabkommen festgeschrieben. Es wurde als „Vertrag ohne Vorbild“ bezeichnet und zählt zu den umfangreichsten Dokumenten der internationalen Zusammenarbeit. Die Freiheit der Forschung und die Verständigung auf die friedliche Nutzung der Station wurden dort verankert.

Ost und West gemeinsam im All

Mit der Überwindung des Kalten Krieges schwand auch die politische Bedeutung einer rein westlichen Raumstation. Kooperation ersetzte Konkurrenz. Russland wurde 1993 von den USA eingeladen, sich am Programm einer internationalen Raumstation zu beteiligen. Dem stimmten 1994 auch die anderen Partner zu, denn dies versprach viele Vorteile: Russland hatte mit Abstand die meiste Erfahrung bei Konstruktion, Errichtung und Management von Raumstationen. Schließlich würde ein weiterer Partner

things, it sets out that research shall be free, and that the station shall be used for peaceful purposes by agreement.

East and West in Space together

As the Cold War between East and West ended, the political importance of keeping the space station a purely Western affair dwindled. Cooperation supplanted competition. In 1993, the USA invited Russia to participate in the International Space Station programme. The other partner countries assented to this proposal in 1994, for it promised many advantages: Russia led the world by a wide margin in terms of its experience in designing, building, and managing space stations. Moreover, there were engineers in Russia who, highly experienced in sensitive fields such as rocket technology but lacking employment, threatened to emigrate to third countries, such as Iran, Iraq, or China, an eventuality which certainly did not suit the security interests of

Links: Entwurf des europäischen Raumgleiters HERMES

Mitte: Die Raumstation MIR zog vom 19. Februar 1986 bis zum 23. März 2001 mehr als 15 Jahre lang ihre Bahnen im Orbit

Rechts: Alan Chinchar's Zeichnung der vollendeten US-Raumstation FREEDOM (1991)

Left: The European HERMES orbital glider as a draft

Middle: Between February 19, 1986, and March 23, 2001, the MIR space station orbited Earth for more than 15 years

Right: Alan Chinchar's drawing of the completed FREEDOM US space station (1991)

die Kosten auf mehr Schultern verteilen – etwa durch die Bereitstellung der Trägersysteme Sojus und Proton. In den Neunzigerjahren nutzten die Partnerstaaten zudem die russische Raumstation MIR, um auf zahlreichen Missionen die gemeinsame Arbeit im Weltraum zu trainieren.

Die Kosten für die neuen Vorhaben stiegen – ebenso die technologischen Probleme bei HERMES, dessen Realisierung 1993 abgebrochen wurde. Dies, die Weltwirtschaftskrise zu Beginn der Neunzigerjahre und der Beitritt Russlands zur – nun politisch unverfänglicher ALPHA oder ISS genannten – Internationalen Raumstation bedingte eine grundlegende Umkonzipierung. Durch den Ausfall von HERMES hätte das frei fliegende europäische Labor nicht mehr gewartet werden können; es wurde nicht verwirklicht.

Das angedockte Labor Europas, das in der Folge den Namen des gesamten europäischen Programms COLUMBUS erhielt, wurde aufgrund neuer amerikanischer Pläne verkleinert. Die polare Plattform hingegen wurde aus dem europäischen Programm ausgeklammert und auf ihrer Basis der komplexe Umweltsatellit ENVISAT (Start: 2002) gebaut.

1995 nahm der ESA-Ministerrat in Toulouse den europäischen Raumtransporter ATV (Automated Transfer Vehicle) zum Transport von Nutzlasten zur ISS in das Programm auf. Mit dem Start der ATV wurde ab 2008 der europäische Teil der Betriebskosten gedeckt. Diese konzeptionellen Umstellungen und die neue weltpolitische Situation in den Neunzehnhundertern waren für eine weitere zeitliche Streckung des Programms verantwortlich. Die astronautische Raumfahrt verlor in diesem Zusammenhang an strategischer Bedeutung für die europä-

the West. Finally, another partner would offer another shoulder to bear the financial burden by, for instance, providing the Soyuz and Proton launchers. As an added benefit, the Russian space station, MIR, was used by the partner states in the 1990s to train astronauts in working together in space.

The cost of the new projects was growing, as were the technological problems besetting HERMES, which had to be abandoned in 1993. Together with the worldwide economic crisis in the early 1990s and the participation of Russia in the International Space Station project, now given the politically more innocuous name of "ALPHA" or "ISS", this called for a fundamental reformulation of the concept.

Now that HERMES had been abandoned, the free-flying European laboratory could no longer be serviced, so it was cancelled as well. Furthermore, the docking European laboratory, now called by the name formerly used to designate the entire European programme, COLUMBUS, was reduced in size to suit new American plans. The polar platform, on the other hand, was detached from the European programme and used as a basis for building the complex environmental satellite ENVISAT, which was launched in 2002.

In 1995, the ESA Council of Ministers, meeting in Toulouse, voted to include the European orbital transfer vehicle ATV in the programme to transport payloads to the ISS. From 2008 onwards, ATV launches will cover Europe's share in the cost of operation.

Because of these concept changes and the new geopolitical situation that arose in the 1990s, the timeframe of the programme was stretched further. In the process, manned spaceflight lost some of its strategic importance for the autonomy of Europe, becoming instead a field for international cooperation. By the same token, the station became an important element in East-West relations,



sche Autonomie und wurde zu einem Feld internationaler Kooperation.

1997 unterzeichneten ESA und NASA ein Grundsatzabkommen, wonach Europa zusätzliches Gerät wie zwei Verbindungsknoten für die Stationsmodule und Laborgeräte an die USA liefern sollte. Im Gegenzug wurde für COLUMBUS ein Platz im Space Shuttle reserviert. Ein Vertrag mit Russland regelte die zollfreie Ein- und Ausreise von Gütern im Rahmen der ISS-Zusammenarbeit sowie die Lieferung eines europäischen Roboterarms und eines Datenmanagement-Systems für das russische ISS-Segment. Auch mit Japan vereinbarte die ESA den Austausch von Hardware.

Am 29. Januar 1998 trafen sich die verantwortlichen Minister der Partnerstaaten in Washington, um der ISS mit der Unterzeichnung eines neuen Regierungsübereinkommens den völkerrechtlichen Rahmen zu geben. Mehr als das Abkommen von 1988 basierte es auf dem Grundsatz gleichberechtigter Partnerschaft. Die Führung der USA bei Konstruktion und Bau wurde jedoch fortgeschrieben. Gegenüber 1988 hatte sich die Station grundlegend verändert. Ihre Konfiguration sollte nach Abschluss der

a stabilising factor between the old superpowers, and a means to defuse tension.

According to a statement of principle signed by ESA and NASA in 1997, Europe will supply additional equipment to the USA, including laboratory systems and two nodes to connect the stations' modules. In return, the USA agreed to launch COLUMBUS on a space shuttle. A treaty concluded with Russia provided for the duty-free entry and exit of goods within the framework of the ISS cooperation as well as for the delivery of a European robot arm and a data management system for the Russian ISS segment. Another agreement on the exchange of hardware was concluded with Japan.

Bild links: Am 28. Januar 1986, 73 Sekunden nach dem Start der Mission STS-51-L, zerbrach die Raumfähre Challenger in rund 15 Kilometer Höhe. Es war der bis dahin schwerste Unfall in der Raumfahrtgeschichte der USA.

Bild rechts: Trümmerfeld nach Columbia-Unglück: Die Raumfähre befand sich auf der Rückkehr von ihrer 28. Mission (STS-107), als sie am 1. Februar 2003 gegen 9 Uhr Ortszeit in circa 60 Kilometer Höhe auseinanderbrach. Ursache war eine Überhitzung des Tragflächennenners, hervorgerufen durch ein Loch im Hitzeschild, welches durch ein beim Start abgerissenes Schaumstoffteil verursacht wurde.

Left picture: On January 28, 1986, 73 seconds after the take-off of mission STS-51-L, the Challenger space shuttle disintegrated at an altitude of around 15 kilometres. It was the gravest accident in the history of American astronautics to date.

Right picture: The wreckage of the Columbia: the space shuttle was on its way back from its 28th mission (STS-107) when it broke apart on February 1, 2003 at approximately 9 o'clock local time at an altitude of c. 60 kilometres. The interior of one wing had overheated because the heat shield had been punctured by a fragment of foamed plastic torn off during the launch.



Aufbauarbeiten aus über hundert Komponenten bestehen und ein Innenvolumen vergleichbar dem eines Jumbo-Jets besitzen. Darunter befinden sich sechs Forschungslabore (zwei aus den USA, zwei aus Russland, eines aus Europa und eines aus Japan) und vier Versorgungsmodule. Für Außenbordaktivitäten sollen drei Roboterarme zur Verfügung stehen.

Mit dem Start des russischen Moduls Sarja (Morgenröte) am 20. November 1998 vom russischen Weltraumbahnhof in Baikonur begann die intensivste Flugphase in der Geschichte der Raumfahrt. Das Unglück des amerikanischen Space Shuttle Columbia am 1. Februar 2003 führte jedoch erneut zu einer Verzögerung von über drei Jahren und einer deutlichen Reduzierung der geplanten Shuttle-Flüge. Die erfolgreiche Wiederaufnahme der Flüge im Sommer 2005 sicherte den weiteren Aufbau der Raumstation. Die letzte Shuttle-Mission (STS-135) ist für Juni 2011 geplant und wird das „Space Transportation System“ (STS)-Programm abschließen. Die Raumfähre Atlantis, die bereits das europäische Raumlabor COLUMBUS zur Raumstation brachte, beendet die Ära der Shuttle-Flüge. Die russische Sojus-Kapsel erhält den bemannten Transport zur ISS aufrecht.

On January 29, 1998, the ministers responsible in the partner states met in Washington to sign a new intergovernmental agreement so as to provide a basis in international law for the ISS. While it gave more emphasis to the principle of equal partnership than the agreement of 1988, the USA retained its leading role in design and building. The station now fundamentally differed from that envisaged in 1988. When finished, its configuration was to include more than 100 components, and its interior volume would be approximately that of a jumbo jet. It will incorporate six research laboratories (two American, two Russian, one European, and one Japanese) and four service modules. Three robot arms will be available for extra-vehicular activities (EVAs).

The launch of the Russian Zarya (dawn) module on November 20, 1998 at Baikonur rang in the most intense flight activities in the history of space flight. However, the destruction of the American space shuttle Columbia on February 1, 2003 caused yet another delay of more than three years as well as a marked cutback in the number of shuttle flights scheduled before their termination in 2010. Now that shuttle flights have been successfully resumed in the summer of 2005, the further construction of the space station appears secure. In June 2011, the last Shuttle (STS-135) will take off to complete the last mission of the "Space Transportation System" (STS) programme. Atlantis – the shuttle which has carried the European Laboratory COLUMBUS to the ISS – will finish the age of the shuttle flights. The Russian Soyuz capsule will ensure the manned transport to the ISS.

Zukunft The Future

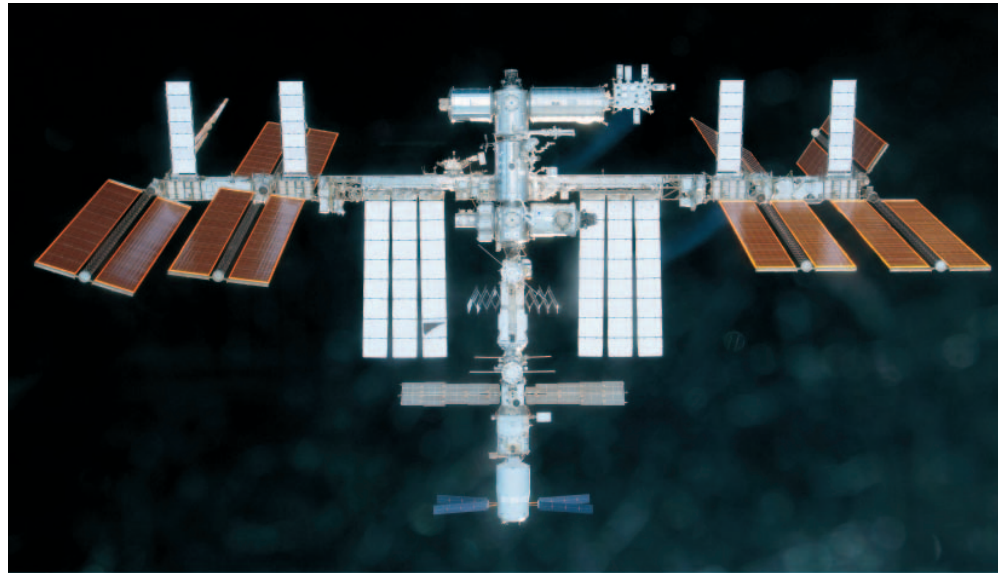
Die ISS im Zeitraffer > Zukunft
The ISS in Fast Motion > The Future

Mit der ISS bis 2020 im All

Am 30. November 2010 verabschiedete die Bundesregierung die Deutsche Raumfahrtstrategie. In ihr wird die Nutzung der ISS bis mindestens zum Jahr 2020 festgeschrieben. Auf der Raumstation werden also aus technischer Sicht noch mindestens zehn Jahre lang regelmäßig bis zu sechs Astronauten aus den beteiligten Partnerländern im Routinebetrieb arbeiten können. Um eine vollständige Besatzung bis 2020 sicherzustellen, trainiert die ESA bereits jetzt eine neue Generation europäischer Astronauten. Deren Grundlagentraining wurde offiziell im November 2010 abgeschlossen.

Die Deutsche Raumfahrtstrategie betont vor allem die Möglichkeiten für weitere Fortschritte in Wissenschaft und Spitzentechnologie und Nutzen für den Menschen auf der Erde. Ein einheitlicher Rechtsrahmen und ein damit verbundenes deutsches Raumfahrtgesetz sollen die notwendige Planungssicherheit für die kommenden Jahre gewährleisten. Auch sollen Regelungen auf europäischer Ebene erreicht werden, die allen an der Raumfahrt beteiligten Nationen die gleichen Wettbewerbschancen einräumen und damit eine tragfähige Basis für die zukünftige Rollenverteilung in der europäischen Raumfahrt bilden.

Für Deutschland legt die neue Raumfahrtstrategie die unabhängige Leitlinie in den Bereichen Forschung unter Welt-raumbedingungen, Bau und Betrieb von Raumfahrzeugen, Erschließung neuer Märkte sowie Raumfahrt für zivile und militärische Sicherheit fest. Dabei stehen die wissenschaftliche und die anwendungsbezogene Raumfahrt in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander. Voraussetzung dafür sind eine technologische Selbstständigkeit und ein ungehinderter Zugang zu Raumtransportsystemen.



In Space on the ISS until 2020

On November 30, the Federal Government adopted Germany's new space strategy. This document stipulates the exploitation of the ISS until 2020. From a technical view, up to six astronauts will be routinely employed for at least ten years on the space station. To provide for a full complement until 2020, ESA is already training a new generation of European astronauts. Their basic training was officially completed in November 2010.

The German space strategy prominently stresses opportunities of making further progress in science and advanced technology and the benefit for the people on Earth. The creation of a single regulatory framework, which includes preparing a German space-flight bill, will provide the legal certainty required in planning for the years to come. The ultimate objective will be to establish common rules at the

Für die Menschen im All: Die neue Raumfahrtstrategie betont vor allem die Möglichkeiten für weitere Fortschritte in Wissenschaft und Spitzentechnologie

For mankind in space: The new space strategy prominently stresses opportunities of making further progress in science and advanced technology



Bis zum Jahr 2020 werden auch weiterhin Astronauten – wie hier Hans Schlegel im Weltraumlabor COLUMBUS – auf der ISS forschen

Until 2020, astronauts – like the German astronaut Hans Schlegel in the COLUMBUS laboratory – will proceed research on the ISS

Im Jahr 2010 haben die am ISS-Programm beteiligten Raumfahrtagenturen ihre Kooperation im ISS-Projekt bekräftigt und die Bedeutung der ISS für die Forschung unter Schwerelosigkeit unterstrichen. In Zukunft werden die Arbeiten auf der Station zu einem Prüfstein für stärker integrierte, internationale Betriebs- und Forschungstätigkeiten. Die Raumfahrtagenturen ebnen damit den Weg für eine umfassendere Zusammenarbeit bei künftigen internationalen Missionen. Die beteiligten Nationen sind sich einig, dass der Beschluss zur Betriebsverlängerung und verstärkten Nutzung den Partnern erlaubt, mit neuen Modellen eines international besser verzahnten Betriebs und einer integralen Forschung „zu experimentieren“. So soll der Weg für eine ausgeweitete Zusammenarbeit bei zukünftigen Missionen vorbereitet werden. Dabei diskutieren die Partner auch, wie mit den zur Verfügung stehenden Mitteln eine bessere Effizienz in Nutzung, Betrieb und Transport von Astronauten sowie Fracht erreicht werden kann.

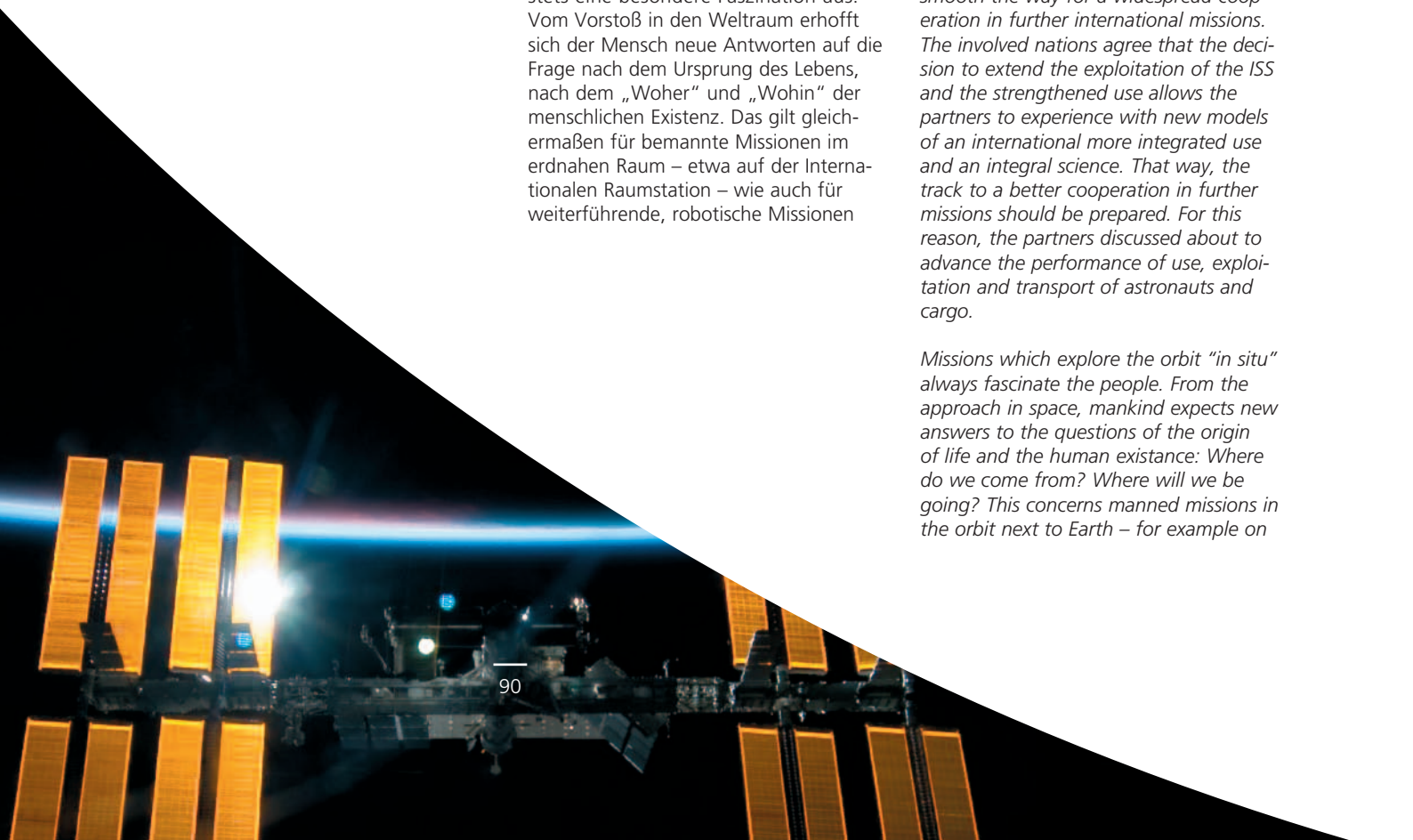
Von Explorationsmissionen, die den Weltraum „in situ“ erforschen, geht stets eine besondere Faszination aus. Vom Vorstoß in den Weltraum erhofft sich der Mensch neue Antworten auf die Frage nach dem Ursprung des Lebens, nach dem „Woher“ und „Wohin“ der menschlichen Existenz. Das gilt gleichermaßen für bemannte Missionen im erdnahen Raum – etwa auf der Internationalen Raumstation – wie auch für weiterführende, robotische Missionen

European level which create identical competitive opportunities for all space nations, forming a sound foundation for the future distribution of roles in European space flight.

Furthermore, the new space strategy features an autonomous guideline in the topics research under space conditions, the construction and operation of space vehicles, the development of new markets, and the role of astronautics in civilian and military security. In the context of space flight, there must be a balance between science- and application-oriented space technologies which, in turn, is predicated on technological independence and unhampered access to space transport systems.

In 2010, the space agencies involved in the ISS programme affirmed their cooperation on the ISS project. They underlined the meaning of the ISS in the context of science under space conditions. In future, the work at the space station will become a criterion for more integrated international use and science in space. For this reason, the space agencies smooth the way for a widespread cooperation in further international missions. The involved nations agree that the decision to extend the exploitation of the ISS and the strengthened use allows the partners to experience with new models of an international more integrated use and an integral science. That way, the track to a better cooperation in further missions should be prepared. For this reason, the partners discussed about to advance the performance of use, exploitation and transport of astronauts and cargo.

Missions which explore the orbit “in situ” always fascinate the people. From the approach in space, mankind expects new answers to the questions of the origin of life and the human existence: Where do we come from? Where will we be going? This concerns manned missions in the orbit next to Earth – for example on



bis in die Tiefen des Weltalls. Die bemannte Raumfahrt wird sich für mindestens zehn weitere Jahre auf die Internationale Raumstation konzentrieren.

Es sind gerade die technischen und wissenschaftlichen Erkenntnisse sowie die Erfahrungen im Betrieb der Raumstation, die die Grundlage für Explorationsmissionen über den Erdorbit hinaus bilden. Eine wichtige Aufgabe der Raumstation soll es sein, bei der Vorbereitung von Explorationsmissionen durch gezielte Technologie-Experimente und -demonstrationen sowie wissenschaftliche Untersuchungen zu unterstützen.

Allerdings steht die internationale Raumfahrt – insbesondere die bemannte Raumfahrt – aufgrund angespannter Haushalte vor großen Herausforderungen. Der internationale Wettbewerb in der Raumfahrt wird zunehmen, denn ein Paradigmenwechsel hat bereits auf strategischer Ebene stattgefunden. Die Raumfahrt hat sich in den vergangenen Jahren vom wissenschaftlich geprägten Symbol des Technologiewettlaufs hin zu einem Instrument der Bewältigung gesellschaftlicher Probleme und globaler Herausforderungen wie beispielsweise Klimawandel und Sicherheitsvorsorge entwickelt.

Davon ausgehend müssen sich die deutsche Raumfahrtpolitik und deren Umsetzung auf klare Ziele konzentrieren. Dazu gehört der strategische Ausbau nationaler Raumfahrtkompetenzen, um deutsche Technologien im internationalen Wettbewerb weiter zu verankern. Beispiele hierfür sind, die Systeme im Inneren der ISS zu erweitern und auch verstärkt industrielle Nutzung zu motivieren.

the ISS – and continuative robotic missions beyond the deep space. For at least the next ten years, manned space flight will have to focus on the International Space Station.

Especially the technical and scientific awareness and the experience in the exploitation of the ISS are the basis for exploration beyond the orbit of Earth. An important task in case of the space station may be to prepare exploration in order to conduct systematic technological experiments and demonstrations as well as scientific analysis.

However, the budget situation confronts European space flight and especially crewed missions with great challenges. International competition will increase, for strategic paradigms have already changed. In the last few years, space flight has changed from the scientific symbol of the race of technology to an instrument for solving social and global challenges like climatic change or preventive safety methods.

Based on this idea, the German space policy and its implementation have to focus on certain targets. This means the strategic extension of the national competences in matter of space flight to force German technologies in the international competition. An extension of the ISS systems and of industrial utilisation may help to reach the German targets.

„Die bemannte Raumfahrt wird sich noch für mindestens zehn weitere Jahre auf die Internationale Raumstation konzentrieren. Daher wird die ISS in konsequenter und bewährter Arbeitsteilung mit unseren Partnern im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Forschung unter Weltraumbedingungen stehen. Hier gilt es, innerhalb der bestehenden Strukturen und Verpflichtungen den bestmöglichen Nutzen aus den europäischen Investitionen zu ziehen. Über mögliche Folgeaktivitäten wird auf der Grundlage einer umfassenden Bewertung des ISS-Betriebs in einigen Jahren unter Kosten-Nutzen-Aspekten zu entscheiden sein. Denn auch die Projekte der Exploration müssen sich daran messen lassen, welchen Beitrag sie zur Lösung der gesellschaftlichen Herausforderungen leisten.“ (aus der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung)

“Crewed missions will, for at least another ten years, concentrate on the International Space Station. Consequently, the ISS will remain the hub of scientific research under micro-gravity conditions, with the work being shared equally and consistently between ourselves and our partners. The point is to draw the greatest possible benefit from Europe’s investments as far as existing structures and obligations permit. Based on a comprehensive evaluation of the operation of the ISS, a decision about potential follow-up activities will have to be made in a few years under cost-benefit aspects. After all, even exploration projects are assessed in the light of their contribution towards solving problems in human society.” (from the Federal Government’s space strategy paper)

Perspektiven von COLUMBUS

Mit den erfolgreichen Starts von COLUMBUS und ATV, des japanischen Labors KIBO sowie durch die Erhöhung der Zahl der Astronauten von drei auf sechs im Sommer 2009 sind nun exzellente Experimentiermöglichkeiten auf der ISS vorhanden. Die vermehrte Crewzeit und Probandenzahl wird sich besonders für die Raumfahrtmedizin positiv auswirken: Sie ermöglicht die Fortführung der laufenden humanphysiologischen Experimente und führt schneller als zuvor zu Ergebnissen. Was ist nun insgesamt von der zukünftigen Forschung auf der ISS zu erwarten?

Insgesamt wurden in den letzten Jahren mehr als 50 deutsche Projekte auf der Raumstation begonnen und teilweise abgeschlossen. Über 40 weitere hatten sich in den vergangenen Jahren im internationalen Wettbewerb nach dem „Best Science“-Prinzip durchgesetzt und warten jetzt auf ihre Umsetzung. Mit einer neuen Experimentausschreibung, die von ESA in Abstimmung mit den Partnern herausgegeben wurde, konnten im Mai 2010 neue Projekte für die Zukunft ausgewählt werden. Auch diesmal waren deutsche Wissenschaftler wieder an vorderster Front mit dabei: 25 bio- und materialwissenschaftliche Experimente werden nun zusätzlich für die ISS vorbereitet.

Perspectives on COLUMBUS

With COLUMBUS, the ATV and the Japanese KIBO laboratory successfully launched and the number of crew members doubled from three to six in summer 2009, the ISS now offers excellent experimenting opportunities. Extended crew times and a larger number of test persons will be of benefit particularly to space medicine in that they permit the current series of human physiology experiments to be continued, and results to come earlier. So, what are the general expectations with regard to research on the ISS?

Speaking of Germany alone, more than 50 projects were launched over the last few years, of which some have already been completed. Under the “best science” principle, over 40 additional ones were selected in an international competition, which are now waiting to be implemented. ESA, in close coordination with its affiliates, launched a new call for proposals in May 2010, from which a number of new projects were selected for future implementation. Once again, German scientists were among the front runners. 25 additional life science and materials science experiments are now being prepared for being carried out on the ISS.

Research jobs to be done by the astronauts over the next few years are certainly not in short supply. Important progress is expected in the areas of gravitational, radiation and astrobiology, human physiology – with muscle and bone loss being of special interest –, in materials research, fluid physics, combus-

An Forschungsarbeit für die Astronauten herrscht in den nächsten Jahren kein Mangel. Wichtige Fortschritte in Gravitations-, Strahlen- und Astrobiologie, in Humanphysiologie – hier vor allem Muskel- und Knochenabbau – in Materialforschung, Fluidphysik, Verbrennungsforschung und Fundamentalphysik sind zu erwarten. Sie werden, im Einklang mit den übergeordneten Zielen des Programms „Forschung unter Weltraumbedingungen“ des DLR Raumfahrtmanagements, die führende Position des Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts Deutschland festigen.

ISS und COLUMBUS sollen sich zukünftig auch zu einer Großforschungseinrichtung im Erdorbit für die Nicht-Raumfahrt-Industrie entwickeln. Diese Strategie wird nachhaltig vom für Raumfahrt federführenden Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) verfolgt. Ziel ist hierbei die Gewinnung von Kunden, auch und gerade aus dem Bereich von kleinen und mittleren Unternehmen, die von der Nutzung der Schwerelosigkeit profitieren und Verfahren oder Produkte entwickeln, die wirtschaftlich einen zeitnahen Return of Investment erbringen.

Das Interesse der Industrie wächst. Auch die deutsche Wirtschaft erkennt, dass Forschung im Weltraum eine lohnende Investition in die Zukunft sein kann. Versuche in der Schwerelosigkeit können dazu dienen, Fertigungstechniken und Produktionen auf der Erde zu signifikanten Verbesserungen zu führen – Know-how-Transfer vom Weltraum zur Erde.

So werden grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung auf der ISS mit COLUMBUS – ergänzt durch die Möglichkeiten anderer Fluggelegenheiten und begleitende Bodenstudien – die bisherige Erfolgsgeschichte der „Forschung unter Weltraumbedingungen“ fortschreiben – zum Nutzen des Menschen auf der Erde.

tion research and fundamental physics. Consonant with the overarching goals of the DLR Space Agency's Research under Space Conditions programme, all these activities will help fortify Germany's leading role in science and business.

The intention is to develop the ISS and COLUMBUS into an orbiting research institution doing contract research for the non-space sector. This is the strategy that is consistently being followed by the Federal Ministry of Economics (BMWi), the leading government department with a responsibility for spaceflight. The policy aims at attracting new customers including especially those from the sector of small and medium business enterprises who could benefit in a big way from the use of microgravity, developing processes and products that are likely to have a good business return in the near future.

Industry is increasingly interested in this opportunity, as German business entrepreneurs are beginning to recognise that research in space could indeed be a viable, forward-looking investment. Experiments under zero-gravity conditions can play a part in producing significant improvements in Earth-based manufacturing processes – a transfer of knowledge from space to Earth.

Thus, basic and applied research done on board the ISS and COLUMBUS, underpinned by additional flight opportunities and accompanying ground-based investigations, will contribute to the continuing success story of Research under Space Conditions – for the benefit of humans on Earth.



Das europäische Raumlabor wird Astronauten und Forschern auch bis 2020 zur Verfügung stehen

The European space laboratory COLUMBUS will be used by astronauts and scientists until 2020

Impressum
Imprint

Herausgeber
Published by

**Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V.**

DLR Raumfahrtmanagement
DLR Space Administration

Anschrift
Address

Bonn-Oberkassel
Königswinterer Straße 522-524
53227 Bonn
Germany

V.i.S.d.P.: Sabine Göge

Redaktion
Editors

Martin Fleischmann
Elisabeth Mittelbach
Michael Müller

Text
Text

Norbert Henn, Dr. Rainer Kuhl,
Claudia Yvonne Nini, Claudia Philpot,
Dr. Niklas Reinke, Dr. Hartmut Ripken,
Prof. Dr. Günter Ruyters, Volker Schmid,
Dr. Volker Sobick

Gestaltung
Design

CD Werbeagentur GmbH,
Troisdorf

Druck
Printing

KÖLLEN DRUCK & VERLAG GmbH,
Bonn

Drucklegung
Press date

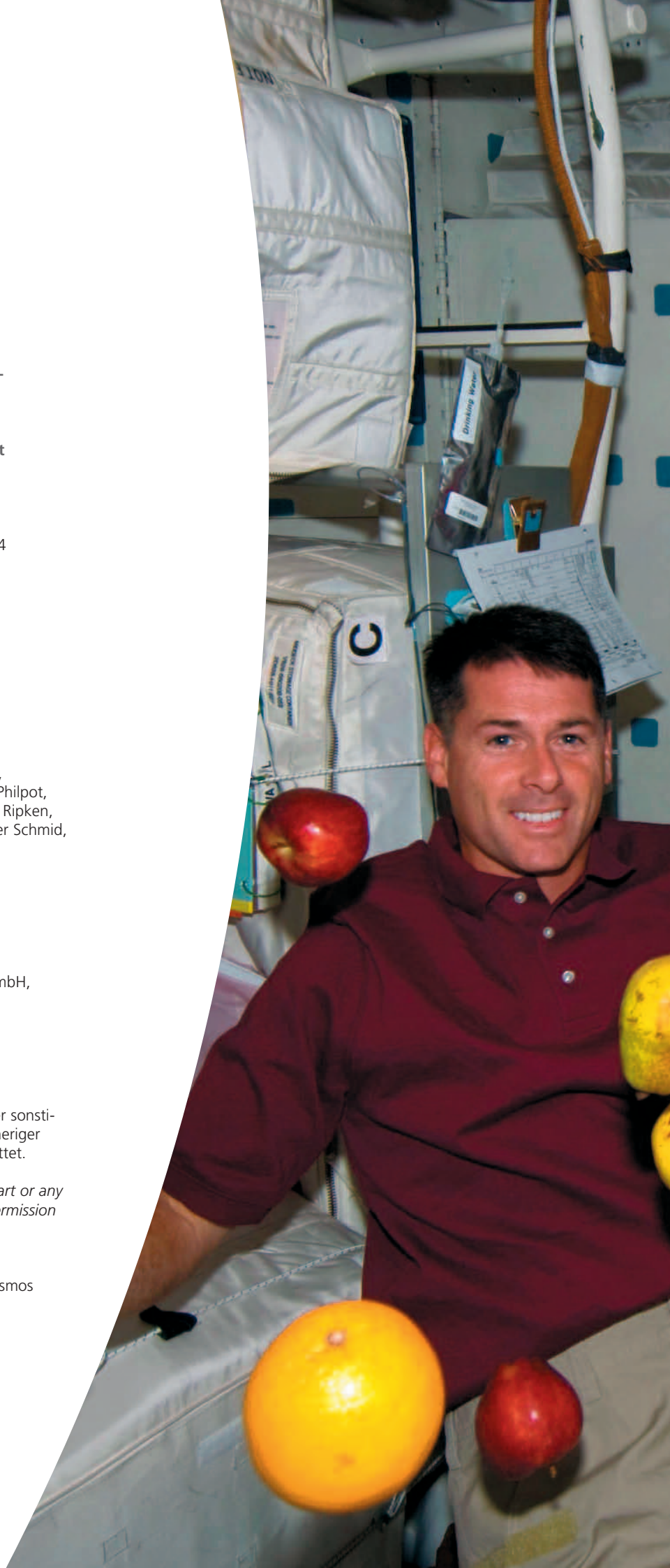
Köln, März 2011

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

*Reproduction in whole or in part or any
other use is subject to prior permission
by DLR.*

© Bilder/images:
DLR, ESA, NASA, JAXA, Roskosmos

www.DLR.de/rd





Das DLR im Überblick

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

Das DLR beschäftigt circa 6.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an 13 Standorten und unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington, D.C.

DLR at a Glance

DLR is Germany's national research centre for aeronautics and space. Its extensive research and development work in Aeronautics, Space, Transportation, Energy and Security is integrated into national and international cooperative ventures. As Germany's Space Administration, DLR has been given responsibility for the forward planning and the implementation of the German space programme by the German Federal Government as well as for the international representation of German interests. Furthermore, Germany's largest project-management agency is also part of DLR.

DLR employs approximately 6,700 people at 13 locations in Germany and operates offices in Brussels, Paris, and Washington, D.C.



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

German Aerospace Center

**Kommunikation
Communications**

Linder Hoehe
D-51147 Köln/Cologne
Germany

www.DLR.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Supported by:



Federal Ministry
of Economics
and Technology

on the basis of a decision
by the German Bundestag