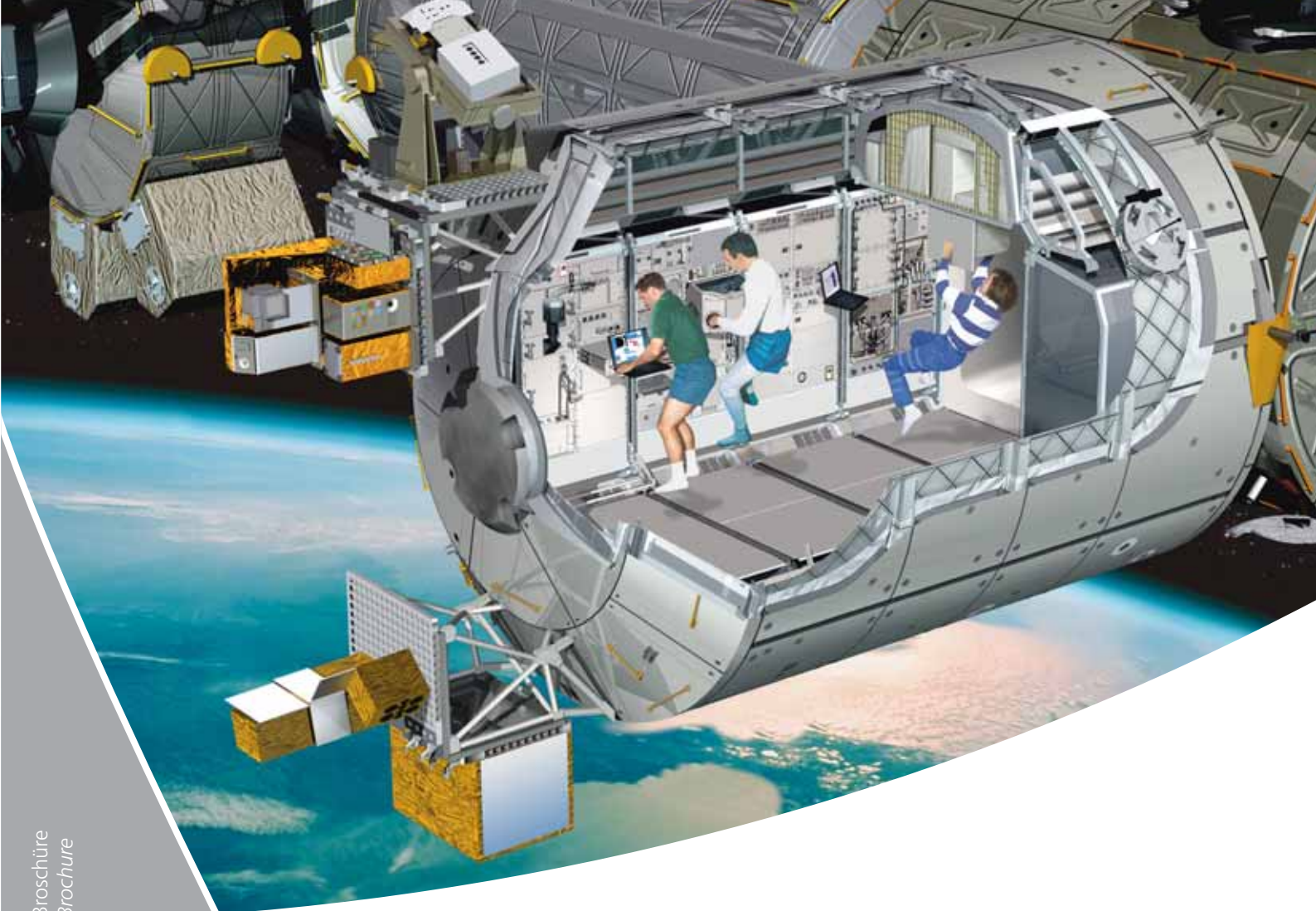




Deutschland auf der ISS *Germany on the ISS*

COLUMBUS



DLR



Die Internationale Raumstation ISS *The International Space Station ISS*



Das Labor im All	6
<i>The Laboratory in Space</i>	
Forschung unter Weltraumbedingungen	7
<i>Research under Space Conditions</i>	
Vom Kalten Krieg zur Internationalen Kooperation – Geschichte der ISS	12
<i>From the Cold War to International Cooperation – the History of the ISS</i>	
Großer deutscher Anteil an der ISS	24
<i>Germany's great Contribution</i>	

Das europäische Raumlabor COLUMBUS *The European Space Laboratory COLUMBUS*



Das europäische Forschungslabor COLUMBUS	36
<i>The European research laboratory COLUMBUS</i>	
Forschung zwischen Erde und Mond	44
<i>Research between the Earth and the Moon</i>	

Die Mission COLUMBUS *The COLUMBUS Mission*



Die Mission im Überblick	60
<i>Mission overview</i>	
Aktuelle deutsche Forschung auf der ISS	68
<i>Current German Research Projects on the ISS</i>	



DIE INTERNATIONALE
RAUMSTATION ISS

*THE INTERNATIONAL
SPACE STATION ISS*

Das Labor im All

The Laboratory in Space



14 Nationen betreiben derzeit ein gemeinsames Großforschungslabor im Weltall, die Internationale Raumstation ISS. Es ist das größte wissenschaftlich-technische Projekt in der Geschichte der Menschheit. Es beweist, dass eine friedliche internationale Nutzung des Weltraums zum Vorteil aller Partner möglich und sinnvoll ist. Daran haben auch die zeitlichen Verzögerungen und technischen Probleme beim Aufbau der ISS nichts geändert. Im Gegenteil: Das ambitionierte Projekt wird mit großem Engagement fortgeführt. Seit dem „Erstbezug“ am 2. November 2000 forschen Astronauten auf der ISS, darunter auch an exzellenten Experimenten aus Deutschland. ISS-Partner sind die USA, Russland, zehn Mitgliedstaaten der ESA, Kanada und Japan. Mit dem in Deutschland gebauten Raumlabor COLUMBUS bezieht Europa nun dauerhaft die ISS.

For more than five years, 14 nations have been jointly operating a large research laboratory in space – the International Space Station ISS. It is the greatest science and engineering project in the history of mankind, a living evidence that the peaceful international utilization of space to the advantage of all partners is both possible and sensible. This is true in spite of the delays and technical problems that beset the construction of the ISS, for despite all this, the project is being pursued with great commitment. Ever since the first occupants “moved in” on November 2, 2000, astronauts have been conducting research on the ISS, including excellent experiments from Germany. The ISS partners include the USA, Russia, ten ESA member states, Canada, and Japan.

Forschung unter Weltraumbedingungen

Research under Space Conditions

Die Schwerkraft oder Gravitation ist auf der Erde allgegenwärtig. Alle physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge laufen unter dieser Bedingung ab. Häufig spielt die Schwerkraft eine unübersehbare Rolle: Alles fällt zu Boden, Wasser fließt ins Tal und bei Naturkatastrophen stürzen Häuser ein. Bei vielen Vorgängen in Natur und Technik ist der Einfluss der Schwerkraft jedoch nicht unmittelbar zu erkennen.

Die Schwerkraft ist aber auch hier von grundsätzlicher Bedeutung. So hat die Gravitation als immer konstante Größe maßgeblich die Evolution der Lebewesen beeinflusst: Schwerkraft und Leben sind auf unserem Planeten seit dreieinhalb Milliarden Jahren untrennbar miteinander verbunden.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich für wichtige Bereiche in der Medizin, der Biologie, der Physik und in den Materialwissenschaften die Notwendigkeit, unter Weltraumbedingungen zu forschen. Weltraumbedingungen bedeuten hier insbesondere Schwerelosigkeit oder allgemeiner: veränderte Schwerkraftbedingungen.

Das Programm „Forschung unter Weltraumbedingungen“ als Teil des Deutschen Raumfahrtprogramms fördert Untersuchungen zum Einfluss der veränderten Schwerkraftbedingungen. Hierdurch können neue Erkenntnisse in Wissenschaft und Technologie gewonnen und dann in innovative Anwendungen für die Menschen auf der Erde umgesetzt werden. Das DLR verfolgt mit der Forschung unter Weltraumbedingungen vier Ziele:

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

Gravity is omnipresent on Earth. All physical, chemical and biological processes are subject to this condition. Quite often, the effect of gravity plays a highly visible role: Things fall to the ground, water flows downhill and houses collapse when a natural disaster occurs. At the same time, there are many natural and technical processes in which the influence of gravity is not immediately distinguishable, although it is as fundamental here.

As a perpetual constant, gravity has been a key factor in evolution: For three and a half billion years, life on our planet has been inextricably interwoven with the force of gravity.

Against this background, research under space conditions is indispensable in many important areas of medicine, biology, physics and materials science. In this context, "space conditions" mainly means weightlessness or, to use a more general term, modified gravity.

Forming part of the German national space program, the program entitled Research under Space Conditions promotes investigations into the influence of gravity modifications. It supports new discoveries in science and technology and translates them into innovative applications to the benefit of the people on Earth. With its research under space conditions, DLR pursues four objectives, namely

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

Schwerelosigkeit

Physikalisch gesehen ist ein Objekt schwerelos, wenn es sich im freien Fall befindet. Ein Stein, der von einem Turm fällt, ist schwerelos. Ein in die Luft geworfener Ball befindet sich ebenfalls im freien Fall, ist also schwerelos. Sein Flug erfolgt auf einer sogenannten Wurfparabel. Allgemein sind alle Zustände der Schwerelosigkeit Formen des freien Falls.

Im Bremer Fallturm werden Kapseln in einer luftleeren Röhre aus 110 Metern Höhe in einen Auffangbehälter fallen gelassen. Während des Falls herrscht in der Kapsel Schwerelosigkeit. Die TEXUS-Rakete vollführt nach dem Ausbrennen der Treibsätze eine steile Wurfparabel. Während dieser antriebslosen Flugphase herrscht in der Rakete Schwerelosigkeit. Auch mit Flugzeugen können kleinere und flachere Manöver dieser Art auf Parabelflügen absolviert werden. Die Umlaufbahn einer Raumstation um die Erde kann man sich als „Wurfparabel“ vorstellen, welche einmal um die Erde reicht. In der Umlaufbahn kompensiert die Trägheitskraft der Bewegung die Erdanziehungskraft, die auch in 400 Kilometern Höhe nur wenig abgenommen hat. Das Ergebnis wird am Fernseh Bildschirm anschaulich – alle Gegenstände sind schwerelos, Astronauten schweben frei herum.

Der freie Fall ist jedoch ein Idealzustand, der in der Realität so gut wie nicht vorkommt. Denn alle fallenden Körper erfahren noch unterschiedlich starke Störbeschleunigungen, etwa aufgrund des Luftwiderstandes und von Eigenschwingungen. Deshalb spricht man anstatt von Schwerelosigkeit oft auch von Mikrogravitation. Dieser Begriff hat sich für äußerst geringfügige Schwerkraft eingebürgert.

Erforschung grundlegender Lebensfunktionen

Da das Leben auf der Erde unter dem Einfluss der Schwerkraft abläuft, lässt sich deren Bedeutung für viele Funktionen des Lebens nur in Schwerelosigkeit erforschen. Dabei beobachten die Wissenschaftler, wie Organismen reagieren und wie biologische Vorgänge unter diesen Bedingungen ablaufen. Wieso wachsen z.B. Pflanzenwurzeln zum Erdmittelpunkt, der Sproß aber entgegengesetzt zum Licht? Aus den Weltraumexperimenten gewinnen die Forscher Erkenntnisse über die Mechanismen der Wahrnehmung und Verarbeitung von Schwerkraft vom Einzeller bis zum Menschen. Diese sind nicht nur für die Grundlagenforschung von großer Bedeutung, so etwa für das Verständnis der Verarbeitung von Signalen ganz allgemein, sondern auch für das bestimmter biotechnologischer Vorgänge. Weltraumexperimente helfen zudem, die Entstehung, Verbreitung und Entwicklung des Lebens auf unserem Heimatplaneten besser zu verstehen.

Neue Diagnostikmethoden und Therapien für die Medizin

Die Forschung in Schwerelosigkeit ist außerdem von herausragendem Interesse für die Medizin. Sie liefert neue Erkenntnisse über das Zusammenspiel der verschiedenen Systeme des menschlichen Körpers, etwa der Muskeln und Knochen, des Herzens und Kreislaufs sowie des Immunsystems. Da die Veränderungen, die Astronauten in Schwerelosigkeit in wenigen Wochen oder Monaten erfahren,

Investigation of basic vital functions

As all life on Earth is subject to the influence of gravity, its importance for many vital functions can be explored only in its absence. Scientists may then observe how organisms react under these conditions, and what course biological processes take. Why is it, for example, that the roots of a plant will grow towards the center of the Earth, while its shoot grows in the opposite direction towards the light? From experiments in space, researchers draw conclusions about the mechanisms by which protozoa as well as people perceive gravity and respond to it. Such insights are of great importance not only for basic research into the processing of signals in general but also for our understanding of specific biotechnological processes. What is more, space experiments help us to improve our knowledge about the origin, spreading and development of life on our home planet.

New methods of diagnosis and therapy in medicine

Medicine is another field in which the interest in research under microgravity is great indeed. It provides us with fresh insights into the interaction between various systems of the human body such as muscles and bones, the heart, and the cardiovascular and immune systems. And because the changes which astronauts experience within a few weeks or months resemble those caused by the process of ageing in the human body, the latter can be studied in double-quick time, so to speak. Contrary to the changes caused by the process of ageing in people living on Earth, those experienced by astronauts are reversible, meaning that their

dem Alterungsprozess des Menschen ähneln, lässt sich dieser gewissermaßen im Zeitraffer studieren. Im Gegensatz zum Alterungsprozess des Menschen auf der Erde sind die Veränderungen beim Astronauten reversibel, so dass auch die Rückanpassung an die Schwerkraft auf der Erde untersucht werden kann. Dieses Wissen fließt in die Diagnostik und Therapie kranker Menschen ein. So konnten durch die Forschung unter Weltraumbedingungen beispielsweise neue Therapien für die Behandlung von Osteoporose oder Instrumente zur Messung des Augeninnendrucks und der Augenbewegungen entwickelt werden.

Beide Ziele, die Erforschung grundlegender Lebensfunktionen und die Entwicklung neuer Diagnostik- und Therapiemethoden für die Medizin, werden auch eine entscheidende Rolle spielen, wenn es darum geht, die grundlegenden Voraussetzungen für künftige Langzeitmissionen etwa zum Mond oder anderen Zielen zu schaffen.

Erweiterung der Horizonte in der physikalischen Forschung

Mit Experimenten unter Schwerelosigkeit lassen sich grundlegende Erkenntnisse gewinnen, die ansonsten nicht erreichbar wären. Dies trifft etwa bei den sogenannten Plasmakristallen zu. Aufgrund der Schwerkraft lassen sich diese auf der Erde nur zweidimensional erzeugen. Unter Schwerelosigkeit können die Forscher auch dreidimensionale Kristalle untersuchen. Hierfür zeichnen sich langfristig auch praktische Anwendungen ab, etwa zur Beschichtung von elektronischen Mikrochips. Weitere Beispiele für die Gewinnung grundlegender Erkenntnisse sind die Erkundung gewisser Quantenphänomene oder die Erforschung von Frühphasen der Planetenentstehung.

readaptation to gravity on Earth can be studied as well. Such knowledge is then brought to bear on the diagnosis and therapy of the sick. Thus, research under space conditions has brought forth new therapies for osteoporosis as well as new instruments to measure intraocular pressure and track the movements of the eye.

Both these objectives – researching basic vital functions and developing new methods of diagnosis and therapy in medicine – will play a crucial role when we prepare the ground for future long-range missions to the moon or elsewhere.

Expanding the horizons of physical research

Experiments in microgravity may yield fundamental insights that would be unobtainable under any other conditions. So-called plasma crystals are a case in point. Because of the influence of gravity, only two-dimensional crystalline structures can be generated on Earth, so that scientists have to resort to weightlessness to study three-dimensional crystals. There are signs indicating that, in the long run, the process may be used in practice to coat electronic microchips, for instance. Further examples of basic research in space include the exploration of certain quantum phenomena and the investigation of early phases in the development of planets.



Erforschung des Gleichgewichtsorgans an Fischen
Investigation of the Vestibular System in Fish



Messung von schnellen Flüssigkeitsverschiebungen beim Menschen
Measurement of rapid Body Fluid Shifts in Humans



Materialforschung mit der TEMPUS-Apparatur auf Parabelflügen
Materials Science Research on the TEMPUS Equipment during Parabolic Flights

Innovative Materialforschung

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. Weiterhin lassen sich durch behälterfreie Verfahren in Schwerelosigkeit wichtige schmelzflüssige Eigenschaften wie zum Beispiel Oberflächenspannung und Zähigkeit wesentlich genauer bestimmen als in irdischen Labors. Solch präzise Daten sind wichtig für möglichst realitätsnahe Computersimulationen. Diese gewinnen in der Industrie stetig an Bedeutung und ermöglichen eine effiziente, energie- und damit umweltschonende Entwicklung neuer Werkstoffe.

Exploring innovative materials

Metallic and semi-conducting materials are mostly produced from the liquid state by melt technologies. Eliminating disturbances in the melt, weightlessness 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 viscosity can be measured much more precisely than in terrestrial laboratories by containerless methods that operate in microgravity. 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 efficient and energy-saving and, consequently, more environmentally friendly methods.

Das Programm der DLR Raumfahrt-Agentur

Im Programm „Forschung unter Weltraumbedingungen“ unterstützt die DLR Raumfahrt-Agentur deutsche Wissen-

The program of the DLR Space Agency

Through its Research under Space Conditions program, the DLR Space Agency supports German scientists in investigating these and other questions of a similar nature. Under the program, DLR promotes biologists, physicians, and materials re-

Fluggelegenheiten für Schwerelosigkeitsforschung / 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

schaftler, damit sie diesen und ähnlichen Fragen nachgehen können. Das DLR fördert hierbei Biologen, Mediziner, Physiker und Materialwissenschaftler aus Universitäten, Max-Planck-Instituten und anderen Forschungseinrichtungen.

Zudem werden im Auftrag des DLR speziell für den Einsatz im Weltraum notwendige Geräte von der Raumfahrtindustrie entwickelt. Hieraus ergeben sich nicht selten innovative Technologien auch für die Anwendung auf der Erde. So trugen Ergebnisse aus Weltraumexperimenten dazu bei, Gussverfahren im Automobil- und Flugzeugbau zu verbessern und neue medizinische Geräte zu entwickeln.

Um den Einfluss der Schwerkraft untersuchen zu können, muss man diesen Faktor ganz ausschalten oder seine Größe verändern. Je nach der für ein Experiment benötigten Zeitdauer bietet das DLR den Wissenschaftlern die entsprechenden Fluggelegenheiten:

Für automatisch ablaufende Versuche stehen

- der Fallturm in Bremen (5 bis 9 Sekunden Mikrogravitation),
- die Forschungsraketen TEXUS (6 Minuten) und MAXUS (12 Minuten) sowie
- russische Forschungssatelliten wie FOTON (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) und
- die Internationale Raumstation ISS (mehrere Monate bis Jahre)

als Fluggelegenheit nutzen.

searchers working at universities, Max Planck Institutes and other research institutions.

In addition, DLR regularly contracts the space industry to develop equipment specifically designed for use in space. Not infrequently, the resultant innovative technologies are found suitable for use on Earth. Thus, results of experiments conducted in space helped to improve production processes for aircraft and automobile castings and to develop innovative medical devices. To study the influence of gravity, you need to eliminate this factor entirely or modify its intensity. Depending on the time required for an experiment, DLR offers scientists a variety of flight opportunities.

Facilities for automated tests include

- the Bremen drop tower (5 to 9 seconds of microgravity),
- the TEXUS (6 minutes) and MAXUS (12 minutes) research rockets and
- research satellites such as the Russian FOTON (several weeks).

For experiments in which human beings must be involved either as experimenters or test subjects, scientists may avail themselves of flight opportunities on

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

Weightlessness

In physical terms, an object is weightless whenever it is in free fall. A stone that drops from a tower is weightless. A ball that is thrown into the air is also in free fall and, therefore, weightless. In its flight, it follows what is called a parabolic trajectory. Generally speaking, any state of weightlessness is a form of free fall.

In the Bremen Drop Tower, capsules are dropped inside an evacuated tube from a height of 110 meters into a receptacle. During the fall, weightlessness prevails in the capsule. The TEXUS rocket follows a steep parabolic trajectory after its fuel has been spent. During this coasting phase, the rocket is weightless. Also aircraft can be used to perform similar maneuvers on a smaller scale called parabolic flights. Lastly, the orbit of the Space Station can be visualized as a "parabolic trajectory" encircling the Earth. In orbit, the inertia of movement compensates gravity, which itself is reduced only marginally at a height of 400 kilometers. The result can be watched on TV: all things are weightless, astronauts are floating around.

However, free fall is an ideal state that practically never occurs in reality, for all falling bodies are subject to disturbing accelerations of different intensity caused, for example, by intrinsic vibrations or air drag. This is why the term microgravity, which is commonly used to describe a state of extremely low gravity, so often replaces the term weightlessness.

Vom Kalten Krieg zur internationalen Kooperation – *From the Cold War to International Cooperation –*



ARIANE 1
ARIANE 1

Anfang der 1980er-Jahre hatte Europa seinen Zugang zum Weltall gesichert. Die Trägerrakete ARIANE war ein großer Erfolg und das in Deutschland entwickelte und gebaute Raumlabor SPACELAB für das amerikanische Space Shuttle einsatzbereit. Zudem hatten die Mitglieder der Europäischen Weltraumorganisation ESA ihre Kompetenz bei Bau und Betrieb von Forschungssatelliten eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Der nächste logische Schritt war von der Sowjetunion bereits demonstriert worden: eine mit Astronauten dauerhaft besetzte Raumstation im Erdorbit. Sowohl in Deutschland als auch in Frankreich wurde die Idee einer europäischen Raumstation erörtert.

Auch in den USA dachte man ähnlich. Dort hatte man sich zunächst auf die Entwicklung des Space Shuttles konzentriert, den Bau einer Raumstation aber schon in den 1970er-Jahren ins Auge gefasst. Nun war dies der letzte Bereich der Raumfahrt, in dem die USA noch nicht mit der UdSSR gleichgezogen oder diese überholt hatten.

In the early 1980s, Europe had finally secured its own access to space. The ARIANE launcher was a great success, and SPACELAB, the space laboratory developed and built in Germany for the American space shuttle, was ready for launching. What is more, the member states of the European Space Agency ESA had impressively demonstrated their competence in building and operating research satellites. The Soviet Union had already gone ahead and taken the next "logical step": A space station permanently manned by astronauts in orbit around Earth. The idea of building a European space station was being discussed both in Germany and in France.

The USA, too, were thinking along similar lines. While activities there focussed on the development of the space shuttle at first, the construction of a space station had been considered even in the 1970s. Now, this was the last remaining field of astronautics in which the USA had not yet drawn level with the USSR or overtaken it.

Die ersten Raumstationen – von SALJUT bis MIR

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 Early Space Stations – from SALYUT to MIR

The first concept of a "space observatory" was sketched out by the theorist Hermann Noordung in 1929 in his book "The Problem of Space Travel: The Rocket Motor". Forty years later, it was used by Stanley Kubrick as a model for his cult film "2001: A Space Odyssey".

As early as April 19, 1971, the Soviet Union launched its first orbital station, SALYUT 1, marking the successful completion of a major step towards establishing

Geschichte der ISS

the History of the ISS

Die Internationale Raumstation ISS > Geschichte
The International Space Station ISS > History

Bereits 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 dann die nächste Generation von Raumstationen gestartet, die mit einem zweiten Andockring für Versorgungsschiffe ausgestattet worden war und daher wesentlich länger im All bleiben konnte. 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 Astronaut 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, das mit seinen fünf Forschungssegmenten, die später an das Basismodul angekoppelt wurden, eine Masse von über 120 Tonnen erreichte. Ausgelegt für eine Lebensspanne von zwölf Jahren, überstand es den Zusammenbruch der östlichen Führungsmacht bei Weitem. Nach der Überwindung des Kalten Krieges, bis hin zu ihrem kontrollierten Absturz in den Pazifik am 23. März 2001, bot die MIR über 15 Jahre hinweg 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 es 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.

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 kilometers. 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 in the Pacific on March 23, 2001, MIR offered scientists from the West as well as from the East opportunities to conduct long-term research in space for 15 years.

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.



Hermann Noordung erdachte in den 1920er Jahren die erste Raumstation
Hermann Noordung designed the first Space Station in the 1920s



Noordungs Raumwarte umgesetzt im Film „2001: Odyssee im Weltraum“
© Warner Bros.

Noordung's Space Lookout as implemented in the film "2001: A Space Odyssey"
© Warner Bros.

Schon einmal reiste „Columbus“ zum Kennedy-Space-Center: Zum 500. Jahrestag von Christoph Columbus' Entdeckung segelten 1992 drei Nachbauten der legendären Schiffe hinter der Startrampe der Space Shuttles in Florida

“Columbus” travelled to the Kennedy Space Center once before: to celebrate the 500th Anniversary of Christopher Columbus' Discovery, Replicas of his three legendary Ships sailed behind the Space Shuttle Launching pad in Florida in 1992



Eine Raumstation des Westens – FREEDOM

In den 1980er-Jahren suchte die NASA längerfristige Erfahrungen im Orbit sowie wissenschaftliche Experimentiereinrichtungen und kommerzielle Einsatzmöglichkeiten. In der sich mit der atomaren Aufrüstung zuspitzenden politischen Auseinandersetzung zwischen Ost und West sollte eine Raumstation der westlichen Nationen zudem ein Zeichen der friedlichen Zusammenarbeit, aber auch der technologischen Dominanz der „freien Welt“ sein.

1983 begannen die USA, mit ihren Partnern in Europa, Japan und Kanada über eine gemeinsame Raumstation nachzudenken. Im Sommer des Jahres präsentierten die Firmen MBB/ERNO und Aeritalia eine erste Industriestudie „COLUMBUS“ für die europäische Beteiligung.

A Space Station of the West – FREEDOM

In the 1980s, NASA was looking for ways to prolong the crew's orbital experience, new scientific experiments, and commercial applications. In addition, a space station owned by the Western nations was conceived as symbolizing 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.

In 1983, the USA began to consider building a space station together with their partners in Europe, Japan, and Canada. In the summer of that year, MBB/ERNO and Aeritalia presented the first industrial study dealing with Europe's contribution under the name of COLUMBUS. It consisted of a module that would be firmly docked on to the core of the station and a free-floating research laboratory.



Am 25. Januar 1984 beauftragte US-Präsident Reagan die NASA mit der Entwicklung einer dauernd besetzten Raumstation, die für Wissenschaft und industrielle Forschung sowie für die Herstellung von besonderen Werkstoffen und Arzneien eingesetzt werden sollte. Geplanter Start war 1992, das Jubiläumsjahr der Wieder-Entdeckung Amerikas durch Christoph Columbus.

In der Folge waren es insbesondere Deutschland, Italien und Frankreich, welche die neuen Großvorhaben der west-europäischen Raumfahrt bestimmten. Frankreich konzentrierte sich auf die Weiterentwicklung der Trägerrakete zur ARIANE 5 sowie auf die Konzipierung des europäischen, bemannten Raumgleiters HERMES. Deutschland legte mit Italien den Schwerpunkt auf COLUMBUS. Die Verantwortlichen in Politik und Industrien erhofften sich hiervon einen Technologieschub aufgrund von bisher nicht gekannten Anforderungen an Zuverlässigkeit, Präzision und Beherrschbarkeit komplexer technischer Systeme. Starke Impulse erwarteten die Ingenieure und Forscher vor allem in den Bereichen der Automation und Robotertechnik, der Materialforschung, Verfahrens- und Fertigungstechnik, der Datenverarbeitung und der Telekommunikation.

1985 verabschiedete der ESA-Ministerrat in Rom die europäische Beteiligung an der amerikanischen Raumstation. Die Bedingungen der europäischen Teilnahme wurden während der folgenden europäisch-amerikanischen Gespräche ausgehandelt. Auf dem folgenden ESA-Ministerrat in Den Haag 1987 wurde das COLUMBUS-Programm von den europäischen Fachministern bestätigt und eine weitere, dreijährige Vorbereitungsphase verabschiedet. Ziel war es damals noch, COLUMBUS mit ARIANE 5 zu starten. Der europäische Beitrag zur internationalen Raumstation sollte jetzt aus einem fest mit der Kernstation verbundenen Modul, einem zeitweilig bemannten, frei fliegenden Labor, einer polaren, unbemannten Forschungsplattform und einem Datenrelaissatelliten bestehen.

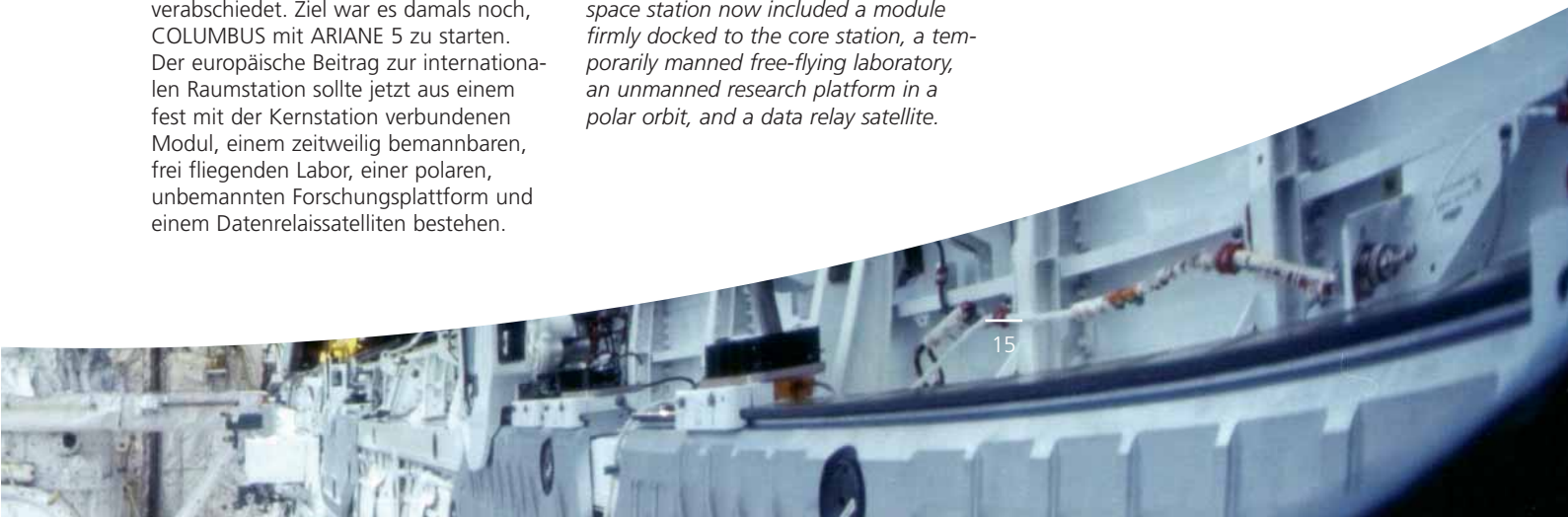
On January 25, 1984, President Reagan commissioned the NASA to develop a permanently-manned space station that was to be used for scientific and industrial research as well as for the production of special materials and medicines. It was to be launched in 1992, the jubilee year of the rediscovery of America by Christopher Columbus.

In the time that followed, the new large-scale space programs 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 responsible in politics and industry 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 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 programs 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.



Der europäische Raumgleiter HERMES vor dem Wiedereintritt über Europa
The European HERMES orbital glider shortly before its re-entry above Europe





Konzeptzeichnungen für die Internationale Raumstation FREEDOM 1989-90
Concept Drawings for the International Space Station FREEDOM, 1989-90

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 künftige, astronautische Erforschung des Weltraums für Verzug. Vor allem aber der Verlust des Space Shuttles 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 aus vielen Gründen nicht einfach, denn sie bedeutete etwas gänzlich Neues für die Zusammenarbeit in der Völkergemeinschaft. Die Partnerstaaten mussten sich nicht nur auf ein technologisches Konzept und die Nutzung der Station einigen, sondern auch über den rechtlichen Rahmen. Wem würde das Urheberrecht für neue Entwicklungen gehören? Wie gelangten Versuchsproben ohne Verletzung dieses Rechts an die Wissenschaftler? Welches Zivil- und Strafrecht gilt an einem Ort, der sich auf keinem nationalen Territorium befindet? Wie werden die Betriebskosten getragen und das Stationsmanagement koordiniert? 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. Es hielt etwa die Freiheit der Forschung und die Verständigung auf die friedliche Nutzung der Station fest.

While the space-station program 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 astronautical 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 program 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. Who should hold the intellectual property rights on new developments? Which penal code should apply in a place outside any national territory? How would the cost of operation be shared out and the management of the station coordinated? 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 things, it sets out that research shall be free, and that the station shall be used for peaceful purposes by agreement.



Zeitenwende: Ost und West ge- meinsam im All – die ISS

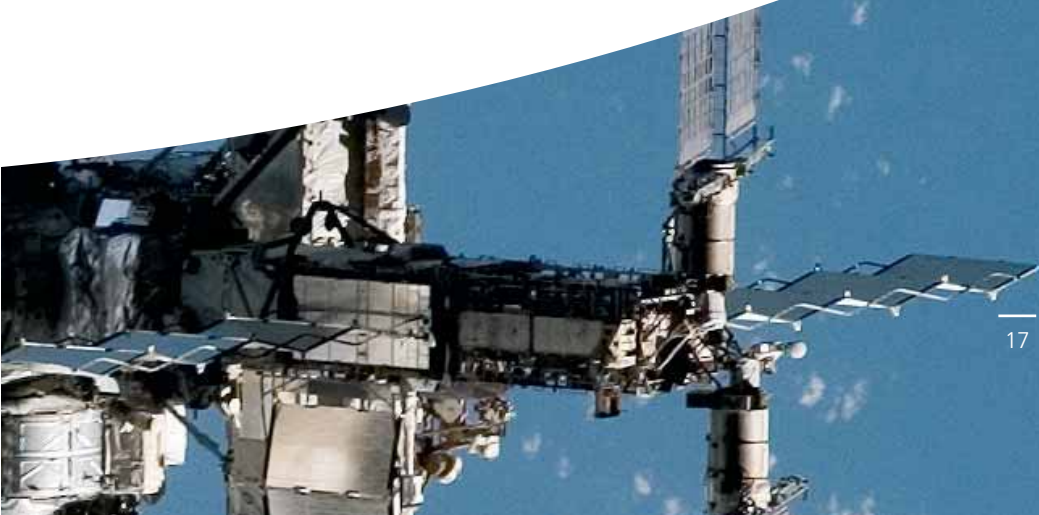
Dann fiel 1989 die Berliner Mauer – und wenig später gab sich Russland eine demokratische Verfassung. Mit der Überwindung des Kalten Krieges zwischen Ost und West schwand auch die politische Bedeutung einer rein westlichen Raumstation. Kooperation ersetzte Konkurrenz. Russland wurde 1993 von den USA 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. Zudem gab es in Russland hoch erfahrene Ingenieure mit sensiblen Wissen, etwa über Raketentechnologien, die mangels Arbeit in Drittstaaten wie Iran, Irak oder China abzuwandern drohten. Das aber konnte nicht im Sicherheitsinteresse des Westens liegen. Schließlich würde ein weiterer Partner die Kosten auf mehr Schultern verteilen, etwa durch die Bereitstellung der Trägersysteme SOYUZ und PROTON. In den 1990er-Jahren nutzten die Partnerstaaten zudem die russische Raumstation MIR, um auf zahlreichen Missionen die gemeinsame Arbeit im Welt- raum zu trainieren.

The Turn of the Tide: East and West in Space together – the ISS

Then, in 1989, the Berlin Wall came down, and only a little later, Russia adopted a democratic constitution. 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 program. 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 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.



Die russische Raumstation MIR
The Russian Space Station MIR





Etwa 160 Außenbordeinsätze sind zum Bau der ISS notwendig

Approximately 160 Extra Vehicular Activities (EVA) are needed to complete the ISS

Die Kosten für die neuen Vorhaben waren gestiegen, ebenso die technologischen Probleme bei HERMES, der 1993 eingestellt werden musste. Dies, die Weltwirtschaftskrise zu Beginn der 1990er-Jahre und der Beitritt Russlands zur – nun politisch unverfänglicher „ALPHA“ oder „ISS“ genannten – Internationalen Raumstation bedingte eine grundlegende Umkonzipierung. Denn die Russen wollten ihre Entwicklungen für die zuvor geplante Station MIR 2 einbringen, die sie alleine kaum hätten finanzieren können. Durch den Ausfall von HERMES hätte das frei fliegende europäische Labor nicht mehr gewartet werden können; es wurde gestrichen. Das angedockte Labor Europas, das in der Folge den Namen des gesamten europäischen Programms COLUMBUS erhielt, wurde zudem 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 das europäische orbitale Transferfahrzeug ATV zum Transport von Nutzlasten zur ISS in das Programm auf. Mit den Starts der ATVs wird ab 2008 der europäische Teil der Betriebskosten gedeckt.

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. After all, the Russians wanted to contribute their own developments for the MIR 2 station which they had planned to build but could hardly have financed on their own. 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 program, COLUMBUS, was reduced in size to suit new American plans. The polar platform, on the other hand, was detached from the European program 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 program to transport payloads to the ISS. From 2008 onwards, ATV launches will cover Europe's share in the cost of operation.

Diese konzeptionellen Umstellungen und die neue weltpolitische Situation in den 1990er-Jahren waren für eine weitere zeitliche Streckung des Programms verantwortlich. Die astronautische Raumfahrt verlor in diesem Zusammenhang an strategischer Bedeutung für die europäische Autonomie und wurde zu einem Feld internationaler Kooperation. Die Station wurde dabei zu einem bedeutenden Instrument der Ost-West-Beziehungen, ein stabilisierender Faktor zwischen den alten Supermächten und ein Mittel zum Abbau von Spannungen.

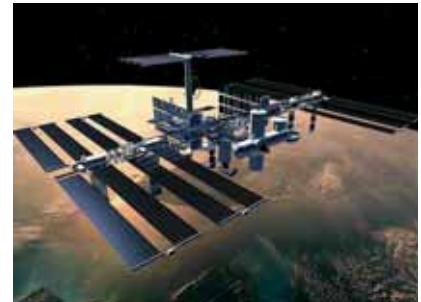
1997 unterzeichneten ESA und NASA ein Grundsatzabkommen, wonach Europa zusätzliches Gerät, wie zwei Verbindungsknoten für die Stationsmodule und Laborgeräte, an die USA liefern wird. Im Gegenzug sollte COLUMBUS nunmehr mit dem Space Shuttle gestartet werden. Ein Vertrag mit Russland regelte die zollfreie 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 Aufbauarbeiten aus über 100 Komponenten bestehen und ein Innenvolumen vergleichbar dem eines Jumbo-Jets besitzen.

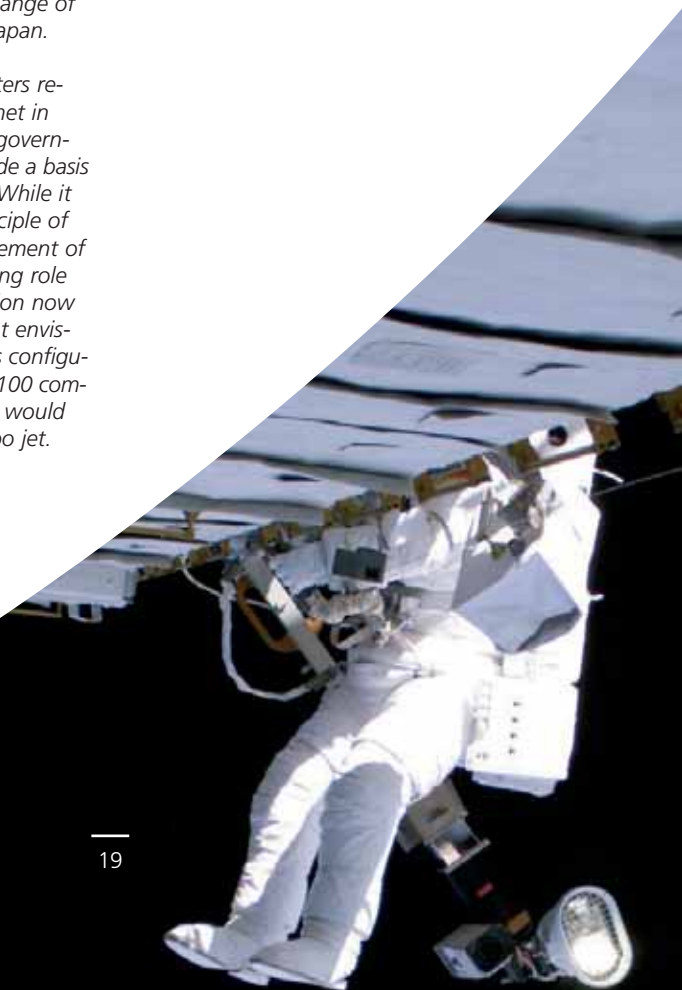
Because of these concept changes and the new geopolitical situation that arose in the 1990s, the timeframe of the program was stretched further. In the process, manned spaceflight lost some of its strategic importance for the autonomy of Europe, becoming instead a field for international cooperation.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

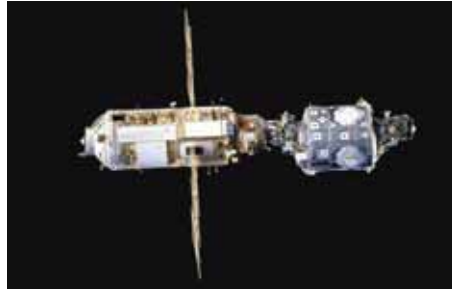
According to a statement of principle signed by ESA and NASA in 1997, Europe will supply additional equipment to the USA, including laboratory systems and two nodes to connect the stations' modules. In return, the USA agreed to launch COLUMBUS on a space shuttle. A treaty concluded with Russia provided 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.

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.



Grafik der Internationalen Raumstation nach ihrer Fertigstellung
Diagram of the International Space Station after its Completion





Dezember/December 1998



September/September 2000

Darunter werden sich sechs Forschungs-labore (zwei aus USA, zwei aus Russland, eins aus Europa und eins aus Japan) und vier Versorgungsmodule befinden. Für Außenbordaktivitäten (EVAs) sollen drei Roboterarme zur Verfügung stehen.

Mit dem Start des russischen Moduls Zarja (Morgenröte) am 20. November 1998 von Baikonur begann die intensivste Flugphase in der Geschichte der Raumfahrt. Das Unglück des amerikanischen Space Shuttles Columbia am 1. Februar 2003 führte dann jedoch erneut zu einer Verzögerung von über drei Jahren und einer deutlichen Reduzierung der noch geplanten Shuttle-Flüge bis zur Einstellung dieses Trägersystems 2010. Mit der erfolgreichen Wiederaufnahme der Shuttle-Flüge im Sommer 2005 ist der weitere Aufbau der Raumstation jedoch gesichert.

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.

Ausbauprojekt ISS

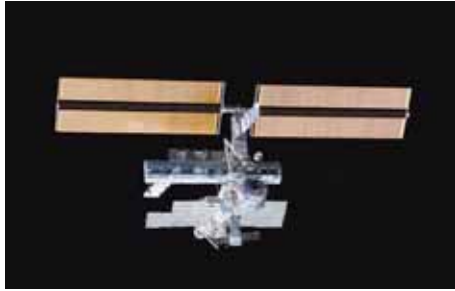
Der gegenwärtige Status des ISS-Ausbaus

Der erste Flug des amerikanischen Space Shuttles nach dem Unglück der Columbia am 1. Februar 2003 fand vom 26. Juli bis zum 9. August 2005 statt. Die Mission verlief insgesamt erfolgreich, jedoch lösten sich trotz intensiver vorhergehender Überarbeitung des externen Shuttle-Tanks erneut Stücke des Isolationschaums. Um die Probleme dauerhaft zu beseitigen,

The ISS Extension

The current status of ISS construction

The first flight of an American space shuttle after the Columbia accident on February 1, 2003 took place from July 26 to August 9, 2005. While the mission was successful overall, pieces of foam once again separated from the insulation of the external shuttle tank despite its extensive overhaul before the launch. To deal with these problems once and for all, NASA deferred the next space shuttle flight to July 2006.



Okttober/October 2002



August/August 2005



Juni/June 2007

verschob die NASA daraufhin den nächsten Flug des Space Shuttles auf den Juli 2006.

Bis zur Außerdienststellung der Shuttle-Flotte im Jahr 2010 plante die NASA 18 weitere Flüge für den weiteren Ausbau der ISS. Bevor das europäische Labor COLUMBUS andockt werden kann, musste zunächst die Energieversorgung durch weitere Solarpaneele erweitert werden. Dies geschah mit dem Shuttle-Flug STS-115 im September 2006. Im Dezember 2006 wurde mit STS-116 die Gitterstruktur P5 hinzugefügt. Als Nächstes wurde mit der Mission STS-117 im Juni 2007 die Gitterstruktur S3/S4 an der ISS installiert. Im August 2007 folgte mit STS-118 die Struktur S5. COLUMBUS wird über einen „Knoten“ mit der Raumstation verbunden. Dieses „Node 2“ oder auch „Harmony“ genannte Element brachte die Crew des Fluges STS-120 im Oktober 2007 erfolgreich an dem amerikanischen Labor an.

Der Weg ist hiermit frei für COLUMBUS, das im Dezember 2007 mit der Shuttle-Mission STS-122 zur Internationalen Raumstation gebracht werden wird. Weitere in der Warteschlange stehende Stationselemente sind das japanische Labor KIBO und das Knotenelement 3 zusammen mit dem europäischen Aussichtsmodul Cupola. Das Knotenelement 3 wird voraussichtlich 2010 mit dem letzten Shuttle-Flug zur ISS gebracht und zusätzliche Schlaf- und Wohnmöglichkeiten für eine erweiterte Crew von derzeit drei auf sechs Astronauten bieten. Damit soll die Station 2010 fertiggestellt sein.

Until the shuttles are finally decommissioned in 2010, NASA plans another 18 flights to support the further enlargement of the ISS. The first thing that had to be done before the European COLUMBUS laboratory could dock was to upgrade the energy supply by adding more solar panels, which were brought up on shuttle flight STS-115 in September 2006. In December 2006, flight STS-116 added the P5 truss. Next, the S3/S4 truss was installed during the STS-117 mission in June 2007. In August 2007, truss S5 followed on STS-118. COLUMBUS will be connected to the space station by a so-called node. Also known under the name of Harmony, this Node 2 was successfully attached to the American laboratory by the STS-120 crew in October 2007.

The path is now clear for COLUMBUS, which will be transported to the International Space Station on shuttle mission STS-122 in December 2007. Further station elements waiting in the queue include the Japanese KIBO laboratory as well as Node 3 and the European view module Cupola. Scheduled to be carried to the ISS on the last shuttle flight in 2010, Node 3 will offer additional sleeping and living facilities to accommodate a crew that will by then be enlarged from three to six astronauts. Thus the station will be completed by 2010.



Bauelemente der ISS

Modul	Beschreibung	Flug	Startdatum	Länge (m)	Ø (m)	Masse (kg)
Zarja - Functional Cargo Block (FGB)	Russisches Fracht- und Kontrollmodul	1A/R – PROTON-K	20.11.1998	12,60	4,10	19.323
Unity - Node 1	Verbindungsknoten	2A – STS-88	04.12.1998	5,49	4,57	11.612
Swesda	Wohnmodul	1R – PROTON-K	12.07.2000	13,10	4,15	19.050
Z1 - Integrated Truss Zenit 1	Gitterstruktur	3A – STS-92	11.10.2000	4,90	4,20	8.755
P6 - Integrated Truss Portside 6	Gitterstruktur und Solarmodul	4A – STS-97	30.11.2000	73,20	10,70	15.900
Destiny	Labormodul der USA	5A – STS-98	17.02.2001	8,53	4,27	14.515
Canadarm2	Kanadischer Robotergreifarm	6A – STS-100	19.04.2001	17,60	0,35	4.899
Quest - Joint Airlock	Luftschleuse	7A – STS-104	12.07.2001	5,50	4,00	6.064
Pirs - Docking Compartment 1	Andockmodul und Luftschleuse	4R – SOJUS-U	14.08.2001	4,10	2,60	3.900
S0 - Integrated Truss Starboard 0	Gitterstruktur	8A – STS-110	08.04.2002	13,40	4,60	13.970
S1 - Integrated Truss Starboard 1	Gitterstruktur	9A – STS-112	07.10.2002	13,70	3,90	12.598
P1 - Integrated Truss Portside 1	Gitterstruktur	11A – STS-113	23.11.2002	13,70	3,90	12.598
P3/4 - Integrated Truss Portside 3/4	Gitterstruktur + Solarmodul	12A – STS-115	28.08.2006	73,20	10,70	15.900
P5 - Integrated Truss Portside 5	Gitterstruktur	12A.1 – STS-116	14.12.2006	13,70	3,90	12.598
S3/4 - Integrated Truss Starboard 3/4	Gitterstruktur + Solarmodul	13A – STS-117	22.02.2007	73,20	10,70	15.900
S5 - Integrated Truss Starboard 5	Gitterstruktur	13A.1 – STS-118	08.08.2007	13,70	3,90	12.598
Node 2	Verbindungsknoten (Fertigung in Europa)	10A – STS-120	23.10.2007	6,10	4,20	13.608
Columbus	Europäisches Labormodul	1E – STS-122	06.12.2007	6,87	4,49	19.300
Kibo - Experiment Logistics Module (ELM) und Canada Hand	Teil des japanischen Labormoduls und zweiarmer kanadischer Roboter	1J/A – STS-123	geplant 2008	3,90	4,40	4.200
Kibo - Pressurized Module (PM)	Teil des japanischen Labormoduls	2J/A – STS-127	geplant 2008	11,20	4,40	15.900
S6 - Integrated Truss Starboard 6	Gitterstruktur und Solarmodul	15A – STS-119	geplant 2008	73,20	10,70	15.900
Kibo - Exposed Facility (EF)	äußerer Teil des japanischen Labormoduls	2J/A	geplant 2008	-	-	-
Multipurpose Laboratory Module (MLM) mit dem European Robotic Arm (ERA)	Russisches Fracht- und Labormodul und europäischer Roboterarm	3R – PROTON-M	geplant 2009	13,00	4,10	20.300
Node 3 und Cupola	Verbindungsknoten und Aussichtsmodul der USA (beide in Europa gefertigt)	20A - STS-132	geplant 2010	1,50	2,95	1.880



Moduls of the ISS

Module	Description	Flight	Launch on	Length (m)	Ø (m)	Mass (kg)
Zarya - Functional Cargo Block (FGB)	Russian cargo and control module	1A/R – PROTON-K	Nov 20, 1998	12.60	4.10	19,323
Unity - Node 1	Connecting node	2A – STS-88	Dec 4, 1998	5.49	4.57	11,612
Swesda	Living module	1R – PROTON-K	July 12, 2000	13.10	4.15	19,050
Z1 - Integrated Truss Zenit 1	Integrated truss	3A – STS-92	Oct 11, 2000	4.90	4.20	8,755
P6 - Integrated Truss Portside 6	Integrated truss and solar module	4A – STS-97	Nov 30, 2000	73.20	10.70	15,900
Destiny	US laboratory module	5A – STS-98	Feb 17, 2001	8.53	4.27	14,515
Canadarm2	Canadian robot arm	6A – STS-100	Apr 19, 2001	17.60	0.35	4,899
Quest - Joint Airlock	Airlock	7A – STS-104	July 12, 2001	5.50	4.00	6,064
Pirs - Docking Compartment 1	Docking module and airlock	4R – SOJUS-U	Aug 14, 2001	4.10	2.60	3,900
S0 - Integrated Truss Starboard 0	Integrated truss	8A – STS-110	Apr 8, 2002	13.40	4.60	13,970
S1 - Integrated Truss Starboard 1	Integrated truss	9A – STS-112	Oct 10, 2002	13.70	3.90	12,598
P1 - Integrated Truss Portside 1	Integrated truss	11A – STS-113	Nov 23, 2002	13.70	3.90	12,598
P3/4 - Integrated Truss Portside 3/4	Integrated truss + solar module	12A – STS-115	Aug 28, 2006	73.20	10.70	15,900
P5 - Integrated Truss Portside 5	Integrated truss	12A.1 – STS-116	Dec 14, 2006	13.70	3.90	12,598
S3/4 - Integrated Truss Starboard 3/4	Integrated truss + solar module	13A – STS-117	Feb 22, 2007	73.20	10.70	15,900
S5 - Integrated Truss Starboard 5	Integrated truss	13A.1 – STS-118	Aug 8, 2007	13.70	3.90	12,598
Node 2	Connecting node (made in Europe)	10A – STS-120	Oct 23, 2007	6.10	4.20	13,608
Columbus	European laboratory module	1E – STS-122	Dec 6, 2007	6.87	4.49	19,300
Experiment Logistics Module (ELM) and Canada Hand	Pressurized segment of the Japanese Experiment Module (JEM) Kibo and double Canadian robot arm	1J/A – STS-123	scheduled 2008	3.90	4.40	4,200
Pressurized Module (PM)	Part of the Japanese Kibo JEM	2J/A – STS-127	scheduled 2008	11.20	4.40	15,900
S6 Truss	Solar module	15A – STS-119	scheduled 2008	73.20	10.70	15,900
Exposed Facility (EF)	Exposed experiment facility of Kibo JEM	2J/A	scheduled 2008	-	-	-
Multipurpose Laboratory Module (MLM) and European Robotic Arm (ERA)	Russian cargo and laboratory module and European robotic arm	3R – PROTON-M	scheduled 2009	13.00	4.10	20,300
Node 3 and Cupola	Connecting node and view module (both made in Europe)	20A – STS-132	scheduled 2010	1.50	2.95	1,880



Großer deutscher Anteil an der ISS *Germany's great Contribution*

Deutschland ist der größte europäische Partner im ISS-Programm. Neben dem Forschungslabor COLUMBUS ist die Bundesrepublik in zahlreichen weiteren Projekten für die Raumstation eingebunden.

Germany is the largest European partner on the ISS program. Besides the COLUMBUS research laboratory, the Federal Republic is involved in numerous other projects relating to the space station.

COLUMBUS-Kontrollzentrum

Das COLUMBUS-Kontrollzentrum ist im Deutschen Raumfahrt-Kontrollzentrum des DLR in Oberpfaffenhofen untergebracht. Hierüber werden etwa 75 Wissenschaftler und Ingenieure die europäischen Aktivitäten auf der Internationalen Raumstation steuern.

Hierzu gehören:

- Training für Betriebspersonal sowie Vorbereitung und Durchführung von Missionssimulation
- die Überwachung und Steuerung der technischen Systeme des COLUMBUS-Labors und der Experimente an Bord der Raumstation
- die Kommunikation zwischen ISS, Bodenstationen und Kontrollzentren
- Empfang, Verarbeitung, Verteilung und Auswertung von Daten sowie
- die Betriebsablaufplanung an Bord und am Boden (Missionsplanung)

COLUMBUS Control Center

The COLUMBUS Control Center is housed at DLR's Space Operations Center in Oberpfaffenhofen. It will be used by about 75 scientists and engineers to control European activities on the International Space Station.

This includes

- *training personnel and preparing and implementing mission simulations,*
- *monitoring and controlling the technical systems installed in the COLUMBUS laboratory and the experiments on the space station,*
- *managing communications between the ISS and ground stations or control centers,*
- *receiving, processing, distributing, and evaluating data, and*
- *scheduling workflows on board and on the ground (mission planning).*

DLR was commissioned to set up the COLUMBUS Control Center by the European Space Agency (ESA). In dealing with this new task, DLR relied on years

Die Internationale Raumstation ISS > Großer deutscher Anteil an der ISS
The International Space Station ISS > Germany's great Contribution



Der Auftrag an das DLR zum Aufbau des COLUMBUS-Kontrollzentrums erfolgte durch die Europäische Weltraumorganisation (ESA). Das DLR kann für diese neue Aufgabe auf langjährige Betriebserfahrungen und Kompetenzen bei der Durchführung von Raumflugmissionen zurückgreifen: Bei zehn bemannten und über 40 unbemannten wissenschaftlichen und kommerziellen Missionen hat sich der DLR-Standort Oberpfaffenhofen, rund 25 Kilometer südwestlich von München gelegen, in den vergangenen vier Jahrzehnten einen guten Namen gemacht. Zu den herausragenden Missionen zählen die deutschen D-Missionen mit dem amerikanischen Space Shuttle sowie Flüge deutscher Kosmonauten zur und deren Experimente auf der russischen Raumstation MIR.

of in-house experience as well as on its competence in the implementation of space missions; this installation at Oberpfaffenhofen, situated around 25 kilometers to the southwest of Munich, acquired an outstanding reputation by managing ten manned and more than 40 automated scientific and commercial missions in the last four decades. Most eminent among these are the German missions on the American space shuttle, the flights of German cosmonauts to the Russian space station, MIR, and the experiments they conducted there.

Inaugurated on October 19, 2004, the new COLUMBUS Control Center was first actively involved in a mission when the Italian ESA astronaut, Roberto Vittori,

COLUMBUS-Kontrollzentrum beim DLR in Oberpfaffenhofen

The COLUMBUS Control Center at DLR's Oberpfaffenhofen Facility



COLUMBUS-Kontrollzentrum beim DLR in Oberpfaffenhofen
The COLUMBUS Control Centre at DLR's Oberpfaffenhofen Facility

Das neue COLUMBUS-Kontrollzentrum wurde am 19. Oktober 2004 eröffnet und war erstmals beim einwöchigen Flug des italienischen ESA-Astronauten Roberto Vittori im April 2005 zur ISS in eine Mission eingebunden. Auch bei der Langzeitmission des deutschen ESA-Astronauten Thomas Reiter 2006 übernahm das COLUMBUS-Kontrollzentrum wichtige Aufgaben.

Ab 2008 wird das COLUMBUS-Kontrollzentrum dann an den Missionen des unbemannten europäischen Raumtransporters ATV zur ISS beteiligt sein. Dieser wird die Raumstation künftig unter anderem mit Lebensmitteln, Wasser, Treibstoff und Sauerstoff versorgen sowie neue wissenschaftliche Experimente an Bord der ISS bringen. Das COLUMBUS-Kontrollzentrum stellt hierfür die Kommunikations-Infrastruktur zwischen den Kontrollzentren in Toulouse, Houston und Moskau während des gesamten ATV-Betriebs im Orbit zur Verfügung.

Das Zentrum wird schließlich den Betrieb im COLUMBUS-Labor kontrollieren. Sobald das Modul an die ISS angekoppelt ist, übernimmt das COLUMBUS-Kontrollzentrum die Verantwortung für das europäische Weltraumlabor sowie die Koordination des wissenschaftlichen Programms.

Das COLUMBUS-Kontrollzentrum wird in engem Kontakt mit dem Missionskontrollzentrum der NASA in Houston stehen, das gemeinsam mit dem Missionskontrollzentrum in Moskau die zentrale Verantwortung für die ISS hat. Bezüglich seiner Arbeiten mit den wissenschaftlichen Nutzlasten stimmt sich das COLUMBUS-Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen mit dem ISS-Nutzlast-Zentrum in Huntsville, Alabama ab, das die übergeordnete Verantwortung für alle Versuchsanlagen auf der Raumstation trägt.

flew to the ISS for one week in April 2005. It also played a major role during the long-term mission of the German ESA astronaut Thomas Reiter in 2006.

From 2008 onwards, the COLUMBUS Control Center will be involved in the missions of the unmanned Automated Transfer Vehicle (ATV) to the ISS. In the future, ATV flights will supply the space station with food, water, fuel, and oxygen, in addition to transporting new scientific experiments to the ISS. For this purpose, the COLUMBUS Control Center will provide the infrastructure required for communication between the control center at Toulouse, Houston, and Moscow while the ATV is in operation in orbit.

Finally, the center will control all operations in the COLUMBUS laboratory. As soon as the module has docked at the ISS, the COLUMBUS Control Center will assume responsibility for the European space laboratory as well as for the coordination of its scientific program.

The COLUMBUS Control Center will also be in close contact with the Mission Control Center in Houston, which has overall responsibility for the ISS together with the Mission Control Center in Moscow. In addition, the COLUMBUS Control Center coordinates operations with the ISS Payload Operations and Integration Center at the Marshall Space Flight Center in Huntsville, Alabama, which has overall responsibility for ISS experiment payloads.





Das erste ATV vor dem Start
The first ATV ready for launch



Das europäische ATV als Transporter für die ISS

Das ATV (Automated Transfer Vehicle) ist der europäische Beitrag zur Versorgung der ISS. Der größte Teil der europäischen Betriebskosten wird hierdurch abgeleistet. Das ATV wird auf einer ARIANE 5-Träger-rakete mit einer wiederzündbaren Oberstufe (EPS-V) von Kourou aus gestartet. Nach Trennung von der Oberstufe wird das ATV die erforderlichen Rendezvous- und Andockmanöver mit der Raumstation, überwacht vom ATV-Kontrollzentrum in Toulouse, autonom durchführen. Die ATVs können bis zu 6 Monate an der ISS ange-dockt bleiben.

ATV as Europe's Logistic Carrier for the ISS

The ATV (Automated Transfer Vehicle) is Europe's contribution to the International Space Station ISS and its logistics. ATV will also offset the European part of the common system operations cost which is shared among all ISS partners. The ATV spacecraft will be launched with an ARIANE 5 launcher from Kourou in French Guyana. After separation from the launch vehicle, the re-ignitable upper stage EPS-V will insert ATV properly into the orbital plane of the ISS. During the autonomous phasing of ATV to the ISS the ATV control center in Toulouse will monitor each step of the flight sequence. The vehicle is able to stay docked at the ISS up to six months.

The ATV is 10 meters long and has a diameter of 4.5 meters. The unfolded solar arrays of the vehicle span over

Das ATV ist ca. 10 Meter lang und hat einen Durchmesser von 4,5 Meter. Die entfalteten Solarpaneele haben eine Spannweite von 22,3 Meter. Die Gesamtmasse des startbereiten und beladenen Fahrzeugs beträgt 20,75 Tonnen.

Das Fahrzeug ist „modular“ aufgebaut und verfügt neben einem Antriebs- und Avionikmodul über ein druckbeaufschlagtes Nutzlastmodul, in dem bis zu 5,5 Tonnen Fracht untergebracht werden können. Die gesamte Nettonutzlastkapazität beträgt 7,7 Tonnen für Fracht, Gase, Wasser und Treibstoff. Die Zusammenstellung der Fracht wird von Mission zu Mission variieren. So werden die ATVs auch wissenschaftliche Ausrüstung und Experimente zur ISS transportieren.

Angedockt an den russischen Stationsteil dient es mit seinen Haupttriebwerken, neben dem russischen Progressfahrzeug, auch zur Bahnanhebung der ISS in Intervallen von 10 bis 45 Tagen. Am Ende seiner Mission nimmt ATV bis zu 6,5 Tonnen Abfälle der ISS auf. Nach dem Abdocken von der Raumstation fliegt es in die Erdatmosphäre und verglüht über dem Pazifik.

Das ATV ist das komplexeste Raumfahrzeug, das jemals in Europa gebaut wurde. Sein Automationsgrad ist etwa 4-mal höher als bei den russischen Sojus- oder Progressfahrzeugen. Außer Russland verfügt somit nur Europa über ein autonomes Raumfahrzeug, das in der Lage ist, sich automatisch an die ISS anzunähern und anzudocken. Seit Juli 2004 wurde das ATV-1 „Jules Verne“ bei ESTEC in Noordwijk (Niederlande) getestet. Der Erstflug des ATV ist für den 31. Januar 2008 geplant. Bis 2013 sind noch mindestens vier weitere ATV-Flüge vorgesehen. Diese ATVs werden bei der Astrium GmbH in Bremen gebaut und integriert und zu 50 Prozent von Deutschland bezahlt. An der Entwicklung des ATV hatte die Bundesrepublik einen Anteil von 24 Prozent.

22.3 meters. The mass of the fueled and equipped ATV will achieve up to 20.75 tons.

The ATV consists of a propulsion module, an avionics module and an integrated pressurized cargo carrier module, in which up to 5.5 tons of cargo could be stowed. The overall payload capacity is 7.7 tons for dry cargo, air, fuel and water. The cargo loading depends on each mission and will vary. ATV will also carry spare parts and scientific instruments to the ISS.

Another task for ATV is the re-boost of the International Space Station. The European logistics carrier will use its main engines to periodically rise the altitude of the ISS every 10 to 45 days. Close to the end of the ATV mission the astronauts will store the waste inside the vehicle, which could be up to 6.5 tons. After de-docking the ATV will enter the Earth's atmosphere and finally perform its destructive re-entry over the pacific.

ATV is the most complex vehicle ever built in Europe. Its level of automation is about 4 times higher than on SOYUZ or Progress vehicles. Besides ATV only the Russian PROGRESS and SOYUZ vehicles are able to dock autonomously to the ISS. Since July 2004 the ATV-1 "Jules Verne" underwent extensive testing at ESTEC in Noordwijk (Netherlands). The flight of „Jules Verne“ is scheduled for January 31, 2008. At least four additional ATV flights are planned until 2013. These ATVs, 50 percent of which are financed by the German government, will be build and integrated at Astrium GmbH in Bremen. The Federal Republic had a 24 percent share of ATV's development.



ATV unter der Nutzlastverkleidung der Ariane 5
ATV under the fairing of Ariane 5





links: ISS-Trainingsmodule
right: ISS training modules



rechts: Astronautentraining im Wassertank
right: Astronaut training under water

Das Europäische Astronautenzentrum (EAC) und das ESA-Astronauten-Corps

1998 begann die ESA, die astronautischen Aktivitäten der Mitgliedstaaten zusammenzuführen und ein gemeinsames europäisches Astronauten-Corps aufzubauen. Zur Heimatbasis des Europäischen Astronauten-Corps wurde das ESA-Astronautenzentrum auf dem Gelände des DLR in Köln.

Neben der Vorbereitung des zur Zeit achtköpfigen ESA-Astronauten-Corps für Weltraummissionen am EAC in Köln werden auch die Astronauten der internationalen ISS-Partner USA, Russland und Japan im Umgang mit den europäischen Modulen der Raumstation, wie etwa dem COLUMBUS-Raumlabor und dem Nutzlasttransporter (ATV), ausgebildet.

The European Astronaut Center (EAC) and the ESA Astronaut Corps

In 1998, ESA began pooling the astronautic activities of its European member states and setting up a joint European corps of astronauts. The ESA Astronaut Center on the DLR's premises in Cologne was made the home base of the European Astronaut Corps.

Next to preparing the currently eight members of the ESA astronaut corps for their missions in space, the Cologne EAC also trains astronauts of the international ISS partners, namely the US, Russia, and Japan, in handling European modules of the space station such as the COLUMBUS space laboratory as well as the ATV transfer vehicle.

Integrierte Nutzer- unterstützung für Forscher auf der Raumstation

Die ISS ist die größte Forschungsplattform für Experimente unter Schwerelosigkeit. Damit Forscher auf der Raumstation wissenschaftlich arbeiten können, sind in Europa neun Nutzerunterstützungszentren (USOCs) eingerichtet worden. Sie planen nicht nur die Experimente und führen sie durch, sondern sind auch für die europäischen Versuchsanlagen auf der ISS verantwortlich. Um die Experimente von der Erde aus zu lenken, haben die Zentren Überwachungs- und Steuerungssysteme. Zur Vorbereitung, Qualifizierung und Simulation der Experimente stehen weiterhin entsprechende Ingenieurmodelle der Anlagen auf der Raumstation bereit.

Zusätzlich verfügen einige Zentren über Archive zur Langzeitsicherung der wissenschaftlichen Daten und Hochgeschwindigkeitsnetze (ATM bis 32Mbps) für die schnelle Datenkommunikation. Diese ermöglichen den Wissenschaftlern, den Verlauf ihrer Weltraum-Experimente direkt nachzuvollziehen und interaktiv aus den Nutzerzentren oder den Heimatlabors einzugreifen. Alle Zentren sind über das

Integrated User Support for Researchers on the Space Station

The ISS is the largest research platform for experiments in microgravity. To prepare and implement its utilization for scientific purposes, nine user-support centers (USOCs) were created in Europe for European scientists. Entrusted with the planning and implementation of experiments, these centers are responsible for the European experimental facilities on the space station. Their infrastructure consists of a monitoring and control system for remote experiment control. Engineering models of the facilities installed on the ISS are available for preparing, qualifying, and simulating experiments.



europäische ISS-Bodennetz mit den Internationalen Missionszentren in den USA und Russland verbunden. In Europa wird das Bodensegment vom COLUMBUS-Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen geleitet.

In Deutschland ist das Microgravity User Support Center (MUSC) im DLR in Köln als das nationale Nutzerzentrum in das Bodennetz der Raumstation integriert. Das MUSC hat seine Arbeiten für die ISS mit dem Experiment Matroshka zur Messung der Belastung von Astronauten durch die Weltraumstrahlung im Februar 2004 aufgenommen. Seitdem werden Daten aus der Station im Zentrum in Köln empfangen und Experimente auf der Station überwacht und gesteuert. Mit der Inbetriebnahme von COLUMBUS wird der vollständige Betrieb in allen Nutzerzentren Europas beginnen.

In addition, some centers are equipped with high-speed networks (up to 32Mbps in ATM) for fast data communication, and with archives where scientific data may be stored permanently. This communication infrastructure permits tracking experiments on board as well as controlling them interactively from user centers or scientists' laboratories. The European ISS ground network connects all centers to the international mission centers in the USA and Russia. The European ground segment is managed by DLR's COLUMBUS Control Center in Oberpfaffenhofen on behalf of ESA.

The Microgravity User Support Center (MUSC) at DLR in Cologne forms an integral part of the space station's ground network as Germany's national user center. The MUSC began working operatively for the ISS when the Matroshka experiment was started in February 2004. Since that time, the center in Cologne has been receiving data from the station and monitoring and controlling experiments on it. Full-scale operations in all European user centers will commence as soon as COLUMBUS becomes operational.

Die Internationale Raumstation ISS, Status: November 2007

System bei Fertigstellung	
Spannweite	109 m
Länge	80 m
Tiefe	88 m
(mit ATV/Progress)	
Höhe	45 m
Masse	450 t
Elektrische Leistung	110 kW
Nutzlastanteil	46 kW
Wohn- und Arbeitsraum	1.200 m³
Mikrogravitationsbedingungen	10 ⁻⁶ g
Betriebsumlaufbahn	
Bahnhöhe	ca. 360 km
Bahnneigung	51,6°
Umlaufzeit	90 Minuten
Bauphase	1998-2010
Montageflüge	
USA	~ 34
Russland	~ 5
Flüge mit europäischer Hardware	~ 15
EVA's	~ 160
EVA-Stunden	~ 1920
Betriebsdauer (min.)	15 Jahre
Flugbetrieb	
Umlaufbahnkorrektur	~ 5 pro Jahr
Astronautenaufenthalt (bis zu)	~ 6 Monate
Mannschaft	
Ab 2000	3
Nach Columbia-Unfall (2003)	2
Seit Juli 2006	3
Ab 2009	6
Nutzung	
Humanphysiologie, Biologie	~ 45 %
Materialforschung, Fluidphysik u. Physikalische Chemie	~ 35 %
Technologie, Telekomm.	~ 5 %
Extraterrestrik	~ 5 %
Erderkundung	~ 5 %
Industrie	~ 5 %
Bodenbetrieb	
Missionskontrolle primär	Houston
alternativ und für russisches Segment	Moskau
Japan / Europa	nation MCC's
(COLUMBUS von Oberpfaffenhofen)	
Versorgungsflüge	~ 4 pro Jahr

The International Space Station ISS, status: November 2007

System on completion	
Span	109 m
Length	80 m
Depth	88 m
(with ATV/Progress)	
Height	45 m
Mass	450 t
Power generation	110 kW
Payload	46 kW
Living and working space	1,200 m³
Microgravity conditions	10 ⁻⁶ g
Operational orbit	
Altitude	c. 360 km
Inclination	51.6°
Orbital period	90 minutes
Construction phase	1998-2010
Assembly flights	
USA	~ 34
Russia	~ 5
Flights with European hardware	~ 15
EVA's	~ 160
EVA hours	~ 1,920
Service life (min.)	15 years
Flight operation	
Orbit corrections	~ 5 per year
Astronaut stays (up to)	~ 6 months
Crew	
From 2000	3
Post-Columbia (2003)	2
From July 2006	3
From 2009	6
Utilization	
Human physiology, biology	~ 45 %
Materials research, fluid physics, physical chemistry	~ 35 %
Technology, telecommunications	~ 5 %
Extraterrestrial research	~ 5 %
Earth exploration	~ 5 %
Industry	~ 5 %
Ground operations	
Primary mission control	Houston
Alternatively and for the Russian segment	Moscow
Japan / Europe	national MCCs
(COLUMBUS from Oberpfaffenhofen)	
Supply flights	~ 4 per year



DAS EUROPÄISCHE
RAUMLABOR COLUMBUS

*THE EUROPEAN SPACE
LABORATORY COLUMBUS*



Das europäische Forschungslabor COLUMBUS

The European research laboratory COLUMBUS

COLUMBUS ist Europas Hauptbeitrag zur Internationalen Raumstation ISS und das erste europäische Weltraumlabor, das für dauerhafte, multidisziplinäre Forschung im All ausgelegt ist. Es ist 6,9 Meter lang und hat einen Durchmesser von 4,5 Meter. Forschungsgebiete werden die Material- und Lebenswissenschaften, die Flüssigkeitsforschung und die Entwicklung neuer Technologien sein. Für die Zukunft wird auch die industrielle, kommerzielle Nutzung des Labors angestrebt. Das Labor wird der Hauptarbeitsplatz für die europäischen Astronauten sein. An der Außenwand des Labors bieten Plattformen Möglichkeiten für Experimente, die dem freien Weltraum ausgesetzt sind. Der Betrieb des Labors wird vom europäischen COLUMBUS-Kontrollzentrum innerhalb des deutschen Raumfahrtkontrollzentrums des DLR in Oberpfaffenhofen geleitet.

Europas Labor im All

Raumfahrt ist ein Mittel für viele Ziele – und selten durch nur eines zu begründen. Sie verhilft der Wissenschaft zu neuen Erkenntnissen, unterstützt die Entwicklung von Hochtechnologie und damit auch das Wachstum der Volkswirtschaft. Raumfahrt ist weiterhin unverzichtbar für die Wahrung unserer Sicherheit, für die globale Kommunikation, Wettervorhersage und den Klimaschutz. Durch ihre Komplexität ist sie ein wichtiges, positiv besetztes Instrument der internationalen Beziehungen und insbesondere der Europapolitik. In wenigen anderen Bereichen hat Europa als politische Größe ähnliche gemeinschaftliche Erfolge gefeiert, die jeder einzelne

COLUMBUS is Europe's key contribution to the International Space Station ISS. It is the first European space laboratory designed for ongoing multidisciplinary research in space. It is 6.9 meters in length and 4.5 meters in diameter. Research conducted in it will cover materials and life sciences, the investigation of fluids, and the development of new technologies. Plans for the future provide for industrial and commercial uses as well. The laboratory will be the main workplace of the European astronauts. Platforms attached to its outer wall offer opportunities to conduct experiments in the hard vacuum of space. Operations will be directed by the European COLUMBUS Control Center at the DLR's Space Operations Center in Oberpfaffenhofen.

Europe's laboratory in space

Astronautics serves many purposes, and several are generally required to justify it. It helps science to discover new insights and supports the development of high technology, boosting the economy by the same token. Furthermore, astronautics is indispensable for our security, for global communication, for weather forecasts, and for climate protection. Its complex characteristics make it an important tool with positive connotations in international relations and particularly in European policy. There are few other areas in which Europe as a political entity has been able to celebrate similar shared achievements that would have been completely out of the reach of individual states. This is why astronautics has left the realm of cost-benefit analysis behind and has become an issue of cultural policy.

Staat alleine niemals hätte erreichen können. Raumfahrt ist gerade deshalb und darüber hinaus zu einer kulturpolitischen Verantwortung geworden und keinesfalls eine alleinige Frage von Kosten-Nutzen-Relationen.

COLUMBUS steht für viele dieser Aspekte. Mit Bau und Betrieb des europäischen Raumlabors SPACELAB, das 16-mal im Space Shuttle flog, hatte sich die Bundesrepublik als führende europäische Nation in der astronautischen Raumfahrt etabliert. In konsequenter Fortentwicklung seiner Raumfahrtspolitik übernahm Deutschland auch bei COLUMBUS die Federführung und trug 41 Prozent der Entwicklungskosten. Damit ermöglichte die Bundesregierung den deutschen Ingenieuren und Wissenschaftlern, ihr weltweit führendes Know-how im Rahmen des internationalen Großprojektes ISS zu erweitern.

Die Internationale Raumstation ist das größte nationenübergreifende Technologie- und Forschungsprojekt, das ausschließlich zivilen Zwecken dient. Es führt die traditionellen Raumfahrtmächte enger als jemals zuvor zusammen. In diesem Verständnis ist COLUMBUS Ausdruck der internationalen Verantwortung Europas für die friedvolle Fortentwicklung der internationalen Politik. Die ISS ist ein herausragendes Vorhaben der Völkerverständigung, ein Symbol für die Überwindung des Ost-West-Konfliktes zwischen 1945 und 1990. Deutschland war ein Mittelpunkt dieses Konfliktes und Schlüssel für dessen Ende. Die starke Beteiligung der Bundesrepublik an der ISS ist ein bedeutender Beleg dieser Friedenspolitik und Einbindung Russlands in die demokratische Staatengemeinschaft.

COLUMBUS bedeutet zudem Spitzenforschung im Weltall. Über zwei Jahrzehnte hinweg hat sich Deutschland eine führende Position in der Forschung unter Weltraumbedingungen erarbeitet. Dies gilt für die Medizin und Biologie ebenso wie für die Materialwissenschaften. Mit dem Bezug von COLUMBUS wird diese langfristig geförderte Entwicklung eine neue Qualität erreichen. Wissenschaft im All ist

COLUMBUS symbolizes many of these aspects. By building the European SPACELAB and operating it on a total of 16 space shuttle flights, the Federal Republic established itself as the leading European nation in the field of astronautics. Consistently pursuing its space policy, Germany went on to coordinate the COLUMBUS project, shouldering 41 percent of the cost of development. By doing so, the Federal Government enabled Germany's engineers and scientists to consolidate their worldwide knowhow leadership within the framework of the multinational ISS project.

The International Space Station constitutes the largest ever transnational technology and research project that exclusively serves nonmilitary purposes. It brings the traditional space powers closer together than ever before. Seen in that light, COLUMBUS is a manifestation of Europe's international responsibility for the peaceful development of international politics. Eminently promoting international understanding, the ISS symbolizes the resolution of the East-West conflict that persisted from 1945 to 1990. As one of the centers of that conflict, Germany provided the key to its end. Germany's extensive involvement in the ISS documents its peaceful political intentions as well as Russia's integration in the community of democratic states.

What is more, COLUMBUS is synonymous with top-flight research in space. In the course of two decades, Germany succeeded in attaining a leading position in research under space conditions in fields that include medicine and biology

nunmehr über lange Zeiträume möglich, Forschungsserien sind einfacher zu verwirklichen als mit vielen kurzen Fluggelegenheiten. Neben wissenschaftlichen Einrichtungen interessieren sich in immer größerem Maße auch forschende Industriefirmen für Experimente auf der ISS. Die DLR Raumfahrt-Agentur wird die deutschen Vorhaben auf COLUMBUS daher konzentriert nutzen, um Innovations- und Hochtechnologiepoteziale langfristig zu erschließen. Für die Erde ins All – dies gilt für die Arbeit auf der Internationalen Raumstation mehr denn je.

COLUMBUS ist schließlich der selbstbewusste Anspruch Europas, den ersten dauerhaften Vorstoß der Menschheit ins All mitzuprägen. Der Mensch verlässt die Erde – das ist kulturhistorisch ebenso gravierend wie die Erfindung von Feuer und Rad, der Aufbruch zu neuen Kontinenten oder der Eintritt in das Informationszeitalter. Es ist bemerkenswert, dass eine Entwicklung mit derartiger Tragweite in der Öffentlichkeit zwar bemerkt wird, aber weitgehend unbeachtet erfolgt. Es ist möglich, dass einige hundert Jahre in der Zukunft eine Gedenkstelle Bewohnern auf dem Mond anzeigen wird, wo einst der Mensch erstmalig einen fremden Himmelskörper betrat. Dies mag eine der ganz wenigen Leistungen sein, die unsere Zeit überdauern werden – unvergänglich wie die Pyramiden oder die Akropolis. Dann wird sich erweisen, ob Europa auch auf diesem Gebiet die Bedeutung behalten hat, die es bis heute in der irdischen Kulturgeschichte besitzt.

as well as materials research. Once COLUMBUS is occupied, this development will attain a new quality after many years of promotion. Science in space will become feasible over extended periods, and research campaigns will be easier to conduct than on brief flight opportunities. Next to scientific institutions, researching industrial companies are beginning to show more and more interest in experiments on the ISS. Accordingly, the DLR Space Agency will concentrate on using Germany's COLUMBUS projects to develop innovation and high-technology potentials in the long run. For Earth into Space – for the work on the International Space Station, this slogan holds true more than ever before.

Lastly, COLUMBUS symbolizes Europe's self-confident claim to a lasting impact on mankind's first long-term sortie into space. In terms of cultural history, the fact that man is now leaving the Earth behind is just as important as the domestication of fire, the invention of the wheel, the discovery of new continents, or the beginning of the information age. It is remarkable that such a far-reaching development should be noted by the public without much attention being paid to it. A few hundred years hence, a monument may well be erected on the Moon to show its inhabitants the spot where men first stepped on an alien planet. This may be one of the few achievements that will outlast our own time, as permanent as the pyramids or the Acropolis. It is then that we shall see whether Europe will manage to retain the same position of importance in this field which it occupies in the Earth's cultural history to this day.



COLUMBUS – High-tech made in Germany

Als Hauptauftragnehmer für COLUMBUS führte EADS Astrium in Bremen ein Konsortium von 41 Unternehmen aus 14 Ländern an, das für die Entwicklung, Fertigung, Integration und die Tests verantwortlich ist. Der Festpreisvertrag für die Entwicklung von COLUMBUS 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.

COLUMBUS startete am 28.5.2006 mit einem Beluga-Airbus zum Kennedy Space Center und steht nun für den Transport zur ISS bereit. Alle aufgrund des verzögerten Aufbaus notwendig gewordenen technischen Nachbesserungen und Systemtests wurden dort erfolgreich abgeschlossen und die internen Nutzlasten integriert. Der Start von COLUMBUS ist für Dezember 2007 vorgesehen.

Zudem spielt die deutsche Industrie eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung und beim Bau von technisch anspruchsvollen Laborausstattungsgegenständen. So hat sie beispielsweise die Systemführung bei der Entwicklung der Experimentieranlagen BIOLAB (für biologische Forschung; EADS), EPM (European Physiology Modules für medizinische Forschung; OHB) und MSL (Materials Science Lab für materialwissenschaftliche Forschung; Astrium). Weitere deutsche Firmen sind als Unterauftragnehmer an der Entwicklung wesentlicher Komponenten beteiligt. Auch die Proben-Gefrierereinrichtung MELFI (bis -80 Grad Celsius; maßgebliche Entwicklung durch die Firma Linde) oder die wissenschaftliche Probenhandlereinrichtung Micro Gravity Science Glovebox (MSG; Astrium Friedrichshafen) stammen im Wesentlichen aus Deutschland. Zudem war Deutschland für die Entwicklung und Fertigung des

COLUMBUS – High-tech made in Germany

As the principal contractor for COLUMBUS, EADS Astrium in Bremen leads a consortium of 41 companies from 14 countries which is responsible for developing, building, integrating, and testing the laboratory. A fixed-price contract on the development of COLUMBUS was signed in March 1996. The overall cost of the module amounts to 880 million Euros, test facilities included, of which about 450 million Euros will go to the German industry.

On May 28, 2006, COLUMBUS took off for the Kennedy Space Center in a Beluga Airbus, and it is now ready to be transported to the ISS. At the center, all rework and system tests necessitated by the delays in its construction have been concluded successfully, and its internal payload has been integrated. COLUMBUS is scheduled for launching on December 2007.

Moreover, the German industry has been playing a crucial role in the development and production of technically sophisticated items of laboratory equipment. Thus, for example, EADS and OHB act as system managers for the development of the following experimental facilities: BIO-LAB (for biological research, EADS), EPM (European physiology modules for medical research, OHB), and MSL (materials science laboratory, EADS). Other German companies are involved as subcontractors in the development of essential components. There are other devices that mostly originated in Germany, such as the MELFI sample freezer (down to -80 degrees centigrade; largely developed by Linde) and the scientific sample-handling device called Microgravity Science



COLUMBUS bei der Integration in Bremen
COLUMBUS during Integration in Bremen



Europas Raumlabor COLUMBUS nach
der Ankunft in den USA
Europe's Space Laboratory, COLUMBUS,
after its Arrival in the USA

Folgende wissenschaftliche Racks befinden sich als Startausstattung im europäischen Weltraumlabor:

Biolab, in dem Forscher Mikroorganismen, Zellkulturen und Gewebeproben sowie kleine Pflanzen oder Tiere untersuchen können, um die Rolle der Schwerkraft für Entwicklung und Wachstum von Organismen besser verstehen zu lernen

Fluid Science Laboratory, das Einblicke in das komplizierte Verhalten von Flüssigkeiten erlaubt und zu Verbesserungen etwa in der Energiegewinnung, der Effektivität von Treibstoffen oder bei Umweltfragen beitragen wird. Unter Schwerelosigkeit sind Effekte wie Ablagerung, Schichtung, Druck und schwerkraftabhängiger Auftrieb aufgehoben, so dass Wissenschaftler die dynamischen Effekte von Flüssigkeiten viel genauer studieren können.

European Physiology Modules, mit dessen Hilfe Astronauten an Selbstversuchen das Verhalten des menschlichen Körpers in Schwerelosigkeit analysieren werden (etwa Muskel- und Knochen-schwund, Flüssigkeitskreisläufe, Atmung, Stoffwechsel, Immunsystem und Gehirnaktivitäten)

European Drawer Rack für den flexiblen Einbau kleinerer Experimente unterschiedlicher Disziplinen

The following scientific racks will be installed in the European space laboratory at launch time:

*The **Biolab** for researchers to study micro-organisms, cell cultures, tissue specimens and small plants or animals, in order to get a better understanding on the role of gravity for the development and growth of organisms*

*The **Fluid Science Laboratory** which permits studying the complicated behavior of fluids to implement improvements in energy generation and fuel efficiency as well as in environmental and other fields. As gravity-related effects like sedimentation, stratification, pressure and convection do not operate in the absence of gravity, scientists may study dynamic fluid effects much more closely.*

*The **European Physiology Modules** which astronauts will use to analyze the human body's response to weightlessness in self-experiments (e.g. muscle- and bone loss, fluid circulation, breathing, metabolism, immune system, cerebral activity).*

*The **European Drawer Rack** for the flexible accommodation of small experiments in various disciplines.*

ISS Data-Management-Systems (DMS-R) verantwortlich, das von Astrium mit fehlertoleranten Rechnern ausgestattet wurde. Vom russischen Service-Modul aus lenkt es wichtige Funktionen der ISS-Kontrolle. Das DMS-R wurde bereits 2000 auf der ISS installiert und arbeitet seit Anfang 2001 zuverlässig.

Beteiligt ist Deutschland ebenfalls mit Elementen zur Steuerung beim Europäischen ISS-Roboterarm (ERA) und den wichtigen Verbindungsknoten 2 und 3. Der Knoten 2, der als Verbindungsstück zwischen dem europäischen, japanischen und amerikanischen Labormodul auch den Namen „Harmony“ trägt, wurde bereits 2003 an die NASA ausgeliefert. Er startete am 23. Oktober 2007 in der Ladebucht des amerikanischen Space Shuttle (STS-120). Der Roboterarm ERA wird 2009 mit einem russischen Proton-Transporter zur Station gebracht.

Glovebox (MSG, Astrium Friedrichshafen). In addition, Germany was responsible for the development and production of the ISS data management system (DMS-R) which, equipped with fault-tolerant computers supplied by Astrium, controls some important ISS functions from the Russian service module. Installed on the ISS in 2000, DMS-R has been working reliably since the beginning of 2001.

Germany's commitment further extends to control elements for the European robotic arm (ERA) and two important connecting nodes, 2 and 3. Node 2 which, linking the European, American and Japanese laboratory modules and therefore known under the name of Harmony, was delivered to the NASA as early as 2003. On October 23, 2007, it was launched in the cargo bay of flight STS-120. The ERA robot arm will be transported to the ISS in a Russian Proton launcher in 2009.

Die COLUMBUS Infrastruktur

COLUMBUS ist ein Forschungslabor, in dem bis zu drei Astronauten auf 25 Kubikmetern an wissenschaftlichen Experimenten arbeiten können. Die Außenwand von COLUMBUS besteht aus mehreren Lagen Aluminium, Kevlar und Nextel, die das Labor vor Beschädigungen durch Mikrometeoriten und Weltraummüll, ebenso vor kosmischer Strahlung schützen, sowie einer starken Temperatur-Isolierung.

The COLUMBUS infrastructure

COLUMBUS is a research laboratory that offers 25 cubic meters of space to as many as three astronauts working on scientific experiments. Its outer wall incorporates several layers of aluminum, Kevlar and Nextel to protect the laboratory from space debris and cosmic radiation as well as a thick layer of heat insulation.

The interior of COLUMBUS consists of 16 so-called racks resembling fitted cupboards which accommodate laboratory equipment, computers and technical systems with a total mass of up to 700 kilograms. These racks were built to a standard that was similarly applied in the design of the American and Japanese modules. They have their own power supply, cooling system, and CCTV and data cables. They can be exchanged or

Im Inneren ist COLUMBUS mit 16 sogenannten Racks ausgestattet, in denen ähnlich wie bei Einbauschränken Laborausrüstung, Computer und technische Systeme untergebracht sind. Sie können Versuchseinrichtungen von bis zu 700 Kilogramm Masse aufnehmen. Die Racks sind nach einem Standard gebaut, nach dem auch die amerikanischen und japanischen Module konstruiert wurden, und besitzen eigene Stromversorgung, Kühlsysteme sowie Video- und Datenleitungen. Bei Bedarf können sie ausgetauscht oder ersetzt werden. Obgleich COLUMBUS das kleinste der sechs Labormodule der ISS ist, können hier vom Volumen, der Datenkapazität oder dem Energieverbrauch ebenso viele Experimente durchgeführt werden, wie in den anderen, teuren Laboren. Kostensenkend wirkt sich zudem aus, dass COLUMBUS bereits mit 2.500 Kilogramm Nutzlast beladen gestartet wird. Per Tele-Operations können Wissenschaftler auf der Erde teilweise direkt in den Versuchsablauf eingreifen und ihre Daten abrufen.

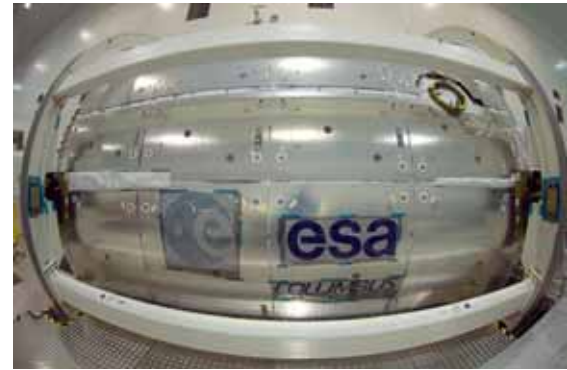
Je drei weitere Racks dienen als Stauraum und für die Unterbringung der Infrastruktur, vornehmlich für die Stromversorgung, Datenverteilung und Wasserpumpen sowie das Klima- und Feuerunterdrückungssystem. So können die Astronauten die Temperatur im Labor zwischen 16 und 30 Grad Celsius variieren. Frischluft erhält COLUMBUS aus dem Verbindungsknoten 2, an dem das europäische Labor andockt sein wird. Hier wird die Luft aufbereitet und vom Kohlendioxid gereinigt.

Die Solarflächen der Raumstation werden COLUMBUS mit 20 kW Strom versorgen, von denen 13,5 kW für die wissenschaftlichen Einrichtungen genutzt werden können.

replaced as needed. Although COLUMBUS is the smallest of the six laboratory modules on the ISS, its volume, data capacity and energy supply permit conducting as many experiments as the other more expensive laboratories. To reduce costs further, COLUMBUS will be launched with a payload of 2,500 kilograms already on board. Tele-operations technology will enable scientists on Earth to control some experiments directly and access their data.

Three more racks provide storage space, while another three accommodate the infrastructure, i.e. the power supply and data communication systems, the water pumps and the climate and fire control systems. Thus, for instance, astronauts may vary the temperature inside the laboratory between 16 and 30 degrees centigrade. COLUMBUS will be provided with fresh air by its connecting Node 2, where the air will be reprocessed and purged of carbon dioxide.

The solar panels of the space station will provide COLUMBUS with 20kW of electric power, of which 13.5kW will be available for the scientific equipment.



COLUMBUS in der ISS-Vorbereitungshalle der NASA im Kennedy Space Center, Florida
COLUMBUS at the Space Station Processing Facility at NASA's Kennedy Space Center, Florida





Typisches Rack, hier das FSL (Fluid physics research facility)
A typical Rack; here: the FSL (fluid physics research facility)



An der Außenhülle befinden sich vier Halterungen, an denen Experimente angebracht werden können. Dies bietet Forschern die Möglichkeit, ihre Versuchsanordnungen direkt dem Weltraum mit seinen besonderen Bedingungen auszusetzen: Vakuum, Weltraumstrahlung, absoluter Temperatur-Nullpunkt und Schwerelosigkeit. Zudem ist die Beobachtung der Erde oder der Sonne von hier aus möglich.

Zwei weitere Infrastrukturelemente sind ANITA und ARES. Gegenwärtig befindet sich ein für die ESA in Deutschland entwickeltes und gefertigtes Infrastrukturelement zur Erprobung auf der ISS. Nach der Erprobungsphase durch die NASA im US-Labor Destiny wäre eine spätere Unterbringung als permanente Stationsinfrastruktur in COLUMBUS denkbar.

The outer wall has four external platforms for experiments attached to it, offering researchers a chance to directly expose their experimental rigs to space and the characteristic conditions prevailing there: vacuum, interstellar radiation, absolute zero and microgravity. Furthermore, these racks may be used to observe the Earth or the sun.

Two other elements of the ISS infrastructure are ANITA and ARES. At the moment, an infrastructural element developed and made in Germany on behalf of ESA is being tested on the ISS. Once it has completed its test phase, which is conducted by NASA in the US laboratory Destiny, it might conceivably be integrated in COLUMBUS as part of the station's permanent infrastructure. We are talking about ANITA, an interferometer capable of analyzing as many as 32 gaseous components of the cabin air including formaldehyde, ammonia and carbon monoxide. Demonstrating the precision and reliability of an innovative measuring technology in orbit, it shows



Die Rede ist hier von ANITA: ein Interferometer, das bis zu 32 gasförmige Bestandteile der Kabinenluft analysieren kann, inklusive Formaldehyd, Ammoniak und Kohlenmonoxid. Es demonstriert die Genauigkeit und Zuverlässigkeit einer neuen Messtechnologie im Orbit und weist hierdurch das Potenzial für eine nächste Generation von Scannern für Spurengase in der Atmosphäre von Raumstationen oder anderen geschlossenen Räumen auf. Dieses Analysesystem wendet nicht nur Gefahren von der Crew ab, sondern verhindert auch eine unnötige Evakuierung der Station im Falle einer zunächst nicht identifizierbaren Verunreinigung der Kabinenluft.

Ein anderes spannendes Thema ist das Sauerstoffgenerierungsgerät ARES, das künftig auf COLUMBUS erprobt werden soll. Im Gegensatz zu den derzeit auf der Station arbeitenden Systemen arbeitet ARES nach dem Prinzip eines geschlossenen Kreislaufs. Es kann den Sauerstoffbedarf für sieben Astronauten aus dem auf der ISS vorhandenen Wasser (z. B. Brauchwasser, Kondensationswasser) erzeugen. Mit der dauerhaften Inbetriebnahme von ARES würde der Wassertransport zur ISS um jährlich etwa 1.000 Kilogramm reduziert, was einer Kostenersparnis von rund 20 Millionen Dollar entspräche. COLUMBUS kann zudem als Testumgebung dienen, um Elemente von ARES für die Energiegewinnung und -speicherung in Verbindung mit regenerativen Brennstoffzellen zu erproben.

Darüber hinaus bietet COLUMBUS die Möglichkeit, die nationale Kompetenz der Laserkommunikationstechnik (LCT) erneut unter Beweis zu stellen. Der Einsatz eines solchen Systems an COLUMBUS wird untersucht. Mit einem Terminal der zukunftsweisenden Lasertechnologie könnte eine autonome europäische Kommunikationsstrecke zwischen Erde und ISS mit größter Leistung errichtet werden.

the potential of a subsequent generation of scanners to detect trace gases in the atmosphere of space stations and other enclosed spaces. This analytical system not only averts dangers from the crew, it also prevents the station from being evacuated unnecessarily when a momentarily unidentifiable pollution is detected in the cabin air.

Another engrossing subject is ARES, an oxygen-generating device that will be tested in COLUMBUS in the future. Unlike the systems that are currently installed in the station, ARES operates in a closed cycle. It is capable of generating enough oxygen to supply seven astronauts from the water on ISS (waste water, condensation etc.). Running ARES continuously would reduce the volume of water that must be transported annually to the ISS by about 1,000 kilograms, which would cut relevant costs by around 20 million dollars. Furthermore, COLUMBUS may serve as a test environment to verify ARES' capability to generate and store energy in conjunction with renewable fuel cells.

Lastly, COLUMBUS offers yet another opportunity of demonstrating Germany's competence in laser communication (LCT). The possibility of deploying such a system in COLUMBUS is being investigated. The installation of a terminal of this pioneering laser technology might establish an autonomous European line of communication between the Earth and the ISS that would offer maximum capacities.

Nach dem Andocken von COLUMBUS an die Raumstation werden zwei externe Nutzlasten an der Außenhülle angebracht:

das **SOLAR-Observatorium**, das über 18 Monate eine Spektralanalyse unserer Sonne vornehmen wird, und

die **European Technology Exposure Facility**, auf der neun einzelne Experimente dem Weltraum ausgesetzt werden.

Once COLUMBUS has docked on the space station, two external payloads will be attached to its hull:

*the **SOLAR** observatory which will analyze the spectrum of our Sun for a period of 18 months, and*

*the **European Technology Exposure Facility** on which nine separate experiments will be exposed to space.*

Forschung zwischen Erde und Mond

Research between the Earth and the Moon

Forschungsziele und -perspektiven für die Nutzung von COLUMBUS

Bei der wissenschaftlichen Forschung auf der ISS ist Deutschland eine der wichtigsten Nationen. Dies gilt besonders für den Bereich „Forschung unter Weltraumbedingungen“ (Bio- und Materialwissenschaften), bei dem rund 40 Prozent der im europäischen Wettbewerb ausgewählten Projekte aus deutschen Forschungsinstituten stammen.

Forschung auf der ISS: Seit mehr als sechs Jahren sind auch deutsche Wissenschaftler schon dabei

Für deutsche Wissenschaftler begann die Nutzung der ISS bereits 2001 mit Projekten zur Plasmakristall-Forschung sowie zur Messung der Weltraumstrahlung. Seitdem wurden rund fünfundzwanzig weitere Experimente oder Experimentserien begonnen und teilweise bereits abgeschlossen. Ermöglicht wurde dies durch erfolgreiche zwischenstaatliche Kooperationen mit den Raumstationspartnern USA, Russland und Kanada. Das bisherige Forschungsspektrum umfasst neben der Plasmaphysik die Raumfahrtmedizin und Biotechnologie.

Objectives and perspectives of research in COLUMBUS

Germany is one of the most important nations conducting scientific research on board the ISS, particularly in the field of research under space conditions (life and physical sciences) in which around 40 percent of the projects selected in a Europe-wide competition originated with German research institutes.

Research on the ISS: German scientists began more than six years ago

German scientists began to use the ISS as early as 2001, when they investigated plasma crystals and measured space radiation in their first projects. Some of the 25 or so additional experiments and/or test campaigns that were launched since that time have already been completed. The reason for this lies in successful international cooperation with the ISS partner states, i.e. the USA, Russia and Canada. Next to plasma physics, the fields investigated so far include space medicine and biotechnology.

The first scientific experiment ever to be conducted on board the ISS began in March 2001. Extending to this day, it is a series of experiments designed to study plasma crystals. These consist of micro-particles suspended in a regular pattern in plasma at room temperature. Their reticular arrangement may be used as an experimental system to model the atomic structure of a solid body. By studying the movements of individual particles, scientists obtain detailed data on the melting of solid bodies over space and time. Given certain conditions, they even succeed in analyzing the movement of fluids and gases at the elementary micro-particle level. The record is impressive: So far,

Als erstes wissenschaftliches Experiment, das überhaupt auf der ISS durchgeführt wurde, begann im März 2001 eine sich bis heute erstreckende Experimentserie zur Erforschung von Plasmakristallen. Dabei handelt es sich um geordnet schwebende Mikropartikel in einem Plasma bei Zimmertemperatur, deren gitterförmige Anordnung als experimentelles Modellsystem für den atomaren Aufbau eines Festkörpers herangezogen werden kann. So können Wissenschaftler das Schmelzen eines Festkörpers anhand einzelner Partikelbewegungen örtlich und zeitlich detailliert untersuchen. Unter bestimmten Bedingungen gelingt es ihnen zudem, strömende Flüssigkeiten und Gase auf der elementaren Ebene der Mikropartikel zu analysieren. Die bisherige Bilanz ist beeindruckend: Aus den Weltraumexperimenten sind bereits mehr als 30 wissenschaftliche Publikationen in internationalen Fachzeitschriften erschienen. Die noch junge Forschung an den sogenannten komplexen Plasmen – erst 1994 wurden Plasmakristalle am Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching entdeckt – wird künftig neben der exzellenten Grundlagenforschung auch anwendungsorientierte Felder bereichern. Hierbei ist die Verbesserung industrieller Plasmaprozesse wie Beschichten und Ätzen im Gespräch.

In der Raumfahrtmedizin erarbeiteten deutsche Wissenschaftler bereits wichtige Ergebnisse für die Funktion des Gleichgewichtssystems, speziell für das Zusammenspiel zwischen Abläufen im Innenohr und dem Sehvorgang für die Orientierung im Raum, sowie in der Herz-Kreislauf-Regulation. Ein anderes Experiment konnte nachweisen, dass die Genauigkeit feinmotorischer Leistungen in Schwerelosigkeit beeinträchtigt ist, was durch erhöhte Denk-Anstrengung ausgeglichen werden kann. Mediziner haben zudem begonnen, die Gründe für die Beeinträchtigung des Immunsystems von Astronauten im Weltraum zu entschlüsseln, wovon sie sich generelles Wissen über die Funktion des menschlichen Immunsystems erwarten.

more than 30 publications that appeared in international scientific journals were based on experiments in space. Research into so-called complex plasmas is still a rather young discipline, for plasma crystals were discovered at the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics in Garching, Germany only in 1994. Next to excellent basic research, it will in the future provide improvements in application-oriented fields including industrial plasma processes such as coating and etching.

In space medicine, German scientists have already made important discoveries regarding cardiovascular regulation as well as the functioning of the vestibular system, focusing on the importance of the interaction between vision and processes in the inner ear for orientation in space. In another experiment, they were able to demonstrate that precision of motor performance is impaired in weightlessness, and that the impairment can be offset by increased cerebration. Moreover, medical researchers have begun to decipher the reasons why the immune system of astronauts is impaired in space, expecting this to provide general information about the functioning of the human immune system.

Biotechnology research concentrated on the crystallization of proteins in weightlessness. Basically, crystalline structures can be best analyzed if the substance under investigation is crystallized as perfectly as possible, for which microgravity in space is ideal. Knowing a structure precisely is indispensable for understanding its properties and functions in order to optimize, for example, the pharmaceutical applications of a specific protein.



Thomas Reiter beim EVA
Thomas Reiter during EVA



Hans Schlegel bei der Vorbereitung auf die Mission COLUMBUS
Hans Schlegel during preparations for mission COLUMBUS

In der Biotechnologie stand die Kristallisation von Proteinen in Schwerelosigkeit im Mittelpunkt des Interesses. Grundlage für die Analyse von Kristallstrukturen ist die möglichst perfekte Kristallisation der zu untersuchenden Substanzen, was ideal unter Schwerelosigkeit im All gelingt. Die genaue Kenntnis der Struktur ist die Voraussetzung, ihre Eigenschaften und Funktionen zu verstehen, um beispielsweise die pharmazeutischen Anwendungen eines bestimmten Proteins zu optimieren. Tatsächlich konnte durch Weltraum-Experimente die Strukturaufklärung für verschiedene Moleküle verbessert werden. Dies gelang beispielsweise beim in der Immunstimulierung und Krebsbekämpfung eingesetzten Mistel-Lectin. In einigen Fällen gelang den Wissenschaftlern überhaupt zum ersten Mal eine Kristallisation, so bei bestimmten Oberflächenproteinen von Bakterien.

Weiterhin wollen Forscher die Intensität und Zusammensetzung der Weltraumstrahlung sowie ihre Auswirkungen auf Organismen erfassen, was ein weiterer Schwerpunkt der deutschen ISS-Forschung ist. Durch Messungen innerhalb und außerhalb der Raumstation, unter anderem mit der im Auftrag der ESA unter Federführung des DLR entwickelten Phantompuppe „Matroshka“, konnten hier bedeutende Erkenntnisse zur Strahlenbelastung der Astronauten gewonnen werden.

In der zweiten Jahreshälfte 2006 arbeitete der Deutsche Thomas Reiter als erster europäischer Astronaut auf einer Langzeitmission an Bord der ISS. Bei der sechsmonatigen Mission ASTROLAB hatten deutsche Forscher bei 8 der 30 wissenschaftlichen Experimente die Federführung, an weiteren waren deutsche Institute beteiligt. Bei diesen Experimenten ging es um die Untersuchung des Gleichgewichts-

And indeed, space experiments help to throw a better light on the structures of certain molecules such as mistletoe lectin, which is used to stimulate the immune system and combat cancer. In some cases, scientists succeeded in crystallizing substances for the first time ever, including certain bacterial surface proteins.

Furthermore, researchers plan to analyze the intensity and composition of space radiation together with its effects on living organisms. This forms yet another focus of Germany's research on the ISS. Important facts regarding the radiation exposure of the astronauts were discovered in the course of measurements conducted inside and outside the space station, some of which involved Matroshka, a phantom dummy whose development was commissioned by ESA and coordinated by DLR.

In the second half of 2006, the German Thomas Reiter was the first European astronaut to work on a long-term mission on board the ISS. Eight of the 30 scientific experiments run during the six-month ASTROLAB mission were coordinated by German scientists, while others were conducted with the participation of German institutes. The objectives of these experiments included investigating the vestibular and immune systems in weightlessness, measuring space radiation and its biological impact, and plasma physics. The mission marked the beginning of European long-term research on the ISS.

The launch of COLUMBUS will mark the beginning of a new era for German science. With its ultramodern equipment for research in biology, medicine and fluid physics and the external devices for astrobiology studies, COLUMBUS will be available in the years to come as a "laboratory in space" for top-flight research in weightlessness.



und des Immunsystems in Schwerelosigkeit, um die Erfassung der Weltraumstrahlung und ihre biologische Wirkung sowie um Plasmaphysik. Die Mission war der Einstieg in die europäische Langzeitforschung auf der ISS.

Mit dem Start von COLUMBUS beginnt für deutsche Wissenschaftler eine neue Ära. Mit seinen hochmodernen Anlagen zur Forschung in Biologie, Medizin und Fluidphysik sowie den extern angebrachten Geräten für die Astrobiologie wird COLUMBUS als das „Labor im All“ für die nächsten Jahre der Spitzenforschung unter Schwerelosigkeit zur Verfügung stehen.

Forschungsziele für die nächsten Jahre

Was sind nun die Forschungsziele für die nächsten Jahre? Rund 100 deutsche Projekte haben sich im internationalen Wettbewerb nach dem sogenannten „Best Science“-Prinzip durchgesetzt und warten jetzt auf ihre Umsetzung. Im Rahmen der übergeordneten Ziele des Programms „Forschung unter Weltraumbedingungen“ der DLR Raumfahrt-Agentur definieren diese Projekte die konkreten Forschungsziele für die nächsten Jahre.

Forschungsziele in den Biowissenschaften

Im Vergleich zu den in der frühen Nutzungsphase der ISS durchgeführten Experimenten erweitern sich die Forschungsmöglichkeiten durch COLUMBUS in den kommenden Jahren deutlich. Neben Experimenten zur Gravitationsbiologie arbeiten die Wissenschaftler vermehrt an Projekten zur Strahlen- und Astrobiologie. Hierfür bieten neue Geräte auf den externen Plattformen von COLUMBUS ausgezeichnete Möglichkeiten. In der Raumfahrtmedizin wird der Fokus – nicht unerwartet durch die jetzt bestehenden Möglichkeiten zu Langzeitaufenthalten der Astronauten – vor allem auf die Untersuchung des Abbaus von Muskeln

Research objectives for the next few years

Now, what will be the objectives of research in the next few years? Having been successful in the international competition, around 100 German projects are now waiting to be realized. Pursuing the goals of the DLR Space Agency's "Research under Space Conditions" program, these projects define concrete research objectives for the next few years.

Research objectives in life sciences

Compared to the experiments conducted in the early phase of ISS utilization, COLUMBUS will offer a considerably wider range of research options in the years to come. Next to experiments in gravitational biology, scientists are beginning to concentrate on radiation and astrobiology projects. The new devices that will be mounted on the external platforms of COLUMBUS offer excellent opportunities in this respect. As it is now possible for astronauts to stay on the ISS for prolonged periods, it is not surprising that research in space medicine should focus on investigating the attenuation of muscles and bones. In addition, these studies as well as those in radiation and astrobiology will contribute greatly to the preparation of future long-range astronaut missions to the Moon or other destinations.





und Knochen gerichtet sein. Diese Untersuchungen wie auch die Projekte zur Strahlen- und Astrobiologie liefern zudem wichtige Beiträge für die Vorbereitung von späteren Langzeitmissionen von Astronauten zum Mond oder anderen Zielen.

Gravitationsbiologie

Seit Beginn der Evolution spielt die Schwerkraft für alle Organismen eine entscheidende Rolle. Seit vielen Jahren gehen Forscher daher der Frage nach, wie Organismen die Schwerkraft wahrnehmen und verarbeiten, woher also beispielsweise Pflanzen wissen, wo oben oder unten ist, und warum Wurzeln und Sprossen in die richtige Richtung wachsen. Viele Geheimnisse konnten die Wissenschaftler der Natur schon entreißen: Sie entdeckten schwere Partikel in Wurzeln und zeigten deren Verlagerung bei Änderung der Schwerkraft. Auch die Beteiligung des Zellskeletts und verschiedener Botenstoffe wurde nachgewiesen. Auf der Ebene von Genen und Proteinen konnten sie wichtige Veränderungen feststellen. Doch die genaue Abfolge der einzelnen Schritte von der Wahrnehmung der Schwerkraft bis hin zur Antwort der Pflanze ist noch nicht geklärt. Hier setzen COLUMBUS-Experimente beispielsweise in der Anlage BIOLAB an, die dieser Frage mit modernen molekularbiologischen Methoden nachgehen.

Strahlen- und Astrobiologie

Die Stärke und Zusammensetzung der Strahlung im Weltraum schwankt sehr stark. Von daher sind auch in Zukunft weitere Messungen vorgesehen, um das Strahlenrisiko besser abschätzen zu können. Aufgrund seiner langjährigen Expertise auf diesem Gebiet wird das DLR-

Gravitational biology

Ever since evolution began, gravity has been playing a crucial role for all organisms. For many years, researchers have been trying to answer the question of how organisms perceive gravity and respond to this stimulus, i.e. how plants can distinguish between up and down, and why roots and shoots grow in the right direction. Scientists have already wrested many secrets from nature. Thus, they discovered that roots contain heavy particles which shift when the direction of gravity changes. Moreover, they were able to show that the cytoskeleton and a variety of messenger substances are involved in the process as well. Yet they have been unable so far to establish the exact sequence of steps from gravity perception to plant response. This is where the BIOLAB and other experiments on COLUMBUS will begin searching for answers to that question with modern molecular biology methods.

Radiation and astrobiology

Both the intensity and the composition of space radiation vary greatly. This being so, further measurements are planned to improve our ability to assess the risk of radiation exposure. Applying its many years of expertise in this field, the DLR Institute of Aerospace Medicine will continue its measurements inside and outside the ISS in the years to come. Analyzing the biological impact of cosmic radiation may be even more important than measuring its intensity and composition. Matroshka, a sophisticated phantom dummy that simulates the human upper torso with all its organs, has been giving good results in the past. At present, it is employed inside the ISS to measure the radiation field there, but it will be moved outside again in the course of 2008.

In astrobiology, a new chapter will be opened as well: Together with COLUMBUS, the Expose-EuTEF system will arrive on the ISS. Besides the comparative radiation dosimetry, the system will be used to expose a variety of organisms to the extreme environmental conditions of

Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin diese Messungen auch in den kommenden Jahren innerhalb und außerhalb der ISS fortsetzen. Fast noch wichtiger als die dosimetrische Erfassung der Stärke und Zusammensetzung der Strahlung ist die Analyse ihrer biologischen Wirksamkeit. Die Phantompuppe „Matroschka“, ein hochentwickelter Simulator des menschlichen Oberkörpers mit all seinen Organen, hat hier schon gute Ergebnisse geliefert. Die Anlage misst derzeit das Strahlenfeld im Innern der ISS und wird im Laufe des Jahres 2008 erneut nach außen gebracht.

Für die Astrobiologen bricht ebenfalls ein neues Kapitel an: Mit COLUMBUS wird die Anlage Expose-EuTEF zur ISS gebracht. Neben dosimetrischen Vergleichsmessungen werden in dieser Anlage verschiedene Organismen den extremen Umgebungsbedingungen des Weltraums ausgesetzt und ihre Überlebensfähigkeit untersucht. Diese Untersuchungen dienen der Erforschung von Entstehung, Evolution und Ausbreitung des Lebens und damit der Beantwortung der Frage, ob eventuell das Leben von anderen Himmelskörpern gekommen sein kann.

Humanphysiologie

In der Raumfahrtmedizin liegt der Schwerpunkt der deutschen ISS-Experimente in den kommenden Jahren auf der Untersuchung des Muskel- und Knochenstoffwechsels. Im Sinne einer integrativen Physiologie, in welcher der ganze Mensch im Zusammenspiel seiner verschiedenen Systeme und Organe betrachtet wird, berücksichtigen die Wissenschaftler die Wechselwirkungen des Systems von Knochen und Muskeln mit dem Kreislauf, Stoffwechsel, Immunsystem und der hormonellen Regulation. Ziel der Experimente ist es, die Mechanismen von Muskel- und Knochenabbau zu verstehen und dann geeignete Gegenmaßnahmen zu entwickeln, die nicht nur den Astronauten, sondern auch den Menschen auf der Erde zugute kommen.

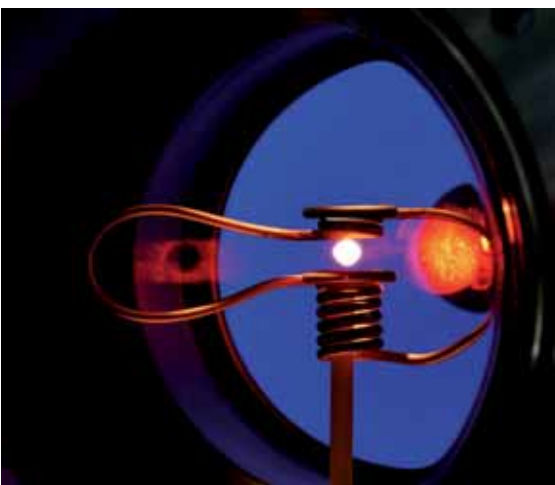


Hans Schlegel auf der D2-Mission, 1993
Hans Schlegel at the D2 Mission, 1993

space and investigate their ability to survive. These studies serve to explore the origin, evolution and spread of life and, by the same token, to answer the question if life might have arrived on Earth in the dim and distant past from other celestial bodies.

Human physiology

In the field of space medicine, the German experiments conducted on the ISS will focus for some years on the metabolism of muscles and bones. Following the principle of integrative physiology, a holistic view of man and the interplay between his various systems and organs, scientists will study the interaction between bones and muscles on the one hand and the cardiovascular, metabolic, immune, and hormonal-regulation systems on the other. Experiments aim at understanding the attenuation of muscles and bones and developing suitable countermeasures from which not only astronauts but also the people on Earth stand to benefit.



Materialforschung an schwebender Metallprobe
Materials research on a levitating metal probe

Ziele der physikalischen Forschung

Materialforschung

Etwa 90 Prozent der metallischen und halbleitenden Werkstoffe entstammen schmelzmetallurgischen Verfahren. Um die bestehenden Technologien zu optimieren oder neue zu entwickeln, brauchen die Forscher ein immer größeres Detailverständnis aller ablaufenden Vorgänge. Das Materialdesign aus der Schmelze erfordert heutzutage effiziente Computersimulationen, damit energie- und zeitaufwändige Vorversuche im großtechnischen Maßstab verringert werden können. In der Schwerelosigkeit werden Störkräfte in einer Schmelze ausgeschaltet, so etwa Auftrieb (Konvektion) und Ablagerung (Sedimentation) von Komponenten unterschiedlicher Dichte. Das sind entscheidende Vorteile, um die Wechselbeziehung zwischen Erstarrungsbedingungen, Werkstoffgefüge und resultierenden Eigenschaften aufzuklären. Ein weiteres Ziel ist es, die wärmephysikalischen Eigenschaften reaktiver Metallschmelzen durch behälterfreies Prozessieren wesentlich genauer zu messen, also in der Schwebel. Die im ESA Materials Sciences Lab der ISS geplanten Forschungsarbeiten erfolgen insbesondere an industrierelevanten Schmelzen.

Fluidphysik

Die Physik der Flüssigkeiten und Gase durchdringt viele Anwendungsbereiche, in denen die Wirkung von Schwerkraft bedeutend ist. So sind auf der ISS Grundlagenuntersuchungen zu Flüssigkeitsströmungen in einer Geometrie geplant, die in Satellitentanks einer neuen Generation den Treibstofftransport durch Kapillarkräfte ermöglicht. Bei der Zündung eines Triebwerks muss zu jedem Zeitpunkt ausreichend Treibstoff an der Düse vorhanden sein. Folglich sind Experimente unter Schwerelosigkeit notwendig mit

Objectives of physical research

Materials research

About 90 percent of all metallic and semi-conducting materials are produced by metallurgic melt processes. To optimize existing technologies or develop new ones from scratch, researchers need to know more and more about the details of all processes involved. Today, designing materials produced by melting calls for efficient computer simulation programs to circumvent industrial-scale pilot tests that are expensive in terms of both energy and time. Weightlessness eliminates spurious forces that may act on a melt, such as convection and the sedimentation of components that differ in density. These are crucial advantages in studying the interaction between solidification conditions and the structure and properties of the resultant materials. Another objective will be to considerably enhance the precision with which the thermophysical properties of reactive metal melts can be established by measuring them in suspension, i.e. in a containerless process. The research activities that will be conducted by the ESA Materials Science Lab on the ISS will concentrate on melts that are relevant to the industry.

Fluid physics

Fluid and gas physics permeates many applications on which gravity has a major impact. Basic studies on the ISS will investigate fluid flows within a geometry that will enable fuel to be transported by capillary forces in a new generation of satellite tanks. Whenever a jet is fired, an adequate supply of fuel must be available at the injection nozzle. This being so, experiments will have to be conducted in weightlessness to establish the limits at which flows become unstable. On Earth, hydrostatic fluid pressure prevents precise measurements.

dem Ziel, die Grenzen der Strömung aufzuklären, bevor sie instabil wird. Auf der Erde verhindert der hydrostatische Flüssigkeitsdruck genaue Messungen.

Ein weiteres Projekt betrifft die Erforschung von Strömungsvorgängen in einem Kugelspalt. Dieses geophysikalische Modell simuliert Strömungsvorgänge im flüssigen äußeren Erdkern, indem die zentrale Kraftwirkung unseres Planeten durch ein künstliches Gravitationsfeld im Kugelspalt ersetzt wird. Wissenschaftler interessieren sich hierbei für die auftretenden Strömungsmuster. Nur unter Schwerelosigkeit kann man dabei die im irdischen Labor herrschende Vorzugsrichtung „oben-unten“ vermeiden. Diese Untersuchung ist als erstes Experiment im Fluid Sciences Lab von COLUMBUS geplant.

Verbrennungsforschung

Am Beispiel der Verbrennung von Tropfen und Sprays wollen Forscher Zündmechanismen analysieren und dadurch Verfahren zur Hochdruckverbrennung flüssiger Treibstoffe verbessern. Ihr Ziel ist es, in Gasturbinen und Flugantrieben den Schadstoffausstoß bei hohem Wirkungsgrad durch möglichst magere Kraftstoffgemische zu senken. Die Schwerelosigkeit hilft, die Basismechanismen der Verbrennung ungestört zu erforschen. Bisher erfolgen entsprechende Experimente im Fallturm Bremen, allerdings werden sich mit der Inbetriebnahme des US Combustion Integrated Rack auf der ISS neue Experimentier- und Kooperationsmöglichkeiten ergeben.

Fundamentalphysik

Die Nobelpreise für Physik sind in den letzten Jahren wiederholt für Entdeckungen zu Quantenphänomenen vergeben worden. Im Fall der Bose-Einstein-Kondensation ist es gelungen, Gasatome so weit abzukühlen, dass diese ihre Individualität verlieren und als Materiewelle in Erscheinung treten. Im Labor konnte gezeigt werden, dass ein Laser mit solchen Materiewellen anstelle von Lichtwellen funktioniert. Im Fallturm Bremen wird gegenwärtig erstmalig versucht, ultrakalte Atome

Another project will address flows in a spherical gap. This geophysical model simulates flow processes in the liquid outer core of the Earth by replacing the central force of our planet with an artificial gravitational field in a spherical gap. What is interesting to scientists in this context is the flow patterns that arise. The top-down bias that is inevitable in terrestrial laboratories can be avoided only in weightlessness. This experiment is the first scheduled for the Fluid Sciences Lab of COLUMBUS.

Combustion research

By studying the combustion of droplets and sprays, researchers intend to analyze ignition mechanisms so as to improve combustion processes for liquid fuels under high pressure. They aim to lower the pollutant emissions of gas turbines and aircraft engines by reducing the richness of fuel-air mixtures as far as possible without affecting efficiency. Weightlessness greatly assists in exploring the basic mechanisms of combustion without interference. So far, related experiments have been conducted on the Bremen drop tower, but once the American Combustion Integrated Rack has been commissioned on the ISS, new opportunities for experimenting and cooperating will open up.

Fundamental physics

In recent years, the physics Nobel Prize has been repeatedly awarded for discoveries relating to quantum phenomena. Investigators of the Bose-Einstein condensation succeeded in cooling gas atoms far enough for them to lose their individuality and appear as matter waves. Laboratory tests have shown that a laser will work with such matter waves instead of light waves. At the moment, attempts are being made at the Bremen drop



Vorbereitung des Biolab in COLUMBUS
Preparation of the COLUMBUS' Biolab





COLUMBUS in der ISS-Vorbereitungshalle
COLUMBUS at the Space Station
Processing Facility

unter Schwerelosigkeit zu erzeugen, um die Gasatome noch weiter abzukühlen. Auf der ISS wollen Physiker längerfristig und systematisch an ultrakalten Atomen forschen, um noch tiefere Einblicke in die Quantenwelt zu bekommen.

Ein wichtiges Forschungsfeld auf der ISS stützt sich auf eine Entdeckung der Plasmakristalle durch Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik im Jahr 1994. Das bereits seit über sechs Jahren laufende Forschungsprogramm auf der ISS in Kooperation mit Russland soll aufgrund der hohen wissenschaftlichen Ausbeute bis ins nächste Jahrzehnt ausgedehnt werden. Die bisherigen Daten aus den Weltraumexperimenten führten zu grundlegend neuen Erkenntnissen und Entdeckungen. Mit Partikeln angereicherte Plasmen sind keineswegs ein exotischer Forschungsgegenstand, sondern treten häufig in der Natur (Saturnringe, Kometenschweif) und in irdischen Plasmatechnologien (Chipherstellung, Solarzellenfertigung) auf. Ein weiterer Forschungsbereich zur Untersuchung fundamentaler Partikelwechselwirkungen wird sich apparativ auf

tower to generate ultra-frigid gas atoms in weightlessness so as to reduce their temperature even further. On the ISS, physicists plan to study ultra-frigid atoms systematically in the long term in order to obtain an even better insight into the world of quantum.

One major field of research on the ISS is based on the discovery of plasma crystals made in 1994 by scientists working at the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics. The research program on the ISS, which has been running for more than six years now in cooperation with Russia, will be extended into the next decade because of its great scientific yield. The data obtained so far from space experiments yielded new fundamental insights and discoveries. Far from being an exotic subject of research, plasmas enriched with particles appear frequently in nature (the rings of Saturn, the tails of comets) as well as in terrestrial plasma technology (manufacture of chips and solar cells). The equipment required to open up yet another field of research that deals with fundamental interactions between particles will be available on the ISS by the end of the decade. In this case, research aims at simulating elementary processes in the birth of planets – the agglomeration of cosmic dust – as well as in the formation of clouds in the atmosphere (aerosol growth).

Research perspectives for the utilization of COLUMBUS

For the ISS, a multitude of German and other research projects has been selected that now await realization. Consequently, there will be no lack of scientific work for astronauts to do in the next few years. In some cases, the apparatus required for specific experiments still has to be developed and built. This holds particularly true for two key items of the German materials-science program, namely plasma crystal research and the investigation of the thermophysical properties of alloys in electromagnetic suspension. In bio-science research, scientists and engineers

der ISS zum Ende des Jahrzehnts erschließen. Hierbei wird das Ziel verfolgt, elementare Vorgänge bei der Planetenentstehung – die Zusammenballung von kosmischem Staub – sowie der atmosphärischen Wolkenbildung – das Wachstum von Aerosolen – zu simulieren.

Forschungsperspektiven für die Nutzung von COLUMBUS

Für die ISS ist bereits eine Vielzahl gerade auch deutscher Forschungsprojekte ausgewählt und wartet auf ihre Realisierung. An Forschungsarbeit für die Astronauten herrscht also in den nächsten Jahren kein Mangel. Für einige Experimente müssen noch die notwendigen Experimentieranlagen entwickelt und gebaut werden. Dies betrifft gerade auch zwei Schwerpunkte des deutschen materialwissenschaftlichen Programms, die Plasmakristall-Forschung und die Erforschung wärmephysikalischer Eigenschaften von Legierungen mittels elektromagnetischer Schweben. Auch für die biowissenschaftliche Forschung bereiten Wissenschaftler und Ingenieure ergänzende Experimentmodule und neue Anlagen vor. Hier ist das vorderste Ziel, eine moderne „on-board“-Analyse zu schaffen, mit deren Hilfe zum einen der aufwändige Probenrücktransport entfällt und zum anderen die Wissenschaftler wesentlich schneller zu ihren Ergebnissen kommen. Sowohl Biologen als auch Raumfahrtmediziner werden davon profitieren und so erweiterte Forschungsperspektiven erhalten.

Die Ergebnisse der ISS-Experimente in Bio- und Materialwissenschaften werden so die führende Position des Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts Deutschland in vielen Bereichen festigen. Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung auf der ISS werden die bisherige Erfolgsgeschichte des Programms „Forschung unter Weltraumbedingungen“ von DLR und ESA fortschreiben.



are similarly engaged in preparing supplementary or additional experimental installations. Their foremost aim is to create a modern on-board analytical facility which would eliminate the need for the expensive return of samples to Earth and enable scientists to get at their results much quicker. Biologists as well as space medicine professionals will be able to benefit from this and expand their research perspectives.



links: COLUMBUS wird in der ISS-Vorbereitungseinrichtung zum Wiegen transportiert
left: In the Space Station Processing Facility, the COLUMBUS Laboratory module is moved toward a weigh station

rechts: Einbau des europäischen Forschungslabors COLUMBUS in einen Container, in dem das Labor zum Space Shuttle Atlantis transportiert wird

right: Integration of the European Laboratory COLUMBUS in the payload canister in which it will be transported to Space Shuttle Atlantis

Thus, the results of the ISS experiments in the life and materials sciences will consolidate Germany's leading position in many fields of science and industry. Basic and application-oriented research on the ISS will add to the success story of the „Research under Space Conditions“ program of DLR and ESA.





GTS-Antenne an der ISS
GTS Antenna at ISS

Industrielle Nutzung der ISS

Auch das erste ISS-Experiment zur industriellen Nutzung kam aus Deutschland. Es handelt sich um das Projekt „Global Transmission Services“ (GTS) von Daimler und dem Uhrenhersteller Fortis. In der GTS-Erprobungsphase auf der ISS werden seit 2002 vor allem zwei Anwendungen getestet: erstens die weltweite Synchronisation von Funkuhren, die jeweils mit der korrekten Lokalzeit versorgt werden, und zweitens ein globaler Diebstahlschutz etwa für Kraftfahrzeuge.

Neben den wissenschaftlichen Spitzenleistungen in den Material- und Lebenswissenschaften sind es gerade die industriell relevanten Projekte der ISS-Forschung, die den Menschen auf der Erde nutzen werden. Beispiele hierfür sind die Entwicklung besserer Legierungen für die Automobilbranche, die Medikamentenentwicklung der Pharmaindustrie, die Verbesserung von Knochenimplantaten und medizinischen Diagnosetechniken oder die Verbrennungsforschung für sparsamere Motoren.

Mit der ISS werden erstmals stabile Forschungsbedingungen und ausreichende Experimentierzeiten im Weltraum erreicht. Durch ihre großen Ressourcen und den regelmäßigen Zugang wird sie zunehmend für innovative Projekte aus dem industriellen Umfeld interessant und kann einen wirtschaftlich attraktiven „added value“ bieten. Zukünftig soll sich die Raumstation mit COLUMBUS zu einer Großforschungseinrichtung im Erdorbit auch für die Nicht-Raumfahrt-Industrie entwickeln. Langfristig sollen bis zu einem Drittel der europäischen Forschungsressourcen auf der ISS industriellen und kommerziellen Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Diese

The industrial utilization of the ISS

The first industry-related experiment to run on the ISS also originated in Germany. It was the Global Transmission Services (GTS) project operated by Daimler and Fortis, a clock manufacturer. The GTS trial phase on the ISS, which began in 2002, concentrated on two applications: First, synchronizing radio clocks worldwide by providing each with the correct local time, and second, protecting objects such as automobiles from theft on a global scale.

People on Earth will benefit not only from the brilliant achievements in materials and life sciences but also, and more importantly, from those ISS research projects that are of industrial relevance. Cases in point include the development of improved alloys for the automotive industry, the development of drugs for the pharmaceutical industry, improvements in bone implants and medical diagnosis methods, and combustion research to enhance engine fuel economy.

For the first time ever, the ISS offers stable research conditions as well as adequate time for experimenting in space. Its extensive resources and regular access options make it increasingly attractive for innovative projects from industry and enhance its economic “added value”. For the future, there are plans for the space station and its COLUMBUS module to develop into an orbiting large-scale research institution also for the industry outside the space sector. Up to one third of the European research resources will be made available to industrial and commercial users in the long run. The Federal Ministry for Economic Affairs and Technology, which coordinates all space activities, is pursuing this strategy consistently. One of its objectives is to acquire customers particularly among small and medium-sized enterprises that wish to

Strategie wird nachhaltig vom für Raumfahrt federführenden Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie verfolgt. Ziel hierbei ist 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 on Investment erbringen.

Im Ruhrgebiet, das einen Strukturwandel anstrebt und Spitzentechnologie ansiedeln möchte, ist mit dem „ISS Lab Ruhr“ das erste deutsche industrieorientierte ISS-Anwenderzentrum aufgebaut worden. Es ist ein Gemeinschaftsprojekt der Industrie, des Landes Nordrhein-Westfalen und des DLR. ISS Lab Ruhr dient als Anlaufstelle für alle wirtschaftlich orientierten Interessenten, die in COLUMBUS oder den anderen Laboren der Raumstation experimentieren wollen. Auf DLR-Seite steht das MUSC (Microgravity User Support Center) als Nutzerunterstützungszentrum bereit.

Das Interesse der Industrie wächst. Auch die deutsche Wirtschaft erkennt, dass Forschung in astronautischen Weltraumlaboren letztlich eine lohnende Investition in die Zukunft darstellt. Klar ist aber, dass die ISS weder kurz- noch mittelfristig eine „verlängerte Werkbank im All“ sein wird. Die Versuche in der Schwerelosigkeit sollen dazu dienen, Erfahrungen im All zu sammeln und diese bei Fertigungstechniken und Produktionen auf der Erde in großem Maßstab umzusetzen – Know-how-Transfer vom Weltraum zur Erde.

Schon im Jahr 1998 rief das DLR die PIN-Initiative ins Leben (PIN: Promotion Industrieller Nutzung der ISS). Sie hat die ISS und andere Mikrogravitations-Fluggelegenheiten bei forschenden Wirtschaftsunternehmen aus Nicht-Raumfahrt-Branchen vermarktet und Unternehmen als Kunden für den Dienstleistungsbereich Raumfahrt gewonnen. Seit 2007 baut die Nachfolgeinitiative des DLR „GoSpace“ auf den bei PIN gewonnenen Erfahrungen auf und wahrt damit Kontinuität und Nachhaltigkeit der industriepolitischen Aktivitäten

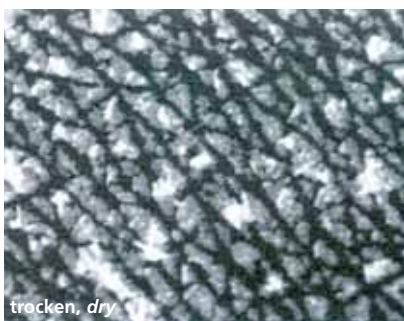
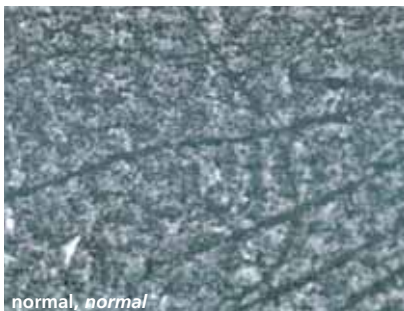
use microgravity to develop processes or products which will yield a return on investment.

Wishing to transform its structure and attract high-technology industries, the Ruhr region set up ISS Lab Ruhr, Germany's first industry-oriented ISS user center. The project was undertaken jointly by the industry, the Land of North-Rhine Westphalia and DLR. ISS Lab Ruhr serves as a contact for all those interested business parties who wish to experiment either in COLUMBUS or in one of the other laboratories of the ISS. On its part, DLR has set up the Microgravity User Support Center (MUSC) in Cologne to assist users.

The industry's interest is growing. Germany's economy is beginning to recognize that at the end of the day, research in manned space laboratories represents a profitable investment into the future. There can be no doubt that the ISS will not become an "extended workbench in space" either in the short or the medium term. Experiments in weightlessness are designed to gain experience in microgravity which may then be translated into large-scale manufacturing and production technologies on Earth – a transfer of know how from space to Earth.

As early as 1998, the PIN (promotion of industrial ISS users) initiative was launched by DLR. It marketed both the ISS and other microgravity flight opportunities to researching enterprises outside the space sector and acquired these companies as customers for the space industry. Since 2007, the DLR successor initiative GoSpace has been building on the PIN experience, thus maintaining the continuity and sustainability of the DLR's industrial policy. GoSpace informs corporate decision-makers about the opportunities and economic advantages of using the ISS,





Typische Oberflächenstrukturen
menschlicher Haut
Typical surface Structures of human Skin

des DLR. GoSpace demonstriert den Entscheidungsträgern der Firmen die Möglichkeiten und wirtschaftlich relevanten Vorteile der Nutzung von ISS und COLUMBUS sowie anderer Flugmöglichkeiten (Fallturm, Parabelflüge, Höhenforschungsraketen, Kapseln) für die unternehmenseigene Forschung. Im Dialog zwischen Unternehmen und GoSpace werden Pilotprojekte identifiziert, Business-Pläne erstellt, Begleitprogramme auf der Erde entwickelt und die Vorhaben über Vorbereitungsphase, Testdurchführungen und Flug bis zur Auswertungsphase von Experten flankiert.

In Pilotvorhaben der PIN-Initiative konnten erste industrielle Forschungsprojekte realisiert werden. Als ein Beispiel aus dem Bereich der Materialforschung lässt sich die Bestimmung wärmeophysikalischer Eigenschaften von Schmelzen technischer Aluminium-Legierungen nennen. Auf mehreren Parabelflügen und einem Forschungsraketenflug wurden von der Hydro Aluminium Deutschland GmbH Daten zur Oberflächenspannung und Viskosität der Legierungen im Erstarrungsbereich gesammelt und analysiert. Die erzielten Daten dienen der genaueren Computersimulation von Verfahren des Metallgießens.

Ein weiteres Experiment aus dem Bereich der Humanphysiologie fand auf der ISS-Langzeitmission Astrolab statt. Aus bisher erfolgten Beobachtungen der menschlichen Haut in Schwerelosigkeit ist bekannt, dass neben dem Auftreten vermehrter Trockenheit insbesondere die Dicke der Haut abnimmt, und damit – quasi im Zeitraffer – eine Alterung der Haut erfolgt. Die Erforschung der Alterungsvorgänge der Haut und die Entwicklung möglicher Gegenmaßnahmen ist ein Schwerpunkt in der dermatologischen und kosmetischen Industrie. Diesen Fragestellungen ist ein

COLUMBUS and other flight opportunities (drop tower, parabolic flights, sounding rockets, orbital capsules) for their own research. Pilot projects are identified, business plans are drawn up and terrestrial support programs are developed in a dialog between the company and GoSpace, and all phases of a project from preparation, verification and flight to evaluation are supported by experts.

The first industrial research plans were realized in pilot projects under the PIN initiative. One example from the field of materials research that may be quoted here is the determination of the thermophysical properties of industrial aluminum alloy melts. On several parabolic flights and one rocket flight, Hydro Aluminium Deutschland GmbH gathered data on surface tension and viscosity of solidifying alloys for later analysis. The results were used to enhance the precision of computer simulations modeling metal casting processes.

Another experiment undertaken on the ISS Astrolab long-term mission came from the field of human physiology. It was known from previous observations that the human skin grows not only thinner but also drier in weightlessness, thus undergoing a process similar to ageing. Exploring the ageing processes of the human skin and developing possible countermeasures constitutes a focus of dermatological and cosmetic research. An industrial consortium from North Rhine-Westphalia – DermaTronnier, Courage + Khazaka, Degussa – funded an experiment called SkinCare to investigate these issues. For the first time, physiological parameters of the human skin (moisture content, dehydration, wrinkling, elasticity, thickness) were measured with the aid of modern non-invasive methods. The experiments were carried out by the German astronaut Thomas Reiter. The consortium expects that the scientific evaluation of the data acquired will yield general insights into the ageing processes of the human skin.

Industrie-Konsortium aus Nordrhein-Westfalen – DermaTronier, Courage + Khazaka sowie Degussa – mit dem von ihm finanzierten Experiment SkinCare nachgegangen. Erstmals wurden physiologische Parameter der menschlichen Haut (Feuchtigkeit, Wasserverlust, Faltenbildung, Elastizität und Hautdicke) mit Hilfe moderner nicht-invasiver Messverfahren erfasst. Ausgeführt wurden die Experimente vom deutschen Astronauten Thomas Reiter. Basierend auf den gewonnenen Daten erwartet das Konsortium nach der wissenschaftlichen Auswertung generelle Rückschlüsse auf Alterungsprozesse der Haut.

Aus dem Bereich der Flüssigkeitsphysik wurde ein Experiment auf einem ISS-Vorläuferflug durchgeführt. Die DiaCdem Chip Technologies GmbH untersuchte auf einem DLR-Parabelflug das Befüllungsverhalten mikrofluidischer Strukturen in Schwerelosigkeit, um damit diagnostische Verfahren weiterzuentwickeln. Ziel ist die Entwicklung eines miniaturisierten Diagnostiksystems („Lab on a Chip“) etwa für Blut, gedacht für Einsätze sowohl im Welt-raum als auch in der Notfallmedizin, Altersheilkunde und auf Expeditionen.

Die industrielle Nutzung der ISS kann nach der Inbetriebnahme von COLUMBUS und den im Labor zur Verfügung stehenden umfangreichen Laboreinrichtungen erheblich ausgeweitet werden. Forscher aus Industrieunternehmen, Konsortien sowie Netzwerke aus Industrie und Forschungsinstituten bearbeiten neue Themenbereiche mit dem Ziel, Forschung in Schwerelosigkeit auf Vorläuferflügen und auf der ISS durchzuführen. Weitere mögliche Themen hierfür sind im Bereich der Materialwissenschaften etwa die wärmephysikalischen Eigenschaften von Stahl-Titan-Legierungen, Nano- und Partikeltechnologien und die Energie- und Verbrennungsforschung. Aus dem Bereich der Lebenswissenschaften sind die Knochen-Demineralisierung, Osteoporoseforschung und Haltbarkeit etwa von Zahnimplantaten, die Telemedizin und intelligente Textilien sowie die Proteinkristallisation zur Arzneimittelentwicklung in der Pharmaindustrie interessante Themen.

Fluid physics was the parent discipline of another experiment carried out on an ISS precursor flight. Aiming to develop diagnostic methods further, the DiaCdem Chip Technologies GmbH tested the pumping behavior of microfluidic structures in the weightlessness of a DLR parabolic flight. The ultimate objective was to develop a miniaturized diagnostic system („Lab-on-a-Chip“) for blood and other fluids for use in space as well as in terrestrial medical emergency situations, in gerontology, and on expeditions.

Once COLUMBUS and its voluminous laboratory equipment have been commissioned, the range of industrial ISS uses will expand considerably. Researchers from industrial companies and consortiums as well as networks of manufacturers and research organizations are studying new subjects with a view to researching them in microgravity on precursor flights and on the ISS itself. In materials science, for instance, research fields include the thermophysical properties of steel-titanium alloys, nano and particle technologies, and energy and combustion. Subjects of interest in the life sciences include the demineralization of bones, the investigation of osteoporosis, the durability of dental implants, telemedicine, smart textiles and, in the pharmaceutical industry, the crystallization of proteins for new drugs.



Thomas Reiter mit dem Experiment SkinCare
Thomas Reiter with the experiment SkinCare





DIE MISSION COLUMBUS

THE COLUMBUS MISSION

Die Mission im Überblick

Mission overview



Der europäische Verbindungsknoten 2 zum Andocken von COLUMBUS und KIBO
The European Connecting Node 2 where COLUMBUS and KIBO will dock

Im Dezember 2007 startet das europäische Raumlabor COLUMBUS, um an der Internationalen Raumstation montiert zu werden. Dies ist der Abschluss von jahrelanger Vorbereitung und harter Arbeit. Mit einer geplanten Lebensspanne von zehn Jahren wird COLUMBUS Geschichte schreiben als erstes europäisches Raumlabor für die Langzeitforschung unter Weltraumbedingungen.

Der deutsche Astronaut Hans Schlegel und sein französischer Kollege Léopold Eyharts sind Crew-Mitglieder auf der Mission COLUMBUS, die das Raumlabor an der ISS montieren und in Betrieb nehmen wird. Gemeinsam mit fünf NASA-Astronauten werden sie im Space Shuttle Atlantis auf dem Flug STS-122 vom Kennedy Space Center in Florida starten.

Die Mission COLUMBUS besteht aus unterschiedlichen Abschnitten. Zunächst wird das europäische Labor während des elftägigen STS-122 Fluges an die Station andockt, anschließend eingeschaltet und in Betrieb genommen. Bei einem weiteren Außenbordeinsatz (EVA) werden die Astronauten die externen Versuchseinrichtungen an COLUMBUS anbringen. Schließlich erledigen sie weitere Aufbau- und Wartungsarbeiten. Hans Schlegel wird während seines Weltraumaufenthaltes zudem wissenschaftliche Experimente und PR-Aktivitäten durchführen.

Die Mission COLUMBUS wird nach dem Abdocken des Space Shuttles von Léopold Eyharts fortgeführt, der für drei Monate Mitglied der ISS-Expeditionscrew sein wird.

In December 2007, the European Columbus laboratory will be launched and become an integral part of the International Space Station, bringing years of organization and hard work to fruition. With a projected lifetime of ten years, it will write history as the first European space laboratory dedicated to long-term research under space conditions.

The German astronaut Hans Schlegel and his French colleague Léopold Eyharts will be crew members on the COLUMBUS assembly and commissioning mission. They are scheduled to take off on space shuttle Atlantis flight STS-122 from the Kennedy Space Center in Florida as part of a seven-man crew together with five NASA colleagues.

The COLUMBUS mission consists of different parts. In the first part, the European laboratory will be attached to the ISS, activated and commissioned during the eleven-day STS-122 mission. During another extra vehicular activity (EVA), astronauts will attach the European external experiment package and do other assembly and maintenance work. During his stay in space, Hans Schlegel will also carry out experiments and PR activities.

After the undocking of the shuttle, the COLUMBUS mission will be continued by Léopold Eyharts, who will remain on the station for three months as an ISS expedition crew member. In addition to his duties as second ISS flight engineer, he will continue commissioning COLUMBUS, activate its internal experiment facilities and undertake European research, PR and educational activities.

Neben seinen Aufgaben als zweiter ISS-Flugingenieur wird er die Inbetriebnahme des europäischen Weltraumlabor fortführen, die internen Forschungsanlagen hochfahren sowie europäische Forschung, PR- und Bildungsaktivitäten betreiben.

Die Schwerpunkte der Mission COLUMBUS sind:

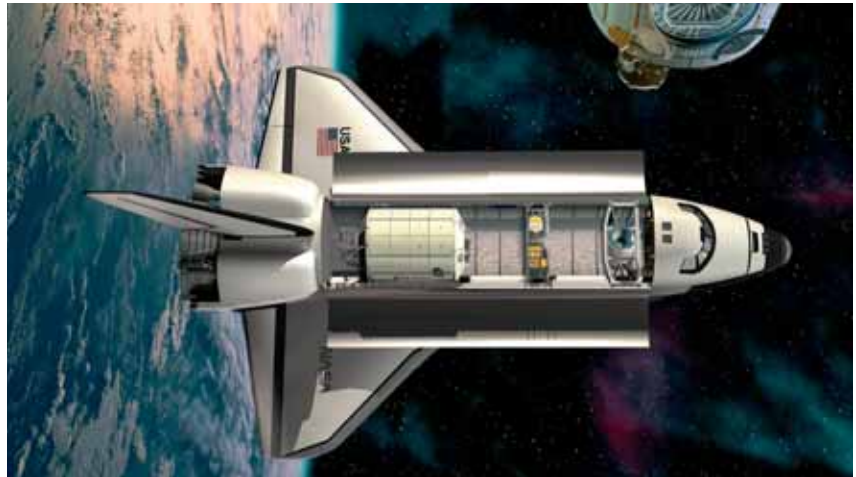
Installation des Weltraumlabor COLUMBUS

Das COLUMBUS-Labor wird Astronauten eine komfortable Umgebung bieten, um wissenschaftliche Forschung aus verschiedenen Disziplinen betreiben zu können. Es wird am Knoten 2 („Harmony“) angebracht werden.

COLUMBUS wird in der Ladebucht des Space Shuttles transportiert werden. Am vierten Flugtag wird es der deutsche Astronaut Hans Schlegel gemeinsam mit seinem amerikanischen Kollegen Rex Walheim an der ISS montieren. Einen Großteil dieses ersten EVA werden die Astronauten damit verbringen, COLUMBUS noch in der Ladebucht des Shuttles vorzubereiten und aus dieser zu hieven. Mithilfe des Roboterarms der Raumstation werden sie das Labor dann zu seiner permanenten Position an Steuerbord (rechts) des Knotens 2 befördern.

Aktivierung und Inbetriebnahme von COLUMBUS

Nachdem COLUMBUS mit der Station verbunden sein wird, werden Schlegel und Eyharts sich mit einigen NASA-Kollegen um die Aktivierung und Inbetriebnahme des Labors kümmern. Zunächst werden sie COLUMBUS mit den Stationssystemen für die Energieversorgung und den Wärmehaushalt verbinden. Wenn sie danach das druckbeaufschlagte Labor betreten haben, werden sie die Anordnung der COLUMBUS-Einrichtung vom Start-Zustand in den Betriebs-Zustand umbauen. Hierbei werden sie unter anderem Halteklammern beseitigen, Forschungseinrichtungen verlagern und diese über Kabel mit den relevanten COLUMBUS- und Stations-Systemen verbinden.



The major activities of the COLUMBUS mission are as follows:

Install the COLUMBUS laboratory

The COLUMBUS Laboratory will provide a comfortable environment for astronauts to carry out experiments from a variety of scientific disciplines. It will be attached to the European-built Node 2 (Harmony).

COLUMBUS will be transported to the station in the shuttle's cargo bay. On the fourth day of the flight, it will be installed during the first mission EVA by ESA astronaut Hans Schlegel together with his American colleague Rex Walheim. Much of the time of the first EVA will be spent getting COLUMBUS ready in the shuttle's cargo bay and heaving it out. The station's robotic arm will then move the laboratory to its permanent location on the starboard or right-hand side of Node 2.

Activate and commission COLUMBUS

Once COLUMBUS is attached, Schlegel and Eyharts as well as some of their NASA colleagues will look after activating and commissioning the laboratory.

Künstlerische Darstellung von COLUMBUS in der Ladebucht des Space Shuttles während des Fluges STS-122

Artist's impression of the Space Shuttle docking with the European Columbus laboratory on mission STS-122



Künstlerische Darstellung von COLUMBUS
Artist's impression of COLUMBUS

Die Inbetriebnahme des Labors ist eine äußerst komplexe Aufgabe, die nicht vollständig während der elftägigen Shuttle-Mission erfüllt werden kann. Der ESA-Astronaut Eyharts, der im Anschluss für drei Monate auf der ISS bleibt, wird die Inbetriebnahme von COLUMBUS gemeinsam mit den zwei anderen Mitgliedern der Expeditionscrew 16 fortführen. In dieser Zeit werden sie alle Forschungseinrichtungen betriebsbereit schalten und an ersten Versuchen im europäischen Labor arbeiten. Die wissenschaftlichen Einrichtungen in COLUMBUS sind das Biolab für biologische Experimente, das Fluid Science Laboratory für die Untersuchung von Flüssigkeiten, das European Physiology Module für die Humanmedizin und das European Drawer Rack, das kleinere Experimente unterschiedlicher Disziplinen aufnehmen kann.

Anbringung der äußeren Nutzlast an COLUMBUS

EuTEF und SOLAR sind die beiden europäischen Nutzlasten, die während des dritten EVA an der Außenhülle von COLUMBUS installiert werden sollen. Hierbei wird Léopold Eyharts den Roboterarm der Station lenken, der einen der EVA-Astronauten zwischen der Ladebucht des Space Shuttles, wo sich EuTEF und SOLAR zunächst befinden, und der äußeren Nutzlasthalterung von COLUMBUS, wo die Experimente angebracht werden sollen, befördert. Die beiden EVA-Astronauten werden Rex Walheim und Stanley Love von der NASA sein. EuTEF beinhaltet verschiedene Experimente, unter anderem eine Vielzahl von biologischen Versuchen. SOLAR wird für rund zwei Jahre die Sonne eingehend untersuchen.

Austausch eines NASA-Astronauten durch einen ESA-Astronauten als Mitglied der Expeditionscrew

Nach dem deutschen Astronauten Thomas Reiter 2006 wird Léopold Eyharts der zweite Europäer sein, der Mitglied der ISS-

To begin with, they will connect the laboratory to the station's power supply and climate control systems. Having entered the now-pressurized laboratory, they will reconfigure the internal facilities from launch to orbit status. This includes removing launch brackets as well as relocating experiment facilities and connecting them to the relevant COLUMBUS and ISS systems by cables.

Commissioning the laboratory is a very complex task that cannot be carried out entirely during the eleven-day shuttle mission. ESA astronaut Eyharts, who will remain on the station for three months, will complete the commissioning of COLUMBUS together with the two other members of the expedition 16 crew. During that time, they will activate all experiment facilities and work on the first experiments in the European laboratory. The scientific facilities in COLUMBUS include Biolab for biological experiments, the Fluid Science Laboratory for fluid studies, the European Physiology Module for human physiology experiments and the European Drawer Rack for a range of smaller experiments in various disciplines.

Attach external payloads to COLUMBUS

Two European payloads, EuTEF and SOLAR, will be mounted on the outer hull of the COLUMBUS laboratory during the third EVA. Léopold Eyharts will be operating the station's robotic arm, transporting one of the spacewalking astronauts between the shuttle's cargo bay (where EuTEF and SOLAR are stowed) and the COLUMBUS laboratory's external payload rack (where they will be installed). The astronauts on EVA will be Rex Walheim and Stanley Love. EuTEF incorporates a variety of facilities for exobiology and other experiments. SOLAR will carry out an in-depth study of the Sun currently scheduled to last two years.

Exchange a NASA for an ESA astronaut on the ISS Expedition crew

After the German astronaut Thomas Reiter in 2006, Léopold Eyharts will be

Stammbesatzung wird. Neben dem Lenken des Roboterarms und der Inbetriebnahme von COLUMBUS wird er eine Reihe von Aufgaben eines Langzeitastronauten an Bord der ISS wahrnehmen, wie Führung und Kontrolle der Raumstation, Überwachung der Umweltkontrollen und des Lebenserhaltungssystems, Crew-Gesundheit und -Sicherheit oder EVAs. Eyharts wird für etwa drei Monate an Bord der ISS bleiben und 2008 mit dem Space Shuttle Flug STS-123 zurück zur Erde fliegen. An Bord der Raumstation wird er den NASA-Astronauten Dan Tani als zweiter Bordingenieur der Expeditionscrew 16 ersetzen.

Durchführung des europäischen Wissenschaftsprogramms

Während ihrer Missionen werden Hans Schlegel und Léopold Eyharts an einer Reihe von Experimenten für die europäische Wissenschaft arbeiten. Dies beinhaltet auch die ersten Versuche im europäischen Raumlabor COLUMBUS. Weitere europäische Experimente werden vom russischen Kosmonauten Yuri Malenchenko durchgeführt werden. Die Versuche erstrecken sich über eine große Bandbreite von Themen. Solche, welche die schwerelose Umgebung der Raumstation benötigen, kommen aus den Bereichen der Humanphysiologie, Biologie, Flüssigkeitsforschung und Strahlungsbelastung. Solche, die unmittelbar dem Weltraum ausgesetzt sein müssen, finden in der neuen externen Nutzlast von COLUMBUS statt und kommen etwa aus der Exobiologie, Sonnenforschung, Materialwissenschaft oder testen Monitor- und Sensortechnologien.

Abbau eines Gyroskops

Während ihres dritten Außenbordeinsatzes (EVA) werden die Astronauten ein ausgefallenes Gyroskop, eine Art Kreisel, abbauen, das zeitweilig an einer externen Lagerplattform angebracht war. Es wird in der Ladebucht des Shuttles verstaut zurück zur Erde gebracht. Die Gyroskope sind notwendig, um die orbitale Lage der Station zu kontrollieren.

the second European to become a member of an ISS permanent crew. In addition to operating the robot arm and commissioning COLUMBUS, he will take some of the duties of an ISS permanent crew member such as guiding and controlling the ISS, monitoring the environmental control and life support systems, looking after the health and safety of the crew and doing EVAs. He will remain on the ISS for approximately three months, returning to Earth on the STS-123 flight in 2008. On the ISS, Eyharts will replace NASA astronaut Dan Tani as second flight engineer on expedition 16.

Implement the European science program

During their mission, Hans Schlegel and Léopold Eyharts will carry out a number of experiments for the European scientific community, including the first ever to be performed in COLUMBUS. Further European experiments will be carried out by the Russian cosmonaut Yuri Malenchenko. These experiments cover a wide range of subjects. Those requiring the weightless environment inside the ISS will address human physiology, biology, fluid research and radiation exposure. Those that must be exposed to space will be run in the new external payloads on COLUMBUS to investigate problems from exobiology, solar research and materials science or to test monitoring and sensor technologies.



Kerndaten der Mission / Key Mission Data

Europäischer Missionsname / European Mission Name: Columbus

Shuttle Mission: STS-122

ISS Assembly Flight: 1E

Primary Payload: Columbus

Secondary Payloads: EuTEF, SOLAR, Nitrogen Tank Assembly

Spacecraft: Shuttle Orbiter Atlantis

Shuttle-Besatzung / Shuttle Crew

Shuttle Commander: Stephen Frick, NASA

Shuttle Pilot: Alan Poindexter, NASA

Mission Specialist: Hans Schlegel, ESA

Mission Specialist: Rex Walheim, NASA

Mission Specialist: Stanley Love, NASA

Mission Specialist: Leland Melvin, NASA

ISS Flight Engineer

(kommend / ascent): Léopold Eyharts, ESA

ISS Flight Engineer

(gehend / descent): Dan Tani, NASA

Start und Landeplatz / Launch and Landing Sites

Startplatz / Launch Site: Launch Pad 39A, Kennedy Space Center, Florida, USA

Primärer Landeplatz / Primary Landing Site: Kennedy Space Center, Florida, USA

Sekundäre Landeplätze / Secondary Landing Sites: Edwards Air Force Base, California, USA & White Sands Space Harbor, New Mexico, USA

Geplantes Startdatum / Scheduled Launch Date: 06/12/2007

Startfenster / Launch Window: 10 Minuten / 10 minutes

Flughöhe (im Orbit) / Altitude

(In orbit): 226 Kilometer / 226 kilometers

ISS Flughöhe / ISS Altitude: ca. 400 Kilometer / approx. 400 kilometers

Inklination / Inclination: 51.6°

Missionsdauer / Mission Duration: 11 Tage / 11 days

Austauschen eines Stickstofftank-Komplexes

Während des zweiten EVA werden der deutsche Astronaut Hans Schlegel und der NASA-Astronaut Rex Walheim einen Stickstofftank-Komplex ersetzen, der sich am Gitter P1 befindet. Die alte Tankanlage wird in der Ladebucht des Shuttles untergebracht und zurück zur Erde transportiert werden.

Lieferung von Nachschub und Ausrüstung

Neben der üblichen logistischen Versorgung für die Crew des Space Shuttles und der Raumstation wird die Mission COLUMBUS Ausrüstung zur ISS bringen, die etwa für die innere und äußere Ausstattung des europäischen Labors benötigt wird. Ebenso wird weiteres Material angeliefert, das während der Außenbordaktivitäten an der Station angebracht wird. Zusätzlich zu den Anlagen für wissenschaftliche Experimente wird als neuer Ausrüstungsgegenstand der Stations-Besatzung das sogenannte European Flywheel Exercise Device dabei sein. Dieses nach dem Prinzip des Widerstandes arbeitende Trainingsgerät wird den Astronauten gegen den Abbau von Muskelmasse und Knochenstärke sowie die Schwächung der Muskelfunktion helfen.

Anhebung der ISS

Aufgrund der Reibungskraft der äußeren Restatmosphäre verliert die Internationale Raumstation kontinuierlich an Höhe, weshalb ihre Flugbahn von Zeit zu Zeit angehoben werden muss. So es sein Treibstoffvorrat erlaubt, wird der Shuttle am neunten Flugtag hierfür seine Triebwerke zünden. Ansonsten übernimmt der russische Versorgungsfrachter Progress diese Aufgabe, wenn er an der Station andockt ist. Künftig wird auch das europäische Automated Transfer Vehicle (ATV) hierfür eingesetzt werden. Die sogenannten „Reboosting Operations“ werden stets so geplant, dass sie nicht mit laufenden Experimenten zusammenfallen, da durch das Manöver die Qualität der Schwerelosigkeit an Bord der ISS beeinträchtigt wird.

Remove a gyroscope

During the third EVA or spacewalk, the astronauts will detach a failed gyroscope – a kind of spinning top – temporarily situated on an external platform and stow it in the shuttle's cargo bay for return to Earth. Gyroscopes are used to control the attitude of the space station in orbit.

Replace a nitrogen tank assembly

During the second EVA, German astronaut Hans Schlegel and NASA astronaut Rex Walheim will replace a nitrogen tank assembly on the P1 truss section. The old nitrogen tank assembly will be stowed in the shuttle's cargo bay and returned to earth.

Delivery of Supplies and Equipment

In addition to the usual logistical supplies for the shuttle and ISS crews, the mission will bring components for the exterior and interior equipment of COLUMBUS as well as other equipment that will be installed during EVAs. In addition to the facilities for scientific research one new piece of equipment for the ISS crew will be the European flywheel exercise device. Working with friction, this exercise device will help astronauts to combat muscle and bone atrophy as well as muscle function impairment.

Reboost the ISS

The drag of the outermost layers of the atmosphere causes the International Space Station to lose height continually, so that it occasionally needs reboosting to a higher altitude. On flight day 9, therefore, the shuttle's engines will be fired to raise the ISS to a higher altitude if its fuel supplies permit. On other occasions, this is done by the Russian Progress supply spacecrafts while they are docked on the ISS. In the future this function will also be carried out by the European Automated Transfer Vehicle (ATV). Reboosting operations are always planned so as not to coincide with ongoing experiments as they disrupt the quality of weightlessness on the Station.

Die Besatzung der Mission COLUMBUS

Die ESA-Astronauten Hans Schlegel und Léopold Eyharts sind Teil der siebenköpfigen Shuttle-Crew, gemeinsam mit den NASA-Astronauten Stephen Frick (Shuttle Commander), Alan Poindexter (Pilot) und den Missionsspezialisten Rex Walheim, Stanley Love und Leland Melvin. An Bord der ISS wird die Expeditionscrew 16 sein: ISS-Commander Peggy Whitson (NASA) sowie die ISS-Flugingenieure Yuri Malenchenko (Roskosmos) und Daniel Tani (NASA), den Léopold Eyharts ersetzen wird.

Hans Schlegel

Schlegel wurde am 3. August 1951 in Überlingen geboren, betrachtet jedoch Aachen als seine Heimatstadt. Er ist verheiratet mit der Astronautin und Berufspilotin Heike Schlegel-Walpot und hat sieben Kinder. Zu seinen Hobbys gehören Skifahren, Tauchen und Fliegen, Lesen und Heimwerken.

1968/69 hielt sich Schlegel in den USA als Austauschschüler des American Field Service an der High-School auf und machte den Abschluss an der Lewis Central High School, Council Bluffs, Iowa. 1970 absolvierte er das Abitur am Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Hansa-Gymnasium in Köln, 1979 das Diplom in Physik an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Schlegel ist Mitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) und des American Field Service, Interkulturelle Begegnungen e.V. (AFS). Als besondere Auszeichnungen erhielt er das Verdienstkreuz 1. Klasse des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland sowie den russischen Orden der Völkerfreundschaft und die „Exceptional Achievement Medal“ der NASA.

The Crew of the COLUMBUS mission

ESA astronauts Hans Schlegel and Léopold Eyharts will form part of a seven-member shuttle crew along with NASA astronaut Stephen Frick (shuttle commander), Alan Poindexter (pilot) and mission specialists Rex Walheim, Stanley Love and Leland Melvin. On the ISS will be the Expedition 16 crew: ISS commander Peggy Whitson (NASA) and ISS flight engineers Yuri Malenchenko (Roskosmos) and Daniel Tani (NASA), whom Léopold Eyharts will be replacing.

Hans Schlegel

Although he was born in Überlingen on August 3, 1951, Schlegel considers Aachen his home town. He is married to astronaut Heike Walpot, with seven children. His hobbies include skiing, scuba-diving, flying and reading as well as DIY around the home.

Schlegel spent 1968/69 in the US as an American Field Service (AFS) exchange student and graduated from Lewis Central High School, Council Bluffs, Iowa. In 1970 he graduated from the Hansa Gymnasium, a Cologne high school emphasizing mathematics and science. In 1979 he received a diploma in physics from the University of Applied Sciences of Rhineland-Westphalia (RWTH) in Aachen.

Schlegel is a member of the Deutsche Physikalische Gesellschaft (German Physical Society) and of the AFS inter-cultural encounters section. As a special distinction, he was awarded the Service Cross First Class of the Order of Merit of the Federal Republic of Germany, the Russian Medal of Friendship and NASA's Exceptional Achievement Medal.



Die Besatzung der Mission COLUMBUS
The Crew of the COLUMBUS mission



Hans Schlegel

1970-72 war Hans Schlegel Fallschirmjäger bei der Bundeswehr, die er als Leutnant verließ. Nach einigen Wehrübungen folgte 1980 seine Ernennung zum Oberleutnant der Reserve. Von 1979 bis 1986 war er wissenschaftlicher Angestellter an der RWTH Aachen in der Fachrichtung experimentelle Festkörperphysik und mit dem Forschungsschwerpunkt elektronische Transporteigenschaften und optische Eigenschaften von Halbleitern. 1986-88 arbeitete Schlegel als Verfahrensspezialist für zerstörungsfreie Werkstoffprüfung in der Abteilung für Forschung und Entwicklung der Firma „Institut Dr. Friedrich Förster GmbH & Co. KG“ in Reutlingen.

Zwischen 1988 und 1990 wurde Schlegel im DLR zum Wissenschaftsastronauten ausgebildet. Hierzu gehörten Theorie sowie praktische Erfahrung der Schwerelosigkeit, die er während zahlreicher Experimente auf etwa 1.300 Parabeln an Bord einer KC-135 gewann. Weiterhin ließ er sich zum geprüften Forschungstaucher ausbilden und erwarb die Privatpilotenlizenz einschließlich der Instrumenten- und Kunstflugberechtigung.

1990 wurde Schlegel zum Nutzlastspezialisten für die D-2 Mission ernannt und begann die Ausbildung an den wissenschaftlichen Experimenten in Köln und im Johnson Space Center in Houston, Texas. Diese erfolgreiche, zweite deutsche Spacelab-Mission fand vom 26. April bis 6. Mai 1993 an Bord der Raumfähre Columbia (STS-55) statt. Während D-2 wurden rund 90 Experimente auf den Gebieten Lebenswissenschaften, Materialwissenschaften, Physik, Robotik und Astronomie sowie Untersuchungen zur Erdatmosphäre durchgeführt.

From 1970-72, Schlegel served as a paratrooper with the armed forces. He left with the rank of lieutenant, and after several reserve trainings he was appointed reserve lieutenant in 1980. From 1979-86 he worked as a scientific assistant at the University of Applied Science in Aachen, researching in experimental solid-body physics and studying the electronic transport and optical properties of semi-conductors. From 1986-88 he worked as a specialist in non-destructive testing in the research and development department of the company Institut Dr. Förster GmbH & Co. KG in Reutlingen.

From 1988 to 1990, Schlegel was trained as a scientific astronaut, which included theoretical instruction as well as the practical experience of weightlessness which he acquired on some 1,300 parabolas on a KC-135. He became a certified research diver and holds a private pilot's license, including instrument rating and aerobatics.

In 1990, having been appointed payload specialist for the D-2 Mission, he began training for the mission's scientific experiments in Cologne and at the Johnson Space Center in Houston, Texas. This successful second German Spacelab mission took place from April 26 to May 6, 1993 on board the shuttle Columbia (STS-55). Around 90 experiments were conducted during the D-2 mission to study problems related to the life sciences, materials science, physics, robotics, astronomy and the Earth's atmosphere.

In August 1995 he was accepted by the Yuri A. Gagarin cosmonaut training center near Moscow to train for the German-Russian MIR'97 Mission as a backup. During the mission (February 10 to March 2, 1997) he was responsible for station-to-ground radio communications as crew interface coordinator (CIS). Between June 1997 and January 1998, he underwent additional training as second flight engineer on the Russian space station Mir.

Im August 1995 wurde Schlegel in das Training als Ersatzmann für die deutsch-russische Mission Mir'97 im Yuri A. Gagarin-Kosmonauten-Ausbildungszentrum bei Moskau aufgenommen. Während dieser vom 10. Februar bis 2. März 1997 dauernden Mission war er als Crew Interface Coordinator (CIC) für den Bord-Boden-Funkkontakt verantwortlich. Von Juni 1997 bis Februar 1998 folgte eine Zusatzausbildung zum 2. Bordingenieur für die russische Raumstation Mir.

1998 wurde Schlegel in das Europäische Astronautenkorps der ESA aufgenommen und zum Johnson Space Center in Houston abgeordnet, um sich als Missionsspezialist mit dem NASA-Astronautenjahrgang 1998 ausbilden zu lassen. Hierzu zählen das Training in T-38-Jets, das Shuttle Rendezvous und Docking, Robotik und Außenbordeinsätze (EVA). Zusätzlich zu ihrer Ausbildung nehmen die Astronauten verschiedene Aufgaben bei der NASA wahr. Schlegel hat in der ISS-Abteilung für Mechanismen und Strukturen, Mannschaftsausrüstung und ISS-Systeme gearbeitet. Weiterhin hat er in der Robotik-Abteilung sowie als CAPCOM, der für die Kommunikation mit der ISS-Bordmannschaft zuständig ist, gearbeitet. In dieser Funktion hat ihn die NASA zum leitenden ISS-CAPCOM für die ISS Expeditionscrew 10 bestellt.

Seit Mai 2005 ist Schlegel leitender ESA-Astronaut im Johnson Space Center. Seit September 2005 arbeitete er als Shuttle CAPCOM, als Ausbilder für ISS-CAPCOMs und leitete ein Team von 12 Mitgliedern auf dem Gebiet ISS-Systeme und Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Im Juli 2006 wurde Schlegel für die STS-122 Shuttlemission benannt, die im Dezember 2007 das europäische COLUMBUS-Labor zur Internationalen Raumstation bringen wird. Seit Oktober 2006 absolvierte Schlegel ein missionspezifisches Training, insbesondere für den EVA Einsatz, um COLUMBUS an die ISS zu montieren, und für die darauf folgende Inbetriebnahme.

In 1998 Schlegel joined ESA's European Astronaut Corps, whence he was seconded to the Johnson Space Center in Houston to be trained as a mission specialist together with the astronaut class of 1998. The course covered flying on T-38 jets, shuttle rendezvous and docking maneuvers, robotics and extra-vehicular activities (EVAs). In addition to their training, astronauts usually perform a variety of other duties for NASA. For Schlegel, these included working in the departments for ISS mechanisms and structures, crew equipment and ISS systems. In addition, he worked in the robotics department and as CAPCOM, the person who handles communications with the ISS crew. Ultimately, NASA appointed him CAPCOM for the Expedition 10 crew on the ISS.

Since May 2005 Schlegel has been ESA's leading astronaut at the Johnson Space Center. Since September 2005, he has been serving as shuttle CAPCOM and as trainer for shuttle CAPCOMs. Concurrently, he has been leading a team of 12 working on ISS systems and man-machine interfaces.

In July 2006, Hans Schlegel was assigned to the STS-122 shuttle mission that will deliver the European Columbus laboratory to the International Space Station in December 2007. Since October 2006, Schlegel has been undergoing mission-specific training, concentrating on the EVA required to attach COLUMBUS to the ISS as well as on commissioning the laboratory.





Aktuelle deutsche Forschung auf der ISS

Current German Research Projects on the ISS

Zusätzlich zu den vielen anderen Aufgaben der Astronauten auf der COLUMBUS-Mission werden Hans Schlegel und Léopold Eyharts auch biomedizinische Experimente für europäische Wissenschaftler durchführen. Bei vier der fünf Projekte handelt es sich um die Fortsetzung von laufenden Experimenten, deren Ergebnisse jetzt mit weiteren Messungen statistisch abgesichert werden sollen. Für ein fünftes Experiment zur Raumorientierung stellen die Astronauten der STS-122-Mission die ersten Probanden dar.

Die Anpassung des menschlichen Gleichgewichtssystems an wechselnde Schwerkraftbedingungen zu verstehen, den Ursachen der Raum- oder Reisekrankheit sowie der Rückenschmerzen der Astronauten auf die Spur zu kommen, sind einige der Forschungsziele. Zwei weitere Experimente befassen sich mit dem Problem der selektiven Zerstörung von jungen roten Blutkörperchen, der sogenannten Neocytolyse, und den Auswirkungen des Weltraumaufenthalts auf die Chromosomen der Astronauten („chromosomes-2“). Die Experimente wurden im internationalen Wettbewerb ausgewählt und stammen von Forschergruppen aus Deutschland, Frankreich, Italien und den Niederlanden.

Im Folgenden sind die Projekte deutscher Wissenschaftler näher beschrieben, die für 2007 und die erste Jahreshälfte 2008 vorgesehen sind.

In addition to the multifarious duties of an astronaut on the COLUMBUS mission, Hans Schlegel and Léopold Eyharts will be conducting biomedical experiments for European scientists. Four out of five projects are continuations of ongoing experiments whose results are to be validated statistically in further experiments. In a fifth experiment, which relates to orientation in space, the astronauts of the STS-122 mission will be the first test subjects.

Understanding how the human vestibular system adapts to changes in gravity and tracking the causes of space or travel sickness as well as of the backaches suffered by astronauts are among the objectives of research. Another two experiments address the selective destruction of young red blood cells, a process called neocytolysis, and the effects of a stay in space on the astronauts' chromosomes ("Chromosomes-2"). Selected in an international competition, these experiments were developed by groups of researchers from France, Italy, the Netherlands and Germany.

In the following the projects of the German research teams, that will be conducted in 2007 and the first half of 2008, are described in more detail.

Lebenswissen- schaften – Strahlenbiologie

Strahlenbelastung von Astronauten – CHROMOSOME-2

Koordinator:
C. Johannes, Universität Essen

Chromosomes-2 ist die Fortsetzung eines Experiments von Wissenschaftlern der Universität Essen, das bereits von November 2002 bis Juli 2006 auf der ISS durchgeführt wurde.

Seit langem ist bekannt, dass Langzeitaufenthalte des Menschen im Weltraum aufgrund der Strahlung zu erhöhten Mutationsraten von Chromosomen führen können. Dies ist letztendlich ein Hinweis für erhöhtes Krebsrisiko. Ziel des Experiments „Chromosomes“ war es, mit Hilfe neuer cytogenetischer Methoden genauere Erkenntnisse über die mutagene Strahlenbelastung von Astronauten zu gewinnen. Hierzu werden die Chromosomen von peripheren Lymphocyten im Blut der Astronauten auf Veränderungen untersucht. Diese Methode wird inzwischen auch zur Erfassung der mutagenen Belastung durch Umweltgifte beim Menschen angewendet. In Vorversuchen konnten die Wissenschaftler nachweisen, dass die Mutationsrate mit der Aufenthaltsdauer und der Strahlendosis steigt. Damit können Chromosomenveränderungen gewissermaßen als „biologischer Strahlungsmesser“ herangezogen werden.

Im Weltraum wurden die Untersuchungen sowohl an Astronauten und Kosmonauten der ISS Langzeitcrews als auch zum Vergleich an solchen durchgeführt, die sich während Shuttlemissionen oder bei den sogenannten Taxiflügen mit Soyuz zur ISS nur für wenige Tage (bis zwei Wochen) im Weltraum aufgehalten hatten.

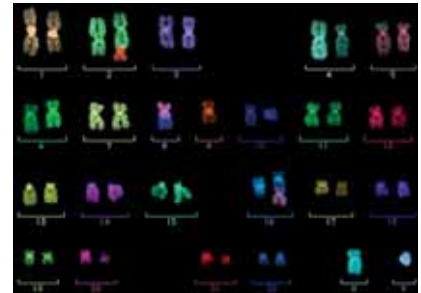
Life Sciences – Radiation Biology

Radiation Exposure of Astronauts – CHROMOSOME-2

Coordinator:
C. Johannes, Essen University

Chromosomes-2 continues an experiment conducted by scientists from Essen University between November 2002 and July 2006.

For a long time, we have known that radiation exposure during prolonged stays in space may increase the mutation rate of human chromosomes. Ultimately, this points at an enhanced risk of cancer. The Chromosomes experiment was designed to provide more precise information about the mutagenicity of radiation exposure in astronauts. New cytogenetic methods were used to identify changes in the chromosomes of peripheral lymphocytes in the astronauts' blood. Today, the same method is used to measure the mutagenic impact of environmental contaminants on humans. In preliminary tests, the scientists succeeded in establishing that the mutation rate increases in parallel with the radiation dose and the length of the stay. In a manner of speaking, this makes chromosome changes a kind of "biological radiation dosimeter".



Lymphozyten-Chromosomen eines Kosmonauten

Chromosomes of a Lymphocyte from a Cosmonaut

Die bisherigen Ergebnisse von ISS Astronauten und Kosmonauten zeigen eine deutliche Erhöhung der Mutationsrate für die Langzeitbesatzung, während für die Kurzzeitcrews keine Veränderungen festgestellt wurden.

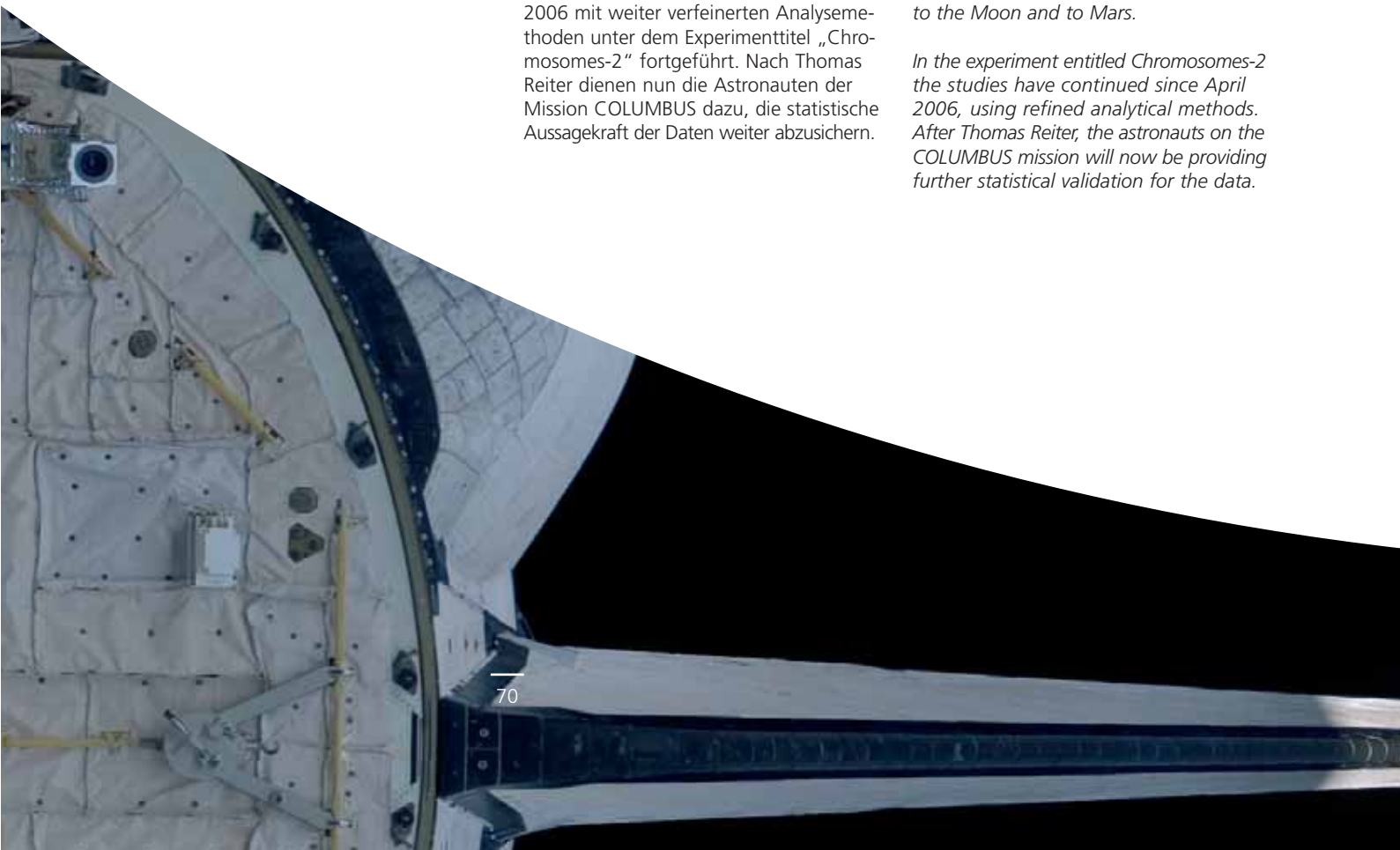
Zum Glück besitzen die Zellen jedoch einen wirksamen Reparaturmechanismus, so dass bei Kontrolluntersuchungen wenige Monate nach Ende der Langzeitmissionen keine Veränderungen an Chromosomen mehr festgestellt werden konnten. So zeigen die Ergebnisse insgesamt, dass das Strahlenfeld des erdnahen Weltraums zwar eine gewisse Belastung für die Astronauten darstellt. Aufgrund der schon eingesetzten Strahlenschutzmaßnahmen und der effektiven biologischen Reparaturmechanismen führen die Missionen jedoch nicht zu einer unverantwortbaren Gefährdung der Gesundheit. Vor allem die starke Wirkung der sogenannten schweren Ionen in der Weltraumstrahlung verlangt aber eine Verbesserung der Abschirmung besonders für künftige Langzeit-Missionen zu Mond und Mars.

Die Untersuchungen werden seit April 2006 mit weiter verfeinerten Analysemethoden unter dem Experimenttitel „Chromosomes-2“ fortgeführt. Nach Thomas Reiter dienen nun die Astronauten der Mission COLUMBUS dazu, die statistische Aussagekraft der Daten weiter abzusichern.

In space, studies involved astronauts and cosmonauts of ISS long-term crews as well as a control group of others who had stayed for no more than a few days (up to two weeks) in space on shuttle missions or Soyuz taxi flights. The results obtained so far from ISS astronauts and cosmonauts show marked increases in the mutation rates of the long-term crews whereas no such changes were found in the short-term crews.

Luckily, however, cells have their own repair mechanism that is effective enough so that no chromosome changes were found in follow-up examinations a few months after the end of the long-term missions. All in all, results showed that the radiation field in near-Earth orbit does expose astronauts to a certain strain which, however, does not constitute an indefensible health threat as it is offset by the effectiveness of the biological repair mechanisms and the radiation protection measures that are already in place. However, it is particularly the powerful effect of the so-called heavy ions in cosmic radiation that calls for better shielding to protect future long-term missions to the Moon and to Mars.

In the experiment entitled Chromosomes-2 the studies have continued since April 2006, using refined analytical methods. After Thomas Reiter, the astronauts on the COLUMBUS mission will now be providing further statistical validation for the data.



**Ein Phantom auf der ISS –
MATROSHKA: Messung der Welt-
raumstrahlung und ihrer Wirkung**

Koordinator:
G. Reitz, DLR Köln

Von Februar 2004 bis August 2005 befand sich ein Phantom an der Außenwand der Internationalen Raumstation ISS. Jetzt leistet es der Besatzung in der Station Gesellschaft. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um eine besondere Art von Weltraum-Spuk, sondern um ein ernsthaftes Experiment namens Matroshka zur Messung der Strahlenbelastung innerhalb und außerhalb der ISS. In Wirklichkeit ist das „Phantom“ eine Spezialpuppe, entwickelt und gebaut vom DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin.

Die „Phantompuppe“ selbst – mit Kopf und Oberkörper – ähnelt einem menschlichen Torso. Innerhalb der Puppe befinden sich an über 800 Positionen, unter anderem auch in verschiedenen simulierten menschlichen Organen, aktive und passive Strahlungsdetektoren. Diese Sensoren haben bereits wertvolle Daten geliefert, die jetzt von den beteiligten Wissenschaftlern ausgewertet werden. Um die Schutzwirkung des Raumanzugs zu simulieren, umgab die Puppe während ihres Aufenthalts außerhalb der ISS ein Behälter aus Kohlefaser.

Mit weiterentwickelten Sensoren ausgestattet, misst Matroshka derzeit die Strahlenbelastung im Innern der ISS, weitere sogenannte aktive Dosimeter wurden während der ASTROLAB-Mission im Oktober 2006 ergänzt. 2008 soll Matroshka nach einem Außenboreinsatz (EVA) die Messungen außerhalb der ISS wieder aufnehmen.

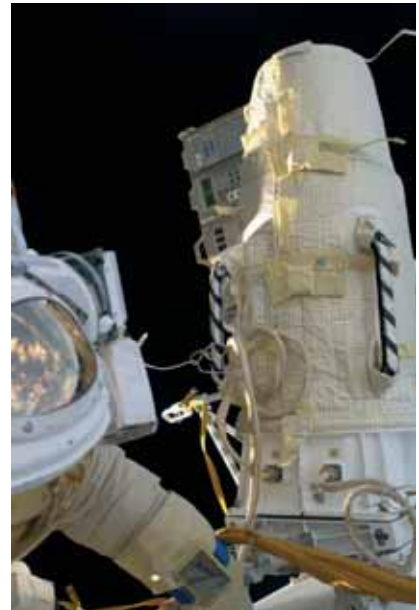
**A Phantom on the ISS – MATROSHKA:
Measuring Cosmic Radiation and its
Effects**

Coordinator:
G. Reitz, DLR Cologne

From February 2004 to August 2005, a phantom was attached to the outer wall of the International Space Station ISS. Now, it is inside to keep the crew company. However, we are not looking at a peculiar kind of space ghost but at a serious experiment called Matroshka, which measures radiation exposure both inside and outside the ISS. The “phantom” really is a special dummy that was developed and built by the DLR Institute of Aerospace Medicine.

Consisting of a head and upper torso, the “phantom dummy” itself resembles a human body. Inside, it is equipped with more than 800 active and passive radiation detectors widely distributed also at the locations of various simulated human organs. The valuable data already delivered by these sensors are now being evaluated by participating scientists. To simulate the protective effect of a space suit, the dummy was encased in a carbon-fibre container during its stay outside the ISS.

Equipped with advanced sensors, Matroshka is currently busy measuring radiation exposure inside the ISS. Further so-called active dosimeters have been installed in October 2006 during the ASTROLAB mission. 2008 Matroshka will be re-installed outside the ISS during an EVA to resume its measurements.



ISS-Außenboreinsatz am 18./19. August 2005: Matroshka (rechts) wird „abmontiert“
EVA on the ISS on August 18/19, 2005: “Dismantling” Matroshka (right)

Durch die Messung der Strahlendosis, die auf die Astronauten inner- und außerhalb der ISS einwirkt, lassen sich die Risiken kosmischer Strahlung für den menschlichen Körper einschätzen. Die Erkenntnisse aus diesem Experiment könnten dazu beitragen, Gegenmaßnahmen zu entwickeln, die einen geeigneten Schutz gegen die kosmische Strahlung darstellen.

Experimente zur Entstehung des Lebens mit Expose-EuTEF und Expose-R (2008)

Für die Strahlen- und Astrobiologen bricht mit dem Start der Anlagen Expose-EuTEF (European Technology Exposure Facility) und der russischen Expose-R, die an der Außenhülle von COLUMBUS beziehungsweise des russischen Labors installiert werden, ein neues Kapitel auf der Suche nach der Entstehung und Ausbreitung des Lebens an. Während Expose-EuTEF mit COLUMBUS zur Raumstation gebracht wird, erfolgt der Start von Expose-R im Frühsommer 2008 mit einem russischen Progress-Transporter. In beiden Anlagen werden verschiedene Organismen den extremen Umgebungsbedingungen des Weltraums ausgesetzt und ihre Überlebensfähigkeit untersucht; gleichzeitig wird die Stärke und Zusammensetzung der Weltraumstrahlung gemessen. Sechs der insgesamt 18 Experimente laufen unter der Federführung deutscher Forschungseinrichtungen, vor allem des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin des DLR in Köln-Porz.

By measuring the radiation doses to which astronauts are exposed inside and outside the ISS, the risks of cosmic radiation for the human body can be assessed. The results of this experiment may contribute towards the development of countermeasures that afford adequate protection from cosmic radiation.

Experiments on the origin of life with Expose-EuTEF and Expose-R (2008)

For radiation and astrobiologists, the commissioning of the Expose-EuTEF (European Technology Exposure Facility) and the Russian Expose-R facilities that will be installed on the outer hull of COLUMBUS and the Russian lab, respectively, marks the opening of a new chapter in their search for the origin and spread of life. While Expose-EuTEF will arrive at the space station together with COLUMBUS, Expose-R will be launched in the early summer of 2008 on a Russian Progress carrier. In both facilities, various organisms will be exposed to the extreme ambient conditions of space to investigate their ability to survive. Concurrently, the intensity and composition of space radiation will be measured. Six out of a total of 18 experiments will be coordinated by German research institutions, the DLR Institute of Aerospace Medicine in Cologne first among them.

Expose-EuTEF experiments (from the spring of 2008)

DOSIS – radiation dosimetry in Expose-EuTEF

Coordinator:
Günther Reitz, DLR Cologne

This experiment is about measuring cosmic radiation doses during the Expose-EuTEF mission. A variety of detectors will be employed to establish the dose and



Expose-EuTEF-Experimente (ab Frühjahr 2008)

DOSIS: Strahlen-Dosimetrie in Expose-EuTEF

Koordinator:
Günther Reitz, DLR Köln

In diesem Experiment geht es um die dosimetrische Erfassung der Weltraumstrahlung während der Expose-EuTEF-Mission. Hierzu werden von verschiedenen Detektoren die Dosis und die spektrale Zusammensetzung der Strahlung gemessen und in einer speziellen Datenbank zusammengefasst. Später werden die Daten den anderen Experimentatoren als Hintergrundinformation zur Verfügung gestellt.

R3D-E-II – Messung von UV- und ionisierender Strahlung

Koordinator:
D. Häder, Univ. Erlangen

In Ergänzung zum DOSIS-Experiment werden mit R3D-E-II andere Strahlungsbereiche gemessen. Hier geht es zum einen um die sogenannte PAR (photosynthetic active radiation) – also die Strahlung im Wellenlängenbereich von etwa 400 bis 700 Nanometern, die von Organismen zur Photosynthese genutzt werden kann. Zum anderen werden die verschiedenen Anteile der UV-Strahlung – UV-A, UV-B und UV-C – sowie die kosmische ionisierende Strahlung erfasst. Auch diese Daten dienen den anderen Experimentatoren als begleitende Information zu ihren eigenen Experimenten.



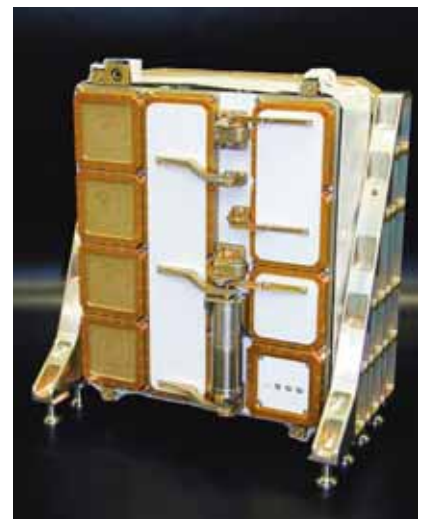
Expose-EuTEF: Behälter für die Proben
Expose-EuTEF: Sample Containers

spectral composition of the radiation, which will then be stored in a dedicated database. Later on, these data will be made available to other experimenters as background information.

R3D-E-II – measurement of UV and ionizing radiation

Koordinator:
D. Häder, Erlangen University

Complementing the DOSIS experiment, R3D-E-II will measure other radiation bandwidths. The first of these is the so-called PAR (Photosynthetic Active Radiation) with a wavelength ranging between c. 400 and 700 nanometers which organisms use for photosynthesis. Other measurements address the various fractions of UV radiation – UV-A, UV-B and UV-C – as well as ionizing cosmic radiation. Once again, these data will be supplied to other experimenters to support their own investigations.



Expose-EuTEF: Flugmodell
Expose-EuTEF: Flight Model



Im Inneren von COLUMBUS
Inside View of COLUMBUS

ADAPT – Adaptationsstrategien von Mikroorganismen

Koordinatorin:
Petra Rettberg, DLR Köln

In diesem Experiment wird die Fähigkeit von Organismen überprüft, sich auf verschiedene Strahlungsbedingungen einzustellen, wie sie etwa im erdnahen Orbit oder auch auf dem Mars vorhanden sind. Im Mittelpunkt steht die Vermutung, dass sich Organismen, die für lange Zeit einer starken UV-Strahlung ausgesetzt sind, an diese Bedingungen anpassen, also eine höhere UV-Resistenz entwickeln und dadurch weniger strahlenbedingte Schäden in ihrem genetischen Material erfahren.

PROTECT – Widerstandsfähigkeit von Sporen gegenüber extraterrestrischen Bedingungen

Koordinatorin:
Gerda Horneck, DLR Köln

Bei PROTECT geht es um die Widerstandsfähigkeit bestimmter Sporen gegenüber den extremen extraterrestrischen Bedingungen. Im Detail soll untersucht werden, wie hoch der Anteil der überlebenden Sporen ist und welche Zellschäden auftreten, aber nicht zum Tod führen. Schließlich sollen die Mechanismen aufgeklärt werden, die den Sporen zum Überleben verhelfen beziehungsweise zur Reparatur der Strahlenschäden führen.

ADAPT – adaptation strategies of microorganisms

Coordinator:
Petra Rettberg, DLR Cologne

This experiment investigates the ability of organisms to adapt to different radiation conditions such as those that exist in a near-Earth orbit or on Mars. The experiment hinges on the assumption that organisms which are exposed to powerful UV radiation for prolonged periods adapt to these conditions, reducing radiation-related damage to their genetic material by developing greater UV resistance.

PROTECT – resistance of spores to extraterrestrial conditions

Coordinator:
Gerda Horneck, DLR Cologne

PROTECT addresses the resistance of certain spores to extreme extraterrestrial conditions. Specifically, the project is designed to determine the proportion of surviving spores and the type of damage suffered by the cells without causing death. Lastly, it aims to establish what mechanisms help spores to survive and/or repair the damage caused by radiation.

Expose-R experiments (from mid-2008)

R3D-E – measuring UV and ionizing radiation

Coordinator:
D. Häder, Erlangen University

Like R3D-E-II, this experiment serves to measure ionizing cosmic rays as well as radiation with a wavelength of between approx. 250 and 700 nanometers. This basic information will then be made available to other experimenters to evaluate their own results.

Expose-R-Experimente (ab Mitte 2008)

R3D-E – Messung von UV- und ionisierender Strahlung

Koordinator:
D. Häder, Univ. Erlangen

Entsprechend R3D-E-II wird auch bei diesem Experiment die ionisierende Strahlung sowie der Wellenlängenbereich von etwa 250 bis 700 Nanometern gemessen. Diese Basisinformationen werden dann den anderen Experimentatoren zur Auswertung ihrer Experimente zur Verfügung gestellt.

SPORES – Sporen in künstlichen Meteoriten

Koordinatorin:
Gerda Horneck, DLR Köln

In Ergänzung zu PROTECT und ADAPT auf Expose-EuTEF hat auch dieses Experiment das Überleben von Organismen im Weltraum zum Thema. Die Wissenschaftler wollen damit die Chancen und Grenzen der Hypothese ausloten, dass Leben im Weltraum von einem Himmelskörper zum anderen gelangt sein könnte, damit auch nicht notwendigerweise auf der Erde entstanden ist (Panspermie-Hypothese). Hierzu werden Sporen von *Bacillus subtilis*, einem Bakterium, Pilzkonidien von *Trichoderma* sowie Sporen von drei verschiedenen Farnarten mit Meteoritenmaterial gemischt oder überdeckt, dann den extremen Weltraumbedingungen ausgesetzt und anschließend die Überlebensrate bestimmt.

SPORES – spores in artificial meteorites

Coordinator:
Gerda Horneck, DLR Cologne

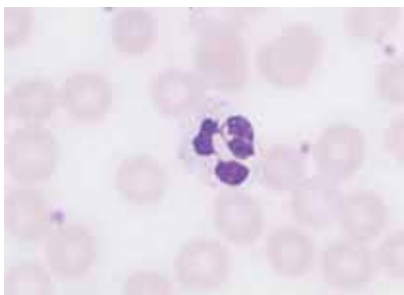
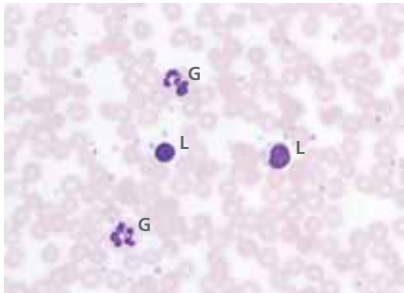
*Complementing PROTECT and ADAPT in Expose-EuTEF, this experiment also addresses the survival of organisms in space. Scientists intend to use it to sound out the chances and limitations of a hypothesis which says that life may have spread through space from one heavenly body to another, so that it did not necessarily originate on Earth (Panspermia hypothesis). For the experiment, spores of the bacterium *Bacillus subtilis*, conidiospores of the fungus *Trichoderma* and spores of three different species of fern will be mixed or covered with meteorite material and exposed to the extreme conditions prevailing in space, after which survival rates will be determined.*



SEM-Bild (Scanning Electron Microscopy) von *Bacillus subtilis* Sporen

SEM picture (Scanning Electron Microscopy) of spores of *Bacillus subtilis*





Blutausstriche mit weißen Blutzellen des Immunsystems: Granulozyten (G) und Lymphozyten (L)

Blood Smears showing white Blood Cells of the Immuno System: Granulocytes (G) and Lymphocytes (L)

Lebenswissen- schaften – Humanphysiologie

**Hormonelle und immunologische
Veränderungen bei Astronauten
während und nach Weltraumflügen –
IMMUNO**

Koordinator:
A. Chouker, Ludwig-Maximilians-
Universität, München

Mit dem Experiment IMMUNO wird ein neues Kapitel deutscher biowissenschaftlicher Weltraumforschung aufgeschlagen. Zwar ist seit langem bekannt, dass das Immunsystem von Astronauten durch den Weltraumaufenthalt beeinträchtigt wird, die genauen Ursachen und Mechanismen sind jedoch weitgehend unbekannt. Dem wollen jetzt deutsche Wissenschaftler abhelfen. Die DLR Raumfahrt-Agentur hat dazu in ihrem biowissenschaftlichen Programm einen Schwerpunkt zur Immunforschung eingerichtet, zu dem auch das Experiment IMMUNO gehört.

Vielfältige Stressfaktoren, wie Isolation, Arbeitsbelastung und Störungen des Schlafrythmus gehören wahrscheinlich zu den Auslösern der Schwächung des Immunsystems bei Astronauten. Aber auch die besonderen Bedingungen des Welt- raums wie Schwerelosigkeit und Strahlung tragen möglicherweise zu dieser Beein- trächtigung bei. Mit vergleichbaren Pro- blemen des Immunsystems, ausgelöst teilweise 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.

Life Sciences – Human Physiology

**Hormonal and immunological
Changes in Astronauts during and
after Space Flights – IMMUNO**

Coordinator:
A. Chouker, Ludwig Maximilians
University, Munich

The IMMUNO experiment opens up a new chapter in Germany's space life sciences research. While it has been known for a long time that the immune system of astronauts is impaired by their stay in space, the precise causes and mechanisms of this impairment remain largely unknown. German scientists now plan to remedy this situation. Towards this end, the DLR Space Agency has made immune research one of the focal points of its life sciences programme.

The deterioration of the immune system in astronauts is probably caused by a wide variety of stress factors, such as isolation, heavy workload, and a disturbed sleep pattern. Further contributions may come from the special conditions in space, such as weightlessness and radiation exposure. People who are seriously ill on Earth struggle against similar problems with their immune system, triggered in part by the same stress factors. In both cases, the immune system should be powerful enough to defend the body against biological and chemical pathogens but should not be overloaded either.

Scientists from the LMU in Munich are currently conducting comprehensive bio- chemical analyses supplemented by psy- chological tests to investigate immune- system changes in ISS long-term crews. From comparing these data to studies of patients who are isolated or confined to bed, they expect insights into the role of the various factors that weaken the immune system as well as into the mechanism of immune defence. Such

Mit umfangreichen biochemischen Analysen, ergänzt durch psychologische Tests, untersuchen Wissenschaftler der LMU München die Veränderungen des Immunsystems der ISS-Langzeit-Crews. Aus Vergleichen mit Isolations- und Bettruhestudien erwarten sie Aufschlüsse über die Rolle der einzelnen Faktoren, die das Immunsystem schwächen, sowie über den Mechanismus der Immunabwehr. Diese Kenntnisse sind die Voraussetzung für die Entwicklung neuer vorbeugender oder therapeutischer Maßnahmen für den Einsatz gleichermaßen beim Astronauten wie beim Schwerkranken in der Intensivmedizin.

Orientierung des Menschen im Raum während längerer Schwerelosigkeit – ETD

Koordinator:
A. Clarke, Charité Berlin

Die Probleme der Bewegungskrankheit, auch Kinetose genannt, 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. Bei Astronauten, bei denen gleiche Symptome aufgrund von veränderten Schwerkraftbedingungen auftreten können, spricht man von Raumkrankheit.

Die heutzutage allgemein anerkannte Ursache für die Kinetose ist ein sensorischer Konflikt, bei dem vorwiegend zwei verschiedene Systeme des Körpers „konkurrieren“. Da ist einerseits der Gleichgewichtssinn (vestibuläres System im Innenohr), der zu jeder Zeit die Orientierung des Kopfes zur Schwerkraft erfasst, und andererseits das visuelle, optische System.

knowledge constitutes the foundation for the development of new preventive or therapeutic methods, which may then be equally used on astronauts and on critically ill patients in intensive care.

Human Orientation in Space during prolonged Periods of Weightlessness; ETD

Koordinator:
A. Clarke, Charité Berlin

The problems arising from motion sickness, also known as kinetosis, comprise a number of symptoms such as pallor, outbreaks of cold sweat, nausea, and vomiting. Frequently, a feeling of lethargy and lassitude appears as well. As these problems often occur during shipboard journeys, they are generally designated as seasickness or travel sickness. In astronauts, who often show the same symptoms because of changes in gravity, the condition is called motion sickness.

It is generally accepted today that kinetosis is caused by a sensory conflict that is due mainly to two different body systems "competing" with each other. The first is the sense of balance (the vestibular system in the inner ear) which constantly monitors the attitude of the head relative to the force of gravity, while the other is the visual or optical system.

If we are provided with contradictory information by these two systems, a sensory conflict may result. Under microgravity conditions, for instance, our visual system may supply us with the usual information, while the vestibular system is no longer stimulated by our habitual orientation towards the force of gravity.



Der ESA-Astronaut Thomas Reiter trainiert mit dem ETD

ESA Astronaut Thomas Reiter during Training with ETD



Liefern uns die beiden Systeme widersprüchliche Informationen, kann es zu einem sensorischen Konflikt kommen. So übermittelt das visuelle System beispielsweise in der Schwerelosigkeit die üblichen Informationen, während das Gleichgewichtsorgan keine Reizung über unsere gewohnte Ausrichtung zur Schwerkraft erfährt.

Eine angemessene Behandlung beziehungsweise Vermeidung der Kinetose ist ein noch immer ungelöstes Problem. Zwar ist es möglich, gewisse Symptome durch Medikamente teilweise zu unterdrücken, eine Lösung stellt dies jedoch nicht dar.

Zur Untersuchung des Gleichgewichtssystems werden auf der ISS Messungen der Augenbewegungen mit dem für die ISS neu entwickelten 3D ETD (Eye Tracking Device) vorgenommen. Die Forscher lernen hierdurch die Vorgänge, die zu einer Kinetose führen können, genauer zu verstehen. Dieses Verständnis ist die Voraussetzung, um bessere Diagnose- und Therapiemöglichkeiten von Gleichgewichts- und Bewegungsstörungen sowohl für den Weltraum als auch für den klinischen Alltag entwickeln zu können.

Inzwischen wird das Eye Tracking Device in verschiedenen kommerziellen Ausgestaltungen von zwei Firmenausgründungen in Berlin erfolgreich vermarktet. Die Anwendungen sind höchst unterschiedlich. Sie reichen von der Feststellung der Müdigkeit von LKW- und Busfahrern über die Verlaufskontrolle bei der Laser-Hornhautabtragung zur Behandlung von Kurzsichtigkeit bis zur Diagnose einer Vielzahl von neurologischen Erkrankungen, etwa auch von Schwindel. Auch zur Verfolgung der Kopf- und Augenbewegung von Probanden bei der Werbewirkungsforschung wird das ETD erfolgreich eingesetzt.

The problem of how to treat or prevent kinetosis adequately remains unsolved to this very day. While certain symptoms may be partially suppressed by medication, this does not solve the problem itself.

To study the vestibular system, the eye movements of the astronauts on the ISS are tracked by a 3-D ETD (eye tracking device) specifically developed for use on the space station. This helps researchers improve their understanding of the processes that may lead to kinetosis, a sine qua non for finding better methods for diagnosing and treating balance disorders and motor disturbances both in space and in clinical practice.

Meanwhile, two spin-off companies have been founded in Berlin which successfully market the eye tracking device in a variety of commercial configurations. Applications differ widely, ranging from detecting tiredness in truck and bus drivers to checking the progress of ablative laser surgery on the cornea in the treatment of myopia, the diagnosis of a multitude of neurological diseases including dizziness, and tracking the eye and head movements of test subjects in advertising impact research.

Puls/Pneumocard – analysis of the cardiovascular and autonomic nervous system

(Puls: November 2002-January 2007; Pneumocard: since March 2007)

Coordinators:

J. Tank, Charité Berlin; V. Bayevsky, IBMP Moscow

This experiment addresses the effects of short and long-term space flights on the cardiovascular and metabolic systems. The physiological changes caused by the absence of gravity on space flights are massive. Thus, part of the blood volume moves to the upper half of the body. In parallel, changes occur in the regulation of the nervous system that is called autonomic because it is beyond the influence

**Puls/Pneumocard – Herz-Kreislauf-Analyse und autonomes Nervensystem
(Puls: November 2002 - Januar 2007;
Pneumocard: seit März 2007)**

Koordinator:

J. Tank, Charité Berlin; V. Baevsky,
IBMP Moskau

Diese Forschung beschäftigt sich mit der Auswirkung von Kurz- und Langzeit-Raumflügen auf die Kreislaufregulation und den Stoffwechsel. Die fehlende Schwerkraft bei Raumflügen verursacht umfangreiche physiologische Veränderungen. So verschiebt sich ein Teil des Blutvolumens in die obere Körperhälfte. Parallel dazu kommt es zu Veränderungen der Regulation des sogenannten autonomen, also nicht willentlich beeinflussbaren Nervensystems. Nach der Rückkehr zur Erde treten oft Störungen der Kreislaufregulation auf, die Mediziner als orthostatische Intoleranz bezeichnen. Ähnliche Störungen der Kreislaufregulation werden bei Patienten beobachtet. Die Wissenschaftler wollen durch ihre Forschung die Ursachen der Kreislaufstörungen bei Astronauten besser verstehen und gleichzeitig neue Diagnostik- und Therapieverfahren für Patienten auf der Erde entwickeln.

In Zusammenarbeit mit Kollegen des IBMP in Moskau wurde ein robustes, zuverlässiges und einfaches Gerät mit dem Namen „Puls“ entwickelt, das den Ansprüchen in der Raumfahrt Diagnostik genügt. Seit November 2002 wird es im russischen Labor der ISS eingesetzt. Bisher vorliegende Ergebnisse zeigen, dass sich Blutdruck, Herz- und Atmungsrate bei den bislang untersuchten acht Kosmonauten gut an die neuen Bedingungen im Weltraum anpassen. Nach etwa drei Monaten kommt es allerdings insgesamt zu einem allmählichen Verlust der funktionellen Reserve. Das bedeutet, dass die Systeme jetzt stärker ausgelastet sind und weiteren körperlichen oder psychischen Stress schlechter verkraften würden.

of the will. After the return to Earth, cardiovascular regulation is often impaired in a manner that is called orthostatic intolerance in medical parlance. Patients on Earth sometimes display similar symptoms. Through their research, scientists intend to improve their understanding of cardiovascular disorders in astronauts and develop new methods of diagnosis and therapy for patients on Earth.

In cooperation with colleagues from the Moscow IBMP, a robust, reliable and simple device called "Puls" was developed which meets the demands of space diagnostics. It has been used in the Russian ISS laboratory since November 2002. The findings of the eight cosmonauts that have been examined so far show that their blood pressures as well as their heart and respiration rates adapted well to the new conditions in space. After about three months, however, a gradual loss of functional reserves generally occurs, meaning that systems are strained closer to their limit and unable to digest additional physical or psychological stress as well as before.

On the other hand, the data obtained during and after each mission show wide individual fluctuations. Based on the results obtained so far, scientists hope that it might be possible in the future to prognosticate the regulatory types of astronauts and cosmonauts before a mission and select them accordingly. However, this calls for additional data which have been gathered under the "Pneumocard" experiment since March 2007.



Proband mit der Pneumocard-Ausrüstung
Subject with the Pneumocard Equipment

Allerdings gibt es bei den Daten während und nach den jeweiligen Missionen große individuelle Unterschiede. Aufgrund der bisherigen Ergebnisse hoffen die Wissenschaftler, dass es zukünftig vielleicht möglich sein wird, verschiedene regulatorische Typen von Astronauten und Kosmonauten vor einer Mission zu prognostizieren und dann entsprechend auszuwählen. Hierzu müssen allerdings noch weitere Daten erhoben werden. Dies geschieht seit März 2007 mit dem Experiment „Pneumocard“.

Auf der Basis der Erfahrungen des Puls-Experiments wurde eine neue Geräte-Generation entwickelt. Die klinische Prüfung dieses Gerätes an Patienten mit zentralnervösen und peripheren Erkrankungen des autonomen Nervensystems ist inzwischen erfolgreich abgeschlossen. Im Januar 2007 wurde dieses neue Gerät zur ISS gebracht, um die Messungen in erweiterter Form fortzusetzen. Seit März läuft nun die Datenerhebung, die bis Ende 2009 fortgesetzt werden soll.

Zum Vergleich wird die Kreislaufregulation bei gesunden Probanden, Querschnittspatienten und Patienten mit orthostatischer Intoleranz untersucht. Ergebnisse von Untersuchungen in Mikrogravitation an Bord der Internationalen Raumstation werden dann mit den an Patienten erhobenen Daten verglichen.

Based on the Puls experiment experience, a new device generation has been developed whose clinical trial on patients with central and peripheral disorders of the autonomic nervous system has meanwhile been concluded successfully. In January 2007, the new device was brought to the ISS to continue measurements on a larger scale. Beginning in March, the process of data gathering will be continued until the end of 2009.

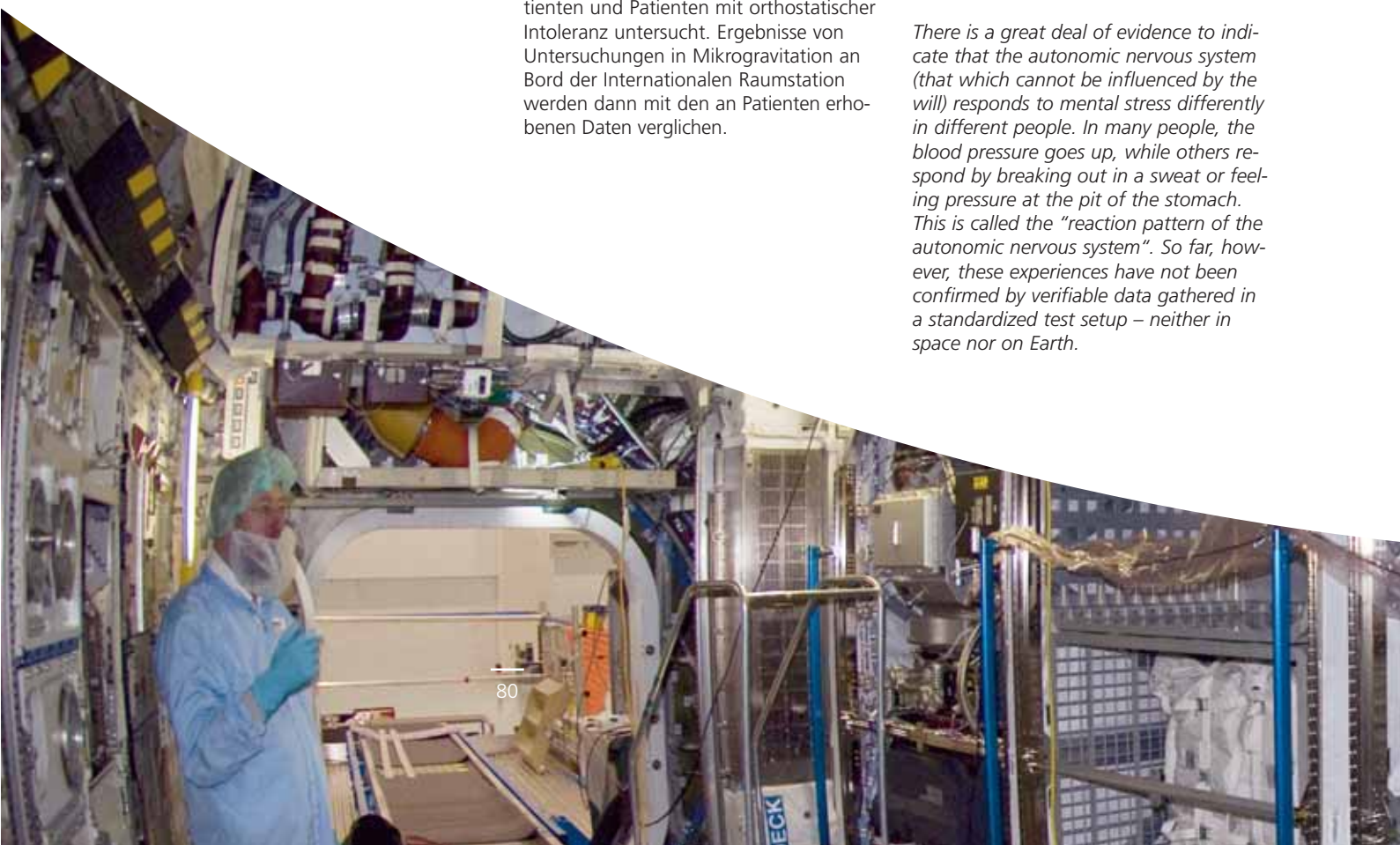
For purposes of comparison, cardiovascular regulation is being examined in healthy subjects as well as in patients suffering from paraplegia and orthostatic intolerance. Ultimately, the results of examinations conducted on board the International Space Station under microgravity conditions will be compared to those of the aforementioned patients.

HealthLab – measuring the mental stress and cardiovascular regulation of cosmonauts in zero gravity

Coordinators:

B. Johannes, DLR Hamburg; V. Salnitsky, IBMP Moscow

There is a great deal of evidence to indicate that the autonomic nervous system (that which cannot be influenced by the will) responds to mental stress differently in different people. In many people, the blood pressure goes up, while others respond by breaking out in a sweat or feeling pressure at the pit of the stomach. This is called the “reaction pattern of the autonomic nervous system”. So far, however, these experiences have not been confirmed by verifiable data gathered in a standardized test setup – neither in space nor on Earth.



HealthLab – Messungen zur psychischen Belastung und Kreislaufregulation der Kosmonauten in Schwerelosigkeit

Koordinator:

B. Johannes, DLR Hamburg; V. Salnitski, IBMP Moskau

Vieles deutet darauf hin, dass das autonome Nervensystem, also das nicht willentlich beeinflussbare Nervensystem, auf psychische Belastung wie etwa Stress bei verschiedenen Menschen unterschiedlich reagiert. So erhöht sich bei vielen Personen der Blutdruck, einige reagieren mit Schweißausbrüchen und andere verspüren Magendruck. Man nennt dies das „Reaktionsmuster des autonomen Nervensystems“. Diese Erfahrungen konnten bislang jedoch nicht mit einer standardisierten Versuchsanordnung durch messbare Daten bestätigt werden – weder im Weltraum noch auf der Erde.

Dies soll jetzt anders werden: In einem gemeinsamen Experiment des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin und des russischen Institutes für Weltraummedizin werden Kosmonauten am Boden sowie an Bord der Raumstation in eine simulierte Stresssituation versetzt. Simuliert wird das manuelle Andocken eines Raumschiffs an eine Raumstation. Hierbei werden die psychischen und physiologischen Reaktionen der Kosmonauten gemessen. Bei dem Andockmanöver handelt es sich um eine mental und motorisch äußerst schwierige Aufgabe, bei der zeitgleich alle sechs Freiheitsgrade im Raum zu kontrollieren sind. Zum Vergleich: Beim Autofahren hat man es lediglich mit zwei unabhängigen Freiheitsgraden zu tun, beim Fliegen eines Flugzeuges mit vier.

All that will change as of now: In an experiment jointly conducted by the DLR Institute of Aerospace Medicine and the Russian Institute of Space Medicine, cosmonauts will be exposed to a simulated stress situation on the ground and on board the space station. What will be simulated is docking a spacecraft onto a space station under manual control, with the mental and physiological reactions of the cosmonauts being measured all the time. Docking is a maneuver of extreme difficulty in terms of both mental and motor responses as all six degrees of freedom in space have to be kept under control simultaneously. To put things in perspective: When driving a car, you need to handle no more than two degrees of freedom, while four are involved in flying a plane.

The experiment is designed to determine the mental and physiological capabilities of the cosmonauts as a basis for determining objectively which of them is most likely to perform a certain task successfully in a given situation. This is the first experiment to combine established psychological test methods with quantitative physiological measurements. Data will be registered by HealthLab, a medical measuring system developed by DLR. Its components are small and handy enough to be worn on the body, which greatly enhances the mobility of the system. It is capable of registering more than ten readings simultaneously, including blood



Forschung mit HealthLab auf einem DLR-Parabelflug
Research with HealthLab onboard a DLR parabolic flight



Mit dem Experiment soll die psychische und physiologische Leistungsfähigkeit der Kosmonauten ermittelt werden, um objektiv entscheiden zu können, welcher Kosmonaut in einer konkreten Situation am besten in der Lage ist, bestimmte Aufgaben erfolgreich durchzuführen. Erstmals werden etablierte psychologische Testverfahren mit quantitativen physiologischen Messungen verknüpft. Die resultierenden Daten werden mit der vom DLR entwickelten medizinischen Messanlage HealthLab erfasst. Deren Komponenten sind so klein und handlich, dass sie am Körper getragen werden können. Dadurch ist die Anlage sehr mobil. Sie kann gleichzeitig mehr als zehn Werte wie beispielsweise Blutdruck, Schlagvolumen, Puls, Atmung und Stimme analysieren. Anhand dieser Daten will die deutsch-russische Wissenschaftlergruppe die Kosmonauten in ein „Autonomous Outlet Type“-Schema einordnen. Dies ist ein System zur Einteilung in Stress-Reaktions-Typen, bei dem auch die Beanspruchungsgrenzen ermittelt werden.

Dieser innovative Ansatz wurde inzwischen auch in anderen Bereichen genutzt. Als Beispiele seien hier die klinische Diagnose, die Reise- und Expeditionsmedizin und die Zivilpilotentestung genannt. Bei ausreichend großer Datenmenge wird analysiert, ob die Reaktionsmuster angeboren oder erworben sind oder von der körperlichen Verfassung der Person abhängen.

pressure, heart rate, pulse, respiration and voice. The group of German and Russian scientists plans to use these data to classify the cosmonauts under an "autonomous outlet type" scheme, a system that divides persons into stress-reaction types and determines their limits of stress.

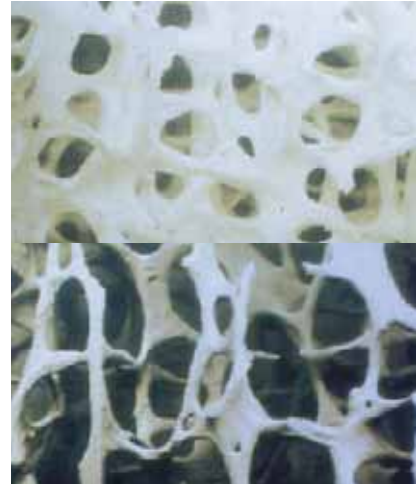
Meanwhile, this innovative approach is being used in other fields as well. Examples include clinical diagnosis, travel and expedition medicine and the testing of civilian pilots. Given an adequate supply of data, it is possible to analyze whether a person's reaction patterns are congenital, acquired or dependent on his or her physical condition.

The long-range objective of the investigation is to develop a diagnostic method that permits predicting the dependability of persons in other situations under stress. Thus, for example, it might be used to determine the acute stress of people who bear great responsibility in their profession, such as air traffic controllers, pilots or explosives experts.

SOLO: Human Sodium Retention in Microgravity

*Coordinator:
M. Heer, DLR Köln*

In 2008, SOLO will be one of the first experiments to be performed in the EPM/Cardiolab facility. Within SOLO, the interplay of nutrition, salt and fluid homeostasis with muscle and bone metabolism in humans is in the focus of the scientific interest.



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

SOLO: Natrium-Einlagerung bei Menschen in Schwerelosigkeit

Koordinator:
M. Heer, DLR Köln

Als eines der ersten Projekte in EPM/ Cardiolab werden Wissenschaftler und Astronauten 2008 das Experiment SOLO durchführen. Hierbei untersuchen sie den Zusammenhang zwischen Ernährung, Salz- und Flüssigkeitshaushalt sowie Knochen- und Muskelstoffwechsel beim Menschen.

Hintergrund dieser Forschung ist der Sachverhalt, dass Astronauten mit ganz ähnlichen Gesundheitsproblemen zu kämpfen haben wie alternde Menschen auf der Erde: Aufgrund der fehlenden Schwerkraft und der fehlenden Bewegung und

Basis for this research is the fact that astronauts are suffering from similar health problems as ageing humans on Earth: Due to the lack in gravity as well as in movement and mechanical load cardiovascular problems, impairment of the vestibular and the immune systems, as well as muscle and bone degradation are experienced by astronauts.

Based on earlier investigations on the Russian space station MIR a completely unknown mechanism of salt storage in the human skin could be detected in so-called metabolic ward studies on ground, in which the nutrition is highly controlled with varying salt concentrations. Due to the results of these investigations, textbook knowledge on the strong relation

SOLO untersucht den Zusammenhang zwischen Salzzufuhr und Knochenschwund
SOLO examines the interrelation between salt intake and osteoporosis



Belastung kommt es zu Herz-Kreislauf-Problemen, Störungen des Gleichgewichts- und des Immunsystems, zu Muskelschwund und Knochenabbau (Osteoporose).

Ausgehend von früheren Untersuchungen auf der russischen Raumstation MIR konnte in Isolationsstudien und bei Experimenten mit unterschiedlicher Kochsalzzufuhr in Stoffwechsellabors ein bislang unbekannter Mechanismus der Salzspeicherung in der Haut entdeckt werden. Etabliertes Lehrbuchwissen über die strenge Kopplung zwischen Salz- und Wasserhaushalt des Menschen war mit diesem Befund anfällig geworden. Dieser Mechanismus scheint auch einen Effekt auf das Skelettsystem zu haben: Hohe Kochsalzzufuhr steigert demnach den Knochenabbau. Ein wesentliches Ziel des Experimentes SOLO ist es daher, herauszufinden, ob eine hohe Kochsalzzufuhr im All den durch die Schwerelosigkeit ohnehin schon stattfindenden Knochenabbau noch intensiviert. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen Salz, Ernährung sowie Bewegung mit Muskel- und Knochenstoffwechsel sowie Bluthochdruck sind diese Ergebnisse nicht nur für die Astronauten wichtig. Besonders für die Therapie dieser Erkrankungen beim Menschen auf der Erde versprechen sie neue Erkenntnisse.

Im Rahmen von SOLO wird die Nahrung der Astronauten streng kontrolliert, Ausscheidungen, Bewegungen und Training genauestens erfasst und eine Vielzahl von physiologischen Daten erhoben. Hierdurch möchten die Mediziner zu einem möglichst umfassenden Bild der Physiologie des Menschen gelangen.

between salt and water homeostasis had to be revised. The newly detected mechanism obviously also influences the bone metabolism: High salt concentration in the food stimulates bone degradation. Therefore, the main goal of the SOLO experiment is to test if high salt concentration in the food of astronauts would stimulate bone loss in space, over and above the bone degradation caused already by microgravity. Due to the interrelation of salt, nutrition and movement with muscle and bone degradation as well as with high blood pressure the expected results are not only of importance for the astronauts. Also for the therapy of such diseases in people on Earth they promise new insights.

Within the SOLO experiment, nutrition and salt intake will be strictly controlled, movements, training and excretion of the astronauts followed. A variety of physiological parameters will be measured in order to arrive at a complete picture of the physiology of astronauts.

Biology

WAICO – the behavior of plants in weightlessness

Coordinator:
G. Scherer, Hanover University

Plants are capable of perceiving gravity and responding to its stimulus, which enables them to control their growth movements so that their organs are arranged in a specific direction relative to the Earth's gravity: Roots grow towards and shoots away from the center of the Earth. This process is called gravitropism. For this purpose, root caps are equipped with cells that contain gravity sensors called statoliths.

Biologie

Das Verhalten von Pflanzen in der Schwerelosigkeit – WAICO

Koordinator:
G. Scherer, Universität Hannover

Pflanzen nehmen die Schwerkraft wahr und verarbeiten diesen Reiz, wodurch es ihnen möglich ist, ihre Organe mittels Wachstumsbewegungen in eine bestimmte Richtung zur Erdanziehung zu bringen: Wurzeln wachsen zum Erdmittelpunkt hin, Sprosse vom Erdmittelpunkt weg. Diesen Vorgang nennt man Gravitropismus. Die Wurzelhaube ist dafür mit Zellen ausgestattet, die Gravitations-Sensoren enthalten, sogenannte Statolithen.

Neben dem Gravitropismus spielen aber auch noch andere Phänomene bei der Ausrichtung der Wurzelspitze eine Rolle. Eines hiervon ist das Hin- und Herschwingen der Wurzelspitze. Es bewirkt, dass die Wurzel spiralförmig wächst. Weiterhin reagiert die Wurzelspitze auf Berührungen und hat eine ihr Wachstum beeinflussende Gewebespannung.

Ziel von WAICO (Waving and Coiling of Arabidopsis roots at different g-levels), dem ersten Experiment in der COLUMBUS-Anlage Biolab, ist es, die Einflüsse dieser Komponenten für den gesamten Vorgang des Wurzelwachstums zu bestimmen und die zugrunde liegenden Mechanismen aufzuklären. Versuchsobjekte hierbei sind der Wildtyp und verschiedene Mutanten der Ackerschmalwand (Arabidopsis). In dem ISS-Experiment wird dabei das Wachstumsverhalten der Wurzeln bei unterschiedlichen Gravitationsstärken untersucht: 10^{-6} g, 10^{-4} g, 10^{-1} g und 1 g. Nach dem Flug werden die Pflanzen am Boden mit modernen molekular- und zellbiologischen Methoden untersucht, um den zellulären Mechanismen auf die Spur zu kommen.

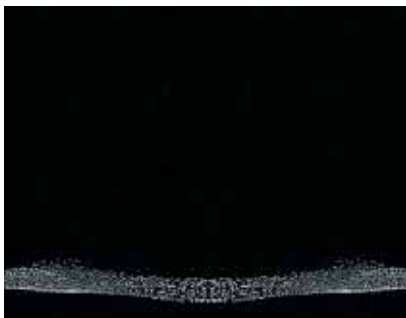
However, there are other phenomena besides gravitropism that influence the orientation of the root tip, one of them being the pendulum movement that makes the root coil up as it grows. Furthermore, the root tip responds to contact, and its growth is influenced by tissue tension.

WAICO (waving and coiling of Arabidopsis roots at different g levels), the first experiment to be run on the COLUMBUS Biolab, aims at establishing the degree to which these components influence the growth process in roots and explaining its fundamental mechanisms. The test objects will be the wild type as well as several mutants of the rock cress (Arabidopsis). The ISS experiment will investigate the growth behavior of its roots at different gravity levels: 10^{-6} g, 10^{-4} g, 10^{-1} g and 1g. After the flight, modern molecular and cytobiological methods will be employed on the ground to track down the plant's cellular mechanisms.

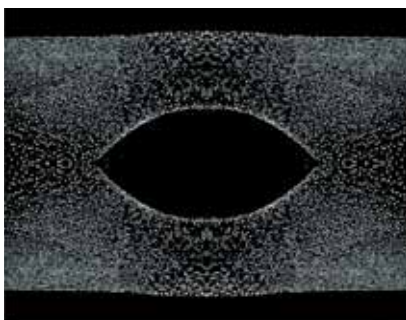
This experiment will not only help us to improve our general understanding of how plants grow. Its results will also be instrumental in increasing the efficiency of agriculture on Earth as well as for the cultivation of plants on future long-range space missions to the Moon or to Mars.



Spiralförmiges Wachstum von Wurzeln
Coiled up grown roots



Unter den Bedingungen der Schwerkraft sammeln sich die Partikel im unteren Bereich, der entstandene Plasmakristall ist gestaucht
Under terrestrial Gravity Conditions the Particles occupy the lowest possible Area. Such a Plasma Crystal is "stressed"



Unter Schwerelosigkeit können sich die Partikel des Plasmakristalls frei im Raum verteilen und so große, dreidimensionale Strukturen bilden
In Weightlessness the Particles of a Plasma crystal can distribute in all Directions. Large three-dimensional Crystalline Structures become available

Dieses Experiment hilft nicht nur, unser generelles Verständnis vom Wachsen der Pflanzen zu verbessern. Die Ergebnisse sind auch für eine effektivere Gestaltung der Landwirtschaft auf der Erde und für den Anbau von Pflanzen auf künftigen, längeren Weltraummissionen etwa zum Mond oder Mars von Interesse.

Physik

Das erste Experiment auf der ISS kam und kommt aus Deutschland – von PKE zu PKE-3 Plus: Phasenübergänge in Plasma-Kristallen

Koordinatoren:

G. Morfill, Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, Garching;
V. Molotkov, Institut für Hochenergie-dichte der RADW, Moskau

Ein komplexes Plasma besteht aus einem Niedertemperatur-Plasma, das heißt einem elektrisch geladenen Gas mit freien Elektronen und Ionen, wie es etwa als Leucht-mittel in einer Leuchtstoffröhre vorkommt, und kleinen Partikeln („Staub“) von 1-20 Mikrometer Größe. Die Partikel werden in dem Gas elektrostatisch aufgeladen und treten miteinander in Wechselwirkung. Gas und Partikel verhalten sich dann wie ein Stoff. Abhängig von den Experimentbedingungen – variiert werden das plasmaerzeugende elektrische Feld und der Gasdruck – verändert ein solches komplexes Plasma seine Struktur und verhält sich wie eine Flüssigkeit, ein Gas oder mit dreidimensionaler regelmäßiger Anordnung der Partikel wie ein metallischer Kristall. Diese hochgeordnete Struktur wird auch als „Plasmakristall“ bezeichnet. Sie konnte erstmals 1994 experimentell nachgewiesen werden.

Physics

The first Experiment on the ISS was and is from Germany – from PKE to PKE-3 Plus: Phase Transitions in Plasma Crystals

Coordinators:

G. Morfill, Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching;
V. Molotkov, Institute for High Energy Density, Academy of Sciences, Moscow

A complex plasma consists of an electrically charged gas containing free electrons and ions such as found in luminescent lamps, and small particles ("dust") ranging between 1 and 20 micrometers in size. These particles are electrostatically charged in the gas and interact; gas and particles together behave like a single substance. Depending on the experiment conditions, namely the strength of the electric field that generates the plasma and the gas pressure, such a complex plasma will change its structure and behave like a liquid, a gas, or a metallic crystal, in which case the dust particles will be arranged regularly in a three-dimensional pattern. This highly-ordered structure is also known as "plasma crystal". It was first demonstrated experimentally in 1994.

Common plasmas take little notice of gravity. However, as the mass of the micro-particles introduced in the gas is a hundred billion times greater than that of the electrons and ions, a complex plasma is sensitive to gravity. Particles settle, so that a plasma crystal is compressed in the direction of the force of gravity and restricted to a few lattice layers. Large three-dimensional structures can be built up and explored without distortion only under microgravity conditions. On the one hand, scientists are interested in the physical properties of the complex plasma itself. On the other,

Für ein gewöhnliches Plasma ist die Schwerkraft von untergeordneter Bedeutung. Aufgrund der hundert Milliarden Mal größeren Masse der eingebrachten Mikropartikel im Vergleich zu Elektronen und Ionen reagiert ein komplexes Plasma jedoch empfindlich auf Schwerkraft wegen des Absinkens der Partikel: Das komplexe Plasma wird damit in Richtung der Schwerkraft gestaucht. Daher ist ein Plasma-Kristall auf nur wenige Gitterebenen begrenzt. Nur unter Schwerelosigkeit können große dreidimensionale Strukturen ungestört kreierte und erforscht werden. Hierbei interessieren die Wissenschaftler einerseits die physikalischen Eigenschaften des komplexen Plasmas selbst. Andererseits dient es wegen seines Verhaltens als Modell für „normale“ Materialien, da strukturelle Veränderungen anders als dort von „Atom“ 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.

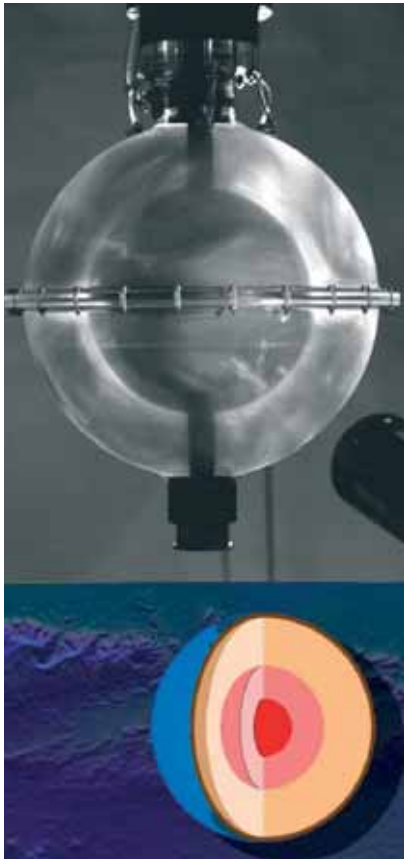
Insbesondere interessiert die Wissenschaftler der Übergang von flüssig zu gasförmig und der kritische Punkt, an dem die Unterschiede zwischen Flüssigkeit und Gas aufhören. Hierfür wird ein Astronaut die Apparatur PK-3 Plus zum Betrieb vorbereiten, den automatischen Ablauf starten und gelegentlich auf einem Bildschirm die Vorgänge in der Plasmakammer kontrollieren. In Abstimmung mit den Wissenschaftlern am Boden können manuelle Eingriffe zur Optimierung des Experimentablaufs vorgenommen werden. Alle Bild- und Messdaten werden automatisch gespeichert und auf wechselbaren Festplatten mit der SOJUS-Versorgungskapsel zur Auswertung am Boden zurückgeführt.

Komplexe Plasmen sind in der Natur weit verbreitet. Sie treten etwa in interstellaren Molekülwolken, planetaren Ringsystemen wie beim Saturn oder in Kometenschweif auf. In der Plasmatechnologie sind sie häufig als störende Verunreinigungen anzutreffen. Neben

its behaviour makes it a model for "normal" materials because unlike these, it permits observing structural changes "from atom to atom". Thus, researchers would like to know how waves propagate and liquids mix, how a vortex develops in a liquid, or how a crystal melts.

Scientists are particularly interested in the transition from the liquid to the gaseous state, and in finding the critical point at which the differences between liquid and gas disappear. For this purpose, an astronaut will prepare the PK-3 Plus equipment for operation, initiate the automatic experiment, and look at a screen occasionally to check what is happening in the plasma chamber. In consultation with scientists on the ground, he can interfere manually to optimize the course of an experiment. Image and measurement data will be stored automatically on hard discs, which will then be transported back to Earth for evaluation by a SOYUZ capsule.

Complex plasmas are widespread in nature, occurring, for example, in interstellar molecular clouds, planetary ring systems such as that of Saturn, or the tails of comets. In plasma technology, they frequently appear as contamination. Next to their importance for basic research in fluid, solid-state, and astrophysics, future practical applications are beginning to emerge for complex plasmas in, for instance, the coating of electronic microchips and the production of solar cells and flat monitors.



Geoflow simuliert die Strömungen im Erdinneren
Geoflow simulates geophysical flows

der Bedeutung für die Grundlagenforschung in der Flüssigkeits-, Festkörper- und Astrophysik zeichnen sich für komplexe Plasmen langfristig auch praktische Anwendungen ab, etwa zur Beschichtung von elektronischen Mikrochips, bei der Fertigung von Solarzellen und Flachbildschirmen.

Der Erde ins Innere geschaut – GEOFLOW

Koordinator:
 Ch. Egbers, BTU Cottbus

Mit dem Experiment GEOFLOW sollen geophysikalische Strömungen nachgestellt werden, die in der flüssigen Schicht zwischen Mantel und festem Kern im Inneren der Erde vorkommen. Die Wissenschaftler erhoffen sich aber auch Erkenntnisse über die globalen Bewegungen in Ozeanen oder in der Atmosphäre.

Die Verhältnisse im Erdinneren werden im Experiment durch zwei Kugelschalen nachgebildet, deren Zwischenraum mit einem Öl gefüllt ist. Die auf den Erdmittelpunkt gerichtete Gravitation wird durch Anlegen einer Hochspannung zwischen den Kugelschalen simuliert. Die Schwerelosigkeit ist notwendig, damit sich ein unverzerrtes, zentralsymmetrisches Kraftfeld ausbildet, analog zum Gravitationsfeld. Die Kennzahlen im Experiment sind so gewählt, dass die Strömungsphysik auf die Verhältnisse im Erdinneren modellhaft übertragbar ist.

GEOFLOW ist ein etwa schuhkartongroßer Experimentcontainer. Es ist das erste Fluid-Physik-Experiment, das unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit im Fluid Science Labor von COLUMBUS integriert wird.

GEOFLOW – looking at the Earth's insides

Coordinator:
 Ch. Egbers, BTU Cottbus

The GEOFLOW experiment is intended to model the geophysical flows that pervade the liquid layer between the Earth's mantle and its solid core. Moreover, scientists hope to obtain some insights into the global movements of oceans and the atmosphere.

In the experiment, conditions in the Earth's interior will be modeled by two concentric spherical shells with an oil-filled space in between. The centripetal force of gravity will be simulated by applying high tension to the space between the shells. Weightlessness is indispensable to ensure that the force field that will form is undistorted and centrally symmetrical like the Earth's gravitational field. The parameters of the experiment have been selected so that its flow physics may serve as a model of the conditions in the Earth's interior.

The GEOFLOW experiment will be housed in a container about the size of a shoebox. It is the first experiment in fluid physics to be integrated in the COLUMBUS Fluid Science Laboratory under conditions of zero gravity.

Technology

ROKVISS – the Intelligent Robot

The German technology experiment called ROKVISS (robotics component verification on the ISS) serves to test highly-integrated modular robotic components in space conditions. At the same time, it serves to demonstrate a variety of new control methods in automatic as well as in the so-called telepresence mode. ROKVISS was developed by DLR's Oberpfaffenhofen Institute of Robotics and Mechatronics in cooperation with the



Technologie

ROKVISS – Der intelligente Roboter

Das deutsche Technologie-Experiment ROKVISS (Robotik-Komponenten-Verifikation auf der ISS) dient dem Test von hoch integrierten, modularen Roboter-Komponenten unter den Bedingungen des freien Weltraums. Gleichzeitig werden verschiedene neue Kontrollverfahren, sowohl im automatischen wie auch im sogenannten Tele-Präsenz-Betrieb, demonstriert. Entwickelt wurde ROKVISS vom DLR im Oberpfaffenhofener Institut für Robotik und Mechatronik sowie der deutschen Industrie (Astrium, Kayser-Threde, von Hoerner & Sulger). Nach dem Start am 24. Dezember 2004 wurde der Roboterarm im Februar 2005 an der Außenwand der ISS installiert. Dort wird das Experiment nun rund zwei Jahre lang betrieben – gesteuert nicht von den Astronauten an Bord, sondern von einem Experiment-computer im Inneren der ISS beziehungsweise direkt von den Forschern auf der Erde. Die Mission wird in Zusammenarbeit mit der russischen Raumfahrtagentur ROSKOSMOS und der russischen Firma RKK Energia durchgeführt.

Das Hauptziel des Experimentes ist der Entwurf neuer komplexer Roboter für Servicearbeiten im freien Weltraum. Die Weiterführung der Arbeiten und der Einsatz der Systeme ist im Rahmen von On-Orbit-Service-Missionen geplant.

Nachwuchsförderung

Schüler forschen mit der ISS

Mit einem Schulprojekt wird das DLR 2007 und 2008 verstärkt auf die Internationale Raumstation aufmerksam machen. Die DLR Raumfahrt-Agentur ruft Schülerinnen und Schüler der höheren Klassen und ihre

German industry (Astrium, Kayser-Threde, von Hoerner & Sulger). Launched into orbit on December 24, 2004, the robotic arm was mounted on the outer wall of the ISS in February 2005. The experiment has been running for around two years now, with the arm being controlled not by the astronauts on board but by an experimental computer installed inside the ISS and/or directly by researchers on Earth. The mission is carried out in collaboration with the Russian ROSKOSMOS Space Agency and the Russian company RKK Energia.

It mainly aims to promote the development of new complex robots for service in space. Work will continue, and there are plans to use the system in future in-orbit service missions.

Educational outreach

School students use the ISS in their research

Starting in late 2007, DLR uses a school project to draw more attention to the International Space Station. The DLR Space Agency will call upon senior students and their teachers to determine the current position of the ISS and measure any changes in its altitude as precisely as possible by triangulation. As two fixed points on Earth are required for such measurements, each school will have to look for a partner school in Germany or abroad – science demands cooperation! During the school year



Roboterarm ROKVISS im Weltraum
The ROKVISS Robotic Arm in Space

Lehrer dazu auf, die aktuelle Position der ISS mittels Triangulation möglichst exakt zu bestimmen. Hierzu sind zwei Messpunkte nötig, weshalb sich jede Schule eine Partnerschule suchen muss – Wissenschaft bedingt Kooperation! Zielsetzung, Vorgehensweise und Messergebnisse werden von den Teams im Schuljahr 2007/2008 schriftlich dokumentiert und an das DLR geschickt. Aufgrund dieser Dokumentation wird das DLR entscheiden, ob das Team mitsamt seiner Partnerschule zum Schülerkongress im September 2008 nach Berlin eingeladen wird, um dort seine Resultate vorzustellen. Den Siegerteams der drei Schwierigkeitsstufen (Jahrgangsstufen) winkt die Teilnahme an einem Raumfahrt-Ereignis.

Die Schülerinnen und Schüler sind bei diesem Experiment vielfältig gefordert: Handwerker, Astronomiebegeisterte, Interneterfahrene, Geografen und Hobbyfotografen haben hier einmalig die Möglichkeit, Mathematik nach ihrer jeweiligen Begabung im Team erfahrbar zu machen und im spannenden Kontext der Raumfahrt anzuwenden. Nur die gute Zusammenarbeit im Team und die Beachtung der wesentlichen Aspekte des wissenschaftlichen Arbeitens (genaue Definition der Kernaufgaben, sorgfältige Vorbereitung der Mess- und Fotografierphasen durch Absprachen innerhalb der Teams und mit der Partnerschule, Genauigkeit, sorgfältige Dokumentation und Vergleich der erzielten Ergebnisse) führen zum Erfolg.

Die Jugendlichen erfahren, dass wissenschaftliche oder technische Daten, die sie in den verschiedenen Medien herausfiltern können, eigenständig von ihnen überprüft, hinterfragt und kontrolliert werden können. Wissenschaft wird dadurch konkret und praktisch umsetzbar.

2007/08, each team will write down its objectives, approach and results and mail the documentation to DLR. Based on this, DLR will decide about inviting selected teams with their partner schools to attend a students' congress to be held in Berlin in September 2008 to present their results. The winning teams in each of the three grades or classes may look forward to attending a space event.

The challenges confronting the students in this experiment are many: Those with a particular aptitude or enthusiasm for crafts, astronomy, the internet, geography or photography will have a unique opportunity to apply their skills in introducing their team to mathematics in the thrilling context of astronautics. Success is absolutely predicated on the quality of cooperation within the team as well as on adherence to the essential rules of scientific work (precise formulation of key problems, careful preparation of the measuring and imaging phases through consultation within the team and with the partner school, precise and careful documentation, comparison of the results obtained).

Thus, young people experience for themselves that the scientific or technical data they extract from the media can be verified, challenged and controlled by themselves. Thus, science becomes palpable and implementable in practice.

Herausgeber
Published by Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V.

German Aerospace Center

Raumfahrt-Agentur
Space Agency

Anschrift
Address

Bonn-Oberkassel
Königswinterer Straße 522-524
53227 Bonn
Germany

Redaktion
Editor

Dr. Niklas Reinke

Text
Text

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

Gestaltung
Design

CD Werbeagentur GmbH,
Troisdorf

Druck
Printing

Druckerei Thierbach KG,
Mülheim/Ruhr

Drucklegung
Press date

Köln, November 2007

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
from the German Aerospace Center
(DLR).*

© Bilder/images: DLR, ESA, NASA

www.DLR.de

Das DLR im Überblick

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

Das DLR beschäftigt ca. 5.600 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 center for aeronautics and space. Its extensive research and development work in Aeronautics, Space, Transportation and Energy is integrated into national and international cooperative ventures. As Germany's space agency, DLR has been given responsibility for the forward planning and the implementation of the German space program 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.

The DLR employs approximately 5,600 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

**Raumfahrt-Agentur
Space Agency**

Bonn-Oberkassel
Königswinterer Straße 522–524
53227 Bonn
Germany

www.DLR.de