

Forschung unter Weltraumbedingungen

QUANTUS III – Verbundprojekt erforscht Riesenatome in Schwerelosigkeit

Research under Space Conditions

QUANTUS III – Joint Project explores Giant Atomes in Weightlessness

Seite 8 / page 8

Raumfahrt-Strategie: Vorgestellt von Bundesminister Rainer Brüderle

Space Strategy: Presented by Federal Minister Rainer Brüderle 4

Extraterrestrik: Cassinis Sonnenwendmission

Extraterrestrics: Cassini Solstice Mission 14

Robotik: LUNARES und RIMRES

Robotics: LUNARES and RIMRES 18

Forschung unter Weltraumbedingungen: Zehn Jahre deutsche Forschung auf der ISS

Research under Space Conditions: Ten Years of German Research on the ISS 22

Forschung unter Weltraumbedingungen: 25 Jahre D1-Mission

Research under Space Conditions: 25th Anniversary of the D1 Mission 26

Deutsche Raumfahrt-Missionen: Aeros

German Space Missions: Aeros 30

Raumfahrtkalender

Space Calendar 34



**Dr. Rolf Densing,
Programmdirektor des
DLR Raumfahrt-Managements**

Dr. Rolf Densing,
DLR Space Administration's
Programme Director

Liebe Leserinnen und Leser,

die Bundesregierung hat am 30. November mit ihrem Kabinettsbeschluss zur deutschen Raumfahrt-Strategie die Weichen für die Zukunft der Raumfahrt in Deutschland gestellt. Die gesamtstaatliche Ausrichtung der Strategie und die erneute Erhöhung des Raumfahrt-Budgets auf 1,2 Milliarden Euro sind sehr positive Signale. Damit erhält die Raumfahrt klare politische Leitlinien, Kontinuität und Verlässlichkeit für die kommenden Jahre. Die Strategie gibt uns einen eindeutigen Auftrag mit auf den Weg: „Das im DLR angesiedelte Raumfahrtmanagement konzipiert im Auftrag der Bundesregierung das Deutsche Raumfahrtprogramm, führt es durch und integriert alle deutschen Raumfahrtaktivitäten auf nationaler und europäischer Ebene“. Dieser Aufgabe stellen wir uns. Auf der Grundlage der Beschlüsse der Bundesregierung werden wir das deutsche Raumfahrtprogramm dahingehend fortschreiben und weiterentwickeln, dass die neuen raumfahrtpolitischen Akzente der Strategie ihren Niederschlag in konkreten Projekten finden.

Ein neuer Akteur in der Raumfahrt ist seit dem Inkrafttreten des Vertrags von Lissabon die EU. Dies macht es erforderlich, die Zuständigkeiten von EU, ESA und den Mitgliedstaaten neu zu definieren. Hier setzen wir uns gemeinsam mit der Bundesregierung für eine vernünftige Einbindung der EU entsprechend ihrer Fähigkeiten ein. Nach „den Grundsätzen der Komplementarität und Subsidiarität, der Vermeidung von Doppelarbeit und Doppelstrukturen sowie der Schaffung geeigneter, den Besonderheiten des Raumfahrtsektors und der Begrenzung von Haushaltsmitteln angepasster Finanzierungs- und Beschaffungsverfahren“ soll sie die Flaggschiff-Projekte Galileo und GMES realisieren. Die Rolle der ESA als eigenständige, zwischenstaatliche Organisation muss so nachhaltig gestärkt werden. Sie soll auch künftig der vorrangige Handlungsrahmen für die europäische Raumfahrtpolitik und -kooperation bleiben. Deshalb werden wir weiterhin das ESA-Programm als Ganzes unterstützen und dabei deutsche Interessen mit großem Engagement vertreten.

Inhaltlich richtet sich der Fokus auf den Nutzen der Raumfahrt für die Erde, auf Nachhaltigkeit und den Ausbau unserer internationalen Kooperationen: „Für die Menschen ins All“ – das ist unsere Überzeugung, denn die Raumfahrt ist eine Schlüsseltechnologie unserer modernen Wissensgesellschaft. Dementsprechend fördert die Bundesregierung die Erdbeobachtung, Satellitenkommunikation und -navigation in hohem Maße. In diesen Bereichen sollen Entwicklungen deutscher Unternehmen neue Märkte erschließen und die stetig wachsende Nachfrage nach Weltraumdiensten decken. In diesem Sinne spielt auch die Entwicklung autonomer robotischer Systeme, etwa zur Exploration unseres Sonnensystems oder zur planvollen Entsorgung ausgedienter Satelliten, eine wichtige Rolle. Darüber hinaus bleibt die Weltraumforschung ein Wesensbestandteil der deutschen Raumfahrt-Strategie – und mit ihr der feste Wille, die ISS bis 2020 in solidarischer Zusammenarbeit mit unseren internationalen Partnern zu nutzen. In diesem Sinne werden wir die Erforschung des Weltraums wie auch die Forschung auf der ISS weiter vorantreiben.

Mit der Vorstellung der deutschen Raumfahrt-Strategie, zu deren Ausgestaltung das DLR beigetragen hat, geht für das DLR Raumfahrt-Management ein anstrengendes aber auch spannendes Jahr zu Ende. Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern danken wir für ihre erfolgreiche Arbeit. Wir freuen uns darauf, den hoheitlichen Auftrag des DLR der Umsetzung der deutschen Raumfahrt-Strategie 2011 mit dem neu berufenen Vorstand, Herrn Dr. Gerd Gruppe, in gewohnt dynamischer und zielorientierter Weise fortsetzen zu können.

Rolf Densing



**Christoph Hohage,
Projektdirektor des
DLR Raumfahrt-Managements**

Christoph Hohage,
DLR Space Administration's
Project Director

Dear readers,

In its cabinet decision made on November 30 to adopt a new German space strategy, the Federal Government set the agenda for the future of Germany's space sector. The fact that it is a full-fledged national policy with a budget that has once again been increased and now totals at 1.2 billion euros, is sending out very positive signals. It will, for the years to come, make space flight a sector with clear policy guidelines, continuity and dependability. The strategy comes with a definite mandate for DLR: 'Acting on behalf of the Federal Government, the Space Administration, organisationally set up as part of DLR, develops and implements the National Space Programme, besides integrating all German space activities on the national and European plane'. We are willing to face up to this task. Based on the government's decisions we will continue developing and improving the National Space Programme so that their new space-policy content can be moulded into tangible projects.

The coming into force of the Lisbon Treaty has made a new actor enter the scene of space flight: the EU. This makes it necessary to re-define the responsibilities of the EU, ESA, and member states. Joining forces with the Federal Government, our position is to aim at a reasonable inclusion of the EU based on its capabilities. Following the 'principles of complementarity and subsidiarity, ensuring that duplicate work and structures are avoided, and that procedures are established for financing and awarding contracts which reflect the peculiarities of the space sector and the limited budget resources available'. In this case, we suggest that the EU should realise two flagship projects, Galileo and GMES. Thus, the role of ESA as a self-contained intergovernmental organisation must be sustainably strengthened. It should continue to be the main arena in which Europe's space policy and cooperation is carried out. ESA with its 'geographic-return' principle will safeguard Germany's competencies in European space flight. For this reason we will continue to back ESA's programme in its entirety, pulling our weight in backing German interests.

Concerning its actual content, the focus of space flight will be on its benefit to Earth, its sustainability, and the fostering of international cooperation: 'For mankind into space' is our shared belief, given that spaceflight has become a key technology of our modern knowledge-based society. Consequently, the government is generously funding activities in Earth observation, satellite communication and navigation. These are the areas in which technologies developed by German companies are to open up new markets, and meet the growing demand for space-based services. Hence, the development of autonomous robotic systems to be used for purposes such as the exploration of our solar system, or as an effective way to dispose of end-of-life satellites, will also play an important role. Beyond that, space-borne research, too, will remain an essential ingredient of the German space strategy – and with it the determination to go on using the ISS until 2020, cooperating in solidarity with our international partners. In this spirit we will work to make further progress in the exploration of space as well as in our ISS-based research activities.

The publication of the German space strategy, to which the DLR has been asked to make a number of contributions, marks the end of what has been a demanding yet exciting year for the DLR Space Administration team. We wish to thank all our staff members for their competent work. We look forward to continuing the sovereign mission of the DLR to implement Germany's space strategy in 2011 under the leadership of our newly-appointed board member, Dr Gerd Gruppe, in our usual dynamic and motivated manner.

C. Hohage

Vom Bergbau zur Raumfahrt

Dr. Gerd Gruppe zum neuen Vorstandsmitglied berufen

Am 25. November 2010 hat der Senat des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) Dr. Gerd Gruppe einstimmig zum neuen Vorstandsmitglied für das DLR Raumfahrt-Management gewählt. "Ich freue mich sehr auf die neuen Herausforderungen. Die Raumfahrt begleitet mich schon seit Langem, umso schöner ist es, dass ich mich ihr nun konzentriert widmen kann und in dem hoch kompetenten Team mitwirken kann", sagte Gruppe nach seiner Wahl.

Der gebürtige Rheinländer Gruppe studierte Bergbau an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) in Aachen. In seiner Referendarzeit zog es ihn 1976 an das Bayerische Oberbergamt nach München. Zuständig für Bergwirtschaft und Bergtechnik sowie für die Förderung innovativer kleiner und mittelständischer Unternehmen und Existenzgründungen im High-Tech-Bereich blieb Gruppe dort über zehn Jahre lang tätig, bis er 1987 ins Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie wechselte. Dort leitete er die Referate „Technologie – Transfer“ und „Angewandte Forschung“ ehe er im Oktober 2005 die Leitung der Abteilung „Innovation Forschung Technologie“ übernahm. Während seiner Tätigkeit im Ministerium entdeckte der 58-Jährige seine Leidenschaft für die Raumfahrt.

Mit persönlichem Einsatz trieb Dr. Gruppe den Aufbau des Galileo-Kontrollzentrums und des ESA Business Incubation Centre (BIC) am DLR-Standort in Oberpfaffenhofen voran. Auch die erfolgreich gestartete Forschungsinitiative Faserverbundtechnologien in Augsburg sowie das DLR Robotik- und Mechatronikzentrum in Oberpfaffenhofen gehören zu seinen Verdiensten. Zu seinen Schwerpunkten im Landesministerium zählten unter anderem das kommende europäische Satellitennavigationssystem Galileo, die Initiative für globale Fernerkundung in Umwelt- und Sicherheitsfragen (GMES), Mechatronik und Robotik – Themen, welche die Bundesregierung in der neuen Raumfahrt-Strategie fokussiert und für deren Umsetzung Dr. Gruppe als neu berufener Vorstand viele Ansatzpunkte in Deutschland sieht.



From mining to space flight

Dr Gerd Gruppe appointed as a Executive Board member

On November 25, 2010, the Senate of the German Aerospace Center (DLR) unanimously voted to appoint Dr Gerd Gruppe as a member of the Executive Board in charge of DLR Space Administration. After his election, Gruppe said, 'I am eagerly looking forward to meeting new challenges. Space flight has been with me for a long time, and now I am all the more pleased at being able to concentrate my attention on it and joining in the work of this highly competent team'.

Born in the western part of Germany, Gruppe received a degree in mining at the RWTH Aachen University. In 1976, when he fulfilled his civil service, he moved to the Bavarian Inspectorate of Mines in Munich. In charge of mining management and technology as well as the promotion of innovative small and medium-sized enterprises and start-ups in the high-tech sector, he remained there until 1987, when he moved on to the Bavarian Ministry of Economic Affairs, Infrastructure, Transport and Technology. He was at the head of the "technology transfer" and "applied research" departments until October 2005, when he was appointed director of the Department "Innovation-Research-Technology". It was during his time at the ministry that the 58-year-old discovered his passion for space flight.

With great personal commitment, Dr Gruppe advanced the development of the Galileo Control Centre and ESA's Business Incubation Centre (BIC), both based at the DLR in Oberpfaffenhofen. His other merits include the successful launch of the research initiative into fibre-composite technologies in Augsburg as well as the Centre of Robotics and Mechatronics in Oberpfaffenhofen. Other focal activities of his time at the Bavarian ministry included Galileo, Global Monitoring for Environment and Security (GMES), mechatronics, and robotics – themes which constitute key elements of the Federal Government's new space strategy. In Dr Gruppe's opinion as a newly-appointed DLR Board member, there are a lot of possibilities to implement these topics in Germany.

Im Gespräch: Der DLR-Vorstandsvorsitzende, Prof. Johann-Dietrich Wörner, und der neu berufene Vorstand für das DLR Raumfahrt-Management, Dr. Gerd Gruppe

In talk: DLR Executive Board Chairman Johann-Dietrich Wörner and the new appointed member of the Executive Board responsible for the DLR Space Administration Dr Gerd Gruppe

Bundesminister für Wirtschaft und Technologie Rainer Brüderle (FDP) stellte die Deutsche Raumfahrtstrategie am 30. November auf einer Pressekonferenz in Berlin vor. (Quelle: Tobias Kleinschmidt/dpa)

The Federal Minister of Economics and Technology (FDP) presented the new space strategy in a press conference on November 30 in Berlin. (Quelle: Tobias Kleinschmidt/dpa)

Innovationsmotor Raumfahrt

Die Raumfahrt-Strategie der Bundesregierung

Von Rainer Brüderle, Bundesminister für Wirtschaft und Technologie

Die Raumfahrt ist aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sei es die Live-Übertragung der Fußball-Weltmeisterschaft, das Katastrophen-Management mit Hilfe von Erdbeobachtungssatelliten oder der abendliche Wetterbericht: Ohne satellitengestützte Navigationssysteme, ohne Satelliten für Radio-, Fernseh- und Internetübertragungen sähe unser Leben deutlich anders aus. Raumfahrt ist eine Schlüsseltechnologie in unserer modernen Wissensgesellschaft.

The Space Sector as a Key Driver of innovation

The Space Strategy of the Federal Government

By Rainer Brüderle, Federal Minister of Economics and Technology

Space technology plays an integral and indispensable role in our daily lives. Whether we are talking about live broadcasts of World Cup matches, satellite-assisted emergency management efforts, or the nightly weather forecast, one thing is true: our lives would be very different without satellite-based navigation systems and satellites for radio, television and internet transmissions. Space technology is essential for enabling a modern, knowledge-based society like ours to function effectively and efficiently.



Podiumsdiskussion: Am 1. Dezember, einen Tag nach dem Kabinettschluss, wurde die neue Deutsche Raumfahrtstrategie einem erlesenen Kreis in Berlin vorgestellt.

Panel discussion: On 1st december, one day after the cabinet decision, the new space strategy was presented to an exquisite audience in Berlin.

Deutschland ist schon heute eine der führenden Nationen der internationalen Raumfahrt. 1,2 Milliarden Euro investiert die Bundesregierung jährlich in diesen Bereich. Das ist das sechsthöchste Raumfahrtbudget weltweit. Die Bilanz dieses Engagements kann sich sehen lassen: Deutsche Wissenschaftler und Ingenieure waren an über 200 Weltraum-Missionen beteiligt. Das Tätigkeitsspektrum reicht von der Arbeit an Weltraumteleskopen, Kommunikations- und Wettersatelliten bis hin zur Entwicklung von Raumsonden für die Tiefen des Alls. Daneben gestaltet Deutschland mit seinem Engagement in der Europäischen Weltraumorganisation ESA und der EU aktiv die europäische Raumfahrtspolitik mit und pflegt eine intensive Partnerschaft mit allen Raumfahrtstaaten.

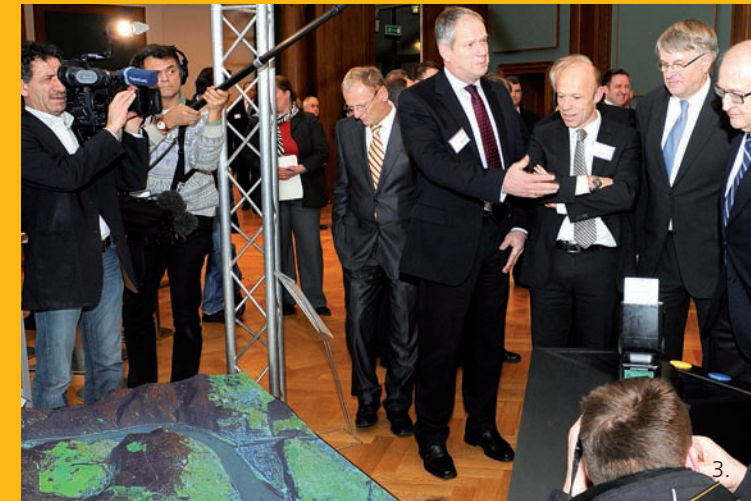
Angesichts globaler Herausforderungen wird die Bedeutung von Raumfahrtanwendungen noch zunehmen – sei es bei Klimawandel, Ressourcen-Management oder Breitband-Kommunikation. Dem trägt die Bundesregierung mit der neuen Raumfahrtstrategie Rechnung. Dabei ist eines ganz wichtig: Wir müssen Raumfahrt für die Erde und die Gesellschaft betreiben. „Für die Menschen ins All“ ist daher meine Devise.

Mit der neuen Raumfahrt-Strategie verfolgt die Bundesregierung drei Leitlinien: Erste Maxime ist die Orientierung am Nutzen und Bedarf. Ziel kann nur sein, die Lebensbedingungen der Menschen weiter zu verbessern. Unsere Raumfahrt-Projekte werden also daran gemessen, welchen Beitrag sie zur Lösung der gesellschaftlichen Herausforderungen leisten. Der konkrete Nutzen

Germany has already established itself as a leading nation in the international space sector. The Federal Government invests an annual amount of 1.2 billion euros in this key sector. That's the sixth-highest national budget for space operations in the world. We can be proud of our accomplishments in the space sector. German scientists and engineers have been involved in over 200 space missions. Our space-related activities span a broad spectrum of key technologies, including space telescopes, communication and weather satellites, and deep space probes. Furthermore, through our dedicated involvement in the European Space Agency and the relevant bodies of the European Union, Germany actively shapes European space policy and cultivates in-depth partnerships with all space-faring nations.

Given the increasing significance of various global challenges, space-based applications will become even more important in the future – this is true with regard to climate change, resource management and broadband communications, just to name a few examples. The space sector's potential to help us tackle these challenges is precisely what the Federal Government is targeting with its new space strategy. In this connection, we have to keep one thing in mind: space operations must serve the needs of the Earth and society. Therefore, my motto in this area is: 'Into space for the benefit of humankind'.

The Federal Government's new space strategy is based on three main guidelines: The first guideline is a focus on benefits and needs. Our efforts must be directed toward the further improvement of people's living conditions. Therefore, the success of our space projects will be measured in accordance with their



1. von links: DLR Vorstandsvorsitzender Prof. Johann-Dietrich Wörner, Bundeswirtschaftsminister Rainer Brüderle, Staatssekretär im BMWi Peter Hintze (CDU) und Astrium-Geschäftsführer Evert Dudok beim Gang durch die Ausstellung anlässlich der Strategie-Präsentation.

2. Rainer Brüderle und Peter Hintze betrachten das Modell einer Ariane-5-Rakete (v. l.).

3. Evert Dudok und Programmdirektor der DLR Raumfahrt-Agentur, Dr. Rolf Densing, erklären Peter Hintze und Rainer Brüderle ein aus den Daten der deutschen Erdbeobachtungssatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X errechnetes 3D-Höhenmodell (v.l.).

1. left to right: DLR chairman of the Executive Board Prof. Johann-Dietrich Wörner, Federal Minister Rainer Brüderle, State Secretary of the BMWi Peter Hintze (CDU) and CEO of Astrium Evert Dudok during their visitation of the exhibition at the presentation of the strategy

2. Rainer Brüderle and Peter Hintze regard a model of an Ariane-5-rocket (left to right).

3. Evert Dudok and the DLR Space Agency's Programme Director Rolf Densing explain Peter Hintze and Rainer Brüderle a 3D elevation model – calculated from the data of the German earth remote sensing probes TerraSAR-X and TanDEM-X (left to right)

kann dabei vielfältig sein – zum Beispiel für Umweltschutz, Wirtschaft oder Wissenschaft.

Zweite Maxime ist das Prinzip der Nachhaltigkeit. Immer mehr Weltraumsysteme umkreisen unsere Erde. Sie gefährden sich teilweise gegenseitig. Zudem nimmt der so genannte Weltraum-Schrott im Erdborbit zu. Hier müssen wir gegensteuern – durch internationale Vereinbarungen, gezielte Überwachung der Weltraumlage und rückstandsfreie Raumfahrtsysteme. Das schulden wir auch den nächsten Generationen.

Unsere dritte Maxime ist die Intensivierung der internationalen Zusammenarbeit. Denn die Erhaltung unserer Lebensgrundlagen, Wissensgewinn und verbesserte Lebensbedingungen sind Herausforderungen für die gesamte Staatengemeinschaft. Dabei geht es natürlich auch darum, unsere Interessen international klug durchzusetzen. Umso wichtiger ist es, dass wir das Nationale Raumfahrt-Programm stärken, um auch im internationalen Vergleich gut aufgestellt zu sein. Denn nur mit eigener Systemkompetenz und innovativen Technologien in Deutschland können wir international das notwendige Gewicht in Raumfahrtfragen aufbringen. Für Rückenwind auf internationaler Ebene sorgt dabei der gute Ruf, den sich Deutschland als internationaler Partner in der Raumfahrt längst erarbeitet hat. Die deutsch-französische Zusammenarbeit, der Motor für die europäische Raumfahrt, ist dafür ein Paradebeispiel. Projekte wie die Ariane 5, die Internationale Raumstation und der Klimasatellit Merlin sind eindrucksvolle Belege.

Mit der Raumfahrt-Strategie verfolgt die Bundesregierung einen ganzheitlichen Ansatz. Die Strategie gibt die Marschroute für die Raumfahrtaktivitäten der verschiedenen Ressorts vor. Neben dem federführend zuständigen Bundeswirtschaftsministerium sind hier auch das Bundesverkehrs- und das Bundesverteidigungsministerium zu nennen. Die Raumfahrtstrategie gewährleistet einen optimalen Einsatz unserer Mittel. Das ist Politik aus einem Guss, die den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Deutschland voranbringt.

Inhaltlich setzen wir mit der Strategie verschiedene Schwerpunkte. Dazu zählen die Erschließung neuer Märkte, das Zusammenspiel der verschiedenen Raumfahrt-Akteure in Europa sowie

contribution to the solution of societal challenges. These contributions and benefits can take on diverse forms – for example, they can be environmental, economic or scientific in nature.

The second guideline is the principle of sustainability. An increasing number of space systems are orbiting our planet, and the risk of collision and mutual damage is growing accordingly. In addition, the amount of space debris circling the Earth is increasing as well. We have to combat these risks – for example, by adopting international agreements, enhancing our space situational awareness capabilities, and developing residue-free space systems. We owe this not only to ourselves but to the generations that follow us.

Our third guideline is to intensify international cooperation. This is because preserving the natural environment, acquiring new knowledge and improving quality of life are challenges that confront the entire community of nations. At the same time, we also want to be able to assert our interests effectively in the international arena. This makes it even more important to strengthen our national space programme in order to maintain our international position as a leading space-faring nation. If we want to have a major influence on issues of international space policy, we have to bring our own systems expertise and innovative technologies to the table. Our position at the international level is boosted by the fact that Germany has earned a positive reputation as a strong partner in international space projects. A prime example is the French-German partnership that serves as the driving force behind European space operations. Projects such as the Ariane 5 launcher, the International Space Station and the Merlin climate satellite provide impressive proof of what this cooperation can accomplish.

Our space strategy also pursues an integrated approach by laying out a road map for the space-related activities of the various relevant government ministries. Along with the Federal Ministry of Economics and Technology, which is spearheading the strategy, the Federal Transport and Defence Ministries are also involved. Our integrated space strategy will ensure the optimal use of government funds. In this way, we are delivering a coherent space policy that will enhance Germany's position as a hub for business and science.

die Sicherung der technologischen Unabhängigkeit und des Zugangs zum All. Wir wollen mittels eines nationalen Weltraumgesetzes ferner einen einheitlichen Rechtsrahmen schaffen. So sorgen wir dafür, dass die deutsche Industrie, insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen, bestmöglich die Chancen nutzen können, die das dynamisch wachsende Geschäftsfeld Raumfahrt eröffnet. Weltraumbasierte Infrastrukturen werden neue Anwendungs- und Dienstleistungsmärkte schaffen – mit attraktiven Arbeitsplätzen und hohem Marktpotenzial. Als einen Kernbestandteil der Raumfahrtstrategie möchte ich den Ausbau der Weltraumforschung besonders hervorheben. Denn die Möglichkeiten, die sich zum Beispiel im Bereich der Grundlagenforschung ergeben, sind besonders beeindruckend. Letztlich geht Raumfahrt hier elementaren Fragen menschlicher Existenz auf den Grund. Raumfahrt ist das Tor zum Verständnis des Universums.

Es sind diese Chancen, die mehr als 50 Jahre nach Sputnik dafür sorgen, dass die Faszination von Raumfahrt ungebrochen ist. Diese Chancen zu nutzen, ist das Ziel unserer Raumfahrt-Strategie. Mit dem DLR, unserem deutschen Raumfahrtzentrum, sind wir bestens gerüstet, um unsere ambitionierten Ziele zu erreichen.

The strategy also sets specific policy priorities. These include: cultivating and tapping new markets, promoting stronger links between various stakeholders in European space operations, safeguarding technological independence and ensuring access to space. In addition, we want to establish a unified legal framework by adopting a National Space Act. In this way, we will ensure that German industry – especially small and medium-sized companies – can take maximum advantage of the opportunities that the dynamically growing space sector has to offer. Space-based infrastructures will open up new markets for applications and services that in turn will generate attractive jobs and major growth potential.

One of the space strategy's core components that deserves particular mention is our expansion of space research. Space research, including basic research, can open up tremendous opportunities – after all, space operations shed light on fundamental questions of human existence. Space is the gateway to understanding the universe.

It's these opportunities that give space its intense and enduring fascination, more than 50 years after the launch of the Sputnik. And the aim of our space strategy is to make the best of these opportunities. Together with the DLR, Germany's aerospace centre, we are in an excellent position to achieve our ambitious goals.



Bundesminister Rainer Brüderle informiert sich über die neue Deutsche Raumfahrtstrategie. (Tobias Kleinschmidt/dpa)

Federal Minister Rainer Brüderle informs himself about the new space strategy. (Tobias Kleinschmidt/dpa)

QUANTUS III

DLR-Verbundprojekt erforscht Riesenatome in Schwerelosigkeit

Von Dr. Rainer Forke und Dr. Rainer Kuhl

Eigentlich ist der Mikrokosmos der Atome und Moleküle winzig klein und unsichtbar. Kühlt man aber eine Wolke aus mehreren tausend Einzeltomen bis in die Nähe des absoluten Nullpunkts auf knapp $-273,15^{\circ}\text{C}$ ab, so entsteht ein millimetergroßes „Riesenatom“ – das sogenannte Bose-Einstein-Kondensat (BEC). 2007 gelang es einem Team deutscher Wissenschaftler in einem Fallturmexperiment in Bremen weltweit erstmalig, ein BEC unter Schwerelosigkeit zu erzeugen. Die Ergebnisse dieses Experiments mit dem Namen QUANTUS wurden kürzlich in der Fachzeitschrift Science veröffentlicht. Nun planen die Wissenschaftler bereits ein neues Verbundprojekt: QUANTUS III soll den Forschern ermöglichen, BEC von längerer Dauer in Schwerelosigkeit zu erforschen. Im letzten Schritt soll dabei zum ersten Mal überhaupt ein BEC im Weltall erzeugt werden. Die DLR Raumfahrt-Agentur, die das QUANTUS-Team seit 2004 fördert, hat für das am 1. Januar 2011 startende Vorhaben jüngst grünes Licht gegeben.

QUANTUS III

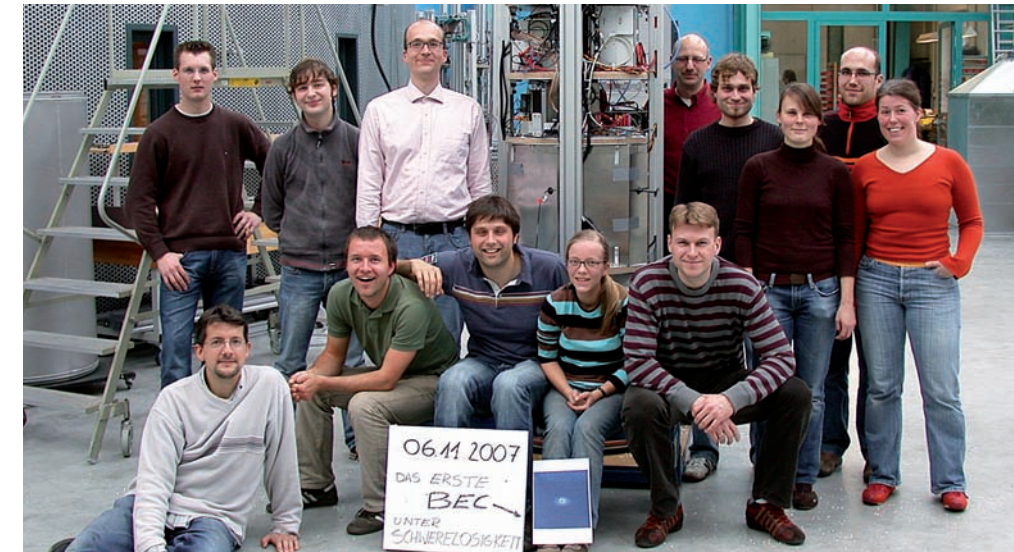
Joint DLR Project explores Giant Atoms in Microgravity

By Dr Rainer Forke and Dr Rainer Kuhl

Forming their own microcosm, atoms and molecules are normally infinitesimally small and invisible. However, if you cool a cloud of several thousand separate atoms down to -273.15°C , close to absolute zero, you obtain a millimetre-sized 'giant atom' – a Bose-Einstein condensate (BEC). In a drop-tower experiment run at Bremen in 2007, a team of German scientists succeeded for the first time ever in creating a BEC in microgravity. The results of the experiment – called QUANTUS – were published in the Science journal a short while ago. Now, scientists are planning yet another interdisciplinary project: QUANTUS III is designed to permit researchers to investigate relatively long-lived BECs in microgravity. The last step will be, for the first time ever, to generate a BEC in space. The DLR Space Agency has been sponsoring the QUANTUS team since 2004, and has recently given the green light to its new project which is scheduled to begin on January 1, 2011.

Bereit für den Fall in die Schwerelosigkeit: Tim van Zoest betrachtet aufmerksam das Verschließen der Fallturm kapsel mit der QUANTUS-Apparatur. (ZARM)

Ready to fall into weightlessness: Tim van Zoest watches carefully the closing of the drop-down capsule including QUANTUS hardware.(ZARM)



Das QUANTUS-Team feierte 2007 das erste Bose-Einstein-Kondensat, das in Schwerelosigkeit erzeugt wurde. In 2011 planen sie das erste BEC im Weltall. (ZARM)

The QUANTUS team celebrated in 2007 the first Bose-Einstein condensate ever created in weightlessness. In 2011, they plan the first BEC in space. (ZARM)

Wenn Atome ihre Individualität verlieren

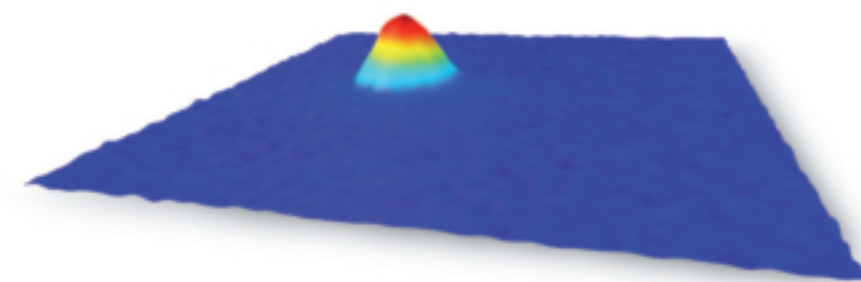
1924 beschrieben der deutsche Physiker Albert Einstein in seinem Manuskript „Quantentheorie des einatomigen idealen Gases“ und der indische Physiker Satyendranath Bose in „Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese“ in der Theorie diesen besonderen Aggregatzustand nahe des absoluten Temperaturnullpunktes. Einzelne, ultrakalte Atome verlieren hier ihre Individualität und nehmen einen gemeinsamen Zustand ein. Ihren geistigen Vätern zu Ehren nennt man diesen Zustand Bose-Einstein-Kondensat. Wie die Quantenmechanik uns lehrt, führen kleinste Materieobjekte wie etwa Atome und Moleküle ein geheimnisvolles Doppelleben: Sie verhalten sich einerseits wie ein Teilchen und andererseits wie eine elektromagnetische Welle. Physiker sprechen in diesem Zusammenhang von einer Materiewelle. Bei sinkender Temperatur dehnen sich die einzelnen Materiewellen immer weiter aus, bis sie sich schließlich gegenseitig überlagern.

Ähnlich wie Ozeanwellen, die sich gegenseitig zu einer Riesenwelle aufschaukeln, wird aus den Millionen einzelnen Materiewellen eine einzige, große zusammenhängende Materiewelle – das BEC. Da die einzelnen Atome in dieser Materiewelle gewissermaßen im Takt schwingen und sich dabei wie ein einziges, großes Riesenatom verhalten, spricht man auch von einem makroskopischen, das heißt millimetergroßen, Quantensystem. Ähnlich wie Laserstrahlen lassen sich die Materiewellen zweier Kondensate zu einem Muster überlagern. Solche Interferenzen stellen eine Art Sensor für Lageänderungen oder Drehungen dar, mit dem sich fundamentale Fragestellungen der Physik, wie zum Beispiel das schwache Äquivalenzprinzip der Relativitätstheorie testen lassen. Physiker sprechen daher vom BEC als einem makroskopischen Quantensensor.

When atoms lose their individuality

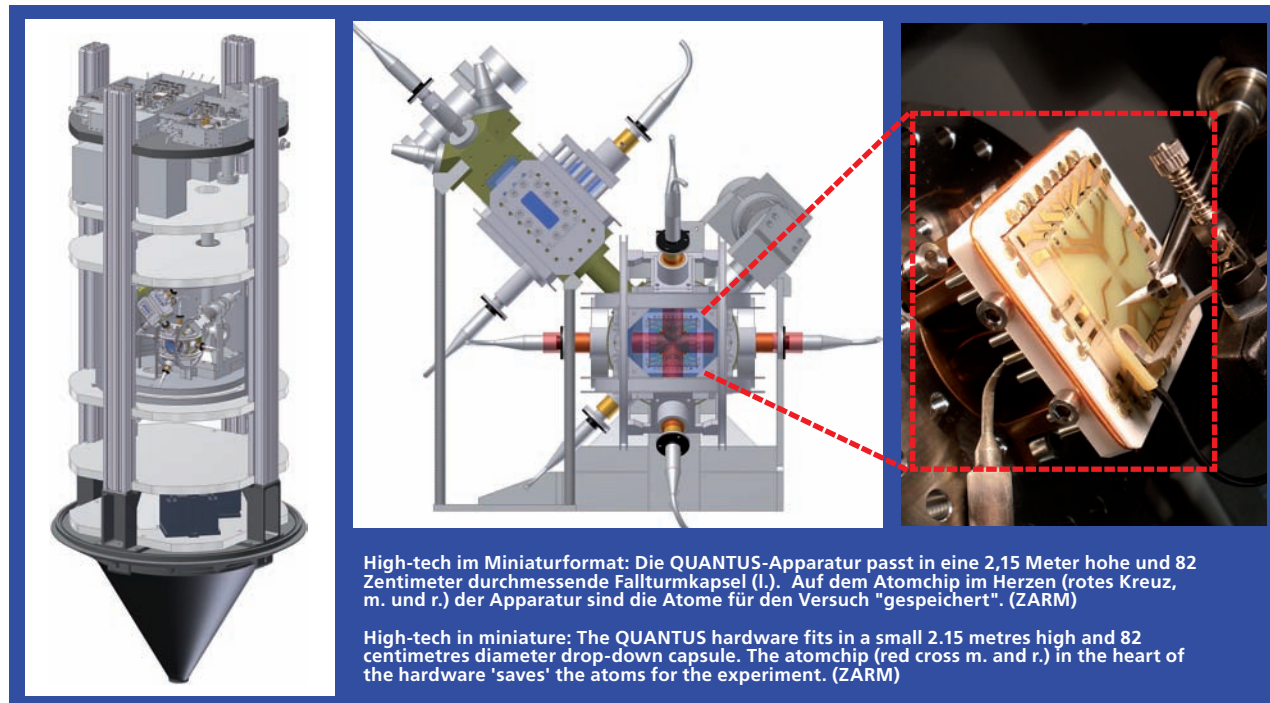
As early as 1924, German physicist Albert Einstein, in his manuscript entitled 'Quantum Theory of the Monatomic Ideal Gas', and Indian physicist Satyendranath Bose, in his 'Planck's Law and Light Quantum Hypothesis', described in theory this special state of aggregation in which, at temperatures close to absolute zero, individual ultra-cold atoms lose their individuality and enter a common state. To honour its intellectual fathers, that state of aggregation is now called a Bose-Einstein condensate. Quantum mechanics teaches us that infinitesimal material objects such as atoms and molecules lead a mysterious double life: they behave like particles on the one hand and like electromagnetic waves on the other. To describe this, physicists use the term 'matter wave'. As temperatures go down, individual matter waves go on expanding until they superimpose each other in the end.

Like ocean ripples that build each other up and up until a giant wave is formed, millions of individual matter waves turn into a single large coherent matter wave – the BEC. As the individual atoms of this matter wave vibrate synchronously, in a manner of speaking, behaving like a single giant atom, BECs are also known as macroscopic, i.e. millimetre-sized, quantum systems. Like laser beams, the matter waves of two condensates may be superimposed in an interference pattern. These patterns represent a kind of sensor that detects attitude changes or rotations and may be used to probe fundamental questions in physics such as, for example, the weak equivalence principle in the theory of relativity. This is why physicists occasionally say that BECs are macroscopic quantum sensors.



Atome werden sichtbar: Bei sinkender Temperatur dehnen sich die einzelnen Materiewellen stetig aus, bis sie sich schließlich gegenseitig überlagern. Ähnlich wie Ozeanwellen, die sich gegenseitig zu einer Riesenwelle aufschaukeln, wird aus den Millionen einzelnen Materiewellen eine einzige große Materiewelle – das BEC. (Universität Hannover)

Atoms turn in sight: As temperatures go down, individual matter waves go on expanding until they superimpose each other in the end. Like ocean ripples that build each other up and up until a giant wave is formed, millions of individual matter waves turn into a single large matter wave – the BEC. (University of Hannover)



High-tech im Miniaturformat: Die QUANTUS-Apparatur passt in eine 2,15 Meter hohe und 82 Zentimeter durchmessende Fallturmkapsel (l.). Auf dem Atomchip im Herzen (rotes Kreuz, m. und r.) der Apparatur sind die Atome für den Versuch "gespeichert". (ZARM)

High-tech in miniature: The QUANTUS hardware fits in a small 2.15 metres high and 82 centimetres diameter drop-down capsule. The atomchip (red cross m. and r.) in the heart of the hardware 'saves' the atoms for the experiment. (ZARM)

QUANTUS III und die Relativitätstheorie

Das schwache Äquivalenzprinzip geht auf Überlegungen von Galileo Galilei zurück und diente Albert Einstein 1907 als ein Leitgedanke zum Aufbau der Allgemeinen Relativitätstheorie. Alle schweren und trägen Körper durchlaufen – unabhängig von ihren anderen Eigenschaften wie chemische Zusammensetzung, Größe, Form und Masse – im Vakuum bei gleichem Anfangsort und gleicher Anfangsgeschwindigkeit dieselbe Fallkurve. So fallen etwa eine Vogelfeder und eine Bleikugel in einer evakuierten Röhre gleich schnell zu Boden. Sie verhalten sich also gleichwertig. Die Beobachtung einer Verletzung des Äquivalenzprinzips würde daher zeigen, dass die Allgemeine Relativitätstheorie nur begrenzt gültig wäre. Mit heutiger Messgenauigkeit hat man allerdings bislang keine Abweichungen vom Äquivalenzprinzip nachweisen können.

Um ein BEC zu erzeugen, müssen Gasatome sehr viel Energie verlieren. In diesen niederenergetischen Zustand können die Teilchen versetzt werden, indem man sie in einer magneto-optischen Falle sehr stark abbremst. Um in unmittelbare Nähe des absoluten Nullpunktes heruntergekühlt zu werden, sind mehrere Schritte erforderlich. In der Apparatur, die im Fallturm Bremen eingesetzt wird, fängt ein elektronischer Mikrochip die Atome. Mittels einer aufwendigen Laseranordnung werden sie stark heruntergekühlt. Der Laserimpuls stößt die Atome an und bremst sie ab. Er zwingt sie so zur Änderung ihres Quantenzustandes und entzieht ihnen dabei Energie.

QUANTUS III and the theory of relativity

Harking back to Galileo Galilei, the weak equivalence principle was one of the ideas that guided Albert Einstein when he developed his general theory of relativity in 1907. All heavy and inertial bodies that drop from the same point and with the same initial velocity in a vacuum follow the same curve independently of their other properties, such as chemical composition, size, shape, or mass. In an evacuated tube, for example, a feather and a leaden bullet will drop to the ground with equal speed. In other words, their behaviour is equivalent. If an infringement of the principle of equivalence were observed, this would show that the validity of the general theory of relativity is limited. So far, however, even high-precision measurements have been unable to demonstrate any deviation from the principle.

To form a BEC, gas atoms need to lose a great deal of energy. Particles may be put into such a low-energy state by slowing them down massively in a magneto-optical trap. To reduce their temperature to the immediate vicinity of absolute zero, several steps are needed. In the apparatus used in the Bremen drop tower, atoms are trapped by an electronic microchip and cooled down by a sophisticated laser system. By impinging on and decelerating them, laser pulses force atoms to change their quantum state and shed some of their energy.

Im dreidimensionalen Raum müssen die Atome in allen drei Raumrichtungen gebremst werden. Dazu werden sechs Laserstrahlen benötigt, deren Frequenz so gewählt wird, dass nur die Atome, welche sich auf die Laserstrahlen zu bewegen, das Laserlicht absorbieren (Dopplereffekt). Die Atome geben das Laserlicht sofort wieder willkürlich in alle möglichen Richtungen ab, erfahren allerdings dabei einen Rückstoß in die jeweilige Gegenrichtung. Dieses Prinzip der Laserkühlung kann die Atome nie vollständig abbremsen: Dem absoluten Nullpunkt kommt man allein dadurch nicht nahe genug.

Kalt ist nicht kalt genug

Wissenschaftler bedienen sich bei der Tief-Kühlung von Atomen einer Methode, die mit dem gezielten Abkühlen von Kaffee in einer Tasse vergleichbar ist: Lässt man das Heißgetränk stehen, kühlt es verhältnismäßig langsam ab. Entfernt man aber durch Pusten gezielt den aufsteigenden Dampf – also auf dem Wege zum BEC die verbliebenen hochenergetischsten Gasatome – so kühlt das Heißgetränk wesentlich schneller ab. Dieses „Pusten“ wird im Fall der kalten Atome durch geschickte Variation der magneto-optischen Falle erreicht. Durch diese sogenannte Evaporationskühlung können Temperaturen erreicht werden, die nur noch 10^{-7} Grad Kelvin vom absoluten Nullpunkt entfernt sind – ideale Bedingungen zur Erzeugung eines BECs.

Um solche Bedingungen wesentlich länger aufrechtzuerhalten, brauchen die Wissenschaftler Schwerelosigkeit. Erhöhen die gekühlten Atome durch Wechselwirkung mit ihrer Umgebung wieder ihre Geschwindigkeit, steigt auch ihre Temperatur und somit ihr energetischer Zustand. Das BEC als Quantenzustand geht verloren. Je weiter sich das BEC ausdehnt, desto länger hat es Bestand. Je länger ein BEC aufrecht erhalten werden kann, umso exaktere Ergebnisse liefert der makroskopische Quantensensor.

Weiterhin wollen die Wissenschaftler mit den Atomen verschiedener Elemente experimentieren. Bislang ist es im Labor gelungen, Bose-Einstein-Kondensation für eine Vielzahl verschiedener Atome zu erreichen: Lithium (${}^7\text{Li}$), Natrium (${}^{23}\text{Na}$), Kalium (${}^{41}\text{K}$), Chrom (${}^{52}\text{Cr}$), Rubidium (${}^{85}\text{Rb}$ und ${}^{87}\text{Rb}$), Caesium (${}^{133}\text{Cs}$) und Ytterbium (${}^{174}\text{Yb}$). Mit Rubidium und Kalium lässt sich am einfachsten ein BEC herstellen. Die vom QUANTUS-Team verwendeten Kühllaser sind auch auf diese beiden Elemente ausgerichtet. Mit diesen beiden atomaren Spezies soll schließlich das Äquivalenzprinzip getestet werden – eines der großen mittelfristigen Ziele des Projekts: Wie verhalten sich die Atome verschiedener Elemente im freien Fall – treten Unterschiede in der Fallgeschwindigkeit auf?

Die beiden Säulen von QUANTUS III

Das Projekt stützt sich auf zwei Säulen – nämlich Fallturm- und Raketenexperimente. Die Versuche im Bremer Fallturm werden ab 2011 weiter optimiert. In der bisherigen Kapsel für Fallturmabwürfe – der sogenannten QUANTUS-I-Apparatur – traten während der Durchführung der Experimente teilweise Störungen durch Magnetfelder auf, die den Schweißnähten zwischen einzelnen Segmenten im Bremer Fallturm geschuldet sind. Das BEC reagiert sehr empfindlich auf Magnetfelder, wenn es sich in einem magnetisch sensitiven Quantenzustand befindet. Um diesen Effekt zu dämpfen, war die QUANTUS-I-Apparatur mit einem speziellen Metallschirm (MU Metall) umgeben. Künftig versuchen die Wissenschaftler in dieser Apparatur Quantenzustände zu realisieren, in denen die

In three-dimensional space, atoms need to be slowed down in all three directions. For this purpose, six laser beams are required whose frequencies are adjusted so that only atoms that move towards a laser absorb its light (Doppler effect). As the atoms will immediately emit the laser light again in any random direction, they are driven in the opposite direction. However, laser cooling on its own is incapable of bringing atoms to a complete standstill. It is not enough to get as close to absolute zero as required.

Cold is not cold enough

For this reason, scientists employ a method for intensive cooling of atoms that can be compared to the cooling of coffee in a cup: if you simply let the beverage stand, it will cool comparatively slowly. If, however, you purposefully remove the vapour rising from it by blowing – or if you remove the remaining high-energy gas atoms on the way to a BEC – the beverage will cool much faster. Where cold atoms are concerned, the 'blowing effect' is achieved by skilfully varying the magneto-optical trap. Called evaporative cooling, this method permits reaching temperatures that are no more than 10^{-7} Kelvin away from absolute zero – ideal conditions for generating a BEC.

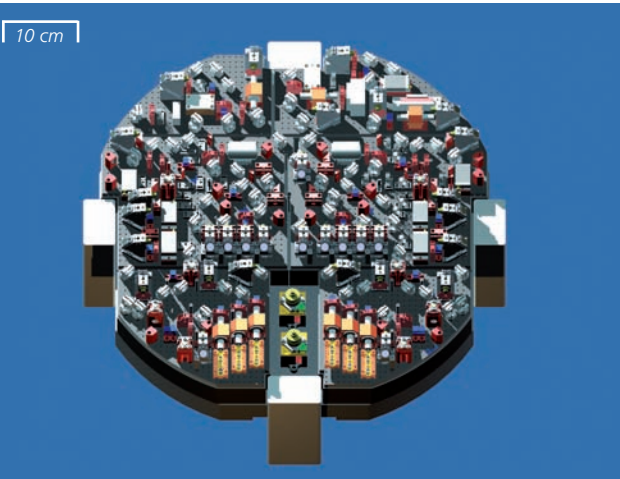
To keep these conditions constant for much longer periods, scientists need zero gravity. When cold atoms increase their velocity by interacting with the environment, their temperature rises, and their energetic state with it, thus losing their BEC quantum state. The sensitivity of a BEC correlates to its expansion time. The longer a BEC can be maintained intact, the more exact the results delivered by the macroscopic sensor will be.

It will also be interesting to experiment with a variety of nuclides. Scientists have succeeded in producing Bose-Einstein condensates laboratory experiments from a multitude of different atoms: lithium (${}^7\text{Li}$), sodium (${}^{23}\text{Na}$), potassium (${}^{41}\text{K}$), chromium (${}^{52}\text{Cr}$), rubidium (${}^{85}\text{Rb}$ and ${}^{87}\text{Rb}$), caesium (${}^{133}\text{Cs}$), and ytterbium (${}^{174}\text{Yb}$). BECs are easiest to make from rubidium and potassium, and the cooling lasers used by the QUANTUS team are adjusted to these two nuclides. Ultimately, they will be employed to put the principle of equivalence to the test, with one of the answers expected from the project in the medium term being: how will the different nuclides 'drop' towards one another, and will any differences appear in their drop rates?

The two pillars of QUANTUS III

The project is underpinned by two pillars – drop-tower and rocket experiments. As regards the first, efforts are now under way to optimise tests in the Bremen drop tower. The capsule that has so far been used in drop tests – called the QUANTUS-I apparatus – was occasionally affected during experiments by interferences caused by magnetic fields which could be traced back to the weld seams that join the individual segments of the drop tower. A BEC responds strongly to magnetic fields while it is in a magnetically sensitive quantum state. To mitigate this effect, the QUANTUS-I apparatus was surrounded by a screen of special metal (Mu metal). In the future, scientists will try to use this apparatus to realise quantum states in which the atom cloud is no longer sensitive to magnetic interference. Even more compact and robust, a new experimental setup, the QUANTUS II





Um den Raketenstart realisieren zu können, darf der maximale Durchmesser von 60 Zentimeter nicht überschritten werden. (Universität Berlin)

To make the start of the rocket real, the laser hardware construction must not overspend the maximal diameter of 60 centimetres. (Universität Berlin)



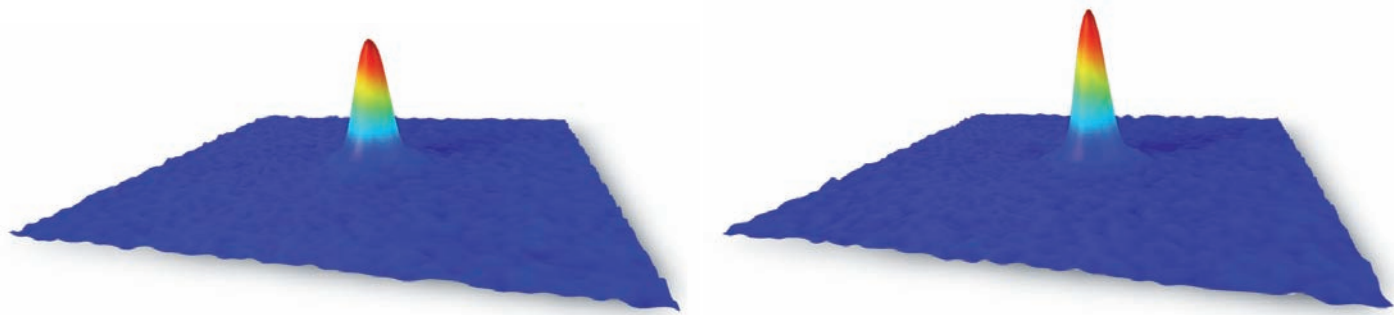
Der Pionier: Wolfgang Ketterle (l.) erzeugte zum ersten Mal ein BEC – allerdings nicht in Schwerelosigkeit. Für seine Verdienste erhielt er am 10. Dezember 2001 den Physik-Nobelpreis. (dpa/epa afp Penny)

The Pioneer: Wolfgang Ketterle (l.) created for the first time a BEC – but not in weightlessness. For his achievements he received the Nobel Prize in Physics on December 10, 2001. (dpa/epa afp Penny)

Atomwolke nicht anfällig ist für magnetische Störfelder. Eine neue, noch kompaktere und robustere Versuchsanordnung, die Katapultkapsel QUANTUS II, soll darüber hinaus eine längere Experimentierzeit erschließen. Diese Kapsel wird vom Boden der Fallturmröhre mittels einer Katapultvorrichtung senkrecht nach oben geschossen und fällt nach Erreichen des Scheitelpunktes wieder in die Tiefe. Dadurch verdoppelt sich die Dauer der Schwerelosigkeit von 4,5 Sekunden bei einfachen Abwürfen auf neun Sekunden.

Noch höher hinaus: Riesenatome im Weltall
Mit dem nächsten Schritt des Projekts verlassen die Physiker den Bremer Fallturm: Mit der Raketenapparatur MAIUS (Materiewellen-Interferometer Unter Schwerelosigkeit) soll erstmals ein BEC im Weltall erzeugt und über längere Zeit erforscht werden. In einer von Ingenieuren der DLR MORABA (Mobile Raketen Basis) speziell konfigurierten Forschungsrakete soll die MAIUS-Apparatur im Herbst 2013 vom Esrange Space Center (European Space and Sounding Rocket Range) bei Kiruna in Nordschweden starten. Die beteiligten Forscher versprechen sich von der mehrere Minuten dauernden schwerelosen Flugphase einen Durchbruch für die quantenphysikalische Forschung.

Zum Vergleich: Unter normaler Schwerkraft im Labor ist ein BEC maximal für Bruchteile einer Sekunde aufrechtzuerhalten. In einem Fallturmexperiment können die Forscher ein solches Riesenatom immerhin für wenige Sekunden generieren. Der Raketenflug ist für die Physiker deshalb ein Meilenstein: Durch die länger anhaltende Schwerelosigkeit sind sie in der Lage, gleich mehrmals ein BEC zu erzeugen und dieses über einen deutlich längeren Zeitraum ungestört zu studieren als bisher – ein weltweit einzigartiges Projekt. Im Verbund von insgesamt zehn Universitäten, Forschungsinstituten und ingenieurwissenschaftlichen Einrichtungen in Deutschland, unterstützt von zwei Universitäten in Frankreich und Großbritannien,



catapult capsule is expected to afford longer tests. This capsule will be shot vertically upward from the bottom of the drop tower by a catapult and drop down again after reaching the apex. This will double the duration of microgravity from the 4.5 seconds offered by one-way drops to nine seconds.

Up even higher: giant atoms in space
The next step in the project will take physicists away from the Bremen drop tower. They have set their sights much higher: MAIUS, a matter-wave interferometer that will be launched on a rocket, will generate the first BEC in space and investigate it over a lengthy period of time. Carried by a research rocket especially configured by engineers of the DLR Mobile Rocket Base (MORABA), MAIUS is scheduled to take off from the Esrange (European Space and Sounding Rocket Range) space centre near Kiruna in the north of Sweden in the autumn of 2013. During the zero-gravity phase of the flight, which will last for several minutes, researchers hope to enter territory that has not been explored so far in quantum physics experiments.

To put the matter in perspective: under normal gravity, a BEC can be maintained in a laboratory for no longer than a few fractions of a second. This is why physicists regard this rocket flight as a milestone. During the prolonged phase of microgravity, they will be able to generate not one but several BECs in succession and study them for a period that is much longer than anything that has been achieved so far – a project that is unique worldwide. With the support of two universities in France and Great Britain, Professor Wolfgang Ertmer, director of the Institute of Quantum Optics at Hanover University and winner of the Leibniz Prize, will coordinate a project team staffed by a total of ten universities, research institutes, and engineering-science institutions in Germany.

koordiniert Leibniz-Preisträger Professor Wolfgang Ertmer, Leiter des Instituts für Quantenoptik der Universität Hannover, das Projektteam.

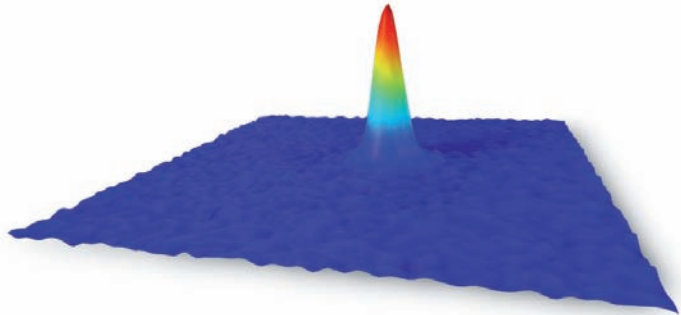
Hightech im Miniaturformat
Doch wie gelingt es, die gesamte Technik in eine Apparatur zu integrieren, die so klein ist, dass sie als Nutzlast für eine Rakete geeignet wäre? Die größte Schwierigkeit ist das Entwickeln und Bauen einer robusten Apparatur im Miniaturformat. Als 1995 das erste BEC im Labor erzeugt wurde, benötigten die Wissenschaftler noch ein großes, vollgestopftes Zimmer. Das ist nun Vergangenheit: Heute reicht im Fallturm in Bremen eine mannshohe Apparatur mit einem Durchmesser von 60 Zentimetern aus. Die MAIUS-Raketenapparatur muss allerdings auf maximal 50 Zentimeter im Durchmesser geschrumpft werden. Diese kleine Apparatur so robust zu bauen, dass sie die gewaltigen Erschütterungen während des Starts aushält und Temperaturdifferenzen während des Fluges toleriert, ist eine enorme Herausforderung für die Experten des QUANTUS-Teams. Daher werden im Vorfeld Vibrationstests unternommen und die Temperaturanfälligkeit der Laser getestet.

Die ISS – das Ziel der Physiker
Die Raketenapparatur ist eine Vorstufe zum eigentlich angestrebten Ziel, BEC über noch längere Zeiten auf der Internationalen Raumstation ISS zu erforschen. Die Wissenschaftler wollen hierbei von den Erfahrungen aller vorangegangenen QUANTUS-Projekte profitieren. Immense Fortschritte auf dem Gebiet der Lasertechnologie werden gleichzeitig von einem weiteren von der DLR Raumfahrt-Agentur geförderten Projekt erwartet. Leichtbauweise und Volumenreduktion durch Mikrointegration sowie mechanische und thermische Stabilität der künftige Laser stehen hier im Mittelpunkt. Dieses Vorgehen soll dabei helfen, das Ziel der Physiker baldmöglichst zu erreichen.

Verbundpartner von QUANTUS III
An dem Verbundprojekt QUANTUS III sind folgende Einrichtungen beteiligt:
■ Institut für Quantenoptik der Leibniz Universität Hannover
■ Institut für Laserphysik der Universität Hamburg
■ ZARM (Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation) an der Universität Bremen
■ AG Metrologie der Humboldt Uni Berlin
■ Ferdinand-Braun-Institut (FBH) für Höchstfrequenztechnik in Berlin
■ Abteilung für Quantenphysik der Universität Ulm
■ Institut für Angewandte Physik der TU Darmstadt
■ DLR Institut für Raumfahrt-Systeme (RY) in Bremen
■ DLR MORABA
■ Max-Planck-Institut für Quantenoptik in München
■ Laboratoire Kastler Brossel de l'E.N.S. (Paris/Frankreich)
■ Midland Ultracold Atom Research Center Uni Birmingham (UK)

Dr. Rainer Forke betreut für das DLR Raumfahrt-Management in der Abteilung Forschung unter Weltraumbedingungen das QUANTUS III-Verbundprojekt.

Dr. Rainer Kuhl leitet das Programm Physikalische Forschung/ Materialwissenschaften in der Abteilung Forschung unter Weltraumbedingungen im DLR Raumfahrt-Management.



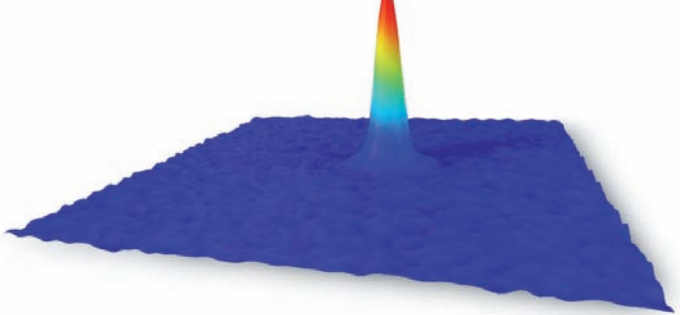
High-tech in miniature
But how to integrate all that technology into an assembly small enough to fit into a rocket? The greatest challenge confronting scientists is to develop and build a robust apparatus of Lilliputian size. When the first BEC was generated in a laboratory in 1995, scientists needed a large room crammed with equipment. This is a thing of the past: today, an apparatus as tall as a man and measuring 60 centimetres in diameter is all that is needed for drop-tower tests. To be carried in a rocket, however, MAIUS had to be shrunk to a diameter of not more than 50 centimetres. This small apparatus must be robust enough to withstand the violent shocks of take-off and built to tolerate the temperature fluctuations that occur during the flight – an enormous challenge for the experts of the QUANTUS team. This is why vibration tests will be conducted during the run-up, and the lasers' temperature resistance will be tested.

The ISS – a goal of physicists
The rocket apparatus is only another step towards the proper goal of examining BECs for even longer periods on the -lnternational Space Station (ISS). Scientists intend to build this stage on the experience gathered in all previous QUANTUS projects. At the same time, immense progress in laser technology is expected of another project sponsored by the DLR Space Agency. In this case, the focus is on lightweight construction, volume reduction by micro-integration, and the mechanical and thermal stability of the lasers that will be used in the future. This approach is intended to assist physicists in reaching their goal as soon as possible.

Partners in the QUANTUS III consortium
Partners in the QUANTUS III project consortium include:
■ Institute of Quantum Optics at Leibniz University, Hanover
■ Institute of Laser Physics at Hamburg University
■ Centre for Applied Space Technology and Microgravitation (ZARM) at Bremen University
■ Metrology Group at Humboldt University, Berlin
■ Ferdinand Braun Institute of Ultra-high Frequency Technology in Berlin
■ Department of Quantum Physics at Ulm University
■ Institute of Applied Physics at Darmstadt TU
■ DLR Institute of Space Systems (RY) in Bremen
■ DLR MORABA
■ Max Planck Institute for Quantum Optics in Munich
■ Laboratoire Kastler Brossel de l'E.N.S. (Paris, France)
■ Midland Ultracold Atom Research Centre at Birmingham University (UK)

Dr Rainer Forke oversees the QUANTUS III project on behalf of the DLR Space Administration's Department of Research under Space Conditions.

Dr Rainer Kuhl directs the Physical Research/Materials Science Programme in the DLR Space Administration's Department of Research under Space Conditions.



Die Jahreszeiten im Visier: Cassini ist die erste von vier Sonden, die es durch eine Verlängerung der Mission schaffen wird, alle Jahreszeiten des Saturn zu beobachten. (NASA)

Seasons on target: Due to the extension of the mission, Cassini is the first of four probes which will be able to observe all seasons of Saturn. (NASA)

Jahreszeiten des Saturn

Mission Cassini geht in die Verlängerung

Von Dr. Manfred Gaida

Drei Raumsonden sind vor Cassini-Huygens zum Gasplaneten Saturn aufgebrochen und haben von dort wertvolle Messdaten zur Erde gesendet: Pioneer 11, Voyager 1 und Voyager 2. Doch aufgrund der langen Saturnjahre konnte bislang keine der Sonden alle Jahreszeiten des Ringplaneten erforschen, denn ein Saturnjahr entspricht knapp 30 Erdjahren. Mit der in diesem Jahr beschlossenen Weiterfinanzierung von Cassini in Höhe von jährlich rund 60 Millionen Dollar soll dieses Ziel nun erreicht werden. Bis die NASA/ESA-Mission voraussichtlich im September 2017 endet, wird auf der nördlichen Hemisphäre Sommer und ein Saturnjahr damit komplett sein.

The Seasons of Saturn

Mission Cassini goes into Extra Time

By Dr Manfred Gaida

Three space probes before Cassini-Huygens have set out for the gas planet Saturn; sending important data back to Earth: Pioneer 11, Voyager 1, and Voyager 2. However, because Saturn's years are so long none of the probes has been able to investigate all the ringed planet's seasons so far – for one Saturnian year equates 30 years on Earth. Now that it has been decided to extend Cassini's mission and its funding (around 60 million dollars annually) this goal is within reach. By the time the NASA/ESA mission ends presumably on September 2017, it will be summer in the Northern hemisphere, and the Saturnian year will be complete.



Am 14. Januar 2005 erreichte die ESA-Sonde Huygens die oberste Atmosphärenschicht Titans und setzte – an einem Fallschirm hängend – nach einem Sinkflug von zwei Stunden und 28 Minuten auf dessen Oberfläche auf. (NASA)

On January 14, 2005, the ESA probe Huygens reached the highest layer of Titan's atmosphere and landed on its surface after a trip of two hours and 28 minutes hanging on a parachute. (NASA)

Der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen verlagert sich sukzessive in nördliche Breiten des Saturn, bis die Sonne schließlich an ihrem nördlichen Wendekreis angekommen ist – dieser Vorgang gab der „Sonnenwendmission“ (Cassini Solstice Mission, der letzte Abschnitt der Gesamtmission) ihren Namen. Ziel ist nicht nur ein besseres Verständnis der Jahreszeiten auf Saturn: Durch die bereits im Sommer 2009 festgelegte und in sechs Phasen eingeteilte Referenzflugbahn ergeben sich ideale Beobachtungsbedingungen: Cassini wird bis November 2016 zweimal äquatoriale und geneigte Umlaufbahnen einschlagen. Anschließend wird die Sonde Bahnen beschreiben, welche sie nahe an die äußere Ringkante heran- und schließlich ab April 2017 dann zwischen innerer Ringkante und oberer Saturnatmosphäre hindurchführen.

Während der Sonnenwendmission wird Cassini den Ringplaneten rund 160-mal umrunden. Ebenso nähert sich Cassini 56-mal dem Titan, zwölfmal Enceladus, dreimal Dione sowie zweimal Rhea. Zwischen den Mondbegegnungen werden zahlreiche wissenschaftliche Messungen durchgeführt. Während der äquatorialen Umläufe werden in dieser Perspektive die Beobachtungen der Saturnatmosphäre vom Ringsystem weniger gestört. So sollen die Nahmessungen einzigartige Vergleichsmöglichkeiten mit Beobachtungen der Juno-Raumsonde liefern, die im August 2016 am Jupiter ankommen soll. Im Verlauf der geneigten Orbits kann das Ringsystem und die Magnetosphäre detailliert beobachtet werden.

Ermöglicht wurde die Aussicht auf vielversprechende neue Messergebnisse durch die erneute Missionsverlängerung. Doch diese wäre ohne den günstigen Starttermin gar nicht realisierbar gewesen. Die spezifische Flugbahn, die die Titan 4B-Rakete vom Kennedy Space Center aus am 15. Oktober 1997 einschlagen konnte, erlaubte gegenüber anderen Terminen eine Treibstoffersparnis, von der die Gesamtdauer der Mission jetzt profitiert.

Rückblick: Nach sechs Jahren und neun Monaten Flugzeit erreichte die NASA-Raumsonde Cassini und ihre ESA-Huckepacksonde Huygens am 1. Juli 2004 das Saturnsystem und schwenkte nach einem 90-minütigen Abbremsmanöver in eine Umlaufbahn um den Riesenplaneten ein. Am 25. Dezember desselben Jahres wurde die Huygens-Sonde von Cassini abgetrennt und tauchte am 14. Januar 2005 in die dichte Atmosphäre des Saturnmondes Titan ein, um wenig später weich zu landen. Die Messdaten und Bilder, die Huygens während der Abstiegsphase und am Boden aufnahm, wurden zur Erde gesendet. Damit war die erste Missionsphase bereits Mitte 2008 abgeschlossen.

Daran schloss sich eine weitere Phase, die „Cassini Equinox Mission“, an. Während dieser untersuchte man Prozesse im Saturnsystem, die sich bei äquatorialer Sonneneinstrahlung abspielen. Zum Erfolg der Cassini-Huygens-Mission tragen 18 Instrumente bei, an denen 17 Länder beteiligt sind. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt fördert elf Instrumente. Zwei davon wurden unter deutscher Federführung entwickelt und gebaut. Diese inter-

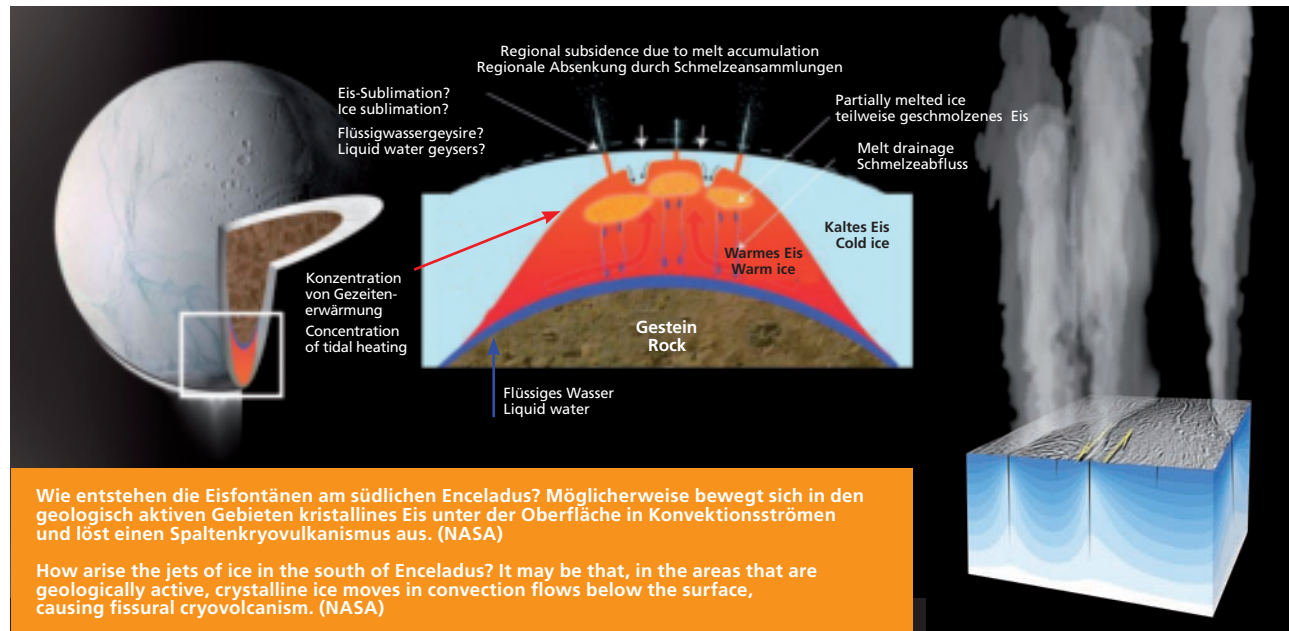
The angle of impact of the Sun's rays successively shifts towards the Northern planetary latitudes until the Sun reaches its Northern tropic. This event gave its name to the Cassini Solstice Mission (CSM). However, the mission not only aims at improving our understanding of the seasonal effects on Saturn. Due to the subdivision of its reference flight path into six phases, defined in the summer of 2009, it also enjoys ideal conditions for observation: Cassini will fly on two equatorial and two inclined orbits until November 2016, after which it will follow paths that will lead it close to the outer edge of the rings. Later, from April 2017 onwards, it will pass between the inner rim of the rings and the upper reaches of Saturn's atmosphere.

During the CSM, Cassini will complete some 160 orbits around the ring planet, closely passing Titan 56 times, Enceladus twelve times, Dione three times, and Rhea twice. In between its close encounters with these moons, it will take numerous scientific measurements. While the probe is on its equatorial orbits, the ring system is less likely to interfere with its observations of the Saturnian atmosphere. This will be a unique opportunity to benchmark its close-up measurements against the observations of the Juno space probe which is scheduled to arrive at Jupiter in August 2016. From the inclined orbits, Cassini will be able to view the ring system and the magnetosphere in detail.

It was thanks to the recent extension of Cassini's mission that scientists can now look forward to some promising new results. However, none of these would have been possible if the mission had not been launched on a particularly favourable date. The trajectory which the Titan 4B rocket was able to follow after its launch from the Kennedy Space Center on October 15, 1997 enabled it to save more fuel than would have been possible otherwise, savings from which the duration of the mission is now benefiting.

Looking back: after a flight of six years and nine months the NASA's Cassini space probe and its ESA piggyback, Huygens, reached the Saturnian system on July 1, 2004, entering an orbit around the giant planet after 90 minutes of braking. On December 25 in the same year, the Huygens probe separated from Cassini, entered the dense atmosphere of Titan on January 14, 2005, and executed a soft landing on the ground of the Saturnian moon a little later. The data and images recorded by Huygens during its descent and after landing were transmitted back to Earth. Thus, the first phase of the mission was concluded by the middle of 2008.

The next phase that followed was the Cassini Equinox Mission. This phase served to study numerous processes which take place in the Saturnian system under equatorial insolation. 18 instruments built by 17 countries are helping to make the Cassini-Huygens mission a success. Eleven instruments are funded by the DLR, and two of these were developed and built under German coordination. This



nationale Kooperation hat insbesondere bei den Saturnmonden erstaunliche Ergebnisse erzielt.

Titan – der Erdähnliche

Dank der Beobachtungen von Cassini und der Landung der Raumsonde Huygens auf dem Saturnmond Titan (5150 Kilometer Durchmesser), konnte einer der außergewöhnlichsten Körper in unserem Sonnensystem erforscht werden. Zum einen ist Titan außer der Erde der einzige bekannte Himmelskörper mit Oberflächengewässern – allerdings in Form von Methanseen. Zum anderen ist Titan der einzige Mond mit einer dichten, ausgedehnten Atmosphäre. Diese ist mit einem Anteil von 94 Prozent Stickstoff, zwei bis sechs Prozent Methan und vielen komplexen, organischen Kohlenwasserstoffverbindungen der frühesten Erdatmosphäre ähnlich.

Die Kamerasysteme Imaging Science Subsystem und Visual and Infrared Mapping Spectrometer an Bord von Cassini durchdringen die undurchsichtige Titanatmosphäre. Ergebnis: Auf Titan herrscht, ähnlich wie auf der Erde, ein ausgeprägtes Wettersystem mit Wind und Stürmen, deren Intensität jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Dies trägt zur Bodenerosion, zur Ab- und Verlagerung von Oberflächenmaterial sowie durch Niederschlag zum Wachsen und Verschwinden der Methanseen bei. Das Radarinstrument auf Cassini hat inzwischen fast die Hälfte der Oberfläche Titans abgetastet. Bis zum Ende der Mission soll das Bodenprofil vollständig sein.

Außerdem will man weiterhin die Atmosphäre inklusive des "hydrologischen" Zyklus erforschen, der langfristig auch klimatischen Schwankungen unterliegt, die durch die Präzision der Polachse Titans verursacht werden. Ferner erwartet man jahreszeitliche Änderungen der globalen Zirkulation in Titans Stratosphäre.

Enceladus – ein Mond mit Eisfontänen

Enceladus (rund 500 Kilometer Durchmesser) geriet in den wissenschaftlichen Fokus, als verschiedene Instrumente an Bord von Cassini während eines Vorbeiflugs im Jahre 2005 eine innere geologische Aktivität feststellten. Doch wodurch wird sie erzeugt? Am Südpol dieses Mondes befindet sich ein Gebiet, an dem die Oberfläche um 20 bis 25 Grad stärker aufgeheizt ist, als zu erwarten wäre. Doch Enceladus ist viel zu klein für radioaktiven Zerfall als Wärmequelle. Auch Reibungswärme im Inneren des Eismondes ist unwahrscheinlich: Der Mond umkreist Saturn in einer 2:1-Resonanz mit einem weiteren Saturnmond Dione, wodurch Gezeitenkräfte wirken, die nicht ausreichen, um Eis zu verflüssigen. Die gesamte Erwärmungsrate, die sich aus mögli-

international cooperation has produced some amazing results, especially about the moons of Saturn.

Titan – the moon that recalls Earth

Together with Cassini's observations, it was the landing of the Huygens space probe on the Saturnian moon of Titan (5,150 kilometres in diameter) that enabled scientists to explore one of the most extraordinary bodies in our solar system. For one thing, Titan is the only other celestial body except Earth that has lakes on its surface, although these are not bodies of water but of liquid methane. For another, Titan is the only moon with a dense, extensive atmosphere which resembles the earliest atmosphere of Earth, being composed of 94 percent nitrogen, two to six percent methane, and many complex organic hydrocarbon compounds.

The camera systems Imaging Science Subsystem (ISS) and Visual and Infrared Mapping Spectrometer (VIMS) on board Cassini are able to penetrate Titan's opaque atmosphere. Results: it appears that some of the processes taking place on Titan resemble those on Earth. A powerful weather system featuring winds and gales whose intensity fluctuates with the season erodes the soil, deposits and moves material on the surface, and causes methane lakes to spread and shrink by precipitation. Moreover, Cassini's radar instrument has scanned nearly two quarters of Titan's surface by now, and it is expected that the terrain profile will be complete by the end of the mission.

During future fly-bys it is also intended to explore Titan's atmosphere, including its 'hydrological cycle' which is also subject to climatic fluctuations that are caused by the precession of Titan's polar axis. Furthermore, scientists expect to see seasonal changes in the global circulation of Titan's stratosphere.

Enceladus – the moon that ejects jets of ice

Enceladus (around 500 kilometres in diameter) drifted into the focus of science when various instruments discovered geological activity in its interior when Cassini flew by in 2005. But where does that activity come from? At the south pole of this moon, there is an area where the surface is 20 to 25 degrees warmer than expected. At the same time, Enceladus is far too small for radioactive decay to generate this heat, nor is it probable that it might be caused by friction in the interior of the ice moon. The moon circles around Saturn in a 2:1 resonance with Saturnian moon Dione, which causes tidal forces that are not powerful enough to liquefy ice. The total heating rate that could be produced by any radioactive decay and the strongest possible tidal



chem radioaktivem Zerfall zusammen mit den maximalen Gezeitenkräften ergibt, beträgt nur knapp ein Zehntel der beobachteten Wärmeenergie. Ammoniak, welches den Schmelzpunkt von Eis herabsetzt, wurde bislang nicht nachgewiesen.

Möglicherweise bewegt sich in den geologisch aktiven Gebieten kristallines Eis unter der Oberfläche in Konvektionsströmen und löst einen sogenannten Spaltenkryovulkanismus aus. Mit Hilfe des Cosmic Dust Analyzer vom Max-Planck-Institut für Kernphysik gelang es mehrfach, die Zusammensetzung dieser Geysire direkt zu messen. Es handelt sich um frisch erzeugte, kleine Eispartikel, von denen die langsameren eine dünne Atmosphäre um Enceladus bilden. Die schnelleren entweichen und dienen dem sehr feinen E-Ring um Saturn als Quelle. Weil sich das Ringmaterial kaum länger als einige tausend Jahre auf seiner Bahn halten kann, sorgt die geologische Aktivität des Mondes regelmäßig für Nachschub.

Das Rätsel des Iapetus – gelöst

Die Oberfläche dieses Saturnmondes (Durchmesser 1436 Kilometer) ist unterschiedlich beschaffen, was den Wissenschaftlern seit Jahrhunderten Rätsel aufgab: Wie kommt diese auffällige Aufteilung in eine helle und eine dunkle Seite zustande? Die in Richtung der Bahnbewegung weisende Bugseite scheint dunkel, die entgegengesetzte Heckseite dagegen hell. Anfang der Achtzigerjahre entdeckten die Raumsonden Voyager 1 und 2, dass das dunkle Gebiet in Äquatornähe weit in die Heckseite hineinreicht, dagegen die Polregionen auch auf der Bugseite hell sind. Die Lösung des Rätsels gelang aber erst dank der Temperaturprofile, die Cassini erstellte.

Der entscheidende Effekt ist ein sich selbst verstärkender Prozess des direkten Überganges eines bestimmten Stoffes vom festen in den gasförmigen Zustand. Dieser Vorgang läuft seit Millionen oder gar Milliarden Jahren auf der Iapetus-Oberfläche ab, hauptsächlich in niederen Breiten auf der Bugseite. Dabei reicherte sich „träges“, dunkles Material an, das im oberflächlichen Eis vorhanden war. Die Wassermenge nahm ab, die Oberfläche wurde dunkler und erwärmte sich dort stärker als an anderen Stellen. Der Sublimationsprozess und die Erwärmung gingen Hand in Hand, bis schließlich das Eis verschwunden und nur noch eine dunkle Deckschicht übrig war. Das Eis selber schlug sich an polwärts gerichteten Kraterändern auf der Heckseite und in Polnähe nieder. So erhielt Iapetus sein heutiges Aussehen.

Doch warum geschah die Sublimation so intensiv nur auf der Bugseite? Anhand der Cassini-Bilddaten erschien das Material bugwärts etwas dunkler und rötlicher als auf der Heckseite. Auf der Bugseite einfallender Staub, der vermutlich von den äußeren Saturnmonden stammt, erklärt dieses Phänomen: Der Staub verstärkt die Verdunkelung und katalysiert die Erwärmung. Offenbar genügte diese geringe Asymmetrie, um den Sublimationsprozess auf der Bugseite in Gang zu setzen.

Dr. Manfred Gaida ist Astronom und wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Extraterrestrik des DLR Raumfahrt-Managements.

forces amount to no more than one tenth of the heat energy observed. Ammonia, which lowers the melting point of ice, has not been demonstrated so far.

It may be that, in the areas that are geologically active, crystalline ice moves in convection flows below the surface, causing fissural cryovolcanism. With the aid of the Cosmic Dust Analyzer (CDA) built by the Max Planck Institute for Nuclear Physics, the composition of these geysers was successfully analysed on several occasions. They consist of recently-generated small ice particles of which those that are slower form a thin atmosphere around Enceladus, whereas the faster ones escape, feeding the very tenuous E-ring around Saturn. The moon's geological activity regularly provides fresh supplies for the material of that ring, which cannot remain with its orbit for much longer than a few thousand years.

The Iapetus enigma – solved

There is a difference in the nature of this Saturnian moon's surface that has been puzzling scientists for centuries: what is the cause of this dichotomy of brightness? Pointing in the direction of travel, its leading face appears dark, while the other hemisphere, the trailing face, is bright. In the early 80s, the Voyager 1 and 2 space probes discovered that the dark area extends far into the trailing face close to the equator, while the polar regions are bright even on the leading face. The riddle was solved only thanks to temperature profiles taken by Cassini.

The crucial effect is a self-reinforcing process of sublimation, which has been operating on the leading face of Iapetus for millions or even billions of years, mainly in the lower latitudes. It enriched 'inertial' dark material that was present in the surface ice. As the volume of water declined, the surface grew darker and was consequently warmed more extensively than elsewhere. Working hand in hand, the sublimation and warming processes reinforced one another until all the ice disappeared, leaving only a dark covering layer behind. The ice, in turn, migrated to the trailing face where it settled on poleward-facing crater rims as well as close to the poles themselves, giving Iapetus its current appearance.

But why was this intense sublimation restricted to the leading hemisphere? On the images delivered by Cassini, the material on the leading hemisphere of Iapetus appears darker and redder than the material on the trailing face. The phenomenon may be explained by dust – probably from Saturn's outer moons – impinging on the leading face: it reinforces the darkening and catalyses the warming effect. Apparently, this slight asymmetry was enough to trigger the process of sublimation on the leading face.

Dr Manfred Gaida is an astronomer and scientific assistant in the space science programme of the DLR Space Administration.

Künstliche Intelligenz als Wegbereiter für bemannte Raumfahrtmissionen: Die Vorhaben LUNARES und RIMRES erproben das Zusammenspiel von Mehrrobotersystemen und versuchen die Software- und Hardwarekomponenten so einzustellen, dass sie vollständig autark und autonom funktionieren können. (DFKI)

Artificial intelligence is to prepare the ground for future human space missions: LUNARES and RIMRES are intended to help develop the software and hardware components of entirely autonomous multiple robot systems. (DFKI)

LUNARES und RIMRES

Mit künstlicher Intelligenz auf dem Weg zu anderen Himmelskörpern

Von Daniel Nölke und Dr. Bernd Sommer

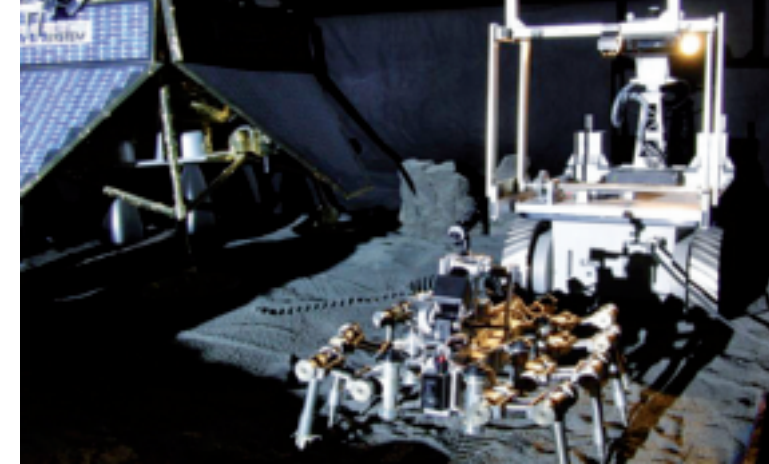
Staub wirbelt auf, als der Lander auf der Mondoberfläche berührt. Mit seinen Kameras erforscht er die Umgebung, ehe er einen Rover absetzt. Auch dieses Fahrzeug erkundet zunächst mit Kameras seine Umgebung, bis es sein Ziel gefunden hat: einen Krater. Zielstrebig hält es darauf zu, weicht dabei Hindernissen aus und sendet Daten zum Lander zurück. Am Krater rand setzt er dann einen Scout – einen kleinen Roboter mit acht Beinen – ab, der sich nun skorpionartig seinen Weg zum Boden des Kraters sucht. Doch dieses Szenario spielte sich nicht auf dem Mond, sondern am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Bremen ab.

LUNARES und RIMRES

Visiting other Celestial Bodies with the help of Artificial Intelligence

By Daniel Nölke and Dr Bernd Sommer

Dust is whirling up as the lander touches down on the lunar surface. Using its cameras, it scans the lunar surroundings before placing a rover on the ground. This vehicle, too, first inspects the terrain with its cameras until it spots its target: the rim of a crater. It heads for its destination, avoiding obstacles and transmitting a stream of data back to the lander. Once it arrives at the crater rim it sets down a small eight-legged robot - a scout, which presently makes its way towards the crater bottom in a scorpion-like crawl. The scene is happening not on the Moon but at the Bremen-based German Centre for Artificial Intelligence (DFKI).



Weich gelandet: Der Rover setzt während des LUNARES Projekts den Scout in den Sand. Im Anschluss macht sich der Scout auf die Suche nach einem Krater, um Gesteinsproben einzusammeln. (DFKI)

Soft landing: during the LUNARES project the rover put the scout into the sand. Subsequently the scout searches for a crater to collect some rock cuttings. (DFKI)

Leerneffekt mit Hindernissen

Der abgesetzte Scout klettert nun einen Abhang mit bis zu 35-prozentiger Gefälle hinunter und weicht gekonnt Hindernissen aus. Er sammelt Gesteinsproben ein, funkt zum Rover, dass er fertig ist und macht sich auf den Rückweg. Alles sieht gut aus, man liegt im Zeitplan. Dann passiert es: Ein Gelenk an einem der acht Beine des Scouts fällt aus. Er wirkt nun ein wenig fußlahm. Für die Programmierer am DFKI ist das noch kein Beinbruch. Das defekte Teil wird in eine Position gefahren, in der es nicht stört. Der Scout setzt seinen Aufstieg nun mit sieben Beinen fort. Doch dann verweigert ein zweites Bein seine Dienste – diesmal hinten auf der anderen Seite. Resignation macht sich breit. Diskussionen flammen auf, ob die Techniker ihren Kontrollraum verlassen, das Bein reparieren und von vorne beginnen sollen. Doch ein Abbruch der „Mission“ kommt für die Robotikabteilung des DLR Raumfahrt-Managements, die das Projekt fördert, nicht in Frage. Das Unglück ist der Idealfall, um dieses Problem zu simulieren und Daten zu errechnen, die die Wissenschaftler ohne die Panne nie erhalten hätten. So setzt der Scout, nun vollständig umprogrammiert und dementsprechend sechsbeinig, seinen Aufstieg aus dem Krater fort. Oben angekommen, bringt ihn der Rover zurück zum Lander: Mission accomplished.

LUNARES (LUNAR Exploration Szenario) und RIMRES (Reconfigurable Integrated Multi-Robot Exploration System) heißen die Vorhaben, die das Zusammenspiel verschiedener Robotersysteme in einer eigens dafür gebauten, künstlichen Mondlandschaft simulieren und so den Weg zu einer robotischen extraterrestrischen Mission bereiten sollen. Ziel der Simulationen ist, die Software- und Hardwarekomponenten der Mehrrobotersysteme so zu entwickeln, dass sie autark und autonom funktionieren können – im Idealfall ohne jeden Kontakt zu Bodenstationen. Die LUNARES-Versuche bildeten den ersten Teil der beiden Projekte. Dabei fehlen allerdings entscheidende Einflussfaktoren wie zum Beispiel extreme Temperatursituationen, weil sie im Labor nicht simuliert werden können. Der Faktor „verminderte Schwerkraft“ wurde in Versuchen über ein Gegengewicht und Umlenkrollen beim Scout durchgeführt. In RIMRES ist eine Computersimulation, in der die Daten der Laborexperimente einfließen, geplant. Die Bewegungen jedes Gelenks werden unter Schwerkraft und bei irdischen Temperaturen detailliert aufgezeichnet und dann in der Computersimulation mit den Parametern 0,16 g und Extremtemperaturen konfrontiert.

LUNARES, das erste der beiden Vorhaben, wurde 2007 begonnen und Ende 2009 erfolgreich abgeschlossen. Die Daten dieses Projekts bilden nun die Grundlage für das neue Projekt mit Namen RIMRES. Das Ziel von LUNARES war, mit schon vorhandener Hardware – also Lander, Rover und Scout – Systemlösungen für Softwareprobleme und für autonome Mehrrobotersysteme zu finden. RIMRES geht noch einen Schritt weiter. Hier wird versucht, eine robotische Mission, an der mehrere „Agenten“ (Einzelbestandteile eines Mehrrobotersystems) beteiligt sein werden, in einstellbaren Autonomiestufen durchzuführen. Neben den mobilen Geräten Rover und Scout werden ein Manipulator-, ein Akku-, ein Kamera- und ein Kommunikations-/Navigationsmodul sowie ein Modul zur Durchführung wissenschaftlicher Aufgaben das Projekt ergänzen. Die Funktionalität der einzelnen Agenten soll dabei auch dann noch gewährleistet sein, wenn einzelne Module vollständig ausfallen. Ein anderer Roboter soll dabei die Aufgabe des ausgefallenen übernehmen und somit das

Mastering the obstacles

Once set down on the surface, the scout scuttles down a 35 percent slope, cleverly avoiding any obstacles on its path. It collects rock specimens, radios to the rover that the job is done, and sets out on its return trip. Things look great, everything is going to plan. Then it happens: a joint in one of the scout's eight legs becomes dysfunctional, making the robot walk with a slight limp. To the programmer at DFKI this is not much of a disaster. The defective leg is folded up into a position where it does no harm. The scout continues its ascent on seven legs. But soon enough, a second leg refuses to work properly – this time it is one of the rear ones on the other side. Resignation is in the air. Discussions flare up as to whether the on-board engineers should leave their control room, repair the leg and start from scratch. But aborting the mission is not an option to the robotics department of the DLR Space Administration, which sponsors this project. The incident is an ideal way to simulate a problem and compute data that the scientists would never have collected if the accident hadn't happened. So the scout gets completely re-programmed and continues its walk back up from inside the crater on its remaining six legs. Upon its arrival it is picked up by the rover and run back to the lander: Mission accomplished.

LUNARES (LUNAR Exploration Szenario) und RIMRES (Reconfigurable Integrated Multi-Robot Exploration System) are the names of the two projects to simulate a coordinated mission involving various different robotic systems in a specially-built lunar landscape. The projects are to pave the way for a robotic space mission into extraterrestrial realms. The simulations are intended to help developing the software and hardware components of entirely autonomous multiple robot systems which, ideally, can operate without ever needing to get in touch with ground control. The LUNARES experiments form part one of a two-stage project. What LUNARES does not take into account is a number of crucial factors such as extreme heat conditions that cannot be simulated in a lab. To replicate the 'reduced-gravity' situation, the equipment was fitted with a system of counterweights and pulleys. RIMRES is a computer simulation based on data from earlier lab experiments. The movements of each joint are recorded in detail under Earth gravity and temperature conditions and then, in the computer simulation, confronted with 0.16 G and extreme temperatures.

LUNARES, the first of the two projects, was launched in 2007 and successfully completed in 2009. The data from this project now form the basis of a new project called RIMRES. LUNARES aimed at testing existing hardware systems – lander, rover and scout – for possible software problems, to validate on autonomous multi-robot missions. RIMRES takes things one step further, simulating a robotic mission involving several robot systems in various selectable levels of autonomy. In addition to its moving devices, the rover and the scout, the project will comprise a manipulator, a battery charger, a camera device and a communication/navigation module, as well as a module for carrying out scientific experiments. The functionality of each agent needs to be guaranteed even when individual modules fail, with one of the other robots taking over the function of the failed one, thus enabling the system to complete its mission. In the event



Links: Mit Gesteinsproben im Gepäck erklimmt der skorpionartige, achtbeinige Scout bis zu 35 prozentige Steigungen sogar mit sechs Beinen. (DFKI)

Left: Carrying rock cuttings the scorpion-like, eight-legged scout crested acclivities of 35 percent – even with six legs. (DFKI)

Rechts: Der Scout CREX (Crater Explorer) ist Teil einer völlig neu entwickelten Hardware für das Projekt RIMRES. Auch der Rover Sherpa (Sherpa Expandable Rover for Planetary Applications) ist eine Neuentwicklung. (DFKI)

Right: The scout CREX (Crater Explorer) is part of a completely new designed hardware for the project RIMRES. Also the rover (Sherpa Expandable Rover for Planetary Applications) is a new development. (DFKI)

Gesamtsystem trotzdem zum Abschluss der Mission führen. Hierbei können die Roboter zum Beispiel bei einem Ausfall eines Kommunikationsmoduls die Verbindungsknoten selbstständig wechseln. Ist beispielsweise die Kommunikation vom Scout zum Lander blockiert, kann er trotzdem mit ihm kommunizieren, indem er andere Module zwischenschaltet. Dieses Tauschen der Verbindungsknoten läuft vollständig ohne Kontakt zur Bodenstation und somit ohne den Einfluss von menschlicher Intelligenz ab. Künstliche Intelligenz soll bemannten Raumfahrtmissionen den Weg bereiten – sozusagen Pionierarbeit leisten.

Bei der Natur abgeschaut

Für RIMRES wird auch die Hardware völlig neu entwickelt. Die Wissenschaftler orientieren sich hierbei an der Natur. Hatte der Scout, der bei LUNARES verwendet wurde, noch acht Beine und 24 Gelenke wie bei einem Skorpion, wird CREX (Crater Explorer) nur noch sechs Beine mit jeweils vier Beingelenken haben – alle mit verbesserten Sensoren und Aktuatoren versehen, um eine optimale Stabilität und Mobilität zu gewährleisten. Die Höhe seines Körpers über Grund lässt sich variabel einstellen, um Hindernisse wie kleinere Felsbrocken zu passieren. Außerdem werden der Körper von CREX mit einem Gelenk und seine Vorderfüße mit Greifern versehen. So bringt er seinen „Oberkörper“ in eine aufrechte Position, um – ähnlich wie bei Affen – mit den Vorderbeinen greifen zu können. Eine neuinstallierte, schwenkbare Kamera im Kopfbereich von CREX liefert die Bilder von seinem Kraterereinsatz. Diese Weiterentwicklungen basieren auf Erfahrungen aus den Projekten LUNARES und SpaceClimber.

Vier oder sechs Beine?

Anfangs diskutierten die Techniker eine Lösung mit vier Beinen. Der Kraterroboter sollte nicht mehr krabbeln – er sollte sich katzenleich fortbewegen. Ein sehr ambitioniertes Projekt, da die Bewegungen von Säugetieren wesentlich komplexer als die von Insekten sind. Dementsprechend hätten die Techniker ein kompliziertes originalgetreues Modell – vollgestopft mit Sensor- und Computertechnologie – bauen müssen: Mit der momentan zur Verfügung stehenden Technik wäre das Modell groß, schwer und unhandlich ausgefallen. Steuerungstechnisch war das Vorhaben nicht umsetzbar. So entschied man sich für eine Kompromisslösung: einen Scout mit sechs anstatt acht Beinen.

Zum Kraterand wird dieser 21 Kilogramm schwere Scout von einem völlig neu entwickelten Rover gefahren. Sherpa (Sherpa Expandable Rover for Planetary Applications) wird neben CREX auch die unbeweglichen Module transportieren und absetzen. Zum Entladen benutzt er einen Manipulator – einen langen, sechsgliedrigen Greifarm. Der Rover hat Metallräder, die einen Durchmesser von vierzig Zentimetern haben und den Rover problemlos in feinem und grobkörnigem Sand fortbewegen können. Diese sind wiederum an Schwenkeinheiten von einem Meter Länge montiert und können sich durch eingebettete Sensorik und Aktuatorik aktiv an die aktuelle Geländesituation anpassen.

of a communications breakdown the robots can autonomously reconfigure their communication nodes. If, say, the communication between the scout and the lander has failed, the scout can still contact the lander by going via other modules. This reconfiguration of communication nodes is to take place without any contact to ground control, i.e. without human intelligence intervening. Artificial intelligence is to prepare the ground for future human space missions. It is, in a manner of speaking, doing pioneering work.

Copied from nature

RIMRES uses hardware of a completely new design. Its engineers are following examples from nature. While the scout of the LUNARES mission had eight legs and 24 joints and looked rather like a scorpion, CREX (Crater Explorer) will be left with only six legs with four leg joints each – all of them featuring improved sensors and actuators for optimum robustness and mobility. Its body can be raised off the ground to step over objects such as small pieces of rock. Also, the body of CREX will feature a middle joint, and its front feet will have grippers attached to them. It can thus bring its 'upper torso' into an upright position, enabling it to handle objects with its front legs similarly to the way a monkey does. A newly installed pivoting camera unit in its 'head' area sends back images from its crater mission. These design innovations are based on lessons learnt during the LUNARES and SpaceClimber projects.

Four legs, or six?

Initially the engineers were looking at a solution involving four legs. The crater explorer was no longer to crawl, but to move more like a cat. An ambitious project, given that the movements of mammals are significantly more complex than those of spiders or insects. The engineers would have had to build an intricate mock-up model, crammed with sensors and computer technology. Based on the technical options available, the model would have ended up being bulky, heavy, and difficult to handle. From the point of view of control engineering the project would not have been feasible. Hence it was decided to go for a compromise – a scout with six legs instead of eight.

A newly developed rover will take this 21-kilogramme scout to the edge of a crater. Called Sherpa (Sherpa Expandable rover for Planetary Applications) it will transport and position CREX as well as all stationary parts of the system. For unloading it will use a manipulator consisting of a long, six-membered articulated gripper arm. The rover runs on metal wheels which are forty centimetres in diameter and which allow the rover to travel without any problems on both fine and coarse sand. These are attached to swivelling units measuring one metre in length and capable to adapt themselves actively to any given terrain feature thanks to their embedded sensors and actors.



Nützliche Erfahrungen

RIMRES ist eine Schnittstelle abgeschlossener und laufender Projekte. So fließen neben den Daten und Ideen aus dem abgeschlossenen LUNARES- und dem laufenden SpaceClimber-Projekt weitere Erfahrungen aus anderen Vorhaben ein. Das Kommunikationsprojekt CoHoN (Communication in Heterogenous Networks), das die Kommunikation in Multirobotersystemen verbessern und eine Kommunikationsbibliothek für verteilte Softwarearchitekturen in eingebetteten Systemen anlegen soll, ist ein Beispiel.

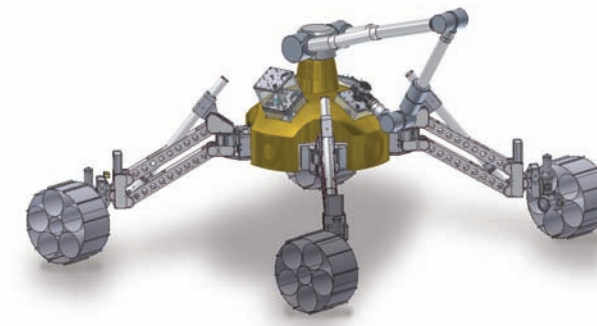
Zudem werden die Erfahrungen des aktuellen Sensorikvorhabens iMoby in RIMRES genutzt, um die Bewegungsplanung mobiler Oberflächenroboter unter Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit zu verbessern. Eine optimierte Sensorik soll das autonome Verhalten und die Selbstnavigation der Roboter präzisieren. Hierfür braucht man einen zuverlässigen und exakten Sensor. In dem Lokalisationsprojekt SELOK werden neuartige Lösungswege anhand von Laserscannerdaten getestet und ausgewertet. Die Hard- und Softwarekomponenten werden anschließend in einer neuen Lokalisierungseinheit – einem neuen Sensor – zusammengefügt. Die Projekte SELOK und RIMRES laufen parallel.



Das Projekt iStruct soll die Körperstrukturen von Robotern verbessern und zur Optimierung von Robustheit, Adaptivität an planetaren Oberflächeneigenschaften und Traktion beitragen. Eine Reduktion der Rechenleistung der Robotersysteme und somit auch eine energieeffizientere Fortbewegung ist das Ziel der Techniker.

Doch nicht nur die Software- und Hardwareentwicklung ist Teil von RIMRES. Auch die Verbesserung der Simulationslandschaft wird angestrebt. Eine neu eingeweihte DFKI-Testhalle in Bremen berücksichtigt die Ergebnisse vom LUNARES-Testbett und VirtualCrater und wird zur neuen „Spielwiese“ für die Roboter, die in dem Projekt RIMRES zum Einsatz kommen, werden.

Daniel Nölke und Bernd Sommer sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Abteilung Technik für Raumfahrtsysteme und Robotik des DLR Raumfahrt-Managements.



Helpful experience

RIMRES constitutes a link between completed and current projects. It benefits from data and ideas gleaned from the completed LUNARES project as well as from the current SpaceClimber project, as well as experience from other ongoing research activities. One example is a communications project called CoHoN (Communication in Heterogenous Networks) whose objective is to improve communications within multi-robot systems by setting up a communications library for distributed software architectures in embedded systems.

Moreover, data from the current sensor project iMoby are used in RIMRES to improve motion planning in mobile surface robots taking into account different terrain conditions. A new system of sensors with enhanced reliability and accuracy is to give the robot a more precise autonomous behaviour and self-navigation capability. The SELOK localisation project uses laser scanner data to test and evaluate some novel localisation approaches. Hardware and software components are subsequently combined into a new localisation unit – i.e. a sensor. The projects SELOK and RIMRES are running simultaneously.

288 Quadratmeter große "Spielwiese": In der neuen Welt-raum-Explorationshalle im DFKI Robotics Innovation Center (RIC) in Bremen entstand eine dem Mond nachempfundene Kraterlandschaft. Die Oberfläche ist variabel: Steinsegmente lassen sich austauschen, damit Testläufe auf verschiedenen Untergründen gemacht werden können. Der Steigungsgrad der Rampe am Kopf der Kraterlandschaft ist verstellbar, so dass die Beweglichkeit der Roboter auf horizontalem Boden und an Abhängen getestet werden kann. Die schwarze, nicht-reflektierende Beschichtung der Hallenwände sorgt für mond-ähnliche Lichtverhältnisse. (DFKI)

Playground on 288 square meters: in the new space exploration hall in the DFKI Robotics Innovation Centre (RIC) in Bremen arised a Moonlike crater landscape. Its surface is variable: segments of stone could be changed to perform tests on different grounds. The angle of the ramp on the front of the crater landscape is variable to test the flexibility of the robots on horizontally and sloping grounds. A black and non reflectional coating of the walls make Moonlike lightning conditions true. (DFKI)

iStruct is a project to improve robotic body structures and help increase their robustness and enhance their adaptivity to planetary surface features as well as increasing their traction. This is how the engineers want to achieve reduction in the robot systems' computing power consumption as well as a more efficient use of locomotion energy.

Yet RIMRES is not only about developing new hardware and software. One of its other aims is to look for better simulation landscapes. Lessons learnt from the LUNARES testbed and VirtualCrater were taken into account when setting up the new DFKI test facility in Bremen. It will be used as a 'playground' for the robots to be used in the RIMRES project.

Daniel Nölke and Dr Bernd Sommer are scientific assistants at the Space Technologies and Robotics department of the DLR Space Administration.

Die Internationale Raumstation vor zehn Jahren – zu der Zeit als die deutsche Forschung auf der ISS begann. (NASA)

The International Space Station ten years ago – at the time, German Research on the ISS began. (NASA)

Deutscher Außenposten im All

**Zehn Jahre Forschung unter Weltraumbedingungen auf der ISS
Teil 1: Biologisch-medizinische Experimente**

Von Prof. Günter Ruyters

Am 26. Februar 2001 startete das Raumfahrzeug Progress M-44 vom Weltraumbahnhof Baikonour mit einer deutschen Apparatur zur Plasmakristall-Forschung an Bord zur Internationalen Raumstation ISS. Vom 3. bis 8. März liefen die ersten wissenschaftlichen Messungen im Rahmen des PKE-Projekts (Plasmakristall-Experiment) und starteten damit ein Forschungsprogramm, das bis heute wegweisende Ergebnisse bringt. Nur wenig später brachten die Shuttle-Missionen STS-102 und STS-100 Geräte zur Erfassung der Weltraumstrahlung zur ISS. Die ersten Daten für das Experiment DOSMAP (Dosimetric Mapping) wurden vom 26. März an erhoben – die Forschung unter Weltraumbedingungen auf der ISS hatte für die deutsche Wissenschaft begonnen. Das zehnjährige Jubiläum ist ein geeigneter Anlass für einen Rückblick auf die biologisch-medizinischen Projekte.

Germany's Outpost in Space

**Ten Years of Research under Space Conditions on the ISS
Part 1: Biological and Medical Experiments**

By Prof. Günter Ruyters

On February 26, 2001, a Progress M-44 spacecraft took off for the International Space Station (ISS) from the Kazakhian cosmodrome of Baikonur, carrying a German experiment in plasma crystal research. The first scientific measurements under the PCE (Plasma Crystal Experiment) project were taken between March 3 and 8, kicking off a research programme that has continued to produce pathbreaking results to this day. Only a little later, on March 8 and April 19, 2001, equipment for measuring cosmic radiation was carried to the ISS by the STS-102 and STS-100 shuttle missions. The first data for the DOSMAP (DOSimetric MAPping) experiment were gathered on March 26 – German scientists had taken up their own spaceborne research activities on the ISS. The ten-year anniversary seems to be an adequate reason to review the biological and medical projects.

Breites Spektrum durch internationale Kooperation

Seit 2001 sind rund 50 deutsche Projekte in bilateraler Kooperation mit den Raumstationspartnern oder im Rahmen des ESA-Programms begonnen oder abgeschlossen worden. Das bisherige Forschungsspektrum umfasst neben der Plasmaphysik vor allem Medizin, Biotechnologie sowie Gravitations- und Strahlenbiologie.

DOSMAP war nicht nur eines der ersten deutschen Experimente. Als Kooperation zwischen DLR und NASA demonstrierte dieses Projekt auch die internationale Vernetzung des Programms Forschung unter Weltraumbedingungen: Seit 2008 hat das europäische COLUMBUS-Labor mit seinen hochmodernen Experimentieranlagen die Forschungsmöglichkeiten erheblich erweitert. Auch der Engpass in der Crewzeit gehört seit Mitte 2009 durch die Anwesenheit von sechs Astronauten der Vergangenheit an.

Biotechnologie: Strukturaufklärung von Molekülen

Die Vergabe des Chemie-Nobelpreises 2009 an Ada Yonath sowie zwei Kollegen für ihre Arbeiten zur Struktur und Funktion von Ribosomen hat die Nutzung der Schwerelosigkeit zur Verbesserung der Kristallisation von Proteinen geadelt (siehe Artikel in COUNTDOWN 12). Eine perfekte Kristallisation ist die Grundlage für Fortschritte in der Strukturaufklärung. Kooperationspartner von Frau Professor Yonath haben diese Thematik weiter entwickelt und zwischen 2002 und 2009 dreizehn deutsche Projekte auf der ISS durchgeführt. In einigen Fällen, wie bei bestimmten Oberflächenproteinen von Bakterien, gelang zum ersten Mal eine Kristallisation. Bei Mistel-Lectin, welches das Immunsystem stärkt und zur Krebstherapie eingesetzt wird, konnten die chemischen Abläufe im aktiven Zentrum erklärt und dadurch Grundlagen zur Optimierung der pharmazeutischen Anwendungen dieses Proteins gelegt werden.

Im Jahre 2002 kristallisierten Wissenschaftler auf der ISS zum ersten Mal spiegelbildliche RNA-Moleküle. Ihr Vorteil liegt in einer großen Beständigkeit im menschlichen Blut, wodurch sie besonders wirksam Tumore oder virale Erkrankungen wie AIDS bekämpfen können. Das aus den ISS-Experimenten gewonnene Modell der 5S rRNA ermöglicht neue Einsichten in die Interaktion von Antibiotika mit den ribosomalen RNAs und die Modellierung effektiverer Wirkstoffe.

Gravitationsbiologie: Oben oder unten?

Seit Beginn der Evolution spielt die Schwerkraft für alle Organismen eine entscheidende Rolle. Forscher gehen seit vielen Jahren der Frage nach, wie Organismen die Schwerkraft wahrnehmen und verarbeiten. Auf ihrer Suche entdeckten sie zum Beispiel schwere Partikel in Wurzeln und zeigten deren Verlagerung bei Änderung der Schwerkraft. Auch die Beteiligung des Zellskeletts und verschiedener Botenstoffe sowie Veränderungen von Genen und Proteinen bei der Modellpflanze der Genetiker, Arabidopsis thaliana, konnten durch ISS-Experimente festgestellt werden. So scheint beispielsweise der Transport des Pflanzenhormons Auxin in Schwerelosigkeit beeinträchtigt zu sein.

Strahlenbiologie: Wie wirkt Strahlung auf den Körper?

Stärke und Zusammensetzung der Strahlung im Weltraum schwankt stark. Daher bleibt die dosimetrische Erfassung weiterhin notwendig, um das Strahlenrisiko abschätzen zu können. Deutsche Wissenschaftler setzen nach DOSMAP diese Forschung in den Projekten DOSIS und mittels Personendosimetrie direkt am Astronauten fort. Auch die biologische Wirksamkeit von Strahlung wird untersucht. Die Phantompuppe „Matroshka“, ein hochentwickelter Simulator des menschlichen Oberkörpers mit all seinen Organen, hat schon fleißig Ergebnisse geliefert. Die Anlage misst derzeit das Strahlenfeld im japanischen Modul KIBO und soll danach erneut auf die Außenseite der ISS gebracht werden.

International cooperation broadens scope of research

Since then, around 50 German projects have been begun or concluded either in bilateral cooperation with space station partners or under the ESA programme. At present, the key scientific research disciplines involved are plasma physics, medicine, and biotechnology as well as gravitational and radiation biology.

Besides being the first German experiments, PCE and DOSMAP also show how the entire German programme of research in space is embedded in an international network: PCE was a German-Russian and DOSMAP a DLR/NASA cooperation project. In 2008, the European COLUMBUS laboratory with its leading-edge experimental facilities added considerably to the range of research options, and when the crew of the ISS was increased to six astronauts in the middle of 2009, crew-time bottlenecks finally became a thing of the past.

Biotechnology: analysing the structure of important molecules

When Ada Yonath and her two colleagues were awarded the Nobel Prize for Chemistry in 2009 for their work on the structure and functions of ribosomes, this turned out to be a true accolade for the idea of using microgravity to improve the crystallisation of proteins (see COUNTDOWN 12). Perfect crystallisation provides the basis for progress in understanding molecular structures. Partners of professor Yonath have been exploring the subject further, running thirteen German projects on the ISS between 2002 and 2009. In some cases, like that of certain bacterial surface proteins, crystallisation succeeded for the first time. In the case of mistletoe lectin, which strengthens the immune system and is used in treating cancer, they succeeded in explaining the chemical processes in the active centre, thus opening up a new approach to improving the pharmaceutical applications of this protein.

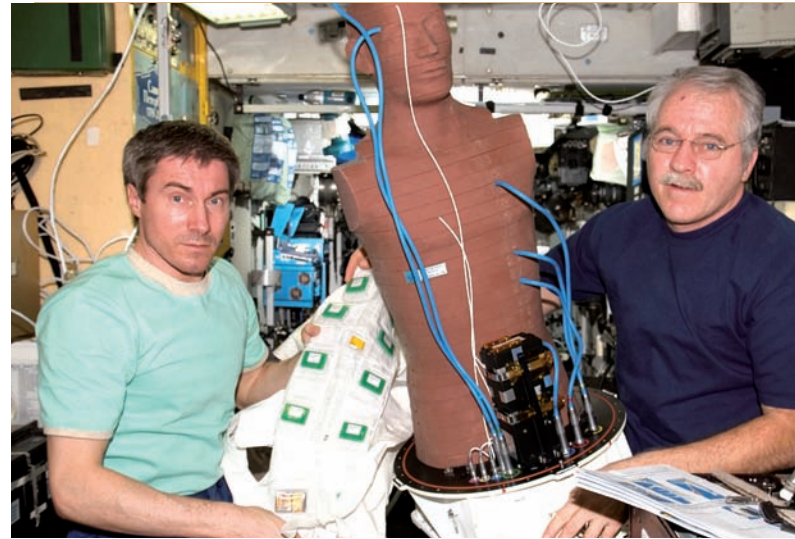
In 2002, scientists on the ISS were the first to crystallise mirror RNA molecules. They are distinguished by their extreme stability in human blood, which makes them particularly effective in combating tumours and viral diseases like AIDS. The 5S rRNA model developed from the ISS experiments offers fresh insights into the interaction between antibiotics and ribosomal RNAs, permitting scientists to model more effective agents going forward.

Gravitational biology: up or down?

Since evolution began, gravity has been playing a key role for all organisms. For many years, researchers have been exploring the question of how organisms register gravity and respond to it. One of the things they discovered during their search was the presence of heavy particles inside the roots of plants which shift in response to changes in gravity. Furthermore, experiments on the ISS established that in Arabidopsis thaliana, the geneticists' model plant, changes in gravity affect cytoskeletons as well as various messenger substances and cause changes in genes and proteins. Thus, for example, the transport of auxin, a plant hormone, seems to be impaired by microgravity.

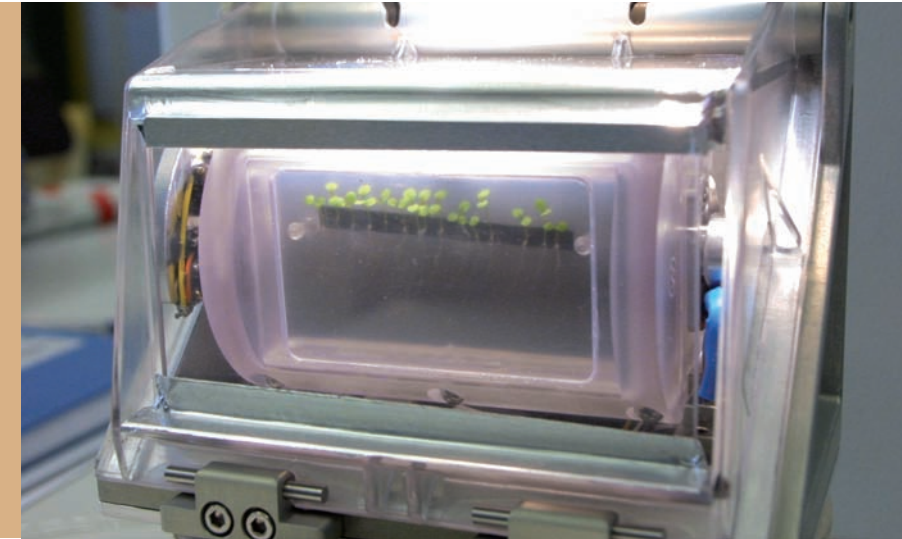
Radiation biology: how does radiation affect the body?

As the strength and composition of interstellar radiation fluctuates widely, dosimetric data will continue to be needed to assess any radiation hazards. After the end of DOSMAP, German scientists are continuing this line of research under a project called DOSIS, as well as by keeping a personnel dosimetry record for each astronaut. The biological effect of radiation is being investigated as well. Matroshka, a highly developed dummy which simulates the upper human torso completely with all its organs, is faithfully delivering results. Currently employed in measuring radiation in the Japanese module, KIBO, the system will once again be attached to the outer skin of the ISS once that mission ends.



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

The dummy MATROSHKA measures the strength and composition of interstellar radiation: without 'clothes' as a human remake body; clothed in Poncho and cap; covered in a case of carbon fibre to simulate the safety of a spacesuit; coated with thermal insulation.



In der Versuchsanlage WAICO wird das Wurzelwachstum der Acker-Schmalwand-Pflanze unter verschiedenen Stufen der Schwerkraft sowie in Schwerelosigkeit untersucht.

In the experimental plant WAICO scientists observe the growing of roots of thale cress due to different stadiums of gravity and microgravity.

Astrobiologie: Wie kam das Leben auf die Erde?

In der Anlage Expose-EuTEF an der Außenhülle von Columbus konnten Astrobiologen Organismen den extremen Bedingungen des Weltraums aussetzen, um deren Überlebensfähigkeit zu untersuchen. Sie versuchen so die Frage zu beantworten, ob eventuell das Leben von anderen Himmelskörpern auf die Erde gekommen sein kann und liefern so wichtige Beiträge zu Fragen der Entstehung, Evolution und Ausbreitung des Lebens.

Raumfahrtmedizin: Für den Menschen auf der Erde

Astronauten unterliegen bei ihren Weltraummissionen aufgrund der fehlenden Schwerkraft und mechanischen Belastung ganz ähnlichen Gesundheitsproblemen wie alternde Menschen auf der Erde – allerdings wesentlich beschleunigt. Störungen des Kreislaufs und des Gleichgewichtssystems treten sofort auf, innerhalb von Tagen oder Wochen bauen sich Muskeln und Knochen ab, und auch das Immunsystem ist beeinträchtigt. Der Alterungsprozess und bestimmte Krankheiten lassen sich so auf der ISS im Zeitraffer studieren. Bislang wurden vierzehn deutsche Forschungsprojekte zu diesen Themen auf der ISS durchgeführt oder sind noch im Gange.

Für die Untersuchung des Gleichgewichtssystems mittels Messung der kompensatorischen Augenbewegungen entwickelten Forscher ein neues Gerät, das 3D Eye Tracking Device (ETD). Im Frühjahr 2004 zur ISS gebracht und bis 2008 eingesetzt, erbrachte es wichtige Befunde über die Rolle der Schwerkraft für unsere Orientierung. Inzwischen findet das ETD unter anderem zur Diagnose des Schwindels sowie zur Verlaufskontrolle bei der Laser-Hornhaut-Abtragung zur Behandlung von Kurzsichtigkeit auf der Erde Anwendung.

Seit langem weiß man um die Beeinträchtigung des Immunsystems bei Astronauten, ohne jedoch die genauen Ursachen und Mechanismen zu kennen. Schwerelosigkeit und Strahlung kommen genauso in Betracht wie Isolation, Arbeitsbelastung und Störungen des Schlafrhythmus. Mit vergleichbaren Problemen, ausgelöst durch zum Teil dieselben Stressfaktoren, haben Schwerkranken auf der Erde zu kämpfen. Mit umfangreichen biochemischen Analysen, ergänzt durch psychologische Tests, untersuchen Wissenschaftler die Veränderungen des Immunsystems bei ISS-Langzeit-Crews, um neue vorbeugende oder therapeutische Maßnahmen zu entwickeln.

Astrobiology: how did life arrive on Earth?

In the Exposed-EuTEF unit, a system attached to the outer skin of Columbus, astrobiologists exposed organisms to the extreme conditions prevailing in space in order to assess their ability to survive. In this way, they attempted to answer the question of whether life might have arrived on Earth from other heavenly bodies, which would greatly help to answer questions about the origin, evolution, and spread of life.

Space medicine: for human beings down on Earth

In the absence of gravity and the resultant mechanical stresses, astronauts on space missions experience health problems that are quite similar to those of ageing people on Earth, although the process is greatly accelerated. Cardiovascular and equilibrium disorders appear immediately, muscles and bones deteriorate within days or weeks, and even the immune system is affected. Thus, the ageing process as well as certain diseases can be studied in quick motion on the ISS. So far, fourteen German research projects on these issues have been either completed or are still in progress on the ISS.

Newly developed by researchers, the 3D eye tracking device (ETD) measures compensatory eye movements to help investigate the equilibrium system. Brought to the ISS in the spring of 2004, it delivered important insights into the role of gravity in our orientation until 2008. Today, the ETD is used on Earth to diagnose vertigo, and monitor laser eye surgery in the treatment of myopia.

The fact that astronauts tend to have an impaired immune system has been noticed for a long time, although the precise causes and mechanisms have remained obscure. Microgravity and radiation were being considered as much as isolation, the workload, and a disturbed sleep rhythm. Seriously ill persons on Earth struggle with similar problems, which are in part caused by the same stress factors. With the aid of extensive biochemical analyses complemented by psychological tests, scientists are investigating changes in the immune systems of long-term ISS crew members in order to develop new preventive or therapeutic strategies.

Versuche auf der russischen Raumstation MIR hatten Zweifel an der strengen Koppelung von Salz- und Wasserhaushalt ausgelöst und so Lehrbuchwissen in Frage gestellt. In nachfolgenden Bodenstudien konnte tatsächlich ein unbekannter Mechanismus der Salzspeicherung in der Haut entdeckt werden. Experimente auf der ISS gehen derzeit dem Zusammenspiel von Ernährung, Salz- und Flüssigkeitshaushalt, Knochen- und Muskelstoffwechsel sowie Blutdruckregulation nach. Ziel ist es herauszufinden, ob eine hohe Kochsalzzufuhr den Knochenabbau in Schwerelosigkeit verstärkt.

Dank eines neuartigen, patentierten Verfahrens kann die Körperkerntemperatur nicht-invasiv erfasst werden. Der „Doppelsensor“ misst am Kopf oder auf dem Brustbein den Wärmefluss, der dann über spezielle mathematische Verfahren in Körperkerntemperaturen umgerechnet wird. Seit Oktober 2009 laufen die Messungen zur Wärmeregulation in Schwerelosigkeit auf der ISS. Einsatzmöglichkeiten des neuen Verfahrens bei Feuerwehr, Polizei und Sondereinsatzkräften oder auch im klinischen Alltag bei Operationen und im Neugeborenen-Inkubator werden bereits getestet.

Aus diesen und weiteren Experimenten zur Herz-Kreislauf-Regulation und zur psycho-physiologischen Leistungsfähigkeit erwarten die Wissenschaftler Einblicke in das Funktionieren des menschlichen Körpers – integrative Physiologie im besten Sinne.

Ausblick: Die nächsten zehn Jahre

Mit der voraussichtlichen Verlängerung der ISS-Nutzung bis mindestens zum Jahre 2020 sind ausgezeichneten Perspektiven nicht nur für die weitere Forschung unter Weltraumbedingungen, sondern auch für Technologieentwicklung und die industrielle Nutzung der ISS in Deutschland gegeben. Wichtige Fortschritte in der Forschung unter Weltraumbedingungen sind in den nächsten Jahren zu erwarten, was auch die kürzlich ausgewählten Forschungsprojekte bestätigen. Forschung und Entwicklung auf der ISS stützen so auch weiterhin den Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Deutschland nachhaltig.

Prof. Günter Ruyters leitet die Fachgruppe „Life Science“ in der Abteilung Forschung unter Weltraumbedingungen des DLR Raumfahrt-Managements.

Examinations conducted on the Russian space station MIR cast doubt on the strict one-to-one correlation between the salt and water metabolisms, calling textbook knowledge into question. Subsequent studies on the ground actually revealed an unknown mechanism by which salt is stored in the skin. Currently, experiments are being run on the ISS to investigate the interaction between nutrition, salt and fluid balance, bone and muscle metabolisms, and blood pressure regulation. The objective is to find out whether a high intake of common salt reinforces the degradation of bones in microgravity.

There is now an innovative patented method with permits measuring the core temperature of the body non-invasively. A double sensor measures heat flows at the head or the sternum which are then converted into core body temperatures by special mathematical algorithms. Tests to measure human heat regulation in microgravity have been conducted on the ISS since October 2009. Further potential of the new method is being studied. Tests include applications on fire brigade, police and special-forces personnel, as well as hospital applications where the system could monitor body temperatures during operations or in incubators for new-born babies.

From these and other experiments on cardiovascular regulation and psycho-physiological capacity, scientists hope for a better understanding of the way in which the human body functions – integrative physiology at its best.

Outlook: the next ten years

The expected utilisation of the ISS will be prolonged at least until 2020, brilliant perspectives are opening up not only for the continuation of research under space conditions but also for the development of new technologies and the industrial utilisation of the ISS in Germany. In the next few years, we may look forward to further major steps ahead in research under space conditions, which is confirmed by the research projects that were selected a short while ago. Thus, research and development on the ISS will continue to support sustainably Germany's position as a centre of science and business.

Prof. Günter Ruyters directs the section 'Life Science' at the department of Research under Space Conditions of the DLR Space Administration.

Der letzte erfolgreiche Start des Space Shuttle Challenger war zugleich ein Meilenstein in der deutschen Raumfahrtgeschichte. (NASA)

The last successful takeoff of Space Shuttle Challenger was a milestone in German space history. (NASA)

25 Jahre D1-Mission

Pioniergeist in 380 Kilometer Höhe

Von Dr. Hauke Dodeck

Am 30. Oktober 1985 hob die Raumfähre Challenger zur 22. Space-Shuttle-Mission (STS-61-A) vom Kennedy Space Center ab – offizieller Beginn der siebentägigen Spacelab D1-Mission und ein Meilenstein in der deutschen Raumfahrtgeschichte. Erstmals wurde eine Shuttle-Mission von einem Land außerhalb der USA teilweise überwacht: Während der Flug der Raumfähre vom NASA-Kontrollzentrum in Houston gesteuert wurde, war für die wissenschaftlichen Experimente im Raumlabor Spacelab die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR, heute DLR) mit ihrem Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen zuständig. Insgesamt wurden 75 Experimente, größtenteils mit deutscher Beteiligung, durchgeführt. 2010 jährte sich diese wegweisende Mission der europäischen bemannten Raumfahrt zum fünfundzwanzigsten Mal.

25th anniversary of the D1 Mission

Pioneering research at an altitude of 380 kilometres

By Dr Hauke Dodeck

On 30 October 1985, Space Shuttle Challenger lifted off from Kennedy Space Center for its 22nd mission (STS-61-A). This was the official beginning of Spacelab's seven-day D1 mission as well as being a milestone in the history of German spaceflight. For the first time, part of a shuttle mission was to be overseen by a country other than the United States. While the actual flight of the spacecraft was run by NASA's mission control centre at Houston, the scientific experiments on board Spacelab were under the responsibility of the German Research Institute for Aviation and Space flight (Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, or DFVLR, the predecessor of today's DLR) with its space operations centre at Oberpfaffenhofen, Bavaria. The mission included a total of 75 experiments, most of them with input from German scientists. In 2010, that pioneering European human spaceflight mission happened 25 years ago.



D1-Crew (v. l.): Nutzlastspezialist Reinhard Furrer, Pilot Steven R. Nagel, Missionsspezialist Bonnie J. Dunbar, Guion S. Bluford, Nutzlastspezialist Ernst Messerschmid, Missionsspezialist James F. Buchli, Nutzlastspezialist Wubbo Ockels, Kommandant Henry F. Hartsfield

D1-Crew (left to right): Payload Specialist Reinhard Furrer, Pilot Steven R. Nagel, Mission Specialist Bonnie J. Dunbar, Guion S. Bluford, Payload Specialist Ernst Messerschmid, Mission Specialist James F. Buchli, Payload Specialist Wubbo Ockels, Commander Henry F. Hartsfield

Anfang der 1970er Jahre luden die USA die Europäer ein, am US-amerikanischen Space Transportation System (STS) teilzunehmen. Europa wurde durch die European Space Research Organisation (ESRO, heute ESA) vertreten. Ergebnis war ein transatlantisches Abkommen über den Bau des Raumlabors Spacelab, das unter Laborbedingungen wissenschaftliche Forschung in der Schwerelosigkeit ermöglichen sollte. Eine deutsche Beteiligung an wissenschaftlicher Forschung unter Schwerelosigkeit rückte in greifbare Nähe.

Der Spacelab-Start ins All

Am 28. November 1983 startete das Space Shuttle Columbia zum Erstflug des Spacelab. Deutschland hatte als größter Beitragszahler – und damit die deutsche Industrie – die führende Rolle übernommen. Der Erfolg dieses Projekts bewies die europäischen Fähigkeiten in Technik und Management im Bereich der bemannten Raumfahrt. Damit hatte Europa als gleichberechtigter Partner unter den „bemannten Raumfahrtnationen“ seinen Platz in der Welt gefunden und der Weg für eine wissenschaftliche Mission unter deutscher Federführung wurde geebnet.

Parallel zur Spacelab-Entwicklung startete in der Bundesrepublik ein Forschungsprogramm mit dem Schwerpunkt, die Effekte der Schwerelosigkeit im Bereich der Material- und Lebenswissenschaften zu untersuchen. Dieses starke Engagement führte einerseits zur Beteiligung deutscher Wissenschaftler mit den zugehörigen Experimentieranlagen an der ersten Spacelab-Mission. Andererseits trug es 1978 zur Entscheidung des damals verantwortlichen Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) bei, eine wissenschaftliche Mission unter deutscher Leitung durchzuführen – die Geburtsstunde von D1.

Programmleitung in deutschen Händen

Die aus Vertretern des BMFT und der DFVLR bestehende Programmleitung übernahm die programmatische Steuerung des Projekts. Eine unabhängige, wissenschaftliche Projektführung vertrat die Forscher und ihre Interessen. Für die Mission wurden 75 Experimente aus Deutschland, den ESA-Mitgliedsstaaten und den USA ausgewählt.



In Zwölf-Stunden-Schichten führte Ernst Messerschmid während der D1-Mission die Experimente im Spacelab durch. (NASA)

Twelve hours a day Ernst Messerschmid performed experiments on Spacelab. (NASA)

In the early seventies the Europeans were invited by the USA to join its manned Space Transportation System (STS). Europe was represented by the European Space Research Organisation (ESRO, the predecessor of today's ESA). The two sides concluded a transatlantic agreement to build the spaceborne laboratory Spacelab allowing research under microgravity. For Germany, becoming involved in scientific research under space conditions came within immediate reach.

The Spacelab takeoff

On November 28, 1983, Space Shuttle Columbia took off to carry Spacelab on its maiden flight. The premium contributor Germany – and for sure the German industry – had taken the leading part concerning this project. The success of D1 showed the skills and expertise in technical and management affairs concerning manned space missions. This gave Europe an opportunity to find its place as an equal partner among the 'human spaceflight nations' of the world, paving the way for running a space mission entirely under its own responsibility one day.

At the same time as developing Spacelab, Germany began at a very early stage to set up a research program to study the effects of microgravity in a materials and life sciences context. This keen commitment, for one thing, earned German scientists and their experimental rigs a place on the first Spacelab mission. On the other hand it helped make the case for a decision taken in 1978 by the incumbent Minister of Research and Technology (BMFT) to launch an entirely German-led scientific mission – the idea of D1 began to materialise.

German team in charge of the programme

A steering team from BMFT and DFVLR took over the administrative supervision of the project. An independent scientific committee represented the research community and its interests. 75 experiments from Germany, the ESA member states and the USA were chosen for the project.

Zur Durchsetzung der Projektziele und in den Verhandlungen mit NASA wurde in vielen Bereichen Neuland betreten:

- D-1 war der erste „kommerzielle“ Flug eines Shuttles für einen externen Kunden mit NASA in der Rolle als Auftragnehmer.
- Verantwortung für Management, Bau und Integration der Nutzlast lag erstmalig außerhalb der NASA.
- Zur adäquaten Betreuung der Experimente war eine Erhöhung der Anzahl der Crewmitglieder von nominal sieben auf acht (fünf NASA, zwei DFVLR, einer ESA) erforderlich – neu und einmalig in der Geschichte der NASA.
- BMFT und DFVLR waren verantwortlich für die Auswahl der Wissenschaftsastronauten.
- Die DFVLR etablierte ein Medical Board, das die Durchführbarkeit der Life-Science-Experimente an Astronauten überprüfen und genehmigen musste.
- Die medizinische Überwachung und Betreuung der Wissenschaftsastronauten lag in der Hand eines DFVLR-Arztes.
- Das nutlastbezogene Training der Crew erfolgte in Deutschland.
- Nutzlastbetrieb-, überwachung und Kontrolle lag in der Verantwortung der DFLVR; mit der Durchführung wurde das GSOC betraut. In intensiven, kooperativen Verhandlungen mit NASA konnten diese Ziele umgesetzt werden.

Die „Schwerelosigkeitsmission“

Von den 75 für den Mitflug im Rahmen von D1 ausgewählten Experimenten bearbeiteten 73 Themen der Forschung unter Weltraumbedingungen, zwei Experimente befassten sich mit Fragen der Navigation. Die Schwerelosigkeitsexperimente nahmen eine Pilotfunktion für künftige Spacelab-Missionen ein und setzten Maßstäbe in wissenschaftlicher Dimension: 72 von 75 Experimenten wurden erfolgreich durchgeführt. Bemerkenswert ist die Einhaltung des Gesamtkostenrahmens der D1-Mission mit einer Abweichung von nur vier Prozent.

Physikalische Grundlagen und Materialwissenschaften

Die Schwerelosigkeit hat Auswirkungen auf physikalische Prozesse: In Flüssigkeiten entfallen die Auftriebskonvektion, der hydrostatische Druck und die Sedimentation.

Unter erhöhter Temperatur dehnen sich flüssige Stoffe aus, ihre Dichte nimmt ab, und bei normaler Erdschwerkraft strömen sie nach „oben“. Der Wegfall dieser Auftriebskonvektion in Schwerelosigkeit ermöglichte es während der D1-Mission durch hochpräzise Messungen, theoretische Vorstellungen von Transportprozessen in Flüssigkeiten und Gasen zu überprüfen.

Temperaturabhängige Konvektion wird auf freien Schmelzenoberflächen durch Temperaturdifferenzen angetrieben. Thermokapillare Konvektion ist für den Stoff- und Wärmetransport wichtig. Bei der Kristallzüchtung sorgt die räumliche Struktur der Strömung für Uneinheitlichkeiten eines Fremdstoffes (Dotierstoff) im Kristall. Homogene Dotierung ist das Ziel – die Vermeidung konvektiver Strukturbildung in der Schmelze durch Ausschalten der oberflächenspannungsgetriebenen Strömung (Marangonikonvektion) war ein Weg, dies zu erreichen.

Ausgehend von ersten Versuchen in der D1-Mission zeigten Messungen des Diffusionskoeffizienten (Maß für die Beweglichkeit von Teilchen) in metallischen Schmelzen, dass eine Neuinterpretation des Temperaturabhängigkeitsgesetzes notwendig war.

Medizin- und Biowissenschaften

Das Gleichgewichtssystem ist für die menschliche Sensorik und Motorik von großer Bedeutung. In Schwerelosigkeit verändert sich die Raumorientierung wesentlich: Der Mensch verliert seine Oben-Unten-Beziehung. Dies kann psycho-physiologische Folgen in Form der Raumkrankheit nach sich ziehen. D1-Untersuchungen

Negotiations with NASA were intense and always held in a spirit of cooperation; new ground was broken in more than one sense:

- D1 was the first 'commercial' flight of the shuttle in which NASA played the part of a contractor providing a service to an external customer.
- For the first time, the responsibility for managing, building and integrating the payload was in external, non-NASA hands.
- To ensure that the experiments were carried out adequately it became necessary to raise the number of crew members from a nominal seven to eight (five from NASA, two from DFVLR, one from ESA) – new and unparalleled in the history of NASA.
- BMFT and DFVLR were responsible for recruiting the scientific crew members.
- DFVLR set up a medical board which had to assess the feasibility of, and authorise, all life science experiments involving the astronauts.
- A DFVLR physician was responsible for health monitoring and health care of the scientific crew members.
- Payload-specific training of the crew took place in Germany.
- The operation, supervision and management of the payload were under the responsibility of DFLVR; the German Space Operations Centre (GSOC) at Oberpfaffenhofen was put in charge of the implementation.

D1 – a 'microgravity mission'

73 of the 75 experiments selected to fly on D1 came under the category of microgravity research, while two experiments related to navigational matters. The microgravity experiments took on a pilot function for future Spacelab missions, setting standards both in a scientific and economic sense. 72 of 75 experiments were successfully completed. The overall cost of D1 met the budget almost exactly, missing their target by a mere four percent – a remarkable fact.

Basic research in physics and materials sciences

Microgravity also has its effects on physical processes: in fluids there is no such thing as buoyancy, hydrostatic pressure or sedimentation.

Fluids expand as they get hot, i.e. their density decreases, and under normal gravity they rise in what we know as the 'upward' direction. During the D1 mission, the absence of buoyancy-driven convection under conditions of microgravity permitted a number of highly accurate measurements to validate existing theories about transport mechanisms of fluids and gases.

Temperature-driven convection on free melt surfaces is caused by temperature differences. Thermocapillary convection is the essential force behind mass transfer and heat flow. In single crystal growing, three-dimensional flow patterns cause inhomogeneities of a foreign substance (the dopant) within the crystal. What scientists aim at is a homogeneous distribution of the dopant. One way to achieve this is to prevent the building up of convective structures in the melt by eliminating the influence of surface tension driven convection, also known as the Marangoni effect.

Following measurements of the diffusion coefficients (the rate at which particles move) conducted in metal melts in a first series of experiments on the D1 mission, it became clear that a new interpretation of the law of temperature dependence was called for.

Medicine and life sciences

The human equilibrium system plays a major part in our sensory and motor functions. In the absence of gravity, human beings experience a significant change in spatial orientation, i.e. we lose our sense of what is 'up' or 'down'. This may entail a physio-psychological condition known as space sickness. One of the D1 experiments disproved the classical theory of the calorific

haben zum Beispiel die klassische Theorie des kalorischen Nystagmus – Pupillenbewegung als Reizantwort auf Temperaturänderung im Innenohr – widerlegt. In Schwerelosigkeit konnte dieser Effekt ebenfalls erzeugt werden. Thermokonvektion der Innenohrflüssigkeit in einem Bogengang unter Reizung von Sinneshaaren reicht als alleinige Erklärung darum nicht mehr aus.

Auch die Verteilung der Körperflüssigkeiten ist gravitationsabhängig. In Schwerelosigkeit verlagert sich ein erhebliches Blutvolumen in die obere Körperhälfte. Tonometer-Messungen konnten zeigen, dass sogar der Augeninnendruck dadurch kurz nach dem Eintritt in Schwerelosigkeit bis auf das Doppelte steigt. Ein erhöhter Druck im Augeninneren wird auch in Zusammenhang mit dem Grünen Star beobachtet. Dieses Experiment auf der D1-Mission führte später zur Entwicklung eines Selbsttonometers, mit dem Risikopatienten ihren Augeninnendruck selbst prüfen können.

Weitere Experimente gingen der Frage nach, wie und warum Pflanzen ihr Wachstum an Schwerkraft ausrichten. Bei Wurzeln der Gartenkresse konnten Empfindlichkeitsschwellen sowohl hinsichtlich ihrer absoluten Größe als auch der Richtungsänderungen gemessen werden. Ebenso wurden Hinweise für einen geänderten Kaliumtransport durch eine Verlagerung des Membranpotenzials gefunden.

Untersuchungen an Bakterien, Zellkulturen, Einzellern, Pflanzen, Insekten und Amphibienlarven haben gezeigt, dass Schwere-losigkeit und kosmische Strahlung Auswirkungen auf Entwicklung, Wachstum und Stoffwechsel haben. Einige Bakterien und Einzeller vermehrten sich im Weltraum besser und schneller als in irdischer Umgebung.

Bedeutung für Europa und Deutschland

Das Forschungsprogramm von D1 hat die Forschungs- und Entwicklungsszenarien in Ländern mit Hochtechnologie wie Frankreich, Japan und USA stark beeinflusst. D1 ermöglichte es dem DLR und der Industrie technische und Management-Kompetenzen zur Durchführung wissenschaftlicher Missionen in der bemannten Raumfahrt aufzubauen. Die enge und intensive Zusammenarbeit mit der NASA hat eine Vertrauensbasis gekoppelt mit gegenseitigem Respekt vor den jeweiligen Kompetenzen geschaffen. Als Wermutstropfen in der europäischen Spacelab-Nutzung bleibt, dass die europäische Weltraumorganisation leider nicht auf Unterstützung ihrer Mitgliedsländern für von der ESA geführte Spacelab-Missionen bauen konnte. Ein bedauerlicher Umstand, da Spacelab in späteren Missionen immer wieder sein hervorragendes Potenzial als Forschungslabor für die Wissenschaftsgemeinschaft unter Beweis gestellt hat. Der DFVLR hat sich mit der Durchführung von D1 ein anerkanntes „Standing“ für bemannte Missionen geschaffen. Diese Kompetenzen waren das Fundament für D-2 und später für den Einsatz der DFVLR im Columbusprogramm der ESA.

Dr. Hauke Dodeck war stellvertretender Projektleiter der D1-Mission im DLR.

D-1 Schlüsseldaten	
Missionsdauer Transport	30. Oktober bis 10. November 1985 Space Shuttle Challenger
Start- und Landung Crewanzahl	Kennedy Space Center, Florida USA erstmalig acht – fünf NASA, zwei DFVLR, einer ESA
Crewmitglieder	Henry W. Hartsfield, Steven R. Nagel, Bonnie J. Dunbar, James F. Buchli, Guion S. Bluford (NASA), Reinhard Furrer, Ernst Messerschmid (DFVLR), Wubbo Ockels(ESRO)
Anzahl d. Experimente	75
Wissenschaftliche Disziplinen	Material- und Lebenswissenschaften, Navigation
Missionsmanagement Nutzlastbetrieb	DFVLR German Space Operations Center (GSOC) Oberpfaffenhofen
Gesamtkosten	408 Millionen D-Mark (1985)

nystagmus – papillary motion as a response to temperature changes in the inner ear - by showing that the same effect can also be produced in microgravity. The theory of thermal convection on the fluid in a semicircular canal of the inner ear after being stimulated by sensory hair cells can therefore no longer be upheld to explain the condition.

The distribution of body fluids, too, is to a great extent determined by gravitational forces. Under microgravity conditions, a significant blood volume moves up to the upper torso. Tonometric measurements were able to demonstrate that this will even affect the internal pressure in the human eye, making it rise to almost double its usual level briefly after the onset of microgravity. Increased eye pressure is also found in patients with glaucoma. In the wake of the D1 mission this experiment led to the development of a hand-held tonometer, to help at-risk patients monitor their eye pressure themselves.

Other experiments explored the question of how and why plants align their growth to the pull of gravitation. Measurements conducted on the roots of garden cress were used to demonstrate the existence of sensitivity thresholds, both in terms of their absolute size and changes in the direction of growth. Evidence was also found for a change in calcium transport caused by a shift in membrane potentials.

Studies performed on bacteria, cell cultures, single-cell organisms, plants, insects and amphibious larvae have demonstrated that both microgravity and cosmic radiation have an impact on the development, growth and metabolism of living organisms. Some bacteria and single-cell organisms breed faster and better in space than in a terrestrial environment.

What this means for Europe and Germany

The D1 research programme had a strong ripple effect on R+D scenarios in high-tech countries such as France, Japan, and the USA. It was D1 that enabled DFVLR and the German space industry to build a strong body of engineering and programme management expertise to carry out scientific human-spaceflight missions. Close cooperation with NASA has created a sense of trust and mutual respect of each other's capabilities. In spite of this effort the European Space Agency could not receive any support of its member states for further ESA Spacelab missions – a downer in this project. As a result of D1, DFVLR won itself a widely appreciated reputation for human missions. It was these competencies that lay the groundwork for D-2, and later on for DLR's contribution to ESA's COLUMBUS programme.

Dr Hauke Dodeck worked as deputy project leader of the D1 mission.

D1 key facts	
Duration of mission: Transport	October 30 to November 6, 1985 Space Shuttle Challenger
Takeoff and landing Number of crewmembers	Kennedy Space Centre, Florida USA eight for the first time – five NASA, two DFVLR, and one ESRO
Crew	Henry W. Hartsfield, Steven R. Nagel, Bonnie J. Dunbar, James F. Buchli,Guion S. Bluford (NASA), Reinhard Furrer, Ernst Messerschmid (DFVLR), Wubbo Ockels(ESRO)
Number of experiments Scientific faculties Mission management Payload command	75 material and life sciences, navigation DFVLR German Space Operations Centre (GSOC) Oberpfaffenhofen
Overall costs	408 million D-Mark (1985)

Die Satelliten Aeros-A und -B waren Teil des Aeronomie Forschungsprogramms. (GfW)

The probes Aeros-A and B were part of the aeronomy research programme. (GfW)

Deutsche Raumfahrt-Missionen

Teil 3: Erforschung der Hochatmosphäre: Aeros-A und -B

Von Dr. Niklas Reinke

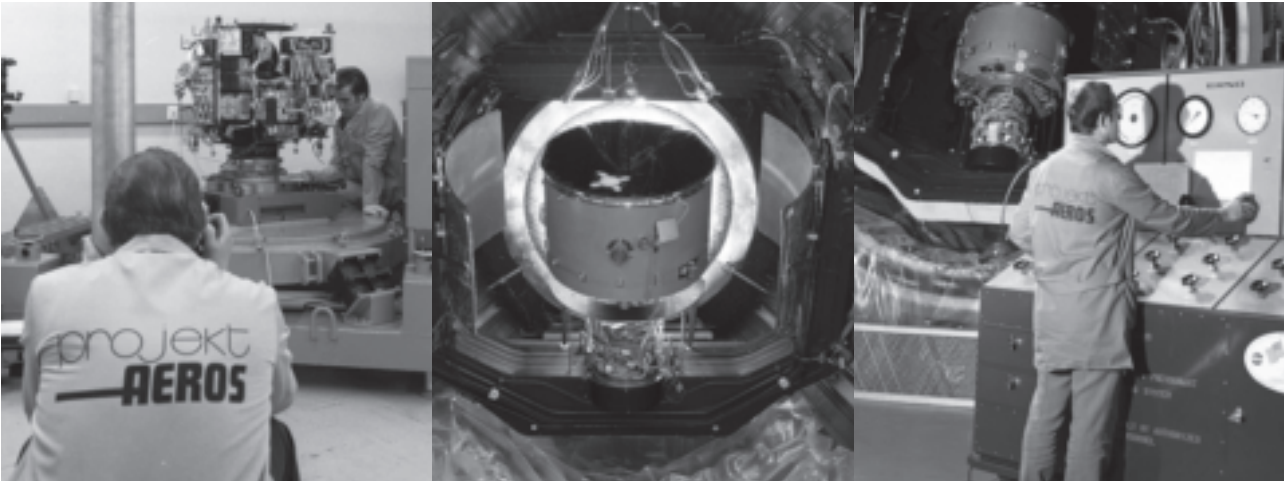
Deutschland hat sich in den letzten 50 Jahren zu einer anerkannten Raumfahrtnation entwickelt. Seine Kompetenzen bringt es in allen Bereichen der Raumfahrt ein: Deutschland ist maßgeblich an der Erforschung des Weltraums und der Forschung im Weltraum beteiligt. Innovative Anwendungen für die Verbesserung des Lebens auf der Erde werden in den Bereichen Kommunikation, Erdbeobachtung und Navigation erzielt. Deutsche Ingenieure sind an Entwicklung und Konstruktion modernster Trägerraketen und Weltraumsysteme beteiligt. Hierbei engagiert sich Deutschland national, europäisch und international. Diese Artikelserie stellt wegweisende historische Missionen der deutschen Raumfahrt-Geschichte vor.

German Space Missions

Part 3: Exploring the upper atmosphere – Aeros-A and B

By Dr Niklas Reinke

In the course of the last 50 years, Germany has come to be recognised as a space nation. Its competence extends to all spheres of space flight: Germany plays a key role in the exploration of space as well as in space-based research. Innovative applications in communication, Earth observation, and navigation serve to improve living conditions on Earth. Moreover, German engineers are involved in the development and construction of leading-edge launchers and space systems. In all these fields, Germany is engaged not only on the national but also on the European and international plane. This series of articles presents landmark missions in the history of German space flight.



Wie ein Satellit entsteht: historische Impressionen von der Fertigung der Satelliten Aeros-A und -B (EADS Corporate Heritage)

How to build up a satellite: historical impressions of the production of the probes Aeros-A and B (EADS Corporate Heritage)

Mit dem ersten deutschen Satelliten Azur (siehe COUNTDOWN 12) erforschten deutsche und amerikanische Wissenschaftler 1969/70 erstmals gemeinsam die obere Erd-Atmosphäre. Ein nach der griechischen Silbe für „Luft“ benanntes Satelliten-Duo sollte diese erfolgreiche Arbeit in den Siebzigerjahren fortsetzen. Mit dem vom deutschen Physiker Karl Rawer erstellten Aeronomie-Forschungsprogramm wurden wesentliche, meist gänzlich neue Informationen gewonnen. Wichtige Erkenntnisse umfassten beispielsweise die Eigenschaften der Ionosphäre für die Ausbreitung von Funkwellen, das Verhalten der Ozonschicht, die Wechselwirkung zwischen der Partikelstrahlung der Sonne und der Erdatmosphäre sowie die Zirkulation der Atmosphäre im Allgemeinen. Aeros war die erste Aeronomie-Mission in extrem niedriger Umlaufbahn (LEO).

Bereits vor dem Start von Azur hatten 1966 Vorarbeiten für einen nachfolgenden deutschen Forschungssatelliten begonnen. Das erste nationale Weltraumprogramm umschrieb dieses zunächst kryptisch als „Projekt 625-A2“. Die Firma Dornier-System erstellte diesbezüglich eine Studie und wurde später auch industrieller Hauptauftragnehmer der Mission.

Wie schon bei Azur zeichnete die amerikanische Weltraumbehörde NASA für den Start des Satelliten in eine elliptische, nahezu polare Umlaufbahn in 230 bis 800 Kilometer Höhe verantwortlich. Die Datenauswertung erfolgte in Koordination mit dem Aeronomiesatelliten Aeronomy Explorer-B (USA) und Taiyo (Japan). Die Aeros-Missionen wurden von der Deutschen Forschungs- und Ver-

Germany's first satellite, Azur (see COUNTDOWN 12), was used by German and American scientists in their first joint project to explore the Earth's upper atmosphere in 1969/70. In the seventies, this successful work was continued by a satellite duo named after the ancient Greek word for air. Developed by the German physicist, Karl Rawer, the aeronomy research programme yielded essential information, most of it entirely new. Important discoveries included, for example, properties in the ionosphere that relate to the propagation of radio waves, the behaviour of the ozone layer, the interaction between the Sun's particle radiation and the terrestrial atmosphere, and the circulation of the atmosphere in general. Aeros was the first aeronomy mission to fly in an extremely low orbit (LEO).

Even before Azur took off, preparations for a subsequent German research satellite had begun in 1966. In the first national space programme, the mission was initially given the rather cryptic designation 'Project 625-A2'. The Dornier-System company developed a study on the project and became the mission's main industrial contractor later on.

As with Azur, the American space agency NASA was responsible for launching the satellite into an elliptical, nearly polar orbit at an altitude of 230 to 800 kilometres. Mission data were evaluated in coordination with those provided by the Aeronomy Explorer B (USA) and Taiyo (Japan) satellites. Both Aeros missions were directed by the German Aerospace Research and Development Institute (DFVLR, now DLR). The task of controlling

Kerndaten Aeros	
Beschluss Aeros-A	10. Juni 1969 (MoU BMBW-NASA)
Beschluss Aeros-B	Anfang 1974 (BMFT)
Start Aeros-A	16. Dezember 1972
Start Aeros-B	16. Juli 1974
Startbasis	Vandenberg (USA)
Träger	Scout
Masse	130 Kilogramm/127 Kilogramm
Experimente	je fünf
Missionsende	22. August 1973/25. September 1975
Kosten	112 Millionen/35 Millionen D-Mark

Aeros key data	
Approval Aeros-A	June 10, 1969 (MoU BMBW-NASA)
Approval Aeros-B	early 1974 (BMFT)
Launch Aeros-A	December 16, 1972
Launch Aeros-B	July 16, 1974
Launch base	Vandenberg (USA)
Launcher	SCOUT
Mass	130 kilogrammes/127 kilogrammes
Experiments	5 each
End of mission	August 22, 1973/September 25, 1975
Cost	112 million/35 million D-Mark



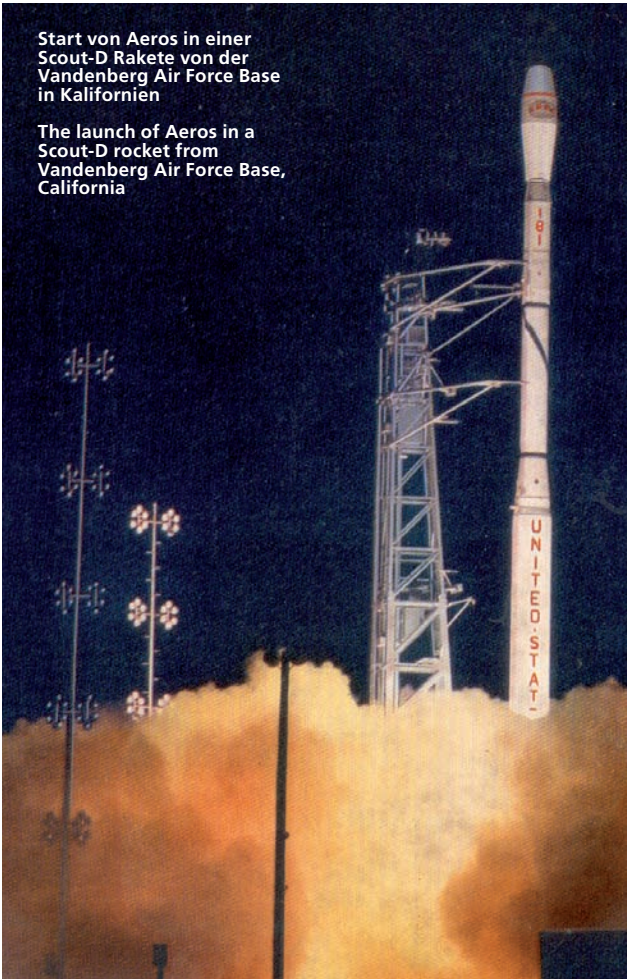
Aeros auf dem Weg zur
Vandenberg Air Force Base

Aeros on its way to the
Vandenberg Air Force Base

suchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR, heute DLR) geleitet. Gesteuert und überwacht wurden sie vom Deutschen Raumflug-Kontrollzentrum (German Space Operation Centre GSOC) in Oberpfaffenhofen mit Unterstützung eines weltumspannenden Bodenstationsnetzwerks. Die Missionen wurden nach dem Wiedereintritt der Satelliten in die Erdatmosphäre planmäßig abgeschlossen.

Aeros-A war mit fünf Experimenten ausgestattet. Das Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg steuerte eines dieser Experimente bei, die Arbeitsgemeinschaft für Weltraumforschung in Freiburg/Breisgau drei und die NASA wiederum eines. Der Satellit maß die Elektronen- und Neutralgastemperatur sowie ihre Dichte, die Ultraviolettstrahlung der Sonne sowie die chemische Zusammensetzung der hohen Atmosphäre, getrennt nach elektrisch geladenen und neutralen Bestandteilen. Zwei weitere Experimente nahmen eine massenspektrometrische Messung von neutralen Atomen und Ionen vor und verfolgten die schnelle Änderung der Plasma-Dichte in der Hochatmosphäre.

Ähnliche Messungen wurden bis zu diesem Zeitpunkt ausschließlich mittels Höhenforschungsraketen von wenigen Minuten Flugdauer vorgenommen. Mit über einem halben Jahr war der Untersuchungszeitraum von Aeros-A nun erstmals deutlich länger. Dies ermöglichte den beteiligten Wissenschaftlern, Daten über die jahreszeitlichen Veränderungen des sonnenzugewandten Teils der hohen Atmosphäre zu gewinnen. Durch nachträgliche Vergleiche mit anderen Messungen konnten die Forscher einheitliche Datensätze von Neutral- und Ionen-Daten erstellen. Diese wurden später in internationale Modelle der neutralen Hochatmosphäre und der Ionosphäre eingearbeitet. Insbesondere die Elektronen- und Ionen-Daten waren zu ihrer Zeit wichtige Basisdaten für das von URSI (International Union of Radio Science) und COSPAR (Committee on Space Research) gemeinsam betriebene Projekt „International Reference Ionosphere“.



Start von Aeros in einer
Scout-D Rakete von der
Vandenberg Air Force Base
in Kalifornien

The launch of Aeros in a
Scout-D rocket from
Vandenberg Air Force Base,
California

and monitoring was handled by the German Space Operation Centre (GSOC) at Oberpfaffenhofen, supported by a network of ground stations that spanned the Earth. Once the satellites had re-entered the atmosphere, the mission was wound up according to plan.

Aeros-A carried five experiments, one of which was contributed by the Max Planck Institute for Nuclear Physics in Heidelberg, three by the Space Research Working Group in Freiburg, Breisgau, and one by NASA. The satellite's instruments measured the temperature and density of electron and neutral gas, the Sun's ultraviolet radiation, and the chemical composition of the upper atmosphere, broken down into charged and neutral constituents. Two of the other experiments were designed to measure neutrals and ions by mass spectrometry and track the rapidly changing density of the plasma in the upper atmosphere.

Until that time, measurements of this kind had been the exclusive preserve of high-altitude research rockets whose flight lasted no more than a few minutes. Aeros-A, on the other hand, offered more than six months of research time, a markedly longer period during which involved scientists were able to gather data about seasonal changes in the sunward-facing part of the upper atmosphere. Subsequent comparisons with other measurements enabled researchers to generate consistent neutral and ion data records that were later integrated in international models of the neutral upper atmosphere and ionosphere. At the time, especially the electron and ion data formed an important basis for the international reference ionosphere project operated jointly by the International Union of Radio Science (URSI) and the Committee on Space Research (COSPAR).



Vom deutschen Missionskontrollzentrum (GSOC) in
Oberpfaffenhofen wurden die Mission Aeros-A und -B
gesteuert und überwacht.

The task of controlling and monitoring was handled by
the German Space Operation Centre (GSOC) at
Oberpfaffenhofen.

Der langfristige Nutzen der ersten Aeros-Mission lag in ihren neuen Erkenntnissen, etwa über die Eigenschaften der Ionosphäre als Kommunikationsträger im Funkverkehr. Die Satelliten erforschten zudem die Zirkulation der Atmosphäre unter Berücksichtigung der Umweltverschmutzung, des Auf- und Abbaus der atmosphärischen Ozonschicht und der Auswirkung der solaren Partikelstrahlung auf die Erdatmosphäre. Dieses Wissen legte den Grundstein für die Entwicklung der heutigen Klimamodelle unseres Heimatplaneten.

Aeros-A war ein großer Erfolg. Bis auf ein Experiment liefen alle Forschungsarbeiten reibungslos. Der Satellit überschritt seine nominelle Lebensspanne um zwei Monate. Dies ermutigte das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Anfang 1974 die Firma Dornier mit dem Bau eines weiteren Flugkörpers vom Typ Aeros zu beauftragen. Dies geschah erstmals in der deutschen Raumfahrtgeschichte zu einem im Voraus vereinbarten Fixpreis. Aeros-B sollte im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit gleichzeitig mit dem amerikanischen Satelliten Atmosphere Explorer-C und dem italienischen Satelliten San Marco-4 die obere Atmosphäre wissenschaftlich erforschen. Die Messaufgaben und das technische Konzept waren weitgehend identisch mit denen seines Vorgängers, konzentrierten sich aber auf eine andere Jahreszeit. Zusätzlich zu den bereits genannten Instituten wurde an der Universität Bonn die Abbremsung des Satelliten auf seiner Bahn analysiert. Aufgrund der hierbei gewonnenen Daten wurde die Gasdichte in der Hochatmosphäre bestimmt.

Im Gegensatz zu seinem Vorgänger war Aeros-B ein rein deutsches Vorhaben. Deshalb musste das Bundesforschungsministerium nun erstmals die Startdienstleistung durch eine US-amerikanische Trägerrakete für circa zwölf Millionen D-Mark bei der NASA kaufen.

Die Mission Aeros-B verlief ähnlich erfolgreich wie Aeros-A. Der Satellit konnte sogar noch länger im Orbit gehalten werden und seine nominelle Lebensdauer mehr als verdoppeln. Mit ihren geringen Kosten wurde sie zudem ein Musterbeispiel für die Effizienz einer wissenschaftlich gerechtfertigten Programmförderung.

Dr. Niklas Reinke ist Politologe und Historiker. Er arbeitet in der Abteilung Raumfahrt-Strategie & Programmatik des DLR Raumfahrt-Managements.



Erstellte Aeronomie-Forschungsprogramm:
Der deutsche Physiker Karl Rawer (AIP Emilio Segre Visual
Archives, von Karl Rawer zur Verfügung gestellt)

Developed the aeronomy research programme: the German
physicist Karl Rawer (AIP Emilio Segre Visual Archives,
by courtesy of Karl Rawer)

The enduring benefit of the first Aeros mission was that it provided fresh insights into the properties of the ionosphere as a carrier in radio communication. Moreover, the satellites explored the circulation of the atmosphere, taking into account environmental pollution, the expansion and contraction of the atmospheric ozone layer, and the effects of solar particle radiation on the Earth's atmosphere. These discoveries formed the foundation for the development of the climate model for our home planet which we have today.

Aeros-A was a great success. Save for one experiment, all research activities proceeded smoothly. The satellite exceeded its nominal life span by two months, which encouraged the Federal Ministry of Research and Technology to commission the Dornier company to build another satellite of the Aeros type early in 1974. For the first time in the history of German space flight, the price of the satellite was fixed in advance. Aeros-B was designed to explore the upper atmosphere scientifically under an international cooperative project involving the American satellite Explorer-C and the Italian satellite San Marco-4. Its measuring tasks and technical concept were largely identical which those of its predecessor but focused on another season. In addition to the institutes named before, Bonn University analysed the deceleration of the satellite in its orbit. The data thus extracted were used to determine the density of gas in the upper atmosphere.

Unlike its predecessor, Aeros-B was an all-German project, which is why the Federal Ministry of Research, for the first time, had to pay NASA a fee of c. twelve million D-Mark for the services of an American launcher.

The Aeros-B mission was quite as successful as Aeros-A. The satellite could be kept in orbit even longer, more than doubling its nominal service life. Moreover, its low cost made the mission a model of efficiency in the scientifically justifiable continuation of a programme.

As politologist and historian, Dr Niklas Reinke works for the space strategies and programmes department of the DLR Space Administration.

Raumfahrtkalender

Termin Ereignis

2011

20. Januar	Start HTV-2 vom Raumfahrtzentrum Tanegashima (Japan)
28. Januar	Start Progress 41P zur Versorgung der ISS von Baikonur (Kasachstan)
Februar	Start STS-133, Space Shuttle Discovery von Cape Canaveral (Florida/USA)
15. Februar	Start ATV-2 "Johannes Kepler" mit Ariane 5 von Kourou (Französisch-Guyana)
14.-27. Februar	Studenten-Raketen-Kampagne REXUS 9/10 von Esrange (Nordschweden)
März	Erste Wissenschaftsflüge des Stratosphären-Observatoriums SOFIA mit deutschem Instrument GREAT
19. März	Start Sojus mit deutschem Kleinsatellit TET-1 von Baikonur
34. März	Start Forschungsrakete TEXUS 49 (DLR) von Esrange mit vier deutschen Experimenten
30. März	Start Sojus 26S zur Versorgung der ISS von Baikonur
April	Start STS-134, Space Shuttle Endeavour von Cape Canaveral mit dem Alpha Magnetic Spectrometer (AMS), Beteiligung RWTH Aachen und Uni Karlsruhe (voraussichtlich letzter Flug eines Space Shuttle)
27. April	Start Progress 42P zur Versorgung der ISS von Baikonur
30. Mai	Start Sojus 27S zur Versorgung der ISS von Baikonur
Mitte des Jahres	Erster Start einer Sojus 2 Fregat von Kourou mit zwei Galileo-Satelliten
Mitte des Jahres	Erststart Trägerrakete Vega von Kourou
2. Halbjahr	Start Expert-Kapsel mit Wolna-Rakete von einem U-Boot im Pazifik
21. Juni	Start Progress 43P zur Versorgung der ISS von Baikonur
15. Juli	Start SpaceX-Träger Falcon 9 (Demonstration Flight 2) von Cape Canaveral
20. Juli	Start Falcon 9 von Cape Canaveral
August	Start Zenit von Baikonur: Russischer Satellit Spektr-R mit deutschen Space Debris Detector, FhG Freiburg
September/Oktober	Start Raumfahrzeug Shefex von Woomera (Australien)
5.-19. September	18. Parabelflug in Bordeaux (Frankreich) und Köln (Deutschland)
3. Quartal	Start Sojus 2-1b Fregat von Kourou mit zwei Galileo IOV-Satelliten
Oktober	Studenten-Ballon-Kampagne BEXUS 12/13 von Esrange
8. Oktober	Start Falcon 9 (Demonstration Flight 3) von Cape Canaveral
November/Dezember	Start der russischen Raumsonde Phobos-Grunt auf einer Zenit/Fregat-Rakete von Baikonur zum Marsmond Phobos mit einem Mössbauer-Spektrometer der Universität Mainz
1. November	Start Taurus II (Demonstration Flight 1) von Cape Canaveral
3. November	Start Forschungsrakete TEXUS 48 (DLR/ESA) von Esrange mit drei Experimenten, davon eines aus Deutschland
25. November	Start der NASA-Mission Mars Science Laboratory (MSL) von Cape Canaveral mit deutschem Strahlungsmesser RAD der Uni Kiel und des DLR Köln
Dezember	Start Sojus von Baikonur mit russischem Satelliten MKA-FKI mit dem deutschen ADSB Empfänger; Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Dezember	Start ISS-Modul MLM Nauka mit Proton von Baikonur
2012	
1. Quartal	Start Sojus 2-1b Fregat von Kourou mit zwei Galileo IOV-Satelliten

Space Calendar

Date Event

2011

January 20	Launch of HTV-2 from the spaceport Tanegashima (Japan)
January 28	Launch of Progress 41P for ISS logistics from Baikonur (Kazakhstan)
February	Launch of STS-133, Space Shuttle Discovery from Cape Canaveral (Florida/USA)
February 15	Launch of ATV-2 'Johannes Kepler' on Ariane 5 from Kourou (French Guiana)
February 14-27	Students' rocket campaign REXUS 9/10 from Esrange (north of Sweden)
March	First scientific flights of the stratosphere observatory SOFIA, carrying the German instrument GREAT
March 19	Launch of Sojus, carrying the German probe TET-1 from Baikonur
March 24	Launch of research rocket TEXUS 49 (DLR) from Esrange, carrying four German experiments
March 30	Launch of Sojus 26S for ISS logistics from Baikonur
April	Launch of STS-134, Space Shuttle Endeavour from Cape Canaveral, carrying the Alpha Magnetic Spectrometer (AMS), with contributions of RWTH Aachen and University of Karlsruhe (presumably last flight of a Space Shuttle)
April 27	Launch of Progress 42P for ISS logistics from Baikonur
May 30	Launch of Sojus 27S for ISS logistics from Baikonur
Middle of the year	First launch of Sojus 2 Fregat from Kourou, carrying two Galileo satellites
Middle of the year	First launch of booster Vega from Kourou
2 nd half of the year	Launch of Expert capsule on a Wolna rocket from a submarine in the Pacific area
June 21	Launch of Progress 43P for ISS logistics from Baikonur
July 15	Launch of SpaceX launcher Falcon 9 (Demonstration Flight 2) from Cape Canaveral
July 20	Launch of Falcon 9 from Cape Canaveral
August	Launch of Zenit from Baikonur: Russian satellite Spektr-R, carrying German Space Debris Detector; FhG Freiburg
September/October	Launch of space vehicle Shefex from Woomera (Australia)
September 5-19	18 th parabolic flight in Bordeaux (France) and Cologne (Germany)
3 rd Quarter	Launch of Sojus 2-1b Fregat from Kourou, carrying two Galileo IO probes
October	Students' balloon campaign BEXUS 12/13 from Esrange
October 8	Launch of Falcon 9 (Demonstration Flight 3) from Cape Canaveral
November/December	Launch of the Russian probe Phobos-Grunt on a Zenit/Fregat rocket from Baikonur on its way to the Martian moon Phobos, carrying a Mössbauer spectrometre with contributions of University of Mainz
November 1	Launch of Taurus II (Demonstration Flight 1) from Cape Canaveral
November 3	Launch of research rocket TEXUS 48 (DLR/ESA) from Esrange, carrying three experiments, including one German experiment
November 25	Launch of NASA-Mission Mars Science Laboratory (MSL) from Cape Canaveral, carrying the German radiation sensor RAD; University of Kiel and DLR Cologne
December	Launch of Sojus from Baikonur, carrying the Russian probe MKA-FKI including the German ADSB receiver; Hamburg University of Applied Sciences
December	Launch of Proton rocket, carrying the ISS modul MLM Nauka
2012	
1 st Quarter	Launch of Sojus 2-1b Fregat from Kourou, carrying two Galileo IOV satellites



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

Das DLR im Überblick

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

In den 13 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Impressum

Newsletter COUNTDOWN – Aktuelles aus der DLR
Raumfahrt-Management
Herausgeber: Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt (DLR)

Sabine Göge
(ViSdP)

Redaktion:
Michael Müller (Redaktionsleitung),
Martin Fleischmann (verantwortlicher Redakteur)
Diana Gonzalez (Raumfahrtkalender)

Hausanschrift:
Königswinterer Straße 522–524,
53227 Bonn
Telefon: +49 (0) 228 447-120
Telefax: +49 (0) 228 447-386
E-Mail: Martin.Fleischmann@dlr.de
www.DLR.de/rd

Druck: KÖLLEN DRUCK & VERLAG GmbH,
53117 Bonn-Buschdorf

Gestaltung: CD Werbeagentur GmbH,
53842 Troisdorf
www.cdonline.de

ISSN 2190-7072

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers
und Quellenangabe. Gedruckt auf umweltfreund-
lichem, chlorfrei gebleichtem Papier. Alle Bilder
DLR, soweit nicht anders angegeben. Namentlich
gekennzeichnete Artikel geben nicht unbedingt
die Meinung der Redaktion wieder. Erscheinungs-
weise vierteljährlich, Abgabe kostenlos.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

DLR at a glance

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

Approximately 6,700 people are employed at thirteen locations in Germany: Cologne (headquarters), Berlin, Bonn, Braun-schweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also operates offices in Brussels, Paris, and Washington D.C.

Imprint

Newsletter COUNTDOWN – Topics from the DLR
Space Administration
Publisher: Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt (DLR)

Sabine Göge
(responsible according to the press law)

Editorial office:
Michael Müller (Editor in Chief)
Martin Fleischmann (Subeditor)
Diana Gonzalez (Space Calendar)

Postal Address:
Königswinterer Straße 522–524,
53227 Bonn, Germany
Telephone: +49 (0) 228 447-120
Telefax: +49 (0) 228 447-386
E-mail: Martin.Fleischmann@dlr.de
www.DLR.de/rd

Print: KÖLLEN DRUCK & VERLAG GmbH,
53117 Bonn-Buschdorf, Germany

Layout: CD Werbeagentur GmbH,
53842 Troisdorf, Germany
www.cdonline.de

ISSN 2190-7072

Reprint with approval of publisher and with refe-
rence to source only. Printed on environmen-
t-friendly, chlorine-free bleached paper. Copyright
DLR for all imagery, unless otherwise noted. Artic-
les marked by name do not necessarily reflect the
opinion of the editorial staff. Published quarterly,
release free of charge.

Supported by:



Federal Ministry
of Economics
and Technology

on the basis of a decision
by the German Bundestag