

Raumfahrtssysteme

Mission „Johannes Kepler“ erfolgreich

Space Flight Systems

Mission 'Johannes Kepler' Proceeded Successfully

Seite 6 / page 6

Extraterrestrik: Mit ECOMA den Rätseln der mittleren Atmosphäre auf der Spur

Extraterrestrics: ECOMA Unravels the Riddles of the Middle Atmosphere

12

Robotik: DEOS greift nach defekten Satelliten

Robotics: DEOS Catches Defective Satellites

16

Navigation: Galileo-Testregion GATE offiziell eröffnet

Navigation: Galileo Test Region GATE Officially Opened

20

Forschung unter Weltraumbedingungen: ISS-Jubiläum in Bonn gefeiert

Research under Space Conditions: ISS Jubilee Celebrated in Bonn

24

Zehn Jahre deutsche Forschung auf der ISS

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

28

CCF entdeckt neue Strömungseffekte

Research under Space Conditions: CCF Discovers New Flow Effects

32

Deutsche Raumfahrt-Missionen: Symphonie

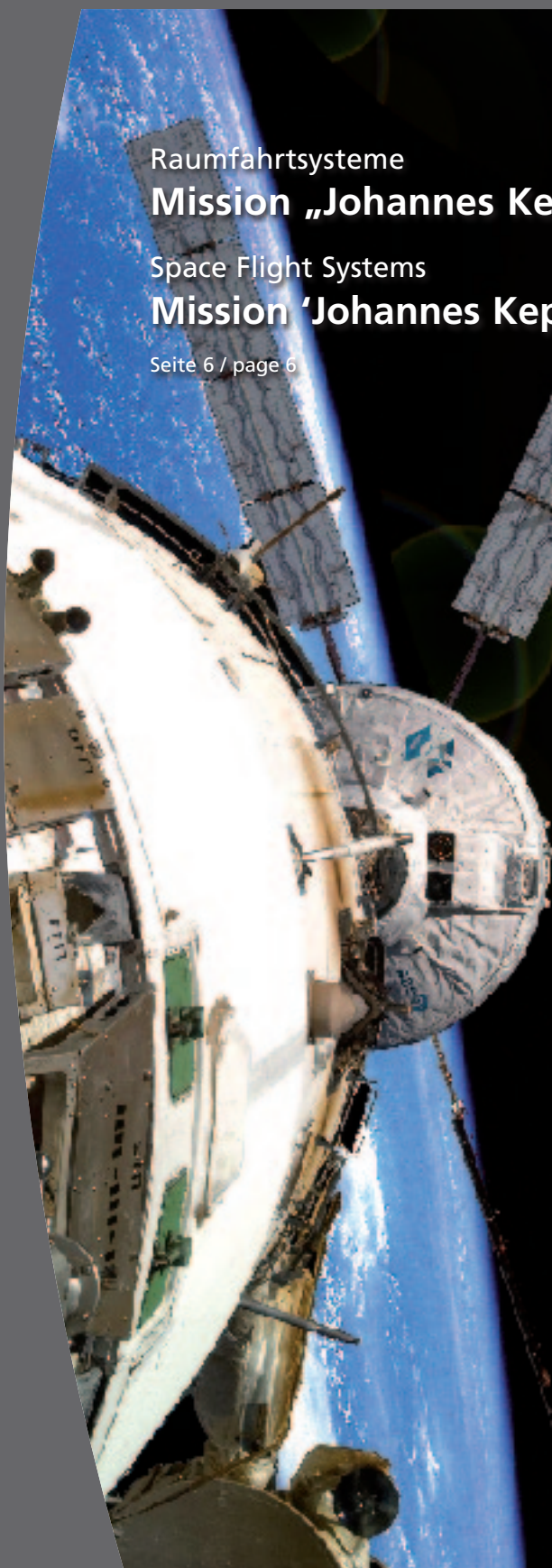
German Space Missions: Symphonie

36

Raumfahrtkalender

Space Calendar

40





**Dr. Gerd Gruppe,
Vorstandsmitglied des
DLR zuständig für das
Raumfahrtmanagement**

Dr Gerd Gruppe,
Member of the DLR Executive
Board, responsible for the
German Space Administration

Liebe Leserinnen und Leser,

liebe Partner des Raumfahrtmanagement,

viermal im Jahr informieren wir Sie in der COUNTDOWN über aktuelle Projekte und Entwicklungen in der Raumfahrt. Ich freue mich, Ihnen die aktuelle Ausgabe vorstellen zu dürfen. Seit dem 1. April verantworte ich den Vorstandsbereich Raumfahrtmanagement im DLR. Durch meine bisherige Tätigkeit im Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie bin ich mit der Raumfahrt vertraut. Auch in Zukunft wird das DLR mit voller Kraft daran arbeiten, gemeinsam mit unseren Partnern aus Politik, Forschung und Industrie die Raumfahrt in Deutschland und Europa weiter voran zu bringen.

Bereits heute ist die deutsche Raumfahrt erfolgreich aufgestellt. Insbesondere dank der Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) konnten in den letzten Jahren neue Felder besetzt und unsere Position in den bekannten Schwerpunktgebieten gefestigt werden. Am 16. Mai startete das Alpha Magnet Spectrometer (AMS) zur Internationalen Raumstation ISS – ein Detektor, der Beweise für die Existenz und Ausbreitung von Teilchen der kosmischen Strahlung finden soll. Mit AMS wollen unter anderem Wissenschaftler der RWTH Aachen und der Universität Karsruhe der Existenz der sogenannten „Dunklen Materie“ auf die Spur zu kommen. Auch das aktuelle Heft spiegelt die vielfältigen Perspektiven der deutschen Raumfahrt wider. Titelthema ist das zweite europäische Automatic Transfer Vehicle (ATV), 'Johannes Kepler', das zu großen Teilen in Bremen gebaut wurde und deutsche Ingenieurskunst demonstriert.

Ein Arbeitsgebiet mit besonders vielversprechenden Zukunftsaussichten ist die Robotik. Hier planen wir mit DEOS ein neuartiges System, das nichtkooperative Satelliten aus dem Verkehr ziehen soll. DEOS ist der deutsche Beitrag, um dem zunehmenden Weltraumschrott zu begegnen. Wir tragen dieser Entwicklung Rechnung und richteten deshalb im April die Konferenz des Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) in Berlin aus.

Innerhalb Europas nimmt die deutsche Forschung unter Weltraumbedingungen einen Spitzenrang ein. Deshalb freuen wir uns über das jüngste Bekenntnis der ESA-Mitgliedstaaten zur Fortsetzung der ISS-Nutzung bis 2020. Wer mehr über die deutschen Aktivitäten auf der Raumstation erfahren möchte, dem lege ich die Lektüre der Broschüre „Deutschland auf der ISS“ nahe. Doch so spannend die Vergangenheit ist – in unserer täglichen Arbeit konzentrieren wir uns auf die Zukunft der Raumfahrt. Die in höchstem Maße engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des DLR setzen Tag für Tag spannende neue Projekte in die Praxis um. Mit großer Freude bin ich nun Teil dieses Teams.

Im Namen des DLR Raumfahrtmanagements und seiner Mitarbeiter wünsche ich Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre,

Ihr Gerd Gruppe

Dear readers,

dear partners of the DLR Space Administration

Four times a year COUNTDOWN gives you an update on current projects and developments in the space sector. I am pleased to introduce you to this new edition. Since April 1, as a member of the DLR Executive Board, I am responsible for the Space Administration. I have long been familiar with the space industry from my former position at the Department of Economics, Infrastructure, Transportation and Technology of the Bavarian state government. Together with partners in politics, academia and industry, DLR will continue to press forward to achieve further growth in the space sector both in Germany and in Europe.

The last few years have been good times for German space flight. The German space sector is doing well. We owe particular thanks to the Ministry of Economics and Technology (BMWi) whose support has enabled us to break some new ground over the past few years while also consolidating our position in our established areas of research. On May 16, the Alpha Magnet Spectrometer (AMS) went up to the International Space Station. The AMS is a detector that will search for evidence of the distribution of cosmic ray particles. Its results will help scientists from RWTH Aachen, Karlsruhe University and others find out more about the secrets of 'dark matter'. The current edition once again shows the diversity of German space research. The cover story features Europe's second Automated Transfer Vehicle (ATV), 'Johannes Kepler', a major part of which was built in Bremen and may well be called a fine piece of German engineering.

An activity that holds a wealth of opportunities for the future is that of robotics. A current project in that context is DEOS, a novel system to remove non-cooperative satellites from their orbits. It is planned to be Germany's contribution to handling the ever-accumulating amount of debris in space. It was also in view of our concern for this development that we arranged the Berlin conference of the Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC).

Germany's research under space conditions ranks highly in Europe. Therefore we were pleased to note that ESA member states officially agreed to extend their ISS-based research until 2020. To those who wish to find out more about German activities on the space station I recommend reading the new issue of our brochure, 'Germany on the ISS'. Yet, interesting though it may be to read about past achievements, it is the future of astronautics that we concentrate on as our daily business. Day by day, DLR's highly motivated staff members work on putting exciting new projects into practice. I am very happy to have become a part of this team.

On behalf of DLR Space Management and its staff I wish you an enjoyable reading.

Sincerely yours,
Gerd Gruppe

Raumfahrt aus Leidenschaft

Erinnerungen an den Raumfahrtpionier

Heinz-Hermann Koelle (*22. Juli 1925; †20. Februar 2011)

Im Jahr 1947 gründete eine kleine Gruppe von Weltraumenthusiasten in einer Stuttgarter Gaststätte die Arbeitsgemeinschaft Weltraumfahrt. Ein Jahr später wurde daraus die Gesellschaft für Weltraumforschung (GfW) – eine Keimzelle für die nach dem Zweiten Weltkrieg wieder auflebende Raumfahrttechnik in Deutschland. Prof. Heinz-Hermann Koelle war einer der Begründer dieser Bewegung und wie Wernher von Braun, Hermann Oberth und Eugen Sänger ein Pionier der deutschen Raumfahrt. Prof. Koelle starb am 20. Februar 2011 im Alter von 85 Jahren in Berlin.

„Vielen wird diese Arbeit als verfrüht und utopisch erscheinen, doch darf an dieser Stelle gesagt werden, dass die exakte Wissenschaft heute auf dem Standpunkt steht, dass in spätestens 15 bis 20 Jahren der heute noch oft verlachte Mondflug Wirklichkeit geworden ist“, schrieb Prof. Koelle im Juli 1949 in einem Kurzbeitrag der Zeitschrift „Thermik“. 15 Jahre später erreichte die erste Raumsonde den Mond und genau 20 Jahre später – am 21. Juli 1969 – setzte Neil Armstrong den Fuß zum ersten Mal auf die Mondoberfläche.

Die Begeisterung für Raumfahrt wurde in dem gebürtigen Danziger schon sehr früh geweckt. 1941 bekam er zum 16. Geburtstag das damals bereits legendäre Buch von Raumfahrtpionier Hermann Oberth „Wege zur Raumschiffahrt“ aus dem Jahre 1928 geschenkt. Koelles Mutter hatte das Buch in einem Antiquariat entdeckt. Es sollte der Anstoß für sein Engagement in Sachen Raumfahrt werden. Seine ersten wissenschaftlichen Berechnungen zur Flugbahn einer Rakete stellten Koelle nur mit Hilfe von Rechenschieber und physikalischer Grundkenntnisse bereits während seiner Kriegsgefangenschaft 1945 an.

Raumfahrt war für Koelle Leidenschaft und Hobby, für das er sich während seines Maschinenbaustudiums an der TU Stuttgart stark machte. Zu jener Zeit war er maßgeblich an der Gründung der GfW beteiligt und versuchte mit den damals sehr beschränkten Mitteln, die Gesellschaft aufleben zu lassen. Der Gesellschaft ging es um die Rehabilitation der deutschen Raketenforschung und deren friedliche Anwendung. Hierbei betrieb sie erfolgreiche Lobbyarbeit und konnte das Verkehrsministerium für finanzielle Förderungen gewinnen sowie internationale Beziehungen knüpfen.

Nach dem Studium (1946-1952) ging Koelle zunächst in die USA. Wernher von Braun sicherte ihm in einem Briefwechsel zu, dass er sich für eine Anstellung im Redstone Arsenal in Huntsville einsetzen werde. 1954 bekam Koelle dann das Angebot, das er dankend annahm. In Huntsville war er für Raketentechnik zuständig und an der Entwicklung der Raketen Jupiter, Thor, Delta, Pershing, Redstone und Saturn beteiligt. Er war stets daran interessiert, die Raketen als Satellitenträger friedlich nutzbar zu machen. Auch am Apollo-Programm arbeitete Koelle mit.

1965 kehrte er nach Deutschland zurück, wo er die Leitung des Instituts für Luft- und Raumfahrt der TU Berlin von Eugen Sänger übernahm und bis 1991 tätig blieb. Bis zu seinem Lebensende beschäftigte er sich mit dem Entwerfen von Zukunftsstudien zu bemannten Mondstationen. Im Jahr 2007 wurde Koelle für seinen Einsatz im Dienste der Raumfahrt mit dem „Space Pioneer Award“ der US-amerikanischen „National Space Society“ ausgezeichnet.

A Passion for Space Flight

In Remembrance of Space Pioneer

Heinz-Hermann Koelle (*July 22, 1925; †February 20, 2011)

In the year 1947 a small group of space enthusiasts founded a spaceflight society, called Arbeitsgemeinschaft Weltraumfahrt, in a pub in Stuttgart. A year later the society was renamed into Gesellschaft für Weltraumforschung (GfW) – and became the nucleus of Germany's space technology renaissance after the Second World War. Prof. Heinz-Hermann Koelle was a founder of this development and a pioneer of spaceflight in Germany, as were Wernher von Braun, Hermann Oberth, and Eugen Sänger. Prof. Koelle died on February, 20 2011 in Berlin, aged 85.

‘The work we do may seem premature and utopian to many, but I may say at this point that even staunch rational scientists today think that in 15 to 20 years from now, at the latest, the idea of flying to the Moon, still often laughed at today, will have become a reality,’ Professor Koelle wrote in July 1949 in a short article for the ‘Thermik’ magazine. 15 years later the first space probe reached the Moon, and exactly 20 years later, on July 21, 1969, Neil Armstrong became the first human to set foot on the surface of the Moon.

Koelle's enthusiasm for space technology goes back to the very early age of the Gdansk-born scientist. On his 16th birthday he was presented with a copy of ‘The Road to Space Travel’, a legendary book written in 1928 by Germany's rocket pioneer Hermann Oberth. Koelle's mother had discovered it in a second-hand bookshop. It was to become the first inspiration that brought on his later commitment to space flight. With no more than a slide-rule and some knowledge of fundamental physics at his disposal, Koelle carried out his own first calculations of a rocket trajectory during his time as POW in September 1945.

To Koelle, spaceflight was both a passion and a hobby on which he spent much time during his degree course in mechanical engineering at Stuttgart Technical University. This was also when he played a major part in the setting up of GfW, trying with what modest

means were available at the time to make it operational. The Society's main agenda was to rehabilitate German rocket science and its peaceful applications. Thanks to some successful lobbying it was granted financial support from the transport ministry and began to build international contacts.

After obtaining his degree (1946-1952), Koelle began his career by going to the USA. Wernher von Braun promised in a letter that he would personally assist him in finding a job at the Huntsville-based Redstone Arsenal. The job offer came in 1954, Koelle gratefully accepted. In Huntsville he worked in rocket technology, and had a hand in the development of the Jupiter, Thor, Delta, Pershing, Redstone, and Saturn rockets. Koelle's concern was always to aim at a peaceful use of rockets as carriers of satellites. During his stay in the USA, he took part in the rise of the Apollo programme.

He returned to Germany in 1965 where he took over from Eugen Sänger as head of the Aerospace Institute of Berlin Technical University. There he stayed until 1991. Until the end of his life, he designed drafts of manned moon stations. In 2007, Koelle received the USA's National Space Society's ‘Space Pioneer Award’ in recognition of his service to spaceflight.



**Wernher von Braun verabschiedet
Prof. Heinz-Herrmann Koelle.**

**Wernher von Braun took leave of
Prof. Heinz-Herrmann Koelle.**

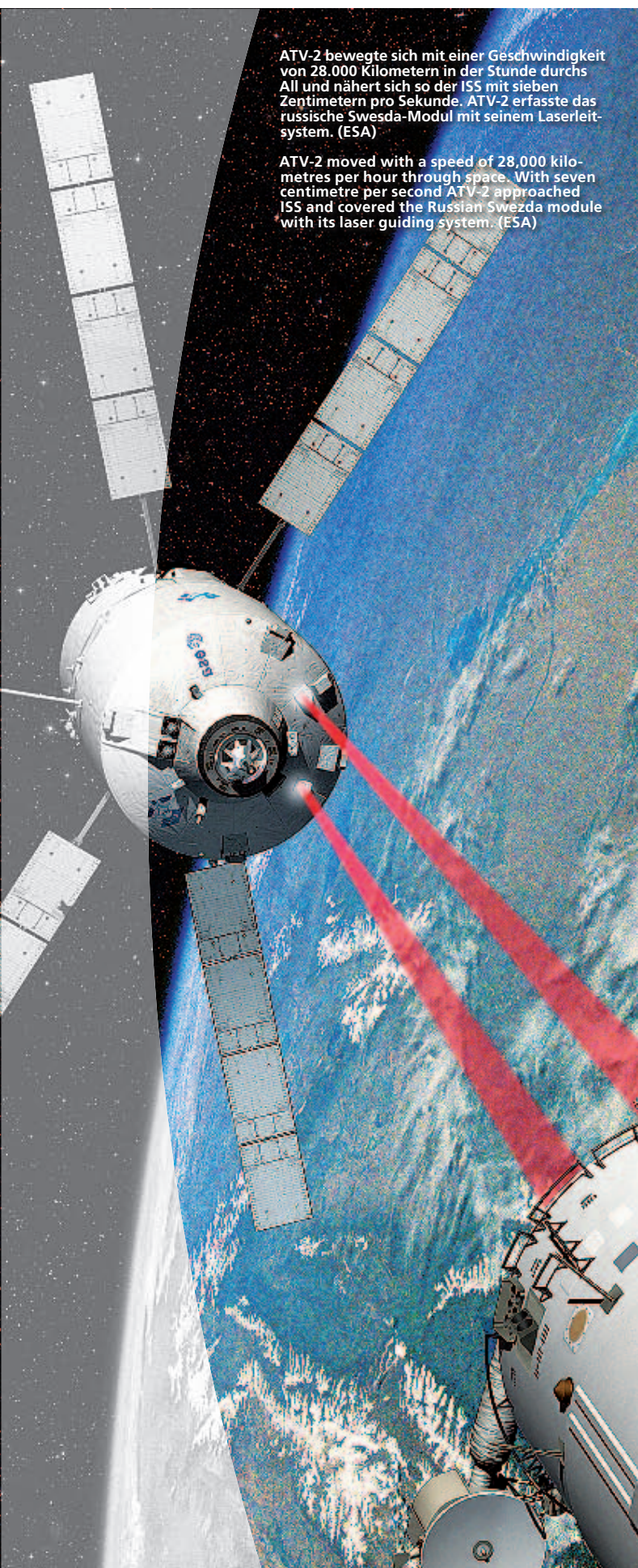
Herschel beobachtet gigantische Stürme

Das ESA-Infrarot-Weltraumobservatorium Herschel hat gigantische Stürme aufgespürt, welche die Energie besitzen, das molekulare Gas aus ganzen Galaxien wegzublasen. Der von Herschel beobachtete Sturm erreichte Geschwindigkeiten von mehr als 1.000 Kilometer pro Sekunde – 10.000-mal schneller als ein Hurrikan auf der Erde. Zum ersten Mal wurde ein solcher eindeutiger Gasausfluss in Galaxien beobachtet. Eine wichtige Entdeckung, denn Sterne entstehen aus molekularem Gas. Wenn diese gigantischen Stürme Galaxien das molekulare Gas „stehlen“, dann könnten diese Ausflüsse stark genug sein, Sternformationen für immer zu fixieren. Die Aufnahme gelang mit dem Instrument Photodetector Array Camera and Spectrometer (PACS), das unter Leitung des Max-Planck-Instituts für Extraterrestrische Physik (MPE) entwickelt und vom DLR gefördert wurde.

Herschel Observes Gigantic Storms

ESA's Herschel infrared space observatory has detected raging winds of molecular gas streaming away from galaxies. These outflows may have the power to strip galaxies of gas. The storm observed by Herschel was blowing at a speed of more than 1,000 kilometres per second, or about 10,000 times faster than the wind in a terrestrial hurricane. This is the first time that such molecular gas outflows have been unequivocally observed in a sample of galaxies. This is an important discovery because stars form from molecular gas, and these outflows are 'robbing' the galaxy of the raw material it needs to make new stars. If the outflows are powerful enough, they could even halt star formation altogether. The image was taken by the Photodetector Array Camera and Spectrometer (PACS) instrument built by the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE) and funded by the DLR.





ATV-2 bewegte sich mit einer Geschwindigkeit von 28.000 Kilometern in der Stunde durchs All und nähert sich so der ISS mit sieben Zentimetern pro Sekunde. ATV-2 erfasste das russische Swesda-Modul mit seinem Laserleitsystem. (ESA)

ATV-2 moved with a speed of 28,000 kilometres per hour through space. With seven centimetre per second ATV-2 approached ISS and covered the Russian Swesda module with its laser guiding system. (ESA)

ATV-2

Mission „Johannes Kepler“ erfolgreich

Von Volker Schmid

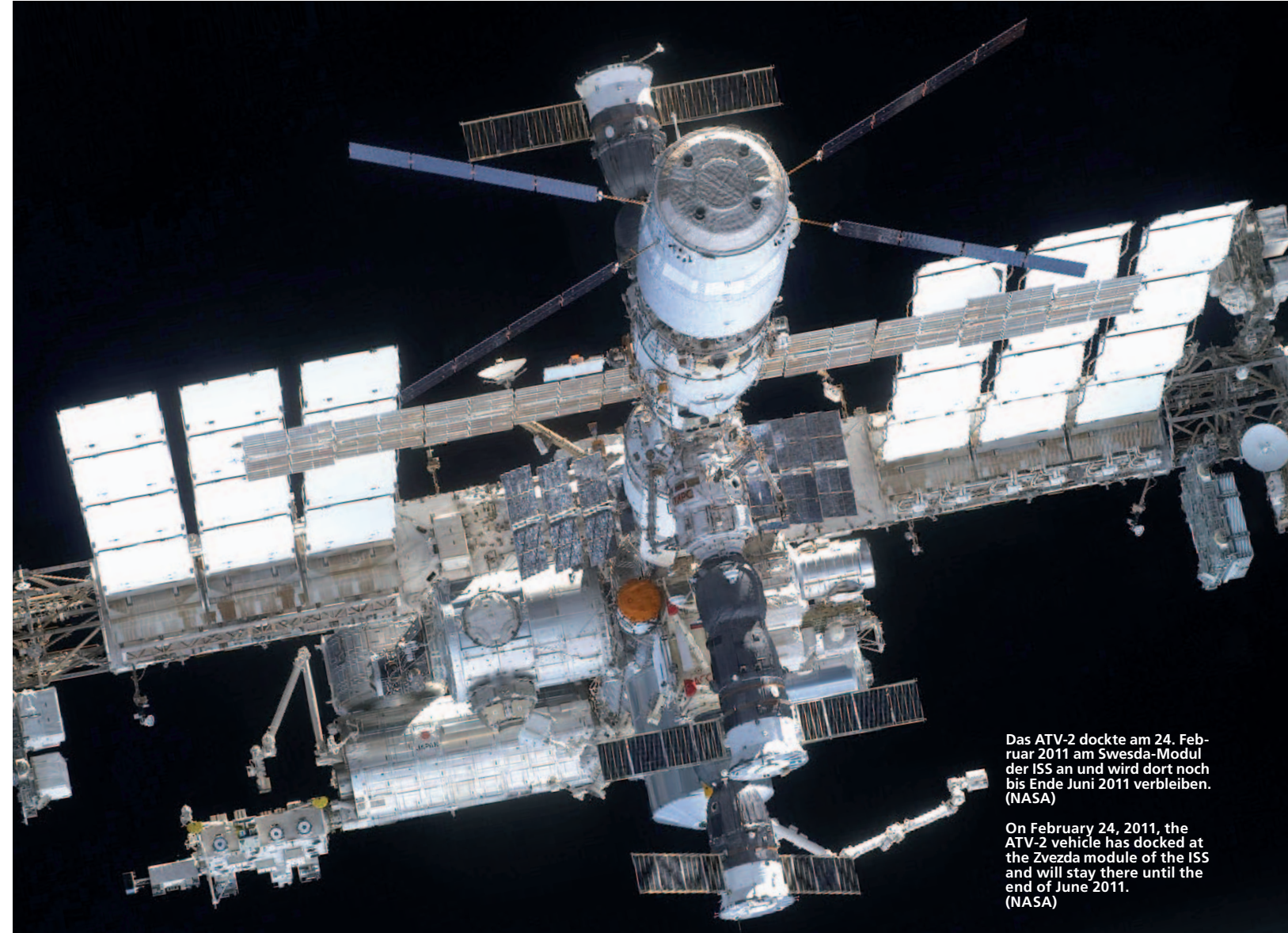
Der tropische Dauerregen hatte kurzzeitig aufgehört, als der europäische Raumtransporter ATV-2 „Johannes Kepler“ am 16. Februar 2011 um 22:50 Uhr (MEZ) auf einer Ariane 5-ES Rakete von Kourou aus zur Internationalen Raumstation ISS aufbrach. Der „Liftoff“ mitten in der Regenzeit war Präzisionsarbeit – hatten die Ingenieure doch nur ein Zeitfenster von einer Sekunde. Auch die Verschiebung des Starts um einen Tag war wegen der drittletzten Mission eines Space Shuttle am 24. Februar 2011 nicht unproblematisch. Eine Verschiebung um einen einzigen weiteren Tag hätte zu einer Terminüberschneidung mit dem Missionskorridor von STS-133 geführt. Die Erleichterung um 0:32 Uhr MEZ nach dem geglückten Start und dem Öffnen der Solarpaneele war demnach riesig.

ATV-2

Mission ‘Johannes Kepler’ Successfully Proceeded

By Volker Schmid

The incessant tropical rain had stopped briefly when the European ATV-2 transfer vehicle ‘Johannes Kepler’ took off on an Ariane 5-ES rocket at 10.50pm (CET) on February 16, 2011, on its way from Kourou to the International Space Station (ISS). The lift-off in the rains required highest precision, for the time slot available to the engineers was no longer than one second. Moreover, the lift-off had already been delayed by one day, which was not without problems because of the launch of the antepenultimate shuttle mission on February 24, 2011. If it had been deferred by just one more day it might have interfered with the mission corridor of STS-133. According to this increasing tension, the relief that spread when the solar panels opened at 0.32am (CET) was enormous.



Das ATV-2 dockte am 24. Februar 2011 am Swesda-Modul der ISS an und wird dort noch bis Ende Juni 2011 verbleiben. (NASA)

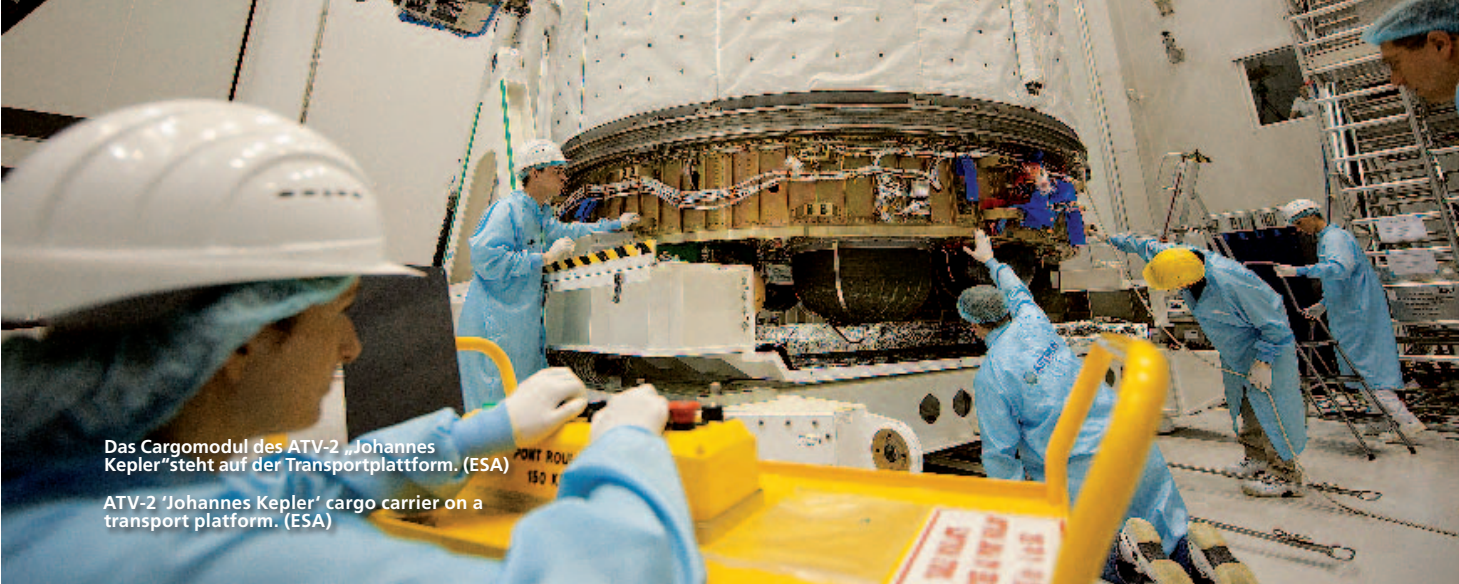
On February 24, 2011, the ATV-2 vehicle has docked at the Zvezda module of the ISS and will stay there until the end of June 2011. (NASA)

Der nach dem deutschen Mathematiker und Astronom Friedrich Johannes Kepler benannte Raumtransporter ATV-2 dockte am 24. Februar 2011 um 16:59 Uhr (MEZ) am russischen Swesda-Modul der ISS an. Während des „Rendezvous“ klappten alle Manöver auf Anhieb – und das bei einer Geschwindigkeit von 28.000 Kilometern in der Stunde. Das Docking verlief in verschiedenen Phasen und über sogenannte imaginäre Haltepunkte. Das ATV befand sich zu Beginn des Andockmanövers 39 Kilometer hinter und fünf Kilometer unterhalb der ISS. Begonnen hatte der Anflug zur Raumstation gegen 12:38 Uhr (MEZ).

Unterstützt wurde „Johannes Kepler“ dabei von mehreren Systemen: Eine Funk-Verbindung zum russischen Modul, der sogenannte Proxy-Link, war ebenso aktiv wie das relative GPS. Hierbei werden die über das satellitengestützte, globale Navigationssystem gewonnenen Positionsdaten von ISS und „Johannes Kepler“ vom ATV-Bordrechner ausgewertet und verglichen. Sie dienen zur Feinjustierung der ATV-2-Position. Das russische KURS-Radar unterstützte die Navigation ab einer Entfernung von etwa 3,5 Kilometern. Auf den letzten 250 Metern zur ISS sendete ein Lasersystem Impulse an die Reflektoren des russischen Swesda-Moduls, und die Bordcomputer des ATV berechneten die Lage und Orientierung anhand der reflektierten Signale. Auf den letzten 50 Metern navigierte das ATV-2 schließlich noch mit einem Videosystem. Insgesamt dreieinhalb Stunden dauerte das Manöver, bei dem der Raumtransporter mit einer Genauigkeit von fünf bis acht Zentimetern andockte.

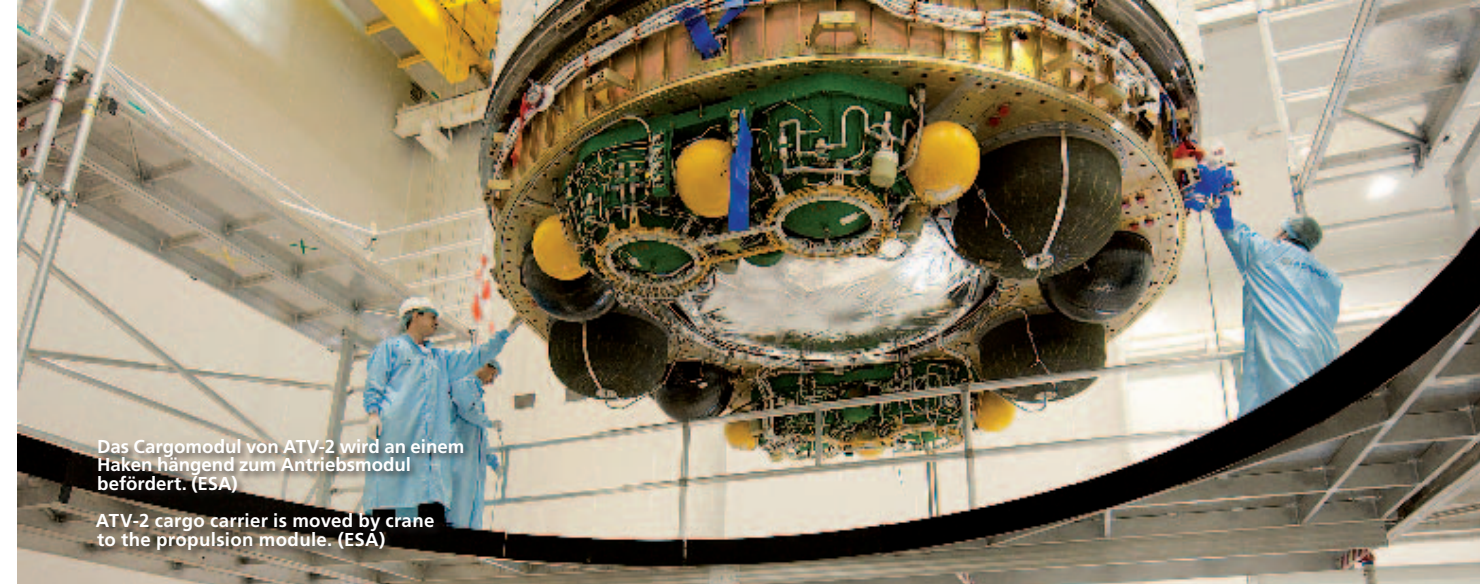
Named after the German mathematician and astronomer, Friedrich Johannes Kepler, the transport vehicle ATV-2 docked to the Russian Zvezda module at 4.59pm (CET) on February 24, 2011. During the rendezvous, all manoeuvres went successfully at first try – at a velocity of 28,000 kilometres per hour, no less. The docking sequence involved various phases and so-called imaginary stopping points. When the docking manoeuvre began, the ATV was 39 kilometres abaft and five kilometres below the ISS. The approach to the space station began around 12.38pm (CET).

In its approach, ‘Johannes Kepler’ was assisted by several systems: a radio connection with the Russian module called proxy link was active, as was the relative global positioning system (RGPS) under which the ATV’s on-board computer evaluated and compared the data provided by the satellite-based global navigation system about the relative position of the ISS and ‘Johannes Kepler’ to pinpoint the position of ATV-2. Below a distance of about 3.5 kilometres, navigation was supported by the Russian KURS radar. On the last 250 metres to the ISS, a laser system beamed pulses to reflectors attached to the Russian Zvezda module, and ATV’s computers evaluated the reflected signals to calculate its position and orientation. On its last 50 metres, ATV-2 additionally used a video system. The manoeuvre during which the transfer vehicle approached the ISS and docked with a precision of five to eight centimetres took a total of three and a half hours.



Das Cargomodul des ATV-2 „Johannes Kepler“ steht auf der Transportplattform. (ESA)

ATV-2 'Johannes Kepler' cargo carrier on a transport platform. (ESA)



Das Cargomodul von ATV-2 wird an einem Haken hängend zum Antriebsmodul befördert. (ESA)

ATV-2 cargo carrier is moved by crane to the propulsion module. (ESA)

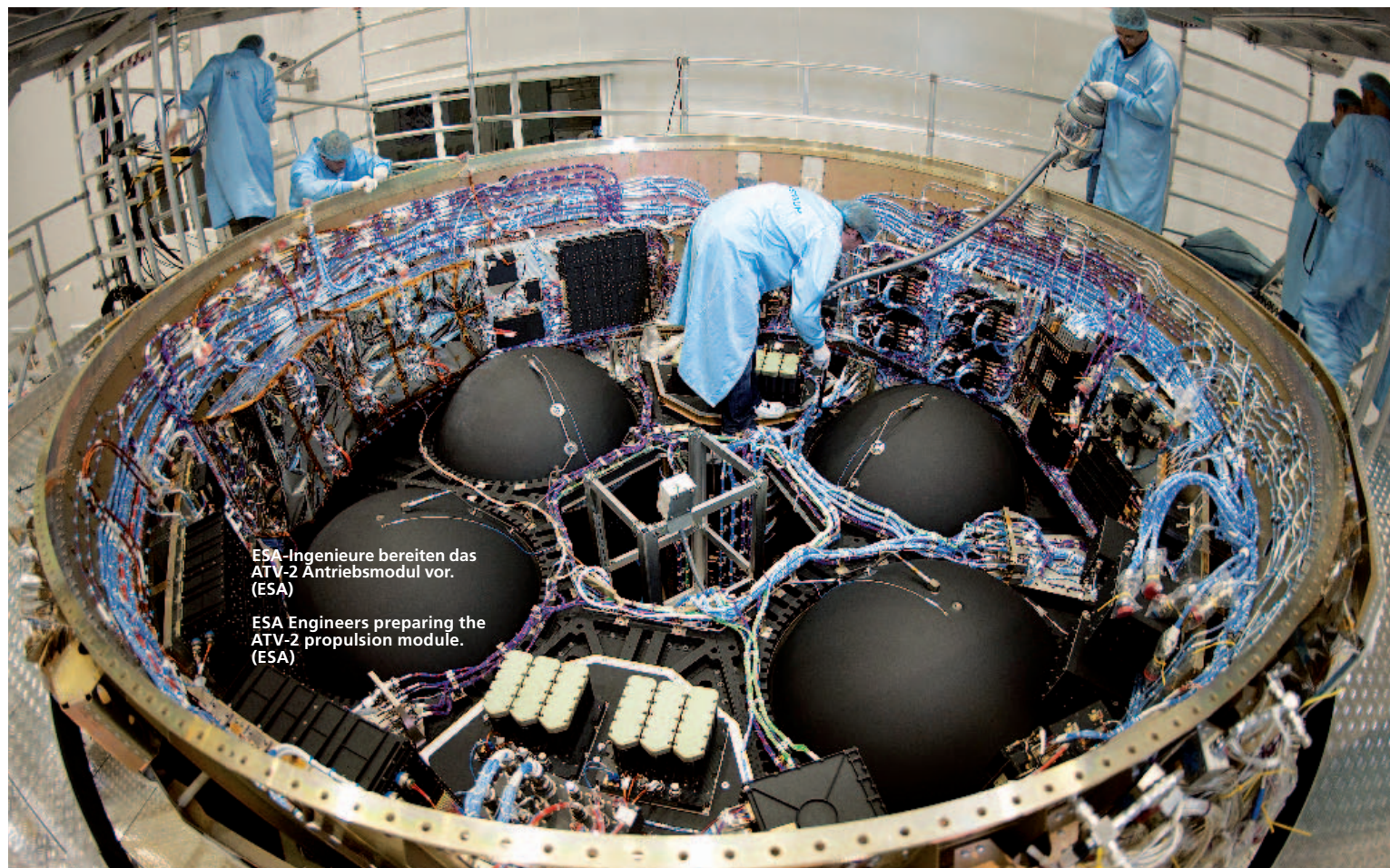
Wäre das ATV dabei beispielsweise außerhalb des zulässigen Anflugkorridors – ein Winkel von circa vier Grad auf den letzten 19 Metern – geflogen, hätte der Raumtransporter selbstständig das Manöver abgebrochen und wäre dann zu seinem gespeicherten, vorherigen Haltepunkt zurückgefliegen. Auch das ATV-Kontrollzentrum in Toulouse hätte bei außerplanmäßigen Ereignissen eingreifen können. In der Raumstation selbst verfolgte der europäische Astronaut Paolo Nespoli das Andockmanöver. Die Besatzung der Raumstation kann das Rendezvous bei Gefahr stoppen, das ATV auf den letzten Haltepunkt zurücksetzen, den Anflug wieder aufnehmen oder sogar ganz abbrechen und dabei sowohl die Kommandos des ATV als auch des Kontrollzentrums überstimmen. ATV-2 würde dann wieder auf den ersten Haltepunkt in 39 Kilometer Entfernung zur ISS zurückkehren. Nach der Fehlerbehebung kann dann ein erneuter Andockversuch erfolgen.

Nach dem erfolgreichen Andocken wurden alle Schnittstellen getestet. Erst als feststand, dass diese einwandfrei funktionierten, öffnete sich am 26. Februar die Luke zum Raumtransporter. Mit Schutzbrille und Atemschutz ausgerüstet, schwebten die Astronauten in das ATV. Bevor ein ungeschützter Zugang möglich war, musste die Crew einen Luftsauger installieren, der eventuell herumfliegende Partikel aus der Luft filtert. Erst dann konnte sich die ISS-Besatzung in Alltagskleidung im Frachtraum frei bewegen und mit dem Entladen beginnen: Luft und Wasser wurden entnommen. Der Treibstoff für das russische Servicemodul Swesda wurde über den Andockring per Knopfdruck in dessen Tanks umgepumpt. Danach ging ATV für die meiste Zeit in den sogenannten Schlafmodus. Nun übernahm die Raumstation die elektrische Versorgung des ATV.

Aufgrund des großzügigen Platzangebots und der relativen Ruhe ist ATV während seines Aufenthalts an der ISS bei den Astronauten auch ein begehrter Schlaf- und Experimentierplatz. In neun vorher festgelegten Intervallen werden die Triebwerke des ATV gezündet, um die Bahnhöhe der Raumstation um insgesamt 50 Kilometer anzuheben. Aufgrund des Luftwiderstands der Restatmosphäre sinkt diese zurzeit bis zu 100 Meter täglich ab. Bevor ATV-2 die ISS voraussichtlich am 20. Juni 2011 verlässt, wird der Raumtransporter noch mit Abfällen beladen, die dann mit dem Fahrzeug beim kontrollierten Wiedereintritt in die Erdatmosphäre über dem Südpazifik verglühen.

Da die Raumstation partnerschaftlich von den USA, Russland, Japan, Europa und Kanada betrieben wird, gibt es einen Verbund von Kontrollzentren in Houston, Moskau, Oberpfaffenhofen und Toulouse, welche die ATV-Missionen unterstützen. Dies gilt auch für die anderen Versorgungsfahrzeuge, wie zum Beispiel Space Shuttle, Sojus, Progress und HTV. Jeder Nutzerstaat der Raumstation trägt seinen Anteil an den Betriebskosten. Europa leistet dies durch den Gütertransport mit ATV und versorgt dabei auch das eigene Raumlabor COLUMBUS mit

If, for example, the ATV had left the designated approach corridor – an angle of about four degrees on the last 19 metres –, the vehicle would have abandoned the manoeuvre autonomously to return to its stored former stopping point. The ATV control centre at Toulouse might have stepped in too if anything unforeseen had happened. In the space station itself, the docking manoeuvre was followed by European astronaut Paolo Nespoli. In case of danger, the space station's crew may halt the rendezvous, send the ATV back to its last stopping point, and decide either to resume the approach or abandon it altogether, in which case its commands would override the ATV's own as well as those of the control centre. In such a case, the ATV would return to its first stopping point at a distance of 39 kilometres from the ISS. Another docking attempt might then be made after any errors had been rectified.



ESA-Ingenieure bereiten das ATV-2 Antriebsmodul vor. (ESA)

ESA Engineers preparing the ATV-2 propulsion module. (ESA)

Experimenten, Ausrüstung und Ersatzteilen. Diese Form des Tauschhandels (Bartering) vermeidet Ausgleichszahlungen und erhält Kompetenzen sowie hochqualifizierte Arbeitsplätze in den jeweiligen Teilnehmerstaaten.

ATV-2 ist circa zehn Meter lang, misst 4,5 Meter im Durchmesser und hat, voll beladen und betankt, eine Masse von circa 20 Tonnen. Davon sind sieben Tonnen Nachschub für die ISS. Dies umfasst Nahrung, Kleidung, Atemluft, Wasser, Ersatzteile und Ausrüstung sowie Treibstoff für die ISS, die in circa 350 Kilometern Höhe um die Erde kreist. Der europäische Transporter hat über sieben Tonnen Nachschub an Bord. Bei dieser Mission sind es 102 Kilogramm Atemluft, 851 Kilogramm Treibstoff für das Servicemodul Swesda, etwa 1.605 Kilogramm Astronautenbe-

Once the ATV had docked successfully, all interfaces were tested. After their full functionality had been safely established, the ATV's hatch opened on February 26. The astronauts wore goggles and respirators when they entered the ATV. Before they could enter without protective gear the crew had to install a scrubber to filter any airborne particles from the atmosphere. Only then was the ISS crew able to float into the freight compartment in their everyday clothes and begin unloading the ATV: air and water were removed. The fuel for the Russian Zvezda service module can be pumped into its tanks through the docking ring at the touch of a button. After this, the ATV will go into sleep mode for most of the time. From then on, it will be supplied with power by the space station.

Because it offers generous space and relative quietness, the ATV is much prized by astronauts as a place for sleeping and experimenting while it stays on the ISS. Its engines will be fired at nine previously defined intervals to raise the orbit of the space station by a total of 50 kilometres. At the moment, the station's orbital height decreases by up to 100 metres a day because of the drag of the residual atmosphere. Before ATV-2 leaves the ISS, which will probably be on June 20, 2011, it will be loaded with waste which will burn up together with the vehicle during its controlled re-entry into the atmosphere above the South Pacific.

As the space station is operated in partnership by the USA, Russia, Japan, Europe, and Canada, the ATV missions are supported by a network of control centres in Houston, Moscow, Oberpfaffenhofen, and Toulouse. The same holds true for the other supply vehicles, like the Space Shuttle, the Soyuz, Progress, and the HTV capsules. Each country that uses the space station bears part of the operating costs. Europe pays its part by transporting goods there on the ATV, at the same time providing its own space laboratory, COLUMBUS, with experiments, equipment, and spare parts. This kind of barter avoids payments in foreign currency and enables the participating countries to retain competences and highly qualified jobs.

ATV-2 is about ten metres long and measures 4.5 metres in diameter. Fully loaded and fuelled, its mass amounts to about 20 tons, of which seven tons are ISS supplies. These include food, clothing, air, water, spare parts, equipment, and fuel for the space station which circles around Earth at an altitude of about 350 kilometres. The European transfer vehicle carries more than seven tons of supplies, consisting in the present case of 102 kilogrammes of air, 851 kilogrammes of fuel for the Zvezda service module, about 1,605 kilogrammes of astronauts' supplies and technical equipment, and more than 4,500 kilogrammes of fuel for boosting the station's orbit.

The ATV are built by Astrium GmbH of Bremen which was assigned for production on behalf of the European Space Agency (ESA). A total of 30 companies from ten European states supply components and subsystems for the ATV. DLR also played a major role in the construction of the ATV: the German-made re-ignitable upper-stage engines of Ariane 5ES, which propelled ATV-2 into space, were test-

Von ATV-1 zu ATV-2

Bereits beim Vorgänger, dem ATV „Jules Verne“, hatte das Andockmanöver 2008 reibungslos funktioniert. Nach zwei Probeanflügen auf 3.500 und elf Metern Entfernung, bei denen alle Kommandos durchgespielt wurden, hatte der erste europäische Raumtransporter am 3. April 2008 präzise an der Raumstation angedockt. Das erste „Rendezvous“ zwischen ATV und ISS verlief wesentlich sanfter als die Ankunft der Progress-Transporter und Sojus-Raumschiffe, bei denen die Besatzung der ISS einen leichten Ruck verspürt. Nach der Missionsauswertung von ATV-1 „Jules Verne“ sind viele technische Verbesserungen bei ATV-2 umgesetzt worden. So wurde beispielsweise die Montage der Superisolation auf dem Nutzlastsegment verbessert, die Flugsoftware und Missionsdatenbank angepasst. Im Antriebsbereich wurde eine Lösung für die sensiblen Druckregulatoren gefunden und vieles andere mehr. Durch die Verwendung leichter Racks kann „Johannes Kepler“ etwas mehr Nutzlastmasse mitführen. Dieser Trend wird sich bei den weiteren ATV-Flügen noch etwas steigern lassen. Auch auf Seiten des ATV-Kontrollzentrums wurden nach den Erfahrungen mit ATV-1 zahlreiche Verbesserungen zum Beispiel bei Training, Vorbereitung, Prozeduren und Technik umgesetzt.

ATV-2 wurde mit dem 200. Flug einer Ariane-Rakete in den Orbit befördert. (ESA)

On the 200th flight of an Ariane rocket, ATV-2 was launched into the orbit. (ESA)



darf und technische Ausrüstung sowie über 4.500 Kilogramm Treibstoff zur Bahnanhebung der ISS.

Gebaut werden die ATV von der Bremer Astrium GmbH, die von der europäischen Weltraumorganisation ESA beauftragt worden ist. Insgesamt liefern 30 Firmen aus zehn europäischen Staaten Bauteile und Untersysteme für die ATV. Auch das DLR war maßgeblich am Bau beteiligt: In Lampoldshausen wurden die deutschen wiederzündbaren Oberstufentriebwerke der Ariane 5ES getestet, die ATV-2 ins Weltall brachten. Das DLR in Ober-

From ATV-1 to ATV-2

In 2008, the predecessor of ATV-2, 'Jules Verne', similarly performed a perfect docking manoeuvre. After two test approaches to a distance of 3,500 and eleven metres during which all commands were run through, Europe's first transfer vehicle docked precisely to the space station on April 3, 2008. The first rendezvous between an ATV and the ISS was much more gentle than the arrival of a Progress or Soyuz capsule which imparts a slight shock to the ISS crew. After the evaluation of the mission of ATV-1 'Jules Verne', many technical improvements were implemented in ATV-2. Among many other things, the integration of the super-isolation to the payload was improved, the flight software and the mission database were modified, and a solution was found for the sensitive pressure regulators in the propulsion system. Lighter racks enable 'Johannes Kepler' to increase its payload mass slightly. This trend may be improved in future ATV flights. At the ATV control centre, too, the experience with ATV-1 resulted in numerous improvements in training, preparation, methodology, and technology.

ed at Lampoldshausen facility. At Oberpfaffenhofen, DLR provides the node for communication among the control centres that are involved in the operation of the ATV. In Göttingen the DLR played its part in basic research to optimise the arrangement of control jets on the ATV.

Germany holds a share of about 50 per cent in the total order volume. Some components are purchased from the USA and Russia, such as the Russian KURS radar and the proven docking adapter of the Russian Soyuz and Progress capsules. Acting on behalf of the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), DLR Space Adminis-

Johannes Kepler



Friedrich Johannes Kepler (* 27. Dezember 1571 in Weil; † 15. November 1630 in Regensburg) war ein deutscher Naturphilosoph, evangelischer Theologe, Mathematiker, Astronom, Astrologe und Optiker. Er machte die Optik zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung und half, die mit dem Teleskop gemachten Entdeckungen seines Zeitgenossen Galileo Galilei zu beweisen. Heute wird Kepler hauptsächlich als einer der Begründer der modernen Naturwissenschaften wahrgenommen.

Er entdeckte die Gesetze der Planetenbewegung, in dem er sich zunächst darauf konzentrierte, die Marsbahn zu verstehen. Er bestimmte dafür das Verhältnis der Abstände zwischen Erde, Mars und Sonne. Seine Beobachtungen führten Kepler zu der Entdeckung, dass die Bahn des Mars kein Kreis, sondern eine Ellipse ist. Er bemerkte auch, dass die Ellipse so im Raum angeordnet ist, dass ihr Brennpunkt stets mit der Sonne zusammenfällt. Dementsprechend formulierte er das erste Keplersche Gesetz in dem er die Formen der Bahnkurven fest schrieb: „Die Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.“

Weiterhin entdeckte er, dass ein Planet sich umso langsamer bewegt, je weiter er von der Sonne entfernt ist. Das zweite Keplersche Gesetz entspricht dem Flächensatz und ist ein Spezialfall des Drehimpulserhaltungssatzes: „Ein von der Sonne zum Planeten gezogener 'Fahrstrahl' überstreicht in gleichen Zeiten gleich große Flächen.“ Das dritte Gesetz legt die Bahnparameter fest und gibt eine Konstante für das Sonnensystem an: „Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen (Kuben) der großen Bahnhalbachsen.“

Außerdem sah Kepler das heliozentrische Weltbild als eine physikalische Tatsache an – das kopernikanische System war somit nicht mehr länger lediglich ein hypothetisches Modell zur einfacheren Berechnung der Planetenpositionen. Diese Haltung stieß nicht nur bei der katholischen Kirche, sondern auch bei Keplers protestantischen Vorgesetzten auf erbitterten Widerstand, galten doch auf beiden Seiten die Lehren von Aristoteles und Ptolemäus als unantastbar.

Friedrich Johannes Kepler (*December 27, 1571 in Weil; †November 15, 1630 in Regensburg) was a German natural philosopher, protestant theologian, mathematician, astronomer, astrologist and optician. He made optics an object of scientific research and helped prove the observations his contemporary Galileo Galilei had made by means of the telescope. Today, Kepler is noted for being one of the founders of the modern natural sciences.

He discovered the laws of planetary motion by focusing at first on understanding the orbit of Mars. The approach he took was to determine the ratio of the respective distances between the Earth, Mars, and the Sun. His observations led Kepler to the discovery that the orbit of Mars is not a circle, but an ellipse. He also noticed that the ellipse is located in space in such a way that its focus coincides with the position of the Sun. He formulated what became known as Kepler's First Law, defining the curves of planetary trajectories: 'The orbit of every planet is an ellipse with the Sun at one of the two foci.'

He also discovered the fact that a planet will move the more slowly the further away it is from the Sun. Kepler's Second Law is also known as the concept of areal velocity, a special form of the principle of the conservation of angular momentum: "The 'radius vector' of a planet attracted by the sun sweeps out equal areas in equal intervals of time". His Third Law defines the orbital elements, parameters which are constant throughout the Solar System: 'The squares of the orbital periods of two planets are directly proportional to the third powers (cubes) of the semi-major axes of their orbits'.

Furthermore, Kepler saw the heliocentric view as a physical fact – thus the Copernican system was no longer a mere hypothetical model used to facilitate the calculation of planetary positions. This view was met with fierce opposition not only by the Catholic church, but also by Kepler's Protestant superior, for both sides considered the teachings of Aristotle and Ptolemy to be sacrosanct.

pfaffenhofen verantwortet die Kommunikation der beteiligten Kontrollzentren beim ATV-Betrieb. In Göttingen war das DLR an der Grundlagenforschung zur optimalen Anordnung der Steuerdüsen bei der ATV-Entwicklung beteiligt.

Deutschland hat einen Auftragsanteil von etwa 50 Prozent. Einige Bauteile werden aus den USA und Russland zugekauft, wie zum Beispiel das russische KURS-Radar und der bewährte Andockadapter der russischen Sojus- und Progresskapseln. Für die programmatische Steuerung und die Vertretung der deutschen Interessen im ISS-Programm der ESA ist das DLR Raumfahrtmanagement im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) zuständig.

Volker Schmid ist Projektleiter der ATV-Missionen in der Abteilung Bemannte Raumfahrt, ISS und Exploration im DLR Raumfahrtmanagement.

tration handles programme control as well as the representation of Germany's interests in ESA's ISS programme.

Volker Schmid works in the Manned Space department of the DLR Space Administration as a project manager for ATV missions.

Der erfolgreiche Start der dritten ECOMA-Höhenforschungsrakete innerhalb der letzten Kampagne fand am 19. Dezember 2010 von der Andøya Rocket Range (ARR) in Norwegen aus statt. Man kann auf dieser Langzeitbelichtung sehr gut die Lichtspur der beiden Raketenstufen erkennen. (Kolbjørn Blix Dahle/ARR)

On December 19, 2010, the sounding rocket ECOMA was successfully launched from the Norwegian Andøya Rocket Range (ARR) during the last campaign. Due to the time exposure, the trace of light of both rocket stages turns into sight. (Kolbjørn Blix Dahle/ARR)

ECOMA und WADIS

Den Rätseln der mittleren Atmosphäre auf der Spur

Von Dr. Christian Gritzner und Prof. Markus Rapp

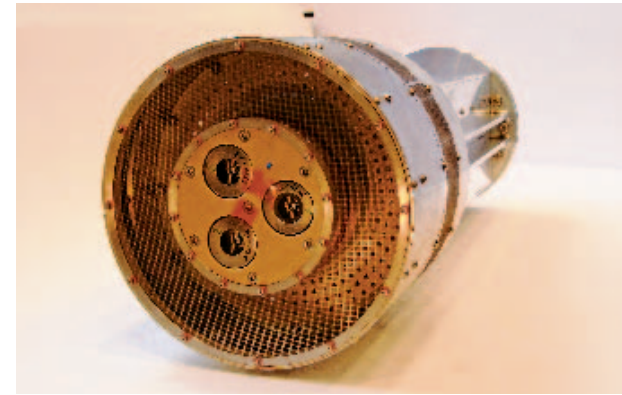
In 40 bis 100 Kilometer über der Erde spielen sich Phänomene ab, die einen großen Einfluss auf unser Wetter und Klima haben können. Für Ballone sind diese Bereiche zu hoch, für Satelliten zu niedrig. Um diese Vorgänge dennoch eingehend untersuchen zu können, benutzen Wissenschaftler Höhenforschungsraketen, die in der Atmosphärenforschung ihren festen Platz eingenommen haben. Mit der Förderung des Projektes ECOMA und dem Nachfolger WADIS unterstreicht das DLR Raumfahrtmanagement die Bedeutung dieses Forschungsgebietes. Parallel zu den Raketenflügen werden Messungen vom Boden beziehungsweise von Satelliten aus vorgenommen und mit den Daten aus ECOMA und WADIS verglichen.

ECOMA and WADIS

Unravelling the Riddles of the Middle Atmosphere

By Dr Christian Gritzner and Prof. Markus Rapp

Certain phenomena that occur at an altitude of 40 to 100 kilometres above the ground may influence our weather and our climate. This altitude range is too high for balloons and too low for satellites. Therefore, to investigate these phenomena in detail, scientists make use of sounding rockets, tools that are firmly entrenched in atmospheric research. Appreciating the significance of this field of research, the DLR Space Administration has been supporting the ECOMA project and its successor, WADIS. In parallel with the rocket missions, measurements are taken from the ground and/or from satellites and compared to the data produced by ECOMA and WADIS.



Der ECOMA-Partikeldetektor kann sehr genau messen, in welcher Höhe wie viele Staubpartikel und andere wichtige Bestandteile wie Spurengase vorhanden und wie diese geladen sind. Der Detektor ist eine Kombination aus einem Faraday-Cup – einem elektrischen Messgerät zur Partikelmessung von Aerosolen – und einer Xenon-Blitzlampe, die zur Ionisation der nachzuweisenden Nano-Partikel durch Bestrahlung mit hochfrequentem Licht dient. (Dr. Gerd Baumgarten/IAP)

The ECOMA particle detector is capable of taking precise measurements of the quantity and charge state of dust particles and trace gases that influence the processes in the atmosphere at any given altitude. The ECOMA particle detector consists of a Faraday cup – an electrical device for measuring aerosol particles – and a xenon flashlight which serves to detect nano-particles by ionising them with high-frequency light. (Dr Gerd Baumgarten/IAP)

Projekt ECOMA – Flug durch die Geminiden

Im Rahmen des deutsch-norwegischen Forschungsprojektes ECOMA (Existence and Charge State of Meteoric Dust Grains in the Middle Atmosphere) starteten zwischen 2005 und 2010 neun Höhenforschungsraketen vom Typ NIKE-Improved-ORION von der norwegischen Andøya Rocket Range (ARR). Die letzten drei Raketen wurden rund um den sogenannten „Geminiden“-Meteorschauer am 5., 13. und 19. Dezember 2010 von der Insel Andøya nördlich des Polarkreises in die mittlere Atmosphäre entsandt.

Nach ihrem Aufstieg über dem Meer erreichten die Raketen in rund 135 Kilometer Höhe den Gipfelpunkt und maßen auf dem Weg nach oben sowie bei ihrem Abstieg die Konzentration kleiner, Nanometer großer Staubpartikel meteorischen Ursprungs in der Erdatmosphäre. Dabei führten die ECOMA-Instrumente Messungen im Millisekundentakt durch, um trotz der hohen Fluggeschwindigkeiten der Raketen von etwa 1.000 Metern pro Sekunde noch eine räumliche Auflösung im Bereich von einem Meter zu erzielen. So kann sehr genau gemessen werden, in welcher Höhe wie viele Staubpartikel und andere wichtige Bestandteile, wie für die Vorgänge in der Atmosphäre bedeutsame Spurengase, vorhanden und wie diese geladen sind. Für diese Messungen wurde ein neuartiges Instrument eingesetzt: der ECOMA-Partikeldetektor, der am Institut für Atmosphärenphysik an der Universität Rostock (IAP) entwickelt und von der Firma von Hoerner & Sulger (vH&S) in Schwetzingen gebaut wurde. Bei dem Detektor handelt es sich um eine Kombination aus einem Faraday-Cup – einem elektrischen Messgerät zur Partikelmessung von Aerosolen – und einer Xenon-Blitzlampe, die zur Ionisation der nachzuweisenden Nanopartikel durch Bestrahlung mit hochfrequentem Licht dient.

Im Zentrum der wissenschaftlichen Untersuchungen stand bei den drei ECOMA-Starts im Jahr 2010 der Einfluss des Geminiden-Meteorschauers auf die Eigenschaften des bereits vorhandenen Staubes in der mittleren Atmosphäre. Meteorstaub entsteht, wenn kleinste Meteoroiden mit einer Geschwindigkeit von 11,2 bis über 60 Kilometern pro Sekunde auf die Atmosphäre treffen. Durch die Reibungshitze verglühen sie und bilden dann durch Rekondensation kleinste Staubpartikel. Dies geschieht meist zwischen 70 und 110 Kilometern Höhe. Vom Boden aus sind einige dieser Ereignisse als kurz aufleuchtende Sternschnuppen (auch Meteore genannt) zu erkennen. Pro Tag bewirken diese winzigen, aber zahlreichen Objekte eine Massezunahme der Erde um etwa 50 Tonnen.

Wie Staub die Atmosphäre beeinflusst

Doch Meteoritenstaub hat nicht nur Einfluss auf die Massezunahme der Erde. Er spielt auch eine bedeutende Rolle in der Bildung von Wolken in der mittleren Atmosphäre: Die Staubpartikel wirken in diesem Höhenbereich zum Beispiel als Nukleationskeimzellen für die Bildung von Eiskristallen, die

The ECOMA project – flying through the Geminids

Between 2005 and 2010, under the German-Norwegian research project ECOMA (existence and charge state of meteoric dust grains in the middle atmosphere), nine sounding rockets of the NIKE-improved ORION type have been launched from the Norwegian Andøya Rocket Range (ARR). On December 5, 13, and 19, the last three rockets were launched to the middle atmosphere from Andøya Island north of the polar circle in 2010, timed to coincide with the so-called Geminid meteor shower.

Rising above the sea to a peak altitude of around 135 kilometres, the rockets measured the concentration of minute nanometre-sized dust particles of meteoric origin in the surrounding atmosphere both during their ascent and their descent. During their flight, the ECOMA instruments took measurements at intervals of one millisecond so as to keep spatial resolution in the one-metre range despite the rocket's high velocity of around 1,000 metres per second. At any given altitude, these measurements show very accurately the quantity and charge state of dust particles and other important components, such as trace gases that influence the processes in the atmosphere. These measurements were performed by an innovative instrument, the ECOMA particle detector, which was developed by the Institute of Atmospheric Physics (IAP) at Rostock University and built by von Hoerner & Sulger (vH&S) of Schwetzingen. The detector consists of a Faraday cup – an electrical device for measuring aerosol particles – and a xenon flashlight which serves to detect nano-particles by ionising them with high-frequency light.

During the three ECOMA flights in 2010, scientific attention focused on the influence of the Geminid meteor shower on the properties of the dust already present in the middle atmosphere. Meteoric dust is generated by small meteoroids colliding with the Earth's atmosphere at a velocity of between 11.2 and more than 60 kilometres per second. Burned up by the heat of friction, they re-condense to form infinitesimal dust particles, generally at an altitude of between 70 and 110 kilometres. Some of these events can be observed from the ground as brief flashes of light, also known as meteors or shooting stars. Small but numerous, these objects increase the mass of the Earth by about 50 tons every day.

How dust influences the atmosphere

However, meteoric dust also plays a major part in, for instance, the formation of clouds in the middle atmosphere: at this altitude, dust particles act as nucleating agents in the formation of ice crystals which gather in so-called noctilucent clouds (NLC) that can be observed with the naked eye from the ground in the twilight. Scientific interest in these clouds has increased in recent years because it is assumed that observations of their brightness and frequency may serve as highly sensitive indicators of climate changes (temperature and water-vapour content) in the middle

unter Zwielflichtbedingungen als sogenannte leuchtende Nachtwolken vom Boden aus sogar mit bloßen Auge zu erkennen sind. Diese Wolken haben in den letzten Jahren ein vermehrtes wissenschaftliches Interesse gefunden, da angenommen wird, dass Beobachtungen ihrer Helligkeit und Häufigkeit als hochempfindlicher Indikator für Klimaänderungen (Temperatur und Wasserdampfgehalt) in der mittleren Atmosphäre geeignet sind. Voraussetzung für eine quantitative Interpretation solcher Beobachtungen ist aber ein genaues Verständnis der zugrundeliegenden Wolkenbildungsprozesse, über die bisher nur sehr wenig bekannt war. ECOMA soll Erkenntnisse liefern, um diese komplexen Vorgänge in der irdischen Lufthülle besser zu verstehen.

Das Projekt ECOMA endete am 31. Dezember 2010. Finanziert wurde ECOMA je zur Hälfte aus einer norwegischen Zuwendung an das nahe bei Oslo gelegene Forschungsinstituts FFI sowie über eine deutsche Zuwendung an das IAP durch das DLR Raumfahrtmanagement aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Das IAP wurde 1992 gegründet und ist Mitglied der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz. Die Starts wurden von der mobilen Raketenbasis (MORABA) des DLR durchgeführt, welche auf diesem Gebiet eine jahrzehntelange Erfahrung besitzt.

Höhenforschung 2.0 mit WADIS

Zum 1. August 2010 haben das IAP, die Universität Stuttgart und das DLR Raumfahrtmanagement das Folgevorhaben zu ECOMA ins Leben gerufen. WADIS (Wellenausbreitung und Dissipation in der Mittleren Atmosphäre) führt die Erforschung der Erdatmosphäre mit Höhenforschungsraketen in den kommenden Jahren weiter.

Das wissenschaftliche Ziel von WADIS ist die Untersuchung der Ausbreitung von Schwerewellen von ihrer Entstehung in der unteren Troposphäre (15 Kilometer Höhe) bis zu ihrer Umwandlung in Wärmeenergie (Dissipation) in der unteren Thermosphäre (80 bis 130 Kilometer). Welchen Beitrag zum Energiebudget der Atmosphäre leisten Schwerewellen? Welchen Einfluss übt der von den Schwerewellen beeinflusste turbulente Transport von Spurenstoffen wie speziell des atomaren Sauerstoffs auf deren Verteilung aus? Diesen Fragen soll im Rahmen des WADIS-Projektes nachgegangen werden.

Atomarer Sauerstoff und das Energiebudget

Zum ersten Mal überhaupt soll in diesen Höhen während der Vermessung von Schwerewellen eine direkte Bestimmung der Konzentration von atomarem Sauerstoff durchgeführt werden. Aus den Messergebnissen sollen der Beitrag des atomaren Sauerstoffs sowie der Beitrag von Schwerewellen zum Energiebudget der mittleren Atmosphäre exakt bestimmt werden. Bislang konnte atomarer Sauerstoff mit Höhenforschungsraketen nicht erfolgreich gemessen werden, da die dafür eingesetzten konventionellen Massenspektrometer aufgrund nicht-kontrollierbarer Reaktionen des atomaren Sauerstoffs mit den Wänden der Instrumente nur stark verfälschte Ergebnisse lieferten. Mit den bei WADIS eingesetzten PHLUX- und FIPEX-Instrumenten lassen sich diese Probleme vermeiden, da gezielte Messungen katalytischer Reaktionen auf der Oberfläche

atmosphäre. However, such observations can be interpreted quantitatively only on the basis of a thorough understanding of the processes by which these clouds are formed, about which very little has been known so far. It is hoped that ECOMA will supply the information we need for a better understanding of these complex processes in the terrestrial atmosphere.

The ECOMA project ended on December 31, 2010. It was financed one half each by a Norwegian funding to the FFI research institute near Oslo and a German financial support to the IAP, made by the DLR Space Administration with funds from the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi). Founded in 1992, the IAP is a member of the Gottfried Wilhelm Leibniz Science Association. The sounding rockets were launched from DLR's mobile rocket base (MORABA) that has been active in this field for decades.

The WADIS project - high-altitude research 2.0

On August 1, 2010, ECOMA's successor was established by the IAP, Stuttgart University, and the DLR Space Administration. Under WADIS (wave propagation and dissipation in the middle atmosphere), the exploration of the Earth's atmosphere with sounding rockets will continue during the next few years.

The scientific objective of WADIS is to investigate the propagation of gravitational waves from their origin in the lower troposphere (15 kilometres up) to their conversion into thermal energy (dissipation) in the lower thermosphere (80 to 130 kilometres). What do gravitational waves contribute to the energy budget of the atmosphere? In what way do the turbulent transport processes of trace substances in general and atomic oxygen in particular, influenced by gravitational waves, affect the distribution of these substances? These are the questions that will be pursued under the WADIS project.

Atomic oxygen and the energy budget

For the first time ever, direct measurements of the concentration of atomic oxygen will be combined with measurements of gravitational waves at these altitudes. Their results will be used to determine exactly the contribution of atomic oxygen and gravitational waves to the energy budget of the middle atmosphere. In the past, atomic oxygen could not be measured successfully from sounding rockets because the results delivered by conventional mass spectrometers were corrupted by uncontrollable reactions between atomic oxygen and the walls of the instruments. These problems can be avoided by the PHLUX and FIPEX instruments used for WADIS, because catalytic reactions at the surface of the semiconductor sensors can be measured directly in real time.

The PHLUX and FIPEX experiments were developed by the Institute of Space Systems (IRS) at Stuttgart University. The FIPEX sensors were tested in space some years ago when they were installed in an eponymous experiment on the International Space Station (ISS). The experiment was designed to meas-

der Halbleitersensoren in Echtzeit durchgeführt werden können. Die Experimente PHLUX und FIPEX werden vom Institut für Raumfahrtssysteme (IRS) der Universität Stuttgart entwickelt. Die FIPEX-Sensoren sind bereits weltraumprobt, da sie vor einigen Jahren in einem gleichnamigen Experiment auf der Internationalen Raumstation ISS eingesetzt wurden. Damit konnte man Konzentrationsschwankungen des atomaren Sauerstoffs, der die Oberflächen von Raumfahrzeugen angreift, in der niedrigen Erdumlaufbahn bestimmen. PHLUX-Sensoren sollen noch in diesem Jahr auf der ESA-Wiedereintrittskapsel EXPERT eingesetzt werden.

Dichteschwankungen und das Energiebudget

Zudem kommen in dem Vorhaben WADIS die aus früheren Projekten bewährten CONE-Detektoren (Combined measurements of Neutrals and Electrons) zum Einsatz. Diese Sensoren beruhen auf der Technik sogenannter Ionisationsröhren. Sie erlauben es, relative Änderungen der Luftdichte mit einer vertikalen Auflösung im Sub-Meterbereich und einer relativen Genauigkeit von weniger als ein Promille zu bestimmen. Durch Schwerewellen und Turbulenzen entstandene Dichteschwankungen können so gemessen und deren Beitrag zum Energiebudget der Atmosphäre bestimmt werden.

Zwischen 2011 und 2013 sollen zwei WADIS-Kampagnen mit Starts von je einer Höhenforschungsrakete von Typ NIKE-Improved-ORION stattfinden. Eine Kampagne soll im Winter, die andere während des Frühjahrs stattfinden, um auch den Einfluss der Jahreszeiten auf die Vorgänge in der mittleren Atmosphäre zu ermitteln.

Kooperation mit der NASA

Die US-Weltraumbehörde NASA hat mit dem IAP eine Kooperationsvereinbarung für das Projekt WADIS geschlossen. Die NASA stellt dabei kostenfrei 24 einfache meteorologische Höhenforschungsraketen zur Verfügung. Jeweils zwölf dieser Raketen sollen in jeder WADIS-Kampagne – zeitlich versetzt zur NIKE-Improved-ORION-Rakete mit den Experimenten – gestartet werden und zusätzliche Messdaten der Atmosphäre liefern. Diese Beteiligung der NASA unterstreicht das weltweite Interesse und die wissenschaftliche Bedeutung dieser deutschen Aktivitäten zur Atmosphärenforschung mit Höhenforschungsraketen.

WADIS wird zum einen Teil über eine nationale Zuwendung an das IAP durch das DLR Raumfahrtmanagement gefördert und zum anderen Teil aus Eigenmitteln des IAP finanziert. Norwegen stellt die Startanlagen der ARR zur Verfügung. Die MORABA des DLR wird die Startkampagnen durchführen.

Dr.-Ing. Christian Gritzner betreut die Projekte ECOMA und WADIS in der Abteilung Extraterrestrik des DLR Raumfahrtmanagements.

Prof. Markus Rapp ist Projektleiter der Projekte ECOMA und WADIS und leitet die Abteilung Radarsondierungen und Höhenforschungsraketen im Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e.V. (IAP) an der Universität Rostock.

ure fluctuations in the concentration of atomic oxygen which attacks the surface of space vehicles in a low Earth orbit. This very year, PHLUX sensors will be mounted in ESA's EXPERT re-entry capsule.

Density fluctuations and the energy budget

The WADIS project also employs the proven CONE detectors (combined measurements of neutrals and electrons). Based on the so-called ionisation tube technology, these sensors are capable of detecting relative changes in atmospheric density with a vertical resolution in the sub-metre range and a relative accuracy of less than one per mil. Thus, density fluctuations caused by gravitational waves and turbulences can be measured and their contribution to the atmospheric energy budget determined.

Two WADIS campaigns, each involving the launch of a sounding research rocket of the NIKE-improved ORION type, are scheduled to take place between 2011 and 2013. To determine the influence exerted by the seasons on processes in the middle atmosphere, one campaign will take place in winter, the other in spring.

Cooperation with NASA

The US space agency NASA has concluded a cooperation agreement with the IAP on the WADIS project. NASA will provide 24 basic meteorological sounding rockets free of charge. Twelve of these will be launched in each WADIS campaign – staggered so as not to coincide with the NIKE-improved ORION rocket carrying the experiments – to provide additional measurement data from the atmosphere. NASA's participation highlights the worldwide interest in, and the scientific significance of, these German activities to explore the atmosphere with sounding rockets.

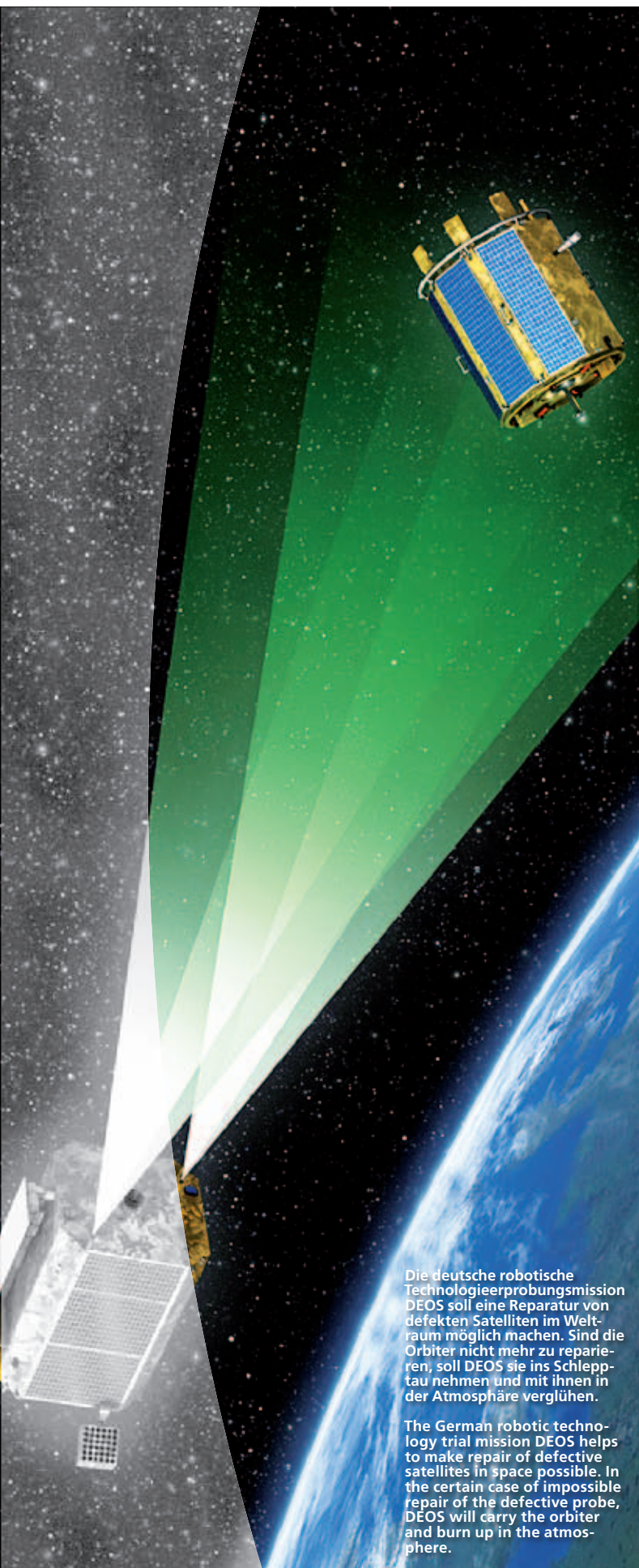
WADIS will be financed partly by a national funding to the IAP from the DLR Space Administration and partly by IAP's own funds. Norway will make the ARR facilities available once again, and the launch campaigns will be handled by DLR's MORABA, as before.

Dr.-Ing. Christian Gritzner supervises the ECOMA and WADIS projects in the Extraterrestrics department of the DLR Space Administration.

Prof. Markus Rapp manages the ECOMA and WADIS projects, besides directing the Radar Sensing and Sounding Rockets department at the Leibniz Institute of Atmospheric Physics (IAP) at Rostock University.

Staubpartikel sind in einem Höhenbereich zwischen 70 und 110 Kilometer für die Bildung von Eiskristallen verantwortlich, die unter Zwielflichtbedingungen als sogenannte leuchtende Nachtwolken sogar vom Boden aus mit bloßem Auge zu erkennen sind. (Dr. Gerd Baumgarten, IAP)

At an altitude of between 70 and 110 kilometres, the meteoric dust is responsible for the formation of ice crystals. They gather in so-called noctilucent clouds (NLC) that can be observed with the naked eye from the ground in the twilight. (Dr. Gerd Baumgarten, IAP)



Die deutsche robotische Technologieerprobungsmission DEOS soll eine Reparatur von defekten Satelliten im Welt- raum möglich machen. Sind die Orbiter nicht mehr zu reparie- ren, soll DEOS sie ins Schlepp- tau nehmen und mit ihnen in der Atmosphäre verglühen.

The German robotic technol- ogy trial mission DEOS helps to make repair of defective satellites in space possible. In the certain case of impossible repair of the defective probe, DEOS will carry the orbiter and burn up in the atmos- phere.

DEOS

Ein Roboter greift nach defekten Satelliten

Von Detlef Reintsema und Bernd Sommer

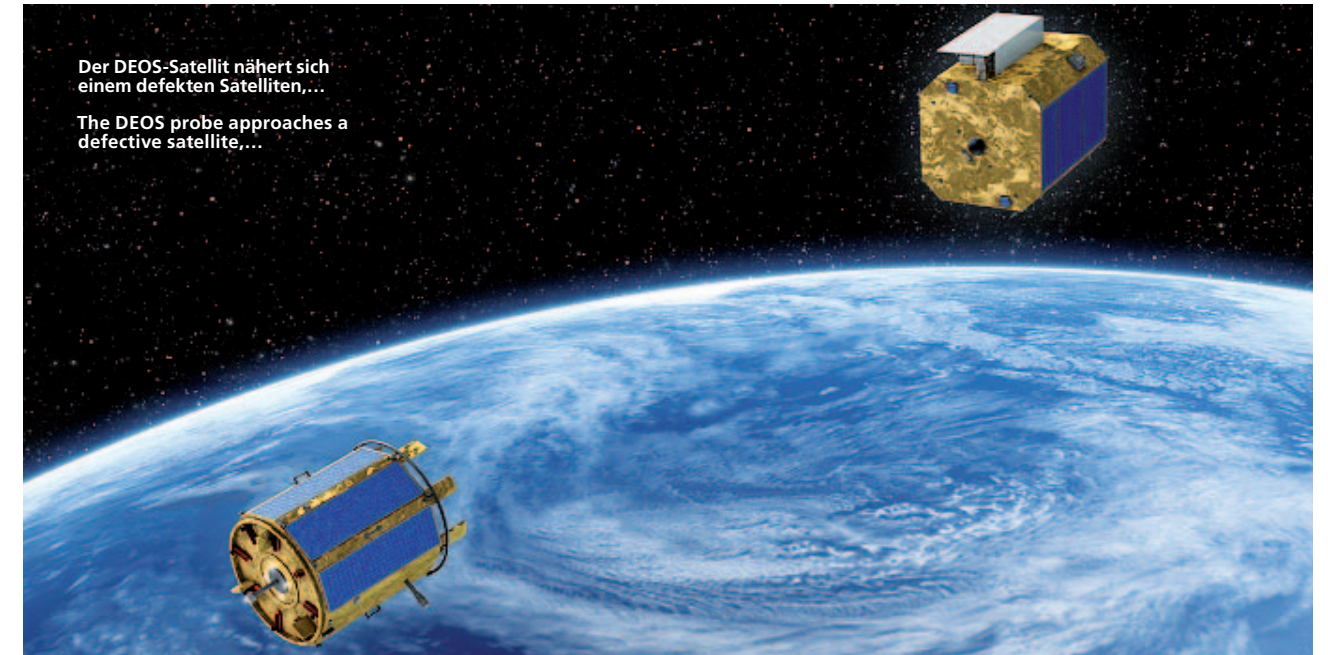
Der zunehmende Satellitenverkehr führt auf Umlaufbahnen mit einer hohen Orbiter-Dichte zu einer gesteigerten Kollisionsgefahr. Zusammen- stöße durch unkontrollierbare Raumfahrzeuge lassen sich nicht mehr mit Sicherheit ausschlie- ßen. Systemlösungen, um havarierte Satelliten aus den überfüllten Umlaufbahnen zu bergen, fehlen bislang. Das Projekt Deutsche Orbitale Ser- vicing Mission (DEOS) soll diese Lücke schließen. Mit DEOS bereitet das DLR Raumfahrtmanage- ment eine Technologiedemonstrations-Mission vor, um eine robuste Methode zum Einfangen eines unkooperativen Satelliten mit Hilfe eines Roboters zu finden. Einmal eingefangen, könnten Service-Leistungen von der einfachen Inspektion und Wartung bis hin zur Reparatur von Defekten helfen, die Anzahl unkontrollierbarer Orbiter auf den Umlaufbahnen zu reduzieren.

DEOS

A Robot that Reaches for Defective Satellites

By Detlef Reintsema and Bernd Sommer

In-orbit satellite traffic is constantly increasing. As a result, the number of uncontrollable objects like damaged satellites or rocket upper stages that populate the orbit is steadily rising. This leads to an increased collision hazard. Collisions with an uncontrollable space object can no longer be ruled out. However, systematic solutions on how to remove damaged satellites from their over- crowded orbits are not yet available. The project Deutsche Orbitale Servicing Mission (DEOS) is to close this gap. In developing DEOS, DLR Space Administration is preparing a technology verifica- tion mission to demonstrate a robust method of capturing an uncooperative satellite by means of a robot. Once a defective satellite is caught, serv- ices like easy inspections, maintenance tasks or servicing up to the repair of defects could help to avoid and reduce the number of uncontrollable orbiters.



Der DEOS-Satellit nähert sich einem defekten Satelliten,...

The DEOS probe approaches a defective satellite,...

Jagd auf defekte Satelliten

Das Szenario: Vor einigen Tagen wurde ein Service-Roboter in der Umlaufbahn ausgesetzt. Zielstrebig, den Kommandos fol- gend, fliegt er durch die Erdumlaufbahn, als seine Sensoren vor dem Sternenhintergrund eine einzelne, kaum wahrnehmbare Reflexion registrieren. Er hat den defekten Satelliten erfasst. Dessen Batterie scheint ausgefallen, die Drei-Achsstabilisierung ist ohne Energie und Steuerung unmöglich. Taumelnd zieht er in rund 600 Kilometern Höhe seine Bahnen um die Erde. Der Roboter nimmt die Verfolgung auf. Mit gezielten Bahnmanö- vern nähert er sich kontinuierlich dem taumelnden Satelliten. Die Rendezvousensoren des Roboters erfassen die Konturen des Satelliten und erzeugen ein erstes Bild. Äußere Beschädi- gungen am Satelliten sind nicht sichtbar. Die Bedingungen sind günstig.

Ein steter Strom von Bodenkommandos erreicht den Roboter, der nun seinen „Manipulator“ – einen speziellen Greifarm – und die Beleuchtung aktiviert. Mit ausgefahrenem Manipulator nähert er sich langsam seinem Ziel. Kontinuierlich verkleinert der Roboter den Abstand – noch einen Meter bis zum Zugriff. Wei- tere Minuten vergehen. Der Roboter wartet.

An der kurzen Leine

Ein zweiter Strom mit Anweisungen folgt. Der Manipulator schwenkt aus und wird über dem anvisierten Greifpunkt posi- tioniert. Während der Armbewegung ist der Greifpunkt fest im Fokus der Stereokameras. Dann erfolgt der Kontakt. Schnell und fest greift der Manipulator zu. In rascher Folge erscheinen War- nungen auf den Displays der Missionsmanager am Boden. Die beiden Satelliten sind sich bedrohlich nahe gekommen. Um eine Kollision zu vermeiden, muss der Manipulator augenblicklich die Bewegung dämpfen und so den Satellitenverbund stabilisieren. Endlich packen die Bremsen im Manipulator zu. Das Lagerege- lungssystem des Roboters übernimmt jetzt die Stabilisierung und Kontrolle über beide Orbiter.

Erleichterung im Betriebszentrum am Boden macht sich breit: Der defekte Satellit wurde eingefangen und kann in die dafür vorge- sehene Halterung am Roboter geführt werden. Dieser löst den Griff. Nun kann die Reparatur, ein Austausch der defekten Batte- rie, beginnen: Die Verriegelungen werden gelöst, die Abdeckung entfernt, Verbindungen getrennt und die Batterie entnommen. Der Roboter führt die komplexen Arbeitsschritte aus, die zuvor ausgiebig am Boden trainiert und geprüft wurden. Danach erfolgt der Einbau – die gleichen Schritte in umgekehrter Reihenfolge.

Chasing the defective satellite

The service robot was launched some days ago. Due to commands from the ground the robot has flown through the orbit, looking for its target. Suddenly, its sensors register a single, hardly perceivable reflection against the starry background of the universe. The robot has finally found the defective client satellite. Its battery seems to have run down, but without any power it is impossible to stabilise and control its three axes, attitude and movement. Tumbling, the client moves along its orbit around Earth at an altitude of about 600 kilometres. The robot starts following the client. By performing some sophisticated steering manoeuvres, it steadily approaches the tumbling client ahead. The robot's rendezvous sensors record the satellite's contours and generate the first, rough image. No exter- nal damages are apparent on the outer shell of the satellite. This means that conditions are favourable.

The robot now receives a steady stream of ground control com- mands. It activates its 'manipulator', a special robotic arm, and its lighting system. With the manipulator unfolded, it is now slowly approaching closer to its target, continually reducing its distance – only one metre left until contact. Several more min- utes pass. The robot waits – spending minutes doing nothing.

Firmly in the clutch

A second sequence of instructions follows. The manipulator swivels into position and is now hovering over the detected point to grasp for. During the motion of the arm, the gripping point remains constantly in the focus of the stereo camera. Then, the contact occurs. With a swift and firm movement of the arm, the manipulator approaches and closes its grip. The mechanical ele- ments are working at their limits. In a rapid sequence, warning signals appear on the mission manager's screen on the ground. The two satellites have come dangerously close to each other. To avoid a collision, the manipulator must instantly slow down and damp the motion so as to stabilise the newly-joint pair of satel- lites. Finally, the manipulator's brakes start working. The robot's attitude controls now take over, stabilising and controlling both orbiters.

A breath of relief spreads at ground control. The defective satel- lite has been captured and can now be firmly attached to the servicer's shell by means of a special clamping device. The robot- ic arm can now release its object and move on to its next job, replacing the spent battery. Latches are undone, covers opened, wires disconnected and the old battery removed. The robot per- forms a series of intricate operations that have been extensively



...erfasst diesen mit seinen Sensoren,...
...covers it with its sensors,...

Erfolgreicher Austausch

Erste Systemtests zeigen, dass der Austausch erfolgreich war. Doch bis die Batterie soweit geladen ist, um den Bordrechner wieder hochzufahren, verstreicht noch einige Zeit. Als die Rechner wieder funktionieren, bricht eine Informationsflut über die Kontrollstationen am Boden ein. Nach und nach melden sich die Subsysteme zurück. Alles scheint zu funktionieren, bis ein unerwarteter Ausfall in der Bordelektronik für Ernüchterung bei den Technikern sorgt. Der Satellit kann nicht wieder ausgesetzt werden.

Der Plan wird geändert: Mit dem defekten Satelliten im Griff verlässt der Roboter die Erdumlaufbahn, um in der Atmosphäre zu verglühen. Letzte Kommandos vom Boden erreichen das Gespann. Rückmeldungen der Subsysteme werden eingesammelt und übermittelt – ein erneuter Abgleich von Lage, Position und Eintrittswinkel. Im Sekundentakt überprüft, ermittelt und verfolgt der Roboter die berechneten Bahndaten. Der Satellitenverbund ist auf Kurs.

Erste Vibrationen rütteln am Roboter, als er die oberen Schichten der Erdatmosphäre erreicht. Sie werden stärker, ebenso die Reibungshitze. Der Roboter taucht tiefer in die Atmosphäre ein. Der Funkkontakt bricht ab. Erste Teile lösen sich von beiden Satelliten und verglühen. Am Ende werden sie wie geplant auseinanderbrechen. Auf der Erde bleiben die von in die Atmosphäre eindringenden Einzelteilen verursachten Leuchtspuren weitestgehend unbemerkt.

Erhöhtes Verkehrsaufkommen im All

Satelliten bilden in unserer Informationsgesellschaft bei der Datengewinnung und -übertragung eine zentrale Schaltstelle. Mit der stetig wachsenden Satellitenzahl entstehen allerdings neue Probleme. Ausgediente oder havarierte Satelliten werden heutzutage üblicherweise aufgegeben. Manövrierunfähig aufgrund von Defekten oder mangels Treibstoff kreisen sie um die Erde. Dadurch steigt die Zahl von unkontrollierbaren Satelliten, die andere Orbiter gefährden. Kollisionen und der Verlust von Raumfahrtssystemen lassen sich nicht mehr ausschließen. DEOS soll hier Abhilfe schaffen.

Als primäre Ziele von DEOS wurden daher definiert:

Das zerstörungsfreie **Einfangen** eines taumelnden, unkooperativen Satelliten (Client) durch einen Service-Satelliten (Servicer) mit integriertem Manipulator.

Die **Entsorgung** des gekoppelten Satellitenverbundes durch gezielten Einschuss in einen vorher bestimmten Wiedereintrittskorridor, wobei der Satellitenverbund verglühen soll.

practised and tested on the ground. It subsequently inserts the new battery, performing the same steps in reverse order.

Successful replacement

Early system tests show that the replacement has been successful. Yet some more time passes before the battery is sufficiently charged to boot the on-board computers. When these are up and running, ground control is literally inundated with information on its receivers. One by one, the old subsystems report back. Everything seems to be working perfectly, until an unexpected failure of the electronic on-board system dampens



...fährt seinen Greifer aus,...
...deploys its clutch,...

the joy of the engineers on the ground. It will be impossible to release the satellite back into its orbit.

A change of plan: with the defective satellite firmly in its grip, the robot will now be de-orbited to burn up on re-entry into the atmosphere. The configuration receives its last commands from the ground. Subsystem messages are collected and transmitted. A new alignment of position, attitude, and angle of re-entry is generated. Second by second, the robot checks, computes and backtracks its orbit data. The coupled satellite pair is on track.

Vibrations begin to shake the robot as it reaches the upper layers of the Earth's atmosphere. They grow stronger, as does the frictional heat. Red hot, the robot dives more deeply into the atmosphere. Radio contact is ceasing. The first few satellite parts become detached and burn up. As planned, the two satellites finally break apart. The light traces caused by components shooting through the atmosphere remain largely unnoticed on the ground.

Increased traffic in space

In today's information society, satellites have come to play a key role in the generation and transmission of data. However, satellites deployed in increasing numbers also create a new problem. Discarded or damaged satellites are, as a rule, simply abandoned. They float around Earth, having become dysfunctional as a result of a defect or a lack of fuel. A growing number of uncontrollable satellites present a hazard to space probes. Collisions and the loss of other space systems can no longer be ruled out. DEOS is intended to remedy this situation.

The following primary mission objectives have been defined for DEOS:

Non-destructive **capturing** of an uncontrolled, uncooperative and tumbling satellite (client) by a service satellite (servicer) using an integrated manipulator.

Disposal of the captured satellite by de-orbiting the coupled satellite pair into a pre-determined re-entry corridor, with the two satellites burning up during re-entry.

Der Missionsansatz sieht zwei Satelliten vor: einer simuliert den taumelnden, ein zweiter den aktiven Service-Satelliten. Das Einfangen wird durch einen Manipulator am Service-Satelliten übernommen. Beide Orbiter werden in eine erdnahe, circa 600 Kilometer hohe Umlaufbahn gebracht. Ein umfassendes Experimentprogramm soll alle Phasen einer typischen Servicemission abdecken: Unterschiedliche operationelle Verfahren, angefangen bei manueller Steuerung vom Boden aus bis hin zur bordautonomen Durchführung, sollen geprobt und bewertet werden.

Je nach Missionsphase und Experiment werden die beiden Satelliten vom Boden aus kommandiert und überwacht. Das Kontrollzentrum wird dazu mit einer Reihe von Bodenstationen verbunden. Ein Relais-Satellit in geostationärer Umlaufbahn oder eine Sequenz verschiedener Bodenstationskontakte sichern den Zugriff auf die Satelliten über einen längeren Zeitraum. Für die kritischen Phasen des Einfangens und Stabilisierens sind direkte Funkverbindungen mit hohen Datenraten und geringen Laufzeitverzögerungen notwendig.

Nach erfolgreichem Abschluss einer Machbarkeitsstudie im Februar 2009 befindet sich das Projekt derzeit in einer vorbereitenden Missions- und Produktdefinitionsphase, in der das Gesamtsystem inklusive aller Raum- und Bodensegmente ausgearbeitet wird.



...fängt den defekten Satelliten ein und repariert ihn.
...catches the defective satellite and repairs it.

Wartung und Reparatur im All

Der Weltraum stellt Material und Technik vor große Herausforderungen: Startbelastungen, Temperaturschwankungen, Vakuum und kosmische Strahlung sind nur einige der extremen Einflüsse. Im Betrieb hochkomplexer Satelliten können darum trotz hoher Qualitätsanforderungen technische Probleme und Systemausfälle auftreten. Sind Inspektion, Wartung und Reparatur technischer Systeme auf der Erde heutzutage Routinearbeiten, laufen derartige Serviceleistungen im Weltraum immer unter enormen Risiken ab. Darum werden nur selten riskante Außenbordeinsätze unternommen, um defekte Satelliten zu reparieren oder gar zu bergen. Die verfügbaren Transportsysteme begrenzen die Einsatzfelder und erreichbaren Bahnhöhen: Ab etwa 600 Kilometern können derartige Serviceleistungen nur mit einem Antrieb ausgestattete Spezial-Satelliten übernehmen. Doch diese existieren bislang nicht. DEOS soll diese Lücke schließen. Die Mission ist ein Schlüsselement zur zukünftigen Erschließung des Weltraums sowie zur Wartung der hierzu notwendigen robotischen und mechatronischen Infrastruktur.

Detlef Reintsema und Bernd Sommer betreuen das Projekt DEOS in der Abteilung Technik für Raumfahrtssysteme und Robotik des DLR Raumfahrtmanagements.

The planned mission consists of launching two satellites, with one simulating a drifting satellite, and the other one acting as the service satellite. The capturing operation will be performed by a manipulator attached to the servicer. Both satellites will be sent into a low Earth orbit at a height of about 600 kilometres. A complex series of experiments has been designed to simulate every phase of a typical service mission. Various control techniques will be tried out and evaluated, ranging from manual steering to autonomous on-board control systems.

Depending on the phase of the mission and the experiment concerned, the two satellites will be commanded and supervised from the ground. To make this possible, the mission control centre will be linked up with several ground stations. A relay satellite in a geostationary orbit or, alternatively, a sequence of different ground station contacts, will ensure a stable connection with the satellite pair over an extended period of time. A direct radio link with high data transfer rates and low signal propagation delays will be required to cover the critical capturing and stabilising phase.

With the feasibility study successfully completed in February 2009, the project is currently in its mission design definition phase to develop a preliminary design for the complete system including all of its space and ground segments.

Maintenance and servicing in outer space

Space conditions put materials and technologies under considerable stress. Enormous initial loads during launch, temperature fluctuations, vacuum and cosmic radiations are just a few of the extreme influences to be endured. Despite high quality requirements, operating such highly complex satellites is therefore likely to be associated with technical problems and system failures. Whereas the inspection, maintenance and repair of technical systems are routine operations on the ground, nowadays servicing activities in outer space are very dangerous. Therefore, extravehicular activities to repair or even recover defective satellites will be happening very infrequently. The transport systems cur-



Ist keine Reparatur möglich, verglüht das Satellitenduo in der Erdatmosphäre.

If there is no chance for repair, both of the satellites burn up in the atmosphere.

rently available limit the fields of application and will work only up to certain orbital heights. Beyond about 600 kilometres, satellite servicing can only be performed by special satellites with a propulsion system of their own. However, these do not yet exist. The DEOS mission is to close this gap. It is a key step towards future space exploration as well as in developing the robotic and mechatronic infrastructure required for this purpose.

Detlef Reintsema und Bernd Sommer supervise the DEOS project in the General Technologies and Robotics department of the DLR Space Administration.

Der Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Dr. Peter Ramsauer, eröffnete am 4. Februar 2011 offiziell die erste und umfassendste Galileo-Testumgebung GATE in Berchtesgaden.

On February 4, 2011, the Federal Minister of Transport, Building and Urban Development, Dr. Peter Ramsauer, officially opened the first and most extensive Galileo test region GATE in Berchtesgaden.

GATE

Galileo-Testregion Berchtesgaden offiziell eröffnet

Von Martin Fleischmann

Am 4. Februar 2011 eröffnete Bundesverkehrsminister Dr. Peter Ramsauer Deutschlands technisch umfassendste Galileo-Testumgebung GATE. Das Projekt, mit dem neue Technologien in der Satellitennavigation erprobt und entwickelt werden sollen, ist das erste voll funktionsfähige deutsche Galileo-Testgebiet neben dem seaGATE (Rostock), dem aviationGATE (Braunschweig), dem automotiveGATE und dem railGATE (beide bei Aachen). Der Aufbau der Testumgebungen wurde vom DLR Raumfahrtmanagement mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) finanziert. Die Berchtesgadener Einrichtung wird von der IFEN GmbH betrieben.

GATE

Galileo Test Region Berchtesgaden Officially Opened

By Martin Fleischmann

On February 4, 2011, the Federal Minister of Transport, Dr Peter Ramsauer, opened Germany's technically most comprehensive Galileo test environment, GATE, besides the seaGATE (Rostock), the aviationGATE (Braunschweig), the automotiveGATE as well as the railGATE (both next to Aachen). Designed to test and develop new technologies in satellite navigation, the project was commissioned by DLR. The construction of the test environments was financed by the DLR Space Administration with funds from the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi). The operation of the Berchtesgaden facility is handled by IFEN GmbH.



Der Landrat des Berchtesgadener Landes, Georg Grabner, Bundesverkehrsminister Dr. Peter Ramsauer, Dr. Günter Heinrichs von der Firma IFEN GmbH, Prof. Johann-Dietrich Wörner, Vorstandsvorsitzender des DLR und der Abteilungsleiter für den Bereich Navigation im DLR Raumfahrtmanagement, Dr. Ulrich Theis, (v.l.) eröffnen GATE gemeinsam.

The District Administrator of Berchtesgadener Land Georg Grabner, the Federal Minister of Transport Dr Peter Ramsauer, Dr Günter Hinrichs from IFEN GmbH, Chairman of the Executive Board of the DLR Prof. Johann-Dietrich Wörner and the head of the navigation division of the DLR Space Administration Dr Ulrich Theis jointly opened GATE.

Trotz der Kritik an den stetig steigenden Kosten für das Galileo-Projekt – zu den einst geplanten 3,4 Milliarden Euro für den Aufbau bis ins Jahr 2014 kommen nun noch einmal weitere Kosten von 1,9 Milliarden Euro bis ins Jahr 2020 hinzu – und der zeitlichen Verzögerung des Galileo-Projektes konnte man dem Pressespiegel diesmal vor allem positive Fakten zu den vom DLR geförderten Test- und Entwicklungsregionen entnehmen: „Es wundert nicht, dass Partner in Europa eifersüchtig auf die Vorreiterrolle von Bayern-Gate blicken. Länder wie Spanien denken ernsthaft über eigene Testgebiete nach, wo das Gleiche gemacht werden würde wie in Berchtesgaden. Kosten und Subventionen für das Galileo-Projekt würden sich dann abermals erhöhen“, war am 6. Februar im Wirtschaftsteil der Frankfurter Allgemeinen Zeitung zu lesen.

Dem ständig geäußerten Mehrkostenvorwurf begegnete der Bundesverkehrsminister in Berchtesgaden offensiv: „In der EU-Kommission haben wir eine genaue Aufschlüsselung der Kosten verlangt. Wir müssen einen Weg finden, diese Kosten einzudämmen. Das System muss sich auf Dauer wirtschaftlich tragen, es kann nicht ewig am Subventionen-Tropf hängen“, sagte er auf der Veranstaltung. In diesem Kontext betonte Ramsauer die deutsche Schlüsselrolle an den Test- und Entwicklungsumgebungen und hob deren Potenziale hervor: „Deutschland hat die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten der Satellitennavigation erkannt. Wer künftig vorne mit dabei sein will, muss schon heute mit der Entwicklung innovativer Produkte und Anwendungen beginnen. Die Galileo Test und Entwicklungsumgebung in Berchtesgaden bietet dafür beste Voraussetzungen“, sagte der Bundesverkehrsminister und verwies darauf, dass von dem Projekt maßgeblich deutsche Firmen profitieren sollen – schließlich werde das GATE-Projekt ja auch von Deutschland gestemmt.

Zeichen stehen auf Wachstum

Die Chancen, dass sich diese Anstrengungen für die beteiligten Firmen lohnen, stehen gut. Der Markt für Anwendungen der Satellitennavigation gilt als Wachstumssektor. Bereits für das Jahr 2010 beziffert die Europäische GNSS-Agentur (Global Navigation Satellite System) das weltweite Marktvolumen für Anwendungen der Satellitennavigation auf 133 Milliarden Euro. Bis 2020 soll dieser Markt nach der gleichen Analyse um jährlich elf Prozent wachsen. Gerade für innovative, kleine und mittlere Unternehmen bieten sich dabei besonders gute Chancen. Hier dürfe man laut Ramsauer den Anschluss nicht verpassen: „Das ist ein Wettbewerb der Kontinente, der Wirtschaftsnationen.“ Die deutschen GATE-Testregionen seien die passende Antwort zur richtigen Zeit, um in dieses Geschäftsfeld vorzustoßen.

Europas zukünftiges Satelliten-Navigationssystem Galileo wird voraussichtlich ab dem Jahr 2014 nutzbar sein. Bis zu 14 der geplanten 30 Satelliten werden dann, gleichmäßig auf drei Bahnebenen in knapp 24.000 Kilometer Höhe verteilt, präzise Positionssignale liefern – mit wesentlich größerer Zuverlässigkeit als heute. Bei gleichzeitiger Nutzung zweier Galileo-Frequenzen ist weltweit eine Positionsgenauigkeit zwischen acht und vier Metern erzielbar –

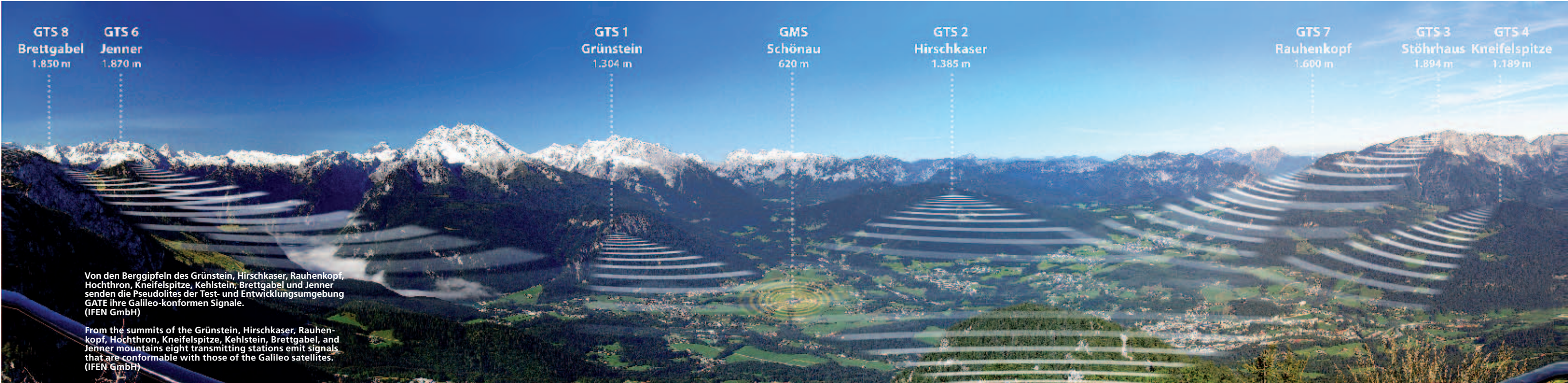
Despite criticism of the delays and steadily rising costs of the Galileo project (the sum of 3.4 billion euros originally provided for construction until 2014 has now been increased by another 1.9 billion euros until 2020), the press mainly mentioned positive facts about the DLR-promoted test and development regions this time: ‘Small wonder that partners in Europe should cast jealous glances at the pioneering role of the Bavarian GATE. Countries like Spain are seriously considering having test beds of their own, where the same things would be done as at Berchtesgaden. In this case, the costs and subsidies of the Galileo project would mount another notch’, as the Frankfurter Allgemeine reported in its business section on February 6.

At Berchtesgaden, the Federal Minister of Transport found an offensive answer to the continual recriminations about costs: ‘We have demanded a detailed breakdown of expenses in the EU commission. We must find a way of containing these costs. The system must become financially self-sufficient in the long run; it cannot go on relying on financial shots in the arm infinitely’, as he said at the event. In that context, Mr Ramsauer highlighted Germany's key role in the test and development environments, emphasising their potential. ‘Germany appreciates the wide variety of uses to which satellite navigation may be put. If we want to be in the lead tomorrow, we must begin developing innovative products and applications today. The conditions offered by the Galileo test and development environment at Berchtesgaden are ideal for this purpose,’ the Federal Minister of Transport said, pointing out that mainly German companies would benefit from the project – after all, Germany was providing the financial muscle for GATE.

Signs pointing to growth

Participating companies will find that their endeavours will be rewarded, as the market for satellite navigation applications is regarded as a growth sector. In 2010, the European Global Navigation Satellite Systems (GNSS) Agency estimated that the global market for satellite navigation applications was worth 133 billion euros. According to the same analysis, this market will grow by eleven per cent annually until 2020. Splendid opportunities were opening up, particularly for innovative small and medium-sized enterprises. According to Mr Ramsauer, it will not do to lag behind: ‘This is a contest between continents and business nations.’ Germany's GATE test beds provided the right approach at the right time for entering this business field.

Europe's future satellite navigation system, Galileo, is intended to become operational from 2014 onwards. Evenly distributed on three orbital levels at an altitude of nearly 24,000 kilometres, as many as 14 of ultimately 30 satellites will supply precise positioning signals significantly more reliably than today. When two Galileo frequencies are used at the same time, positions may be determined everywhere in the world with a precision of between eight and four metres – or even one metre where



durch ergänzende Bodensysteme lokal sogar bis zu einem Meter. Das voll ausgebaute System wird eine globale Abdeckung garantieren und ist für die rein zivile Nutzung ausgelegt.

Mehr als verbesserte Satellitennavigation

„Galileo bietet mehr als nur eine verbesserte Satellitennavigation im Auto. Mit Galileo können durch präzise Navigation – zum Beispiel nach Naturkatastrophen – Leben gerettet werden, in dem sich Einsätze genauer und schneller koordinieren und durchführen lassen“, betonte Prof. Johann-Dietrich Wörner, Vorstandsvorsitzender des DLR, der ebenfalls nach Berchtesgaden gereist war. Nach Unglücksfällen wie Lawinenabgängen oder Erdbeben ist der Zeitraum von der ersten Meldung des Unglücks bis zur Bergung eines Verschütteten für dessen Überleben entscheidend. In Mobiltelefonen eingebaute GPS-Empfänger bestimmen exakt die Position der Verschütteten. Mit Hilfe des Galileo-SAR-Dienstes (Search and Rescue) kann anschließend ein Unglück beinahe in Echtzeit an eine Notfallzentrale in der Nähe des Unglücksortes gemeldet werden. Der Safety-of-Life-Dienst (SoL) kann dann die Rettungsmannschaften zielgenau zu den georteten Verschütteten führen. Gegenüber derzeitigen Verfahren wird dadurch die Überlebensrate nach einer Naturkatastrophe deutlich erhöht.

Im alltäglichen Leben macht Galileo durch garantierte Signalintegrität in Verbindung mit gesteigerter Positionsgenauigkeit das spurgenaue und autonome Führen von Fahrzeugen möglich. Eine kombinierte Nutzung des Signals L1 (GPS) und E1 (Galileo) wird eine bisher unerreichte Genauigkeit und Verfügbarkeit des frei zugänglichen Dienstes (Open Service) ermöglichen. Die Anzahl von Verkehrsunfällen mit schwerwiegenden Folgen kann dadurch deutlich reduziert werden.

Deutschland hat die vielfältigen Möglichkeiten von Galileo erkannt und unterstützt mit der Errichtung der Testumgebungen deren Erprobung. Die GATES nehmen hierbei eine Schlüsselrolle ein, die in Europa beispiellos ist: Entwickler können ihre Anwendungen unter realen Einsatz- und Umgebungsbedingungen bis zur Verfügbarkeit von Galileo zur Marktreife führen.

Die Signale im Testgebiet können dabei gezielt an individuelle Anforderungen angepasst werden. Dies gilt für den Inhalt der Navigationsnachricht, die Sendestärke und die Frequenzwahl. Speziell Hersteller von Empfängern sehen sich bei den definierten Galileo-Frequenzen im E5-Band mit besonderen Herausforderungen konfrontiert: Ihre Geräte müssen gegenüber den in diesem

complementary ground systems are available locally. When fully developed, the system will guarantee global coverage for civil use.

More than improved satellite navigation

In Berchtesgaden, Prof. Johann-Dietrich Wörner, chairman of the DLR executive board, emphasised that ‘Galileo has more to offer than mere improvements in car satellite navigation. After a natural disaster, for example, the precise navigation provided by Galileo may save lives because operations can be coordinated and implemented more exactly and quickly.’ Thus, the survival of persons buried by avalanches or earthquakes crucially depends on the time that elapses between the first report of the accident and their rescue. GPS receivers integrated in mobile phones pinpoint the position of each buried person. With the aid of the Galileo SAR (search and rescue) service, an accident can be reported to an emergency centre close to the accident location almost in real time. The safety of life (SOL) service will then guide rescue teams precisely to the places where persons are buried. Compared to current methods, this will lead to a marked increase in survival rates after natural disasters.

In daily life, Galileo’s guaranteed signal integrity and enhanced positioning precision will enable vehicles to keep on track autonomously, which will considerably reduce the frequency of traffic accidents with grave consequences. The combined use of the L1 (GPS) and E1 (Galileo) signals will raise the precision and availability of the open service to unprecedented levels. Appreciating the sheer variety of optional Galileo uses, Germany supports the development of related applications by building test environments.

The key role played by the GATES in this context is without precedent in Europe: developers may advance their products to market maturity under real-life operational and environmental conditions until Galileo itself becomes available.

The signals beamed into the test area may be adapted to individual user requirements. This applies to the content of the navigation message, the strength of the signal and the frequency selection. Receiver producers in particular find themselves confronted with special challenges that are due to the Galileo frequencies defined in the E5 band. Their devices must be robust enough to counter the multipath effects and interferences that are particularly frequent in this band. Consequently,

Band verstärkt auftretenden Mehrwegeeffekten und Störquellen robust genug aufgesetzt werden. Mathematische Verfahren für eine Kompensation müssen daher frühzeitig entwickelt werden. Hier stehen die Testumgebungen bereit, um die nötigen Vorarbeiten bis zum Start des operationellen Galileo-Betriebs zu leisten. Die GATES tragen somit in erheblichem Umfang dazu bei, den Forschungs- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

Das GATE in Berchtesgaden

In der nun offiziell eröffneten Testregion GATE in Berchtesgaden übermitteln acht Sendestationen – die sogenannten Pseudolites auf den Berggipfeln des Grünstein, Hirschkaser, Rauhenkopf, Hochthron, Kneifelspitze, Kehlstein, Brettgabel und Jenner – Signale, die konform zu denen der ab 2014 im Erdorbit stationierten Galileo-Satelliten sind. Technisches Hauptmerkmal von GATE ist der sogenannte Virtual Satellite-Betriebsmodus (VSM). Dabei ändern die Sendestationen Signalfrequenz und -phase so, wie sie ein Beobachter von acht Satelliten, die das Testgebiet überfliegen empfangen würde. Somit steht den Empfangsgeräten im Testgebiet ein Signal zur Verfügung, das sich – abgesehen von der Ausbreitungsrichtung – von einem echten Galileo-Satelliten-signal nicht mehr unterscheiden lässt. Dabei sind diese Signale wegen der geringen Leistungsstärke für den Menschen im Berchtesgadener Land völlig unbedenklich. Mobiltelefonierende sind im Vergleich dazu einer 10.000-mal stärkeren elektromagnetischen Belastung ausgesetzt.

Das GATE-System berücksichtigt auch die Dynamik des Nutzers sowie die berechneten Satellitenbewegungen. Zusätzlich können natürliche Einflussfaktoren zum Beispiel Einflüsse durch Ionosphäre oder Troposphäre simuliert sowie Signalarten und -stärke nach Bedarf verändert werden. Damit entsteht eine realitätsnahe Testumgebung. GATE stellt außerdem mehrere, auf unterschiedliche Anwender zugeschnittene Betriebsarten zur Verfügung. Das DLR hat im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) die Testumgebungen GATE und SEA GATE errichten lassen. Drei weitere GATES werden im Rahmen von Förderungen mit Mitteln des BMWi eingerichtet, wovon das aviationGATE bereits im Dezember 2010 den Betrieb aufnehmen konnte.

Martin Fleischmann ist Mitarbeiter im Bereich Öffentlichkeitsarbeit des DLR Raumfahrtmanagements und Redakteur des Newsletters COUNTDOWN.

mathematical compensation algorithms need to be developed at an early stage. The test environments are ready for the necessary preliminary spadework until Galileo becomes operational. Thus, the GATES are making a considerable contribution towards strengthening Germany as a place of development, research, and business.

The Berchtesgaden GATE

Within the officially-opened GATE test region at Berchtesgaden, eight transmitting stations on the summits of the Grünstein, Hirschkaser, Rauhenkopf, Hochthron, Kneifelspitze, Kehlstein, Brettgabel, and Jenner mountains emit signals. They are conformable with those of the Galileo satellites that will be orbiting Earth from 2014 onwards. The key technical characteristic of GATE is the so-called virtual satellite operating mode (VSM) in which the transmitters change frequency and phase of their signals so that they emulate those an observer would receive from eight satellites flying across the test bed. Thus, they supply receivers and applications within the test area with signals which, apart from their direction of propagation, cannot be distinguished from a ‘genuine’ Galileo satellite signal. Because of their low energy, these Galileo signals are completely harmless for the people living in the Berchtesgadener Land. The electromagnetic exposure of persons using a mobile phone is 10,000 times greater by comparison.

The GATE system also allows for user dynamics and computed satellite movements. Moreover, it is capable of simulating natural factors, such as the influence of the ionosphere or troposphere, and modifying signal strengths and types as required, so that the test environment comes close to reality. Lastly, GATE offers several operating modes tailored to the needs of various users. Acting on behalf of the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), DLR has caused the GATE and SEA GATE test environments to be built. With the financial support of BMWi, three more GATES are being set up, of which aviationGATE became operational in December 2010.

Martin Fleischmann is editor for the COUNTDOWN Newsletter in the public relations unit of the DLR Space Administration.



Dr. Rolf Densing, Programmdirektor des DLR Raumfahrtmanagements, eröffnete die Veranstaltung „Zehn Jahre Forschung unter Schwerelosigkeit auf der ISS“ im Plenarsaal des alten Bonner Bundestages.

The programme director of the DLR Space Administration, Dr Rolf Densing, opened the event 'Ten Years of Research under Space Conditions on the ISS' in the Bundestag plenary hall.

Es begann in Bonn

Zehn Jahre Forschung auf der Raumstation gefeiert

Von Martin Fleischmann

Am 18. Juni 1998 wurde in Bonn Raumfahrtgeschichte geschrieben. In der 241. Sitzung des Bundestages wurde dem Dokument mit Drucksache 13/10713 zugestimmt – dem „Raumstations-Übereinkommen“. Im „Vertrag ohne Beispiel“ wurde ein völkerrechtlicher Rahmen für Management und Betrieb geschaffen. Auch COLUMBUS, ATV sowie Versorgungsflüge mit der Ariane 5 waren Bestandteile dieses Vertrages, der mit den Stimmen der CDU/CSU-, FDP- und SPD-Fraktion beschlossen wurde. Ein idealer Ort, um nun die Früchte dieser Vereinbarung zu feiern. Das DLR ließ mit der Veranstaltung „Zehn Jahre Forschung unter Weltraumbedingungen auf der ISS“ am 23. und 24. März 2011 das erste erfolgreiche Jahrzehnt Revue passieren und wagte gleichzeitig einen Blick in die Zukunft. Mit dabei waren große Teile der wissenschaftlichen Community, die deutschen ESA-Astronauten Hans Schlegel und Reinhold Ewald sowie die neue italienische Astronautin Samantha Cristoforetti.

Launched in Bonn

Celebrating Ten Years of Research on the ISS

By Martin Fleischmann

June 18, 1998 is a date that went down in the history of space flight. At its 241st meeting, the Federal Parliament in Bonn adopted document 13/10713 – the ‘space station agreement’. This ‘treaty without example’ set an international-law framework in terms of management and operation. Voted in by the CDU/CSU, FDP, and SPD parliamentary parties, the treaty also covers COLUMBUS, the ATV, and Ariane-5 supply flights. This makes Bonn an ideal place for celebrating the fruits of this document. Therefore, DLR Space Administration organised an event entitled ‘Ten Years of Research under Space Conditions on the ISS’ on March 23 and 24, in which it reviewed the first successful years and took a daring look into the future. A big part of the scientific community, the German ESA astronauts Hans Schlegel and Reinhold Ewald as well as the new Italian astronaut Samantha Cristoforetti celebrated this event together.



Am 23. und 24. März 2011 resümierten die Mitarbeiter des DLR Raumfahrtmanagements sowie geladene Gäste aus Raumfahrt-Wissenschaft zehn Jahre deutsche Forschungsaktivitäten auf der ISS.

On March 23 and 24, 2011, the members of the DLR Space Administration as well as guests from space science looked back on ten years of research activities under space conditions on the ISS.

Voraussichtlich bis ins Jahr 2020 wird die Raumstation den Forschern für die Wissenschaft unter den Bedingungen des Weltalls offen stehen. „Wir freuen uns sehr, dass sich der ESA Council für eine Verlängerung der ISS-Nutzung ausgesprochen hat“, sagte Dr. Rolf Densing, Programmdirektor des DLR Raumfahrtmanagements, in seiner Eröffnungsrede, die er vom Rednerpult des früheren Bonner Bundestages aus hielt – einem Platz, an dem er „schon immer mal stehen wollte“. Zu diesem Zeitpunkt war die ESA-Absichtserklärung genau eine Woche alt.

Deutschland von Beginn an dabei

Von Anfang an waren deutsche Forscher an der Wissenschaft auf der Raumstation beteiligt: Im März 2001 startete das deutsch-russische Plasma-Kristall-Experiment (PKE) – das erste wissenschaftlichen Experiment auf der ISS. Mit ihm begann eine sich bis heute erstreckende deutsch-russische Experimentserie zur Erforschung komplexer Plasmen unter Weltraumbedingungen. (Siehe Artikel ab Seite 28)

Die Ergebnisse dieser physikalischen Experimentserie im All könnten unter anderem die terrestrische Medizin revolutionieren: Plasma attackiert sowohl Viren als auch Bakterien und Pilze. „Plasma ist ein Gas, kommt also überall rein und ist damit von hoher Effizienz in der Desinfektion. Es kommt auch dahin, wo Salben nicht hinkommen“, erklärte Prof. Gregor Morfill, Leiter des Plasma-Kristall-Experiments und Direktor des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik (MPE). Selbst Antibiotika-resistente Bakterien wie Staphylokokken lassen sich mit kaltem Plasma abtöten. „Die gefährlichen, resistenten Keime, die ein riesiges Problem in den Krankenhäusern sind, mit allein bis zu 15.000 Toten im Jahr in Deutschland, könnten durch Plasma sekundenschnell abgetötet werden“, betonte Morfill. Wissenschaftler fanden im Auftrag der US-Airforce sogar heraus, dass Plasma hitzeresistente Krankheitserreger wie den „Rinderwahn“-Erreger (BSE) vernichtet und komplexe chemische Verbindungen wie Nervengase und biologische Toxine – zum Beispiel Anthrax – zerstört.

Until 2020, the space station will welcome scientists doing research under space conditions. ‘We are very happy that the ESA Council has endorsed extending the exploitation of the station’, Dr Rolf Densing, programme director of the DLR Space Administration, said in his opening address from the lectern of the former Bundestag – a place where he had ‘always wanted to be’. On that day, ESA’s declaration of intent was exactly one week old.

Germany involved from scratch

German scientists played a part in research on the space station right from the beginning: the German-Russian plasma crystal experiment, the first scientific experiment on the ISS, was launched as early as March 2001. It marked the start of a series of German-Russian experiments to explore complex plasmas under space conditions which continues to this day. (Read article starting on page 28)

The results of these physical experiments in space might revolutionise terrestrial medicine amongst others in the future: plasma attacks viruses as well as bacteria and fungi. ‘Since plasma is a gas, it can get in anywhere, which makes it a highly efficient disinfectant. ‘It can get to places that ointments cannot reach’, explains Prof. Gregor Morfill, principal investigator of the plasma crystal experiment and director of the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE). Even bacteria that are resistant to antibiotics, such as staphylococci, can be destroyed with cold plasma. Morfill emphasises that ‘dangerous resistant germs confront hospitals with enormous problems and kill as many as 15,000 people every year in Germany. They can be destroyed by plasma within seconds.’ Scientists working for the US Air Force found that plasma will kill even heat-resistant pathogens, such as those that cause ‘Mad Cow Disease’ (BSE), and destroy complex chemical compounds, such as neurotoxins and biological toxins like Anthrax.



Die Symbiose aus Wissenschaft, Missionsmanagement und Astronauten bestimmt den Erfolg der Experimente an Bord der Raumstation. Am 24. März stellten DLR Programmdirektor, Dr. Rolf Densing, Hans Schlegel, Prof. Gregor Morfill, Dr. Günther Reitz und PD Dr. Alexander Choukèr die Ergebnisse dieser Zusammenarbeit der Presse vor.

The symbiosis of science, mission control and astronauts defines the success of the experiments on board the space station. On March 24, the DLR programme director Dr. Rolf Densing, Prof. Gregor Morfill, Dr. Günther Reitz, and PD Dr. Alexander Choukèr presented the results of this cooperation to the press.



Astronauten im Gespräch: Hans Schlegel und Samantha Cristoforetti

Astronauts in talk: Hans Schlegel and Samantha Cristoforetti

Strahlenkarte auf der ISS

Mit dem Experiment DOSMAP zur Messung des Strahlenfelds begann für die deutsche Wissenschaft die biowissenschaftliche Forschung auf der Raumstation. Seitdem wurden für die Raumfahrt viele passive und aktive Strahlungsmessgeräte (Dosimeter) entwickelt und verfeinert. Passive Dosimeter liefern einen über die Zeit summierten Wert der Strahlung – aktive messen aktuelle Expositionsraten.

Das vom Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des DLR und seinen nationalen und internationalen Kooperationspartnern neu entwickelte Dosimeterset wurde mit zwei Shuttle-Flügen im März und April 2001 zur ISS geschickt. Die Messungen dauerten von März bis August 2001. Nach deren Abschluss begann die Auswertung auf der Erde. Die Ergebnisse wurden von Dr. Günther Reitz, Leiter der Abteilung Strahlenbiologie im DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, vorgestellt. Sie weisen auf große Unterschiede in der Strahlenbelastung an verschiedenen Stellen des US-Labors „Destiny“ und des Knotens 1 „Unity“ hin, was durch die unterschiedliche Abschirmung erklärt werden kann.

Zudem nimmt die Strahlenbelastung bei einer Veränderung der Umlaufbahn der ISS von 386 auf 404 Kilometer um rund 30 Prozent zu. Wegen der Komplexität des Strahlenfelds und seiner zeitlichen Änderungen sind allerdings weitere kontinuierliche Messungen notwendig, die nach Ende des DOSMAP-Experiments mit anderen Geräten in Angriff genommen wurden.

Stress und das Immunsystem

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

Mapping radiation on the ISS

The DOSMAP experiment to measure the radiation field marked the beginning of German bioscience research on the space station. Numerous passive and active radiation dosimeters have been developed and refined for use in space since that time. Passive dosimeters deliver radiation levels accumulated over time, while active ones measure current exposure rates.

Newly developed by the DLR Institute of Aerospace Medicine and its national and international cooperation partners, the dosimeter set was sent to the ISS on two shuttle flights in March and April 2001. Measurements lasted from March to August 2001. After their completion they were evaluated on Earth. The results presented by Dr. Günther Reitz, head of the radiation department of the DLR Institute of Aerospace Medicine, indicate great differences in radiation exposure between various sites in the US Destiny laboratory and the Unity node, which may be explained by shielding differences.

Besides, changing the orbital height of the ISS from 386 to 404 kilometres causes radiation intensity to increase by around 30 per cent. Because the radiation field is complex and changes over time, however, further continuous measurements will be needed for which other equipment will be used after the end of the DOSMAP experiment.

Stress and the immune system

Stress massively influences our immune system, in space as well as on Earth. The astronauts' immune systems may be weakened by diverse stress factors, including not only microgravity and radiation but also isolation, a heavy workload, and a disturbed sleep-wake cycle. Severely ill people on Earth are struggling with equivalent problems with their immune system, partially triggered by the same stress factors. In both cases, the immune system should be strong enough to adequately defend the body against germs. On the other hand, it should not be overloaded.

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

In der ersten Liga

„Mit solchen Experimenten hat sich Deutschland weltweit in die erste Liga katapultiert“, betonte Densing. Insgesamt 56 wissenschaftliche und technologische Experimente aus Deutschland wurden oder werden bislang auf der ISS durchgeführt, davon sind 38 bereits abgeschlossen. Die Liste der noch geplanten Experimente bis zum Ende dieses Jahrzehnts ist lang. Sie dienen aber zunächst nur der Grundlagenforschung. „Albert Einsteins Relativitätstheorie wurde vor gut 100 Jahren entdeckt, heute können wir sie im Supermarkt kaufen – in Navigationssystemen, die nicht ohne diese Theorie funktionieren“, sagte Morfill. Auch die Umsetzung der Ergebnisse, welche die Astronauten auf der ISS gewinnen, braucht Zeit. Die Ergebnisse – zum Beispiel aus der langjährigen Plasmaforschung – geben aber Hoffnung auf baldige Anwendungen.

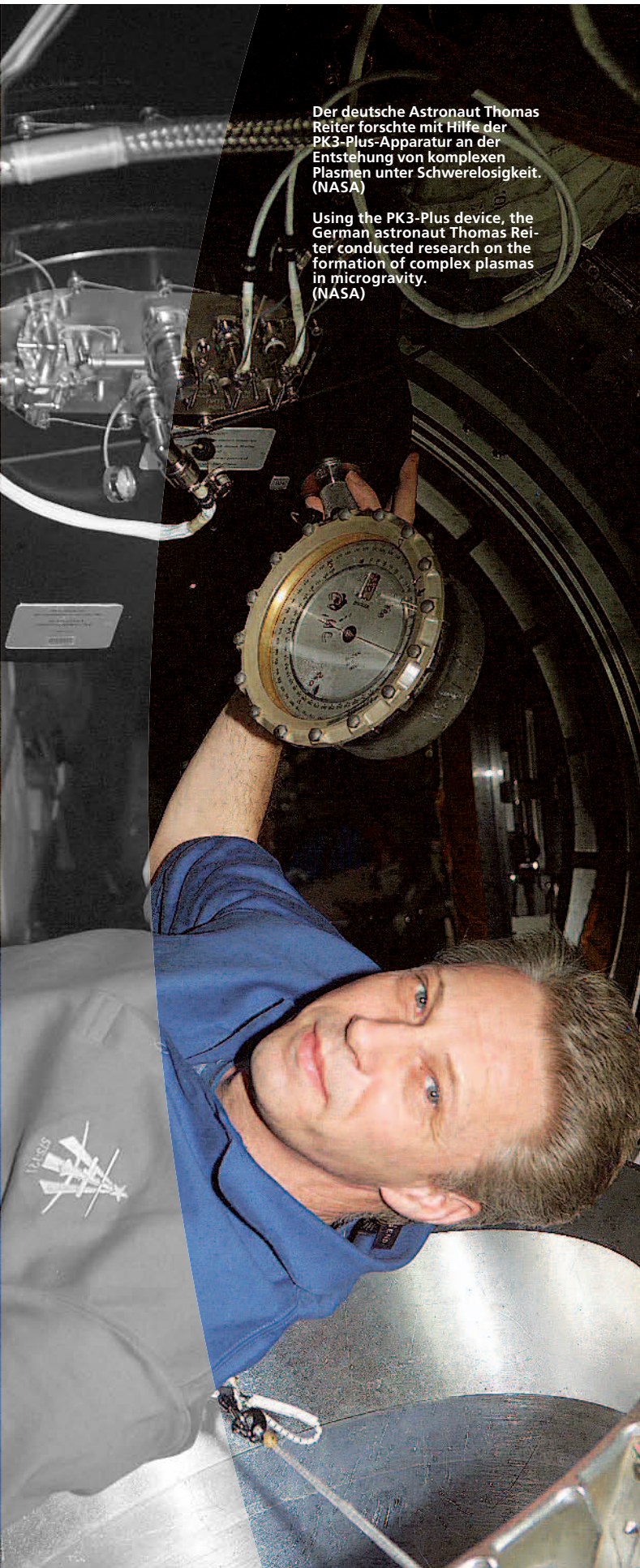
Martin Fleischmann ist Redakteur des COUNTDOWN Newsletters im Bereich Öffentlichkeitsarbeit des DLR Raumfahrtmanagements.

Since April 2006, scientists of the Ludwig Maximilian University of Munich, headed by PD Dr. Alexander Choukèr, have been conducting extensive biochemical analyses complemented by psychological tests to investigate changes in the immune system of long-term crew members under the IMMUNO project. They expect comparisons with isolation and clinothrapy studies to yield insights into the part played by the various factors that weaken the immune system and by the mechanism of immune defence. These insights will form the basis for the development of innovative preventive and therapeutic measures for astronauts as well for gravely ill patients in intensive care.

The first division

DLR programme director Densing emphasises that ‘experiments of this kind have catapulted Germany into the first global division’. So far, 56 scientific and technological experiments from Germany have been conducted on the ISS, of which 38 have been concluded. The list of experiments that have been planned for the time until this decade ends is long. First and foremost, however, they relate to basic research. ‘Albert Einstein discovered his theory of relativity more than 100 years ago; today, you can buy it at any supermarket – integrated in navigation systems that cannot function without that theory,’ Morfill says. Implementing the results produced by the astronauts on the ISS will take time as well. However, the results of the many years of plasma research, for example, give rise to the hope that applications might arrive soon.

Martin Fleischmann is editor for the COUNTDOWN Newsletter in the public relations unit of the DLR Space Administration.



Der deutsche Astronaut Thomas Reiter forschte mit Hilfe der PK3-Plus-Apparatur an der Entstehung von komplexen Plasmen unter Schwerelosigkeit. (NASA)

Using the PK3-Plus device, the German astronaut Thomas Reiter conducted research on the formation of complex plasmas in microgravity. (NASA)

Deutscher Außenposten im All

Zehn Jahre Forschung unter Weltraumbedingungen auf der ISS Teil 2: Fundamentalphysikalische Experimente

Von Dr. Rainer Kuhl

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 Plasmakristall-Projekts (PKE) und begründeten 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 2001 an erhoben – damit begann die Forschung unter Weltraumbedingungen auf der ISS. Das zehnjährige Jubiläum ist der geeignete Anlass für einen Rückblick auf die fundamentalphysikalischen Projekte. Die biologischen Experimente wurden bereits in Ausgabe 14 vorgestellt.

Germany's Outpost in Space

Ten Years of Research under Space Conditions on the ISS Part 2: Experiments in Fundamental Physics

By Dr Rainer Kuhl

On February 26, 2001, the Progress M-44 spacecraft took off for the International Space Station (ISS), carrying a German apparatus for plasma crystal research. From March 3 to 8, the first scientific experiments of the plasma crystal project (PKE) were run, laying the foundation for a research programme that has been producing landmark results to this day. Only a little later, equipment to measure cosmic radiation came to the ISS on shuttle missions STS-102 and STS-100. Data collection for the DOSMAP (dosimetric mapping) experiment began on March 26, 2001, marking the start of research under space conditions on the ISS. Its tenth anniversary is a suitable occasion for reviewing past projects in fundamental physics. The biological experiments have been presented in issue 14 of the COUNTDOWN.

Deutschland hat nicht nur bei Entwicklung und Bau des europäischen COLUMBUS-Moduls eine zentrale Rolle gespielt, sondern ist auch bei dessen wissenschaftlicher Nutzung an der Spitze vertreten. Fast die Hälfte aller im europäischen Wettbewerb ausgewählten physikalischen Experimente wird von deutschen Forschern koordiniert. Innovative Forschungsanlagen und ausgefeilte Experimente aus Material-, Fluid- und Fundamentalphysik sind an Bord. Deutsche Wissenschaftler machten 2001 den ersten Schritt auf der ISS dank einer bis heute anhaltenden fruchtbaren Kooperation mit Russland zur Plasmaphysik. Mit dem Start von COLUMBUS im Jahr 2008 erweiterten sich die experimentellen Forschungsmöglichkeiten beträchtlich.

Zehn Jahre deutsch-russische Kooperation

Bereits seit März 2001 werden fundamentale Fragestellungen der Plasmaphysik auf der Internationalen Raumstation systematisch umgesetzt. 27 Experimentserien von jeweils knapp einer Woche Dauer liefen seitdem im russischen Segment der ISS. Zwei in Deutschland entwickelte Forschungsapparaturen kamen dabei zum Einsatz: die Anlage PK-3 von 2001 bis 2005 und seit 2006 die Anlage PK-3 PLUS. Praktisch jede russische Besatzung hat mit diesen Apparaturen gearbeitet. Der deutsche ESA-Astronaut Thomas Reiter bediente sie zuletzt im Sommer 2006. Im Januar 2010 ist PK-3 PLUS vom bisherigen Platz zwischen den Stationsmodulen Sarja und Swesda in das neue russische Forschungsmodul POISK umgezogen. Gleichzeitig wurde die Betriebszeit der Anlage zunächst bis Ende 2011 verlängert.

Das DLR Raumfahrtmanagement beauftragte mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) sowie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) den Bau beider Anlagen bei der Münchener Firma Kayser-Threde und förderte die begleitenden Forschungsarbeiten am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik (MPE) in Garching. Die russische Seite sorgte für den Transport der Anlagen zur ISS. Das Kosmonautentraining, der regelmäßige Anlagenbetrieb im Orbit und der Rücktransport der auf Festplatten gespeicherten Bild- und Messdaten stehen ebenfalls unter russischer Verantwortung.

Die wissenschaftliche Führung liegt beim MPE und dem Moskauer Institut für Hochenergiedichten der russischen Akademie der Wissenschaften. Die Experimentserien werden gemeinsam entworfen, am Boden vorbereitet, auf der ISS unter Schwerelosigkeit umgesetzt und schließlich in beiden Instituten ausgewertet. Der Zugang zu den Forschungsapparaturen wurde auch Wissenschaftlern ermöglicht, die von der europäischen Weltraumagentur ESA, der US-amerikanischen Weltraumbehörde NASA, der französischen Weltraumagentur CNES und der japanischen Weltraumagentur JAXA unterstützt werden.

Staubige Gase - weiche Materie

Plasma (griechisch „Gebilde“) ist ein Gas, das teilweise oder vollständig aus freien Ladungsträgern wie Ionen oder Elektronen besteht. Es ist also in seine Bestandteile „aufgespalten“: Die Elektronen und Atomkerne schweben dabei getrennt voneinander im Gas. Die Physiker sprechen bei diesem ionisierten Gas auch vom vierten, ungeordneten Materienzustand, in dem sich mehr als 99 Prozent der sichtbaren Materie im Universum befindet. Es entsteht beispielsweise bei einer elektrischen Entladung in einer Leuchtstoffröhre. Komplex wird das Plasma, wenn man es gezielt mit kleinen Kunststoffpartikeln (häufig „Staub“ genannt) von 1 bis 20 Mikrometer Größe anreichert. Im Plasma elektrostatisch aufgeladen, verhalten sich Gas und Partikel wie ein Medium. Abhängig von den Experimentbedingungen – variiert werden die elektrische Anregung und der Gasdruck – verändert sich die Struktur der Partikelverteilung.

Im Labor auf der Erde lassen sich Plasmakristalle nur innerhalb einer wenige Millimeter dünnen Schicht oberhalb des Bodens der Plasmakammer erzeugen. Dort ist das elektrische Feld stark genug, um

Germany not only played a key part in the development and construction of the European COLUMBUS module, it is also one of its most active scientific users. Nearly half of the physical experiments selected from among the European contestants are coordinated by German researchers. Innovative research facilities and elaborated experiments in material, fluid, and fundamental physics are installed on board the space station. As part of the cooperation with Russia agreed upon in 2001 which has continued fruitful to this day, German scientists made a start on a series of ISS experiments addressing plasma physics. When COLUMBUS was added to the ISS in 2008, opportunities for experimental research expanded considerably.

Ten years of German-Russian cooperation

As early as March 2001, scientists began addressing fundamental questions in plasma physics on the International Space Station. Since then, 27 series of experiments, each lasting somewhat less than a week, have been run in the Russian ISS segment. Two research installations developed in Germany played a part: the PK-3 apparatus from 2001 to 2005 and the PK-3 PLUS apparatus from 2006 onwards. Practically without exception, all Russian crews have been working with these installations. German ESA astronaut Thomas Reiter worked with them in summer of 2006. In January 2010, PK-3 PLUS was moved to the new Russian research module POISK from its former location between the Sarya and Zvezda modules. At the same time, the period of operation of the system was extended to the end of 2011.

The DLR Space Administration commissioned the Munich-based company Kayser-Threde to build both systems and sponsored the complementary research activities of the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE) in Garching with funds from the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) and the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi). The Russian side took charge of transporting the systems to the ISS. Russia is also responsible for cosmonaut training, the regular operation of the systems in orbit, and the return of image and measurement data stored on hard discs.

The scientific leadership of the experiments rests with the MPE and the Institute for High Energy Physics at the Russian Academy of Sciences in Moscow. Each series of experiments is designed, prepared on the ground, implemented in microgravity on the ISS, and ultimately evaluated by the two institutes acting jointly. Access to the research installations has also been granted to scientists associated with the European Space Agency (ESA), the American space authority, NASA, the French space agency, CNES, and the Japanese space agency, JAXA.

Dusty gas – soft matter

A plasma (Greek for ‘formation’) is a gas which partially or entirely consists of free charge carriers, such as ions or electrons. In other words: it is ‘broken up’ into its constituent elements, with electrons and atomic nuclei floating separately in the gas. Physicists call such ionised gas the fourth, most unordered state of matter to which more than 99 per cent of the visible matter in the universe belongs. It is generated, for example, by electrical discharges in fluorescent tubes. A plasma becomes complex when it is enriched with minute plastic particles measuring 1 to 20 micrometres in size (often called ‘dust’). Electrostatically charged in a plasma, the gas and the particles together behave like a medium. When the parameters of the experiment – electrical excitation and gas pressure – are modified, the structure of the particle distribution changes.

In a laboratory on Earth, plasma crystals can be generated only in a millimetre-thin layer above the floor of a plasma chamber where the electrical field is powerful enough to keep particles in suspension. As the weight of a micro-particle is billions of times

die Partikel in der Schwebe zu halten. Aufgrund der milliardenfach schwereren Masse der Mikropartikel im Vergleich zu den Gasionen staucht der Schwerkrafteffekt die Partikelstruktur in Richtung Erdmittelpunkt. Große dreidimensionale und zugleich unverzerrte Plasmakristalle können nur in Schwerelosigkeit erzeugt werden.

Durch Videobeobachtungen an einzelnen Partikeln lassen sich auch typische Eigenschaften eines Gases oder einer Flüssigkeit erforschen. Dazu zählen solche Vorgänge wie das Schmelzen eines Festkörpers, das Entmischungsverhalten von Flüssigkeiten, turbulente Strömungen an Hindernissen und laminare Strömungen in Düsen, die Strukturbildung an einer Erstarrungsfront, oder die Ausbreitung von Schallwellen. Somit werden zahlreiche Phänomene der Festkörper- und Fluidphysik experimentell modellierbar.

Komplexe Plasmen sind nicht nur ein elegantes Modellsystem für weiche Materie wie Kolloide, Gele und Granulate, sondern überdies im Universum weit verbreitet. Sie treten in interstellaren Molekülwolken, planetaren Ringsystemen wie beim Saturn oder in einem Kometenschweif auf. Daraus erklärt sich die multidisziplinäre Motivation zu ihrer Erforschung unter Schwerelosigkeit.

Entdeckungen auf der ISS

Sobald ein genügend starkes, externes elektrisches Feld angelegt wird, richten sich die geladenen Partikel im Plasma linienförmig zu „Ketten“ aus. Dieser sogenannte elektrorheologische Effekt tritt auch bei Flüssigkeiten, die elektrisch aktive Partikel enthalten, auf. Ihr Fließverhalten lässt sich so in einem elektrischen Feld schnell und umkehrbar variieren. Ein „elektorheologisches komplexes Plasma“ wurde erstmalig im Jahr 2006 auf der ISS nachgewiesen. Diese Eigenschaft von Flüssigkeiten nutzt man zum Beispiel in Stoßdämpfern. Hier kann die Motorendämpfung im Auto dynamisch an die Drehzahl des Motors und die Beschaffenheit des Untergrunds angepasst werden, um die Geräuschbelastung im Auto zu reduzieren.

Im Jahr 2009 publizierten Wissenschaftler Ergebnisse, die einen anderen Typ von Linienstrukturen im Plasma aufzeigen. Sobald zwei entgegenlaufende Strömungen von Partikeln unterschiedlicher Größe aufeinandertreffen, kommt es zu einer linienförmigen Aneinanderreihung der kleinen Partikel. Diese Reihen bewegen sich in einer homogenen Wolke großer Partikel. Normalerweise erwartet man eine zufällige Durchmischung. Mittlerweile ist der Effekt durch theoretische Untersuchungen und molekulardynamische Computersimulationen bestätigt worden.

greater than that of a gas ion, gravity compresses the particle structure towards the centre of Earth. Large, three-dimensional plasma crystals that are free from distortion can only be generated in microgravity.

Video observations of individual particles also permit exploring the typical properties of a gas or a liquid. Processes of interest include the melting of solid bodies, the phase separation in liquids, turbulent flows around obstacles, laminar flows in nozzles, the structural formation at solidification fronts, and the propagation of sound waves. Thus, numerous phenomena in solid state and fluid physics may be modelled in experiments.

Besides offering an elegant approach to modelling soft matter such as colloids, gels, and granulates, complex plasmas are ubiquitous in the universe. They occur in interstellar molecular clouds, planetary ring systems such as that of Saturn, and in comet tails. This is why the motivation to explore them in microgravity extends across several disciplines.

Discoveries on the ISS

As soon as a sufficiently powerful electrical field is applied from the outside, the charged particles in a plasma arrange themselves in lines called chains. This so-called electro-rheological effect is also found in liquids that contain electrically active particles. In the presence of an electrical field, therefore, the flow behaviour of such liquids may be varied quickly and reversibly. An “electro-rheological complex plasma” was first identified on the ISS in 2006. The properties of rheological fluids can be used, for example, in automotive shock absorbers to adapt engine vibration damping dynamically to the speed of the engine and the condition of the road so as to reduce interior noise.

In 2009, scientists published results that reveal another type of linear structure in plasmas. When two opposing flows of particles of different size collide, the smaller particles arrange themselves in linear chains which move within a homogeneous cloud consisting of larger particles. Normally, one would have expected random blending to occur. Meanwhile, this effect has been confirmed in theoretical studies and computer simulations of molecular dynamics.

Another discovery was rather a coincidence – almost like the invention of penicillin. By mistake, a cosmonaut deviated from the classical method and failed to ignite the plasma, so that micro-particles could escape into a neutral inert gas without

Eine weitere Entdeckung geschah eher zufällig – fast so wie die Erfindung des Penicillins. Ein Kosmonaut wich aus Versehen von der klassischen Methode ab, das Plasma zu zünden. So gelangten Mikropartikel ohne Entladung in ein neutrales Edelgas. Die durch Reibung verursachte elektrostatische Anziehung verstärkte die Bindungskräfte (Kohäsion) zwischen den Partikeln und führte innerhalb von kürzester Zeit zu massiver Verklumpung (Koagulation): Einige hunderttausend Mikropartikel verbanden sich zu einem großen Agglomerat – heute spricht man von „Superkoagulation“. Forscher machen diesen Effekt unter anderem für ein frühes Stadium der Planetenbildung aus proplanetaren Staubscheiben verantwortlich.

Gerüstet für die Zukunft

PK-4 – die nächste Generation einer Plasmaphysik-Anlage – ist bereits in der Entwicklung und wird voraussichtlich im Jahr 2013 im COLUMBUS-Modul installiert. Vor allem Strömungsvorgänge in Flüssigkeiten gilt es dann mittels eines komplexen Plasmas zu modellieren. Auch die übernächste Anlagengeneration ist schon in Sicht. Auf DLR-Parabelflügen testen Wissenschaftler und Ingenieure des MPE zwei innovative Typen von Plasmakammern, die in einem künftigen PLASMALAB auf der ISS ganz neue Forschungsmöglichkeiten eröffnen sollen.

Über die reine Grundlagenforschung hinaus ist bereits ein beachtlicher „spin-off“-Effekt vom MPE-Forscherteam initiiert worden. Kalte Plasmen werden bereits zur Behandlung von bakteriellen und Pilzkrankungen der Haut eingesetzt. Ein kleines medizinisches Gerät, das einen sanften Plasmastrahl aussendet, kann chronische Wunden der Haut sterilisieren, wo andere Behandlungsmethoden nicht anschlagen. Es wurde klinisch an mehreren hundert Patienten erfolgreich getestet. Erkenntnisse der Grundlagenforschung könnten sich auch in der industriellen Plasmatechnologie zur Verbesserung von Beschichtungsprozessen bei Flachbildschirmen, Solarzellen und mikroelektronischen Bauelementen niederschlagen.

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

Teil 3 der Reihe „Deutscher Außenposten im All – Zehn Jahre Forschung unter Weltraumbedingungen auf der ISS“ wird sich mit Fluid- und Materialphysik beschäftigen.

losing their charge. The electrostatic attraction caused by friction added itself to the forces of adhesion between the particles, causing them to form massive lumps (coagulates) very quickly. Several hundred thousand micro-particles joined to form a large agglomerate, a process called super-coagulation today. Researchers hold this effect potentially responsible for an early stage in the formation of planets from protoplanetary dust discs.

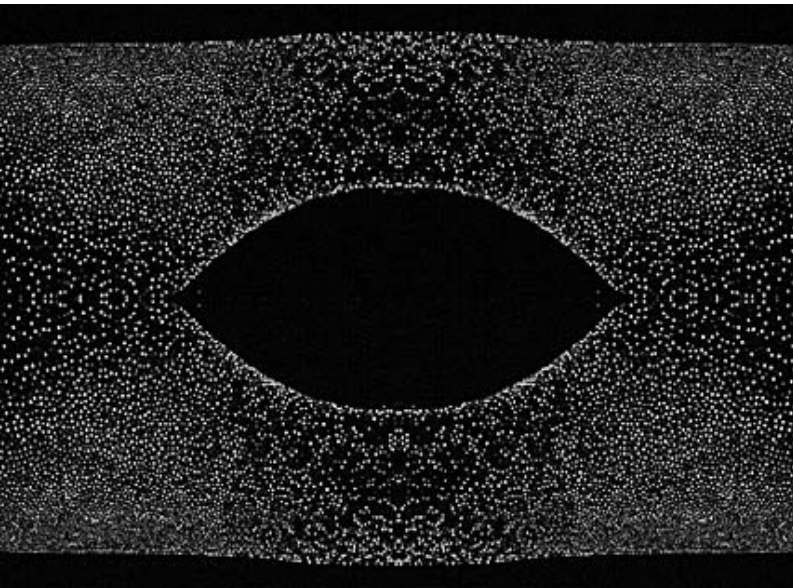
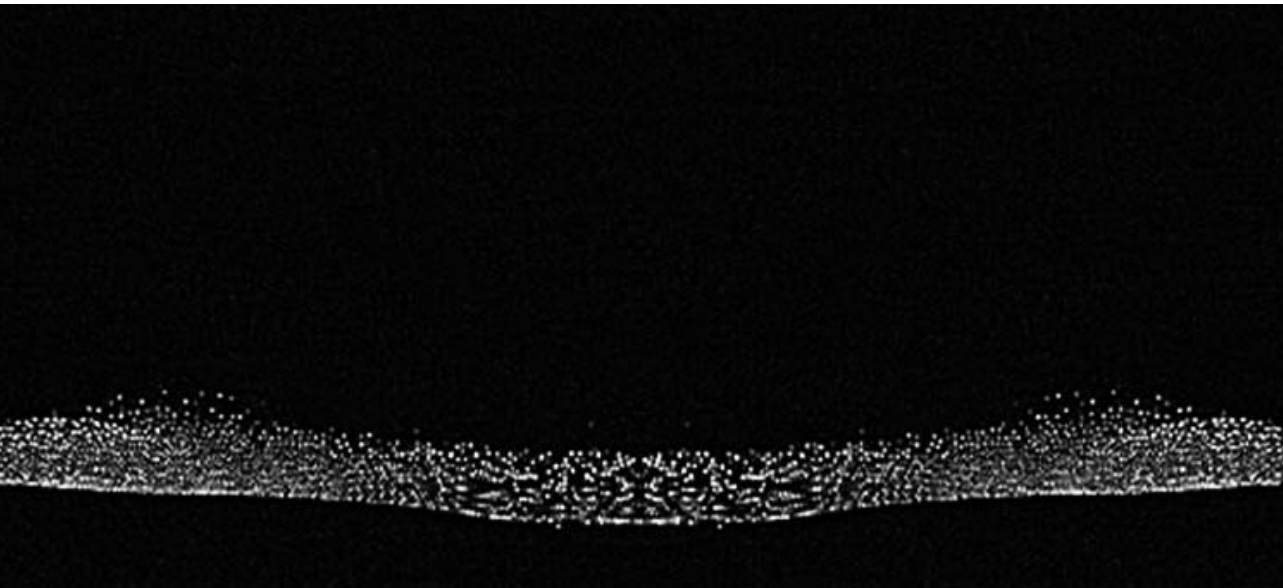
Ready for the future

PK-4, the next-generation experiment in plasma physics, is being developed now and will probably be installed in the COLUMBUS module in 2013. In this case, complex plasmas will be used mainly to model flow processes in liquids. Even the next generation after that is already in view. On DLR parabolic flights, MPE scientists and engineers are testing two innovative plasma chamber types that are supposed to open up entirely new research options in a future Plasma Lab on the ISS.

Beyond these achievements in fundamental science, a considerable spin-off effect initiated by the MPE research team has begun to emerge. Cold plasmas are already being used to treat bacterial and fungal skin infections. A small medical device that emits a gentle jet of plasma is capable of sterilising chronic skin wounds that cannot be treated by other methods. The device has successfully passed clinical tests involving several hundreds of patients. The new knowledge might also be used in industrial plasma technology to improve the processes for coating flat screens, solar cells, and micro-electronic components.

Dr Rainer Kuhl heads the Physical Research/Materials Science Programme in the Research under Space Conditions department of the DLR Space Administration.

Part 3 of the series ‘Germany’s outpost in space – ten years of research under space conditions on the ISS’ will discuss fluid and material physics.



Elektrisch geladenes Plasma wird unter dem Einfluss der Schwerkraft in Richtung Erdmittelpunkt gestaucht (links). In Schwerelosigkeit hingegen kann ein komplexes, elektrisch geladenes Plasma entstehen (rechts).

Under gravity conditions the particle structure of an electrically charged plasma is compressed towards the centre of the Earth (left). In contrast, large three-dimensional plasma crystals can only be generated in microgravity (right).



NASA Astronaut Scott Kelly arbeitet im Destiny Labor an der CCF-Hardware, die in der Microgravity Science Glovebox (MSG) eingebaut ist. (NASA)

In the Destiny laboratory, NASA astronaut Scott Kelly works with CCF experiment hardware installed in the Microgravity Science Glovebox (MSG). (NASA)

Capillary Channel Flow

Neue Strömungseffekte in Schwerelosigkeit entdeckt

Von Dr. Rainer Forke

Deutsche und amerikanische Wissenschaftler sind bei der Datenauswertung im Rahmen des Strömungsforschungsexperiments Capillary Channel Flow (CCF) auf Effekte gestoßen, die zuvor noch nie beobachtet wurden. Die vom DLR Raumfahrtmanagement unterstützte Versuchsreihe trägt dazu bei, das Strömungsverhalten von Flüssigkeiten unter dem Einfluss der Schwerelosigkeit besser zu verstehen. Das auf der Internationalen Raumstation ISS durchgeführte Experiment wird direkt vom Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) der Universität Bremen von der Erde aus gesteuert. Nun rüsten sich die Wissenschaftler für die zweite Halbzeit des Experiments, die demnächst starten soll.

Capillary Channel Flow

New Flow Effects Discovered in Microgravity

By Dr. Rainer Forke

In a joint flow research experiment entitled Capillary Channel Flow (CCF), German and American scientists came upon some effects that had never been observed before. The test series, funded by the DLR Space Administration, aims at better understanding the flow behaviour of fluids in the absence of gravity. Carried out on the International Space Station ISS, the experiment is directly controlled on the ground by the Centre for Applied Space Technologies and Microgravity (ZARM) of Bremen University. The scientists are currently preparing the second half of the experiment, which is scheduled to start soon.

Ob Raumsonde, Fernsehsatellit oder zukünftige bemannte Missionen: An Bord von Weltraumfahrzeugen ist ein zuverlässiger Flüssigkeitstransport von entscheidender Bedeutung. Das gilt sowohl für Treibstoffe als auch für Wasser und verflüssigte Gase. Auf der Erde treten für gewöhnlich keine Probleme auf: Benzin in einem Autotank wird dank der Erdanziehung immer am Boden gehalten. Unter Schwerelosigkeit hingegen verteilt sich der Treibstoff überall im Behälter. Fehlzündungen sind deshalb nicht ausgeschlossen.

What space probes, TV satellites and future human space missions have in common is that they all crucially depend on reliable fluid management. This goes for propellant systems as well as for water and liquid gases. On the ground, fluids usually do not represent a problem. Thanks to the Earth's gravitation, motor fuel usually stays at the bottom of a car's tank. Under microgravity conditions, however, fuel is distributed all over its container.



Im Mission Control Center in Huntsville wurde eine zweite CCF Experimenteinheit in einem Modell der Microgravity Science Glovebox installiert. Diese zweite Einheit erlaubt Wissenschaftlern und Ingenieuren vom Boden aus Versuchsszenarien zu simulieren. (NASA)

In the Mission Control Center in Huntsville, a double of the CCF experimental unit was installed in a model of the Microgravity Science Glovebox. This second unit permits scientists and engineers to simulate experimental trials on Earth. (NASA)

Wie ist es unter diesen Umständen im All möglich, Flüssigkeiten blasenfrei zu transportieren? Welche maximalen Geschwindigkeiten können erreicht werden, ohne dass der Flüssigkeitsstrom abreißt? Um Antworten auf diese Fragen zu finden, hatten Forscher am 5. April 2010 die CCF-Apparatur mit zwei unterschiedlichen Experimenteinheiten mit dem Space Shuttle Discovery (STS-131) zur ISS geschickt. Der NASA-Astronaut Scott Kelly installierte im Dezember 2010 die erste CCF-Experimenteinheit in der Microgravity Science Glovebox (MSG). Am 2. Januar 2011 startete dann die 75-tägige CCF-Experimentenserie.

How can fluids be transported in a stable, gas-free flow? What maximum flow rates can be achieved without the flow tearing off? To find answers to these questions, the CCF test apparatus with its two different experiment units was sent up to the ISS on the space shuttle Discovery (STS-131) on April 5, 2010. In December 2010, NASA astronaut Scott Kelly installed the first CCF experiment unit in the station's microgravity science glovebox (MSG). On January 2, 2011, the 75-day series of CCF tests began.

Mehr Zeit für neue Erkenntnisse

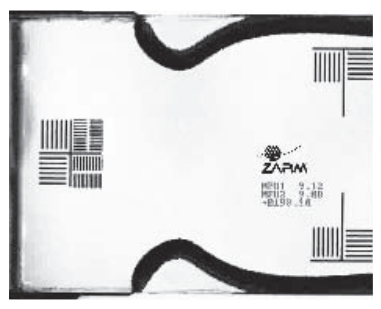
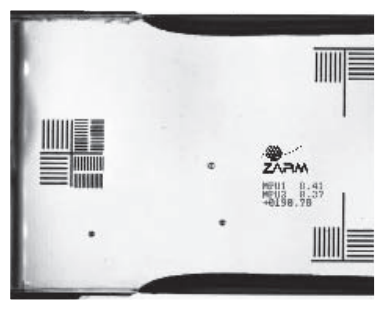
In der Apparatur werden mittels einer Pumpe aus einem Tank Modellflüssigkeiten durch seitlich offene Leitungen – die sogenannten Kapillarkanäle – gesaugt. In Experimenteinheit 1 bestehen diese Leitungen aus parallelen, in Experimenteinheit 2 aus V-förmigen Glasplatten. Vor Beginn der zweiten Halbzeit werden diese Einheiten ausgetauscht. Bevor CCF auf der ISS installiert wurde, testeten Forscher den Versuchsaufbau im Bre-

More time to study

The test architecture with which a model fluid is pumped from a tank has fuel lines that are left open on the sides, called capillary channels. These capillaries are parallel glass plates in experiment unit 1, and glass plates arranged in wedge geometry in experiment unit 2. It is planned to exchange these units before the second leg of the experiment begins. Prior to installing CCF on the ISS, researchers performed trial runs on Bremen's droptower and on ballistic rockets (TEXUS) reaching an altitude of up to

Flüssigkeiten strömen in Schwerelosigkeit bis zu einer bestimmten Geschwindigkeit konstant. Wird der Saugdruck der Pumpe soweit erhöht, so dass die Strömungsgeschwindigkeit ein bestimmtes Maximum überschreitet, dann bilden sich am Rand der Apparatur Blasen und der Flüssigkeitsstrom reißt ab. (ZARM)

In microgravity, fluids flow in a quite constant way until a perpetual certain speed is reached. When the pump capacity level rises to the point at which the fluid speed exceeds a specific maximum, gas bubbles emerge at the edge of the hardware and stop the flow. (ZARM)



mer Fallturm und auf ballistischen Raketenflügen (TEXUS) in bis zu 270 Kilometer Höhe. In den Fallturmexperimenten blieben den Forschern nur circa 4,5 Sekunden für einen Versuchsablauf. Während der TEXUS-Flüge, die im nordschwedischen Kiruna gestartet werden, konnten die Flüssigkeitsströme immerhin circa sechs Minuten lang beobachtet werden. Für die Experimente auf der Raumstation steht nun wesentlich mehr Zeit zur Verfügung und ermöglicht damit die Variation diverser Strömungsparameter, wie zum Beispiel der Kanallänge, des Volumenstroms sowie eine Oszillation der Strömung. Von den Ergebnissen der Datenauswertung versprechen sich die Wissenschaftler eine umfassende Bestätigung der von ihnen entwickelten Theorie der aktiv angetriebenen Kapillarströmungen. Dann kann diese Theorie zu einer Verbesserung technischer Bauteile genutzt werden.

Neue Erkenntnisse für innovative Treibstoffleitungen

Bislang nahmen die Forscher an, dass der Abschnitt der Kapillarkanäle, der in unmittelbarer Nähe der Pumpe liegt, entscheidend für das Strömungsverhalten sei. An dieser Stelle bilden sich Einschnürungen im Flüssigkeitsstrom, die bei einer Erhöhung der Pumpenleistung Luftblasen einschließen, die dann mitgesogen werden. Sie lassen den Strom im schlimmsten Fall abreißen. Die Forscher sprechen hier vom kritischen Volumenstrom. Die neuesten Daten belegen aber, dass gerade in langen Kapillarkanälen der Bereich, der weit von der Pumpe entfernt liegt, überraschenderweise einen wesentlichen Einfluss auf die Entstehung der Einschnürungen und damit auf diesen kritischen Volumenstrom nimmt.

Mit diesen Erkenntnissen hoffen die Wissenschaftler Software für das Design maßgeschneiderter Treibstoffleitungen entwickeln zu können. Diese sollen flüssigen Treibstoff im Tank bei einer orbitalen Zündung des Raketentriebwerks optimal zur Auslassöffnung befördern und dem Triebwerk blasenfrei zur Verfügung stellen. Die Stoffeigenschaften der Modellflüssigkeit wie Zähigkeit, Dichte und Oberflächenspannung sind so gewählt, dass sie in Kombination mit der Geometrie des Testkanals realen Treibstofftransporten sehr ähnlich sind. Dadurch sind die Ergebnisse vom Modell auf der ISS leicht auf eine Anwendung im Raumfahrzeugtank übertragbar. Forscher modellieren anhand von Gleichungen der Strömungsmechanik mathematisch, welche Kräfte wirksam sind und wie diese zusammenspielen. Diese theoretischen Berechnungen können wegen der teiloffenen Kapillarkanäle nur durch Experimente unter Schwerelosigkeit bestätigt werden.

270 kilometres. During the TEXUS flights, which were launched in Kiruna in northern Sweden, fluid flow could be studied for periods of a remarkable six minutes. On the ISS, there will be more time available, which will enable researchers to vary some of the flow parameters such as channel length, volume flow, as well as flow oscillation. Once the results have been evaluated, scientists are hoping to find their theoretical assumption confirmed by showing that actively driven capillary flows do, in fact, behave as predicted. If this is the case, the theory can be used as a basis for improving the design of future fuel system components.

New knowledge for innovative fuel lines

Until recently it was assumed that what determines the flow behaviour the most is the capillary channel section closest to the pump, where constrictions form in the fluid flow and where gas bubbles could be trapped and sucked in with the fluid when the pump is working at higher capacity. In the worst case these can make the flow tear off completely. Researchers refer to this as critical flow conditions. However, recent data surprisingly demonstrate that, especially in long capillary channels, the section which is the furthest away from the pump has a significant influence on the formation of flow constrictions and, thus, on critical flow conditions.

Based on this knowledge, scientists are hoping to be able to develop software that helps them designing tailor-made fuel lines. These will, when in orbit, feed fuel all the way from the tank to the ignition nozzle outlet of the rocket engine free of gas bubbles. Material properties of the model fluid, i.e. viscosity, density and surface tension, are selected. Combined with the appropriate test channel geometry, they get very close to a real fuel flow situation. Model results of the tests conducted on the ISS can thus be transferred to actual rocket propellant tank design applications. Researchers learn about the relevant forces and how they interact by developing mathematical models based on fluid mechanics equations. Since the capillary channels are partially open, the verification of these theoretical calculations is only possible in microgravity.

Praxisdaten bestätigen Modellrechnungen

Auf der ISS filmt eine hochauflösende Kamera zunächst den Testkanal mit den freien Oberflächen. Anschließend werden die aufbereiteten und komprimierten Daten direkt zum CCF-Team des ZARM gesendet und von den Versuchsleitern genutzt, um jeweils den nächsten Versuchslauf gezielt vorzubereiten. Das Team kann die Steuerbefehle direkt zur ISS senden und den Verlauf des Experiments beobachten. Daten von den Versuchsläufen treffen täglich auf den Monitoren der Wissenschaftler ein. Ein Versuchsablauf wird bis zu 25 Sekunden lang aufgezeichnet.

Bislang hat das CCF-Team mehr als 900 Datensätze gesammelt, die von telemetrischen Messungen und von Aufzeichnungen einer Highspeed-Kamera stammen. Die Daten bestätigen, dass die bisherige mathematische Modellrechnung für die Flussgeschwindigkeit in Schwerelosigkeit aufrecht erhalten werden kann. Rund um die Uhr und sieben Tage die Woche arbeiteten die Wissenschaftler vom ZARM und der Portland State University an der Umsetzung des Experiments. Für die zweite Hälfte wollen die Forscher die Abläufe optimieren. Dabei wollen sie die Erfahrungen aus dem bisherigen Missionsablauf nutzen. Beispielsweise soll die Software der Bodenstation leicht modifiziert werden, um noch mehr Datenpunkte gewinnen zu können.

Bilaterale Kooperation

Dieses Projekt ist eine bilaterale Kooperation zwischen dem DLR und der US-amerikanischen Weltraumbehörde NASA, die im Februar 2007 in Kraft trat. Die US-Seite ist für den Transport der Apparatur zur ISS, deren dortigen Betrieb und das Astronautentraining verantwortlich. Deutschland stellt die Apparatur für den Bordeinsatz, die von der Firma EADS Astrium in Friedrichshafen gebaut wurde, sowie ein Ingenieurs- und Trainingsmodell zur Verfügung.

Auch in der Forschung kooperieren beide Länder: Nachdem der Aufbau und die Inbetriebnahme noch vom NASA-Stützpunkt Marshall Space Flight Center (MSFC) in Huntsville, Alabama, koordiniert wurde, steuert die Bodenkontrollstation des ZARM in Bremen vollständig die Versuche im weiteren Verlauf des Experimentes. Wissenschaftler der Portland State University (PSU) und des ZARM führen mit Hilfe der Astronauten auf der ISS die strömungstechnischen Experimente durch.

Dr. Rainer Forke betreut das CCF-Projekt in der Abteilung Forschung unter Weltraumbedingungen des DLR Raumfahrtmanagements.

Data import supports model calculation

On the ISS, a high-resolution camera records images of the open test channel. Following that, the processed and compressed data are transmitted directly to ZARM's CCF team, to be used by the investigators to prepare the next test run. The team can send its control commands directly to the ISS and watch the progress of the experiment. New test results appear on the researchers' screens daily. Each test sequence is recorded for a period of up to 25 seconds.

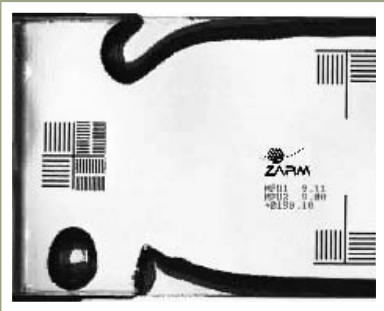
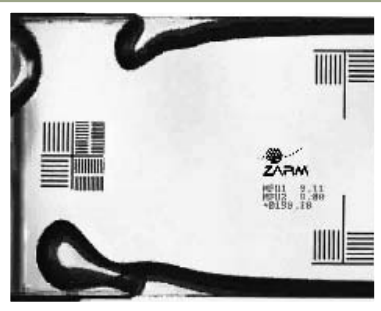
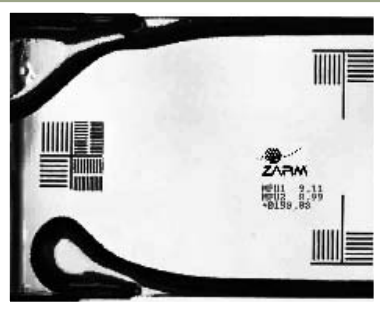
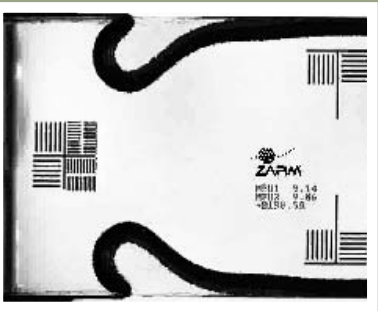
The CCF-Team has so far collected more than 900 data sets, based on telemetric measurements and images recorded by a high-speed camera. The data confirms that the mathematical model developed for computing flow rates is correct. Scientists from ZARM and Portland State University worked around the clock, seven days a week, to implement the experiment. In the second half of the experiment, researchers intend to optimise test sequences, using the experience gained from the mission so far. One case in point is a slight modification of the ground station software to provide even more data points.

Bilateral cooperation

The project is conducted as part of a bilateral cooperation arrangement between DLR and the US space agency, NASA, which came into force in February 2007. The American side is responsible for the transport of the apparatus to the ISS, its on-board operation and the training of the astronauts. Germany contributes the on-board apparatus itself, which was built by EADS Astrium in Friedrichshafen, and provides a model for engineering and training purposes.

The two countries also cooperate on research: while the construction and commissioning was still coordinated by Marshall Space Flight Center (MSFC), NASA's base at Huntsville, the commanding for all further tests is now with ZARM's Bremen-based ground control station. Scientists from both Portland State University (PSU) and ZARM, assisted by ISS astronauts, carry out the flow experiments.

Dr Rainer Forke is responsible for the CCF project in the Research under Space Conditions department of the DLR Space Administration.



Deutsche Raumfahrt-Missionen

Teil 4: Einstieg in die Satellitenkommunikation – Symphonie

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 und ist so 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 die Bundesrepublik national, europäisch und international. Diese Artikelserie stellt wegweisende historische Missionen der deutschen Raumfahrt-Geschichte vor.

German Space Missions

Part 4: The First Step in Satellite Communications – Symphonie

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 and including exploration of space as well as 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, the Federal Republic 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.

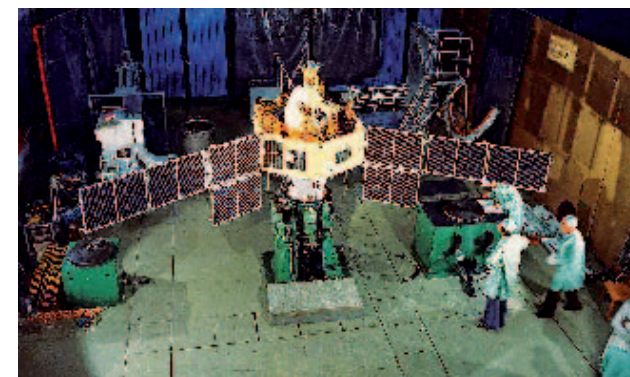
Symphonie – ein Satellit, der aus der ersten europäischen bilateralen Mission entstand (MBB)

Symphonie – a satellite emerged from the first bilateral Mission in Europe (MBB)

Beginn deutsch-französischer Weltraum-Kooperation

Ende 1966 geriet die europäische Raumfahrt in ihre erste große Krise. Neben politischen Differenzen zwischen Frankreich und Großbritannien waren hierfür vor allem unkontrollierte Kostensteigerungen bei fast allen Vorhaben verantwortlich. Der Kostendruck erschwerte somit auch das Projekt eines europäischen Kommunikationssatelliten. Parallele nationale Anstrengungen in Deutschland (Olympia) und Frankreich (Sargos), Kompetenzen in diesem Raumfahrtsektor zu erlangen, scheiterten ebenfalls an den Kosten. Als Lösung zeichnete sich ein bilaterales Projekt zwischen den beiden Nationen ab, das sowohl technologisch als auch politisch sinnvoll erschien: Der deutsch-französische Freundschaftsvertrag von 1963 unterstützte die vertrauensvolle Zusammenarbeit beider Nationen auch auf dem Gebiet der Weltraumforschung.

Die zuständigen Ministerien verständigten sich Anfang 1967 auf die gemeinsame Kommunikationssatellitenmission „Symphonie“ sowie die Errichtung von zwei Erdfunkstellen. Am 6. Juni schlossen sie ein Regierungsabkommen ab, das ihre nationalen Raumfahrtkapazitäten stärken sollte.



Symphonie im Bau (MBB)

Symphonie in construction (MBB)

Mehr Souveränität durch Satellitenkommunikation

„Symphonie“ führte zu Ressentiments in den europäischen Partnerstaaten. Zum ersten Mal entfernten sich die Interessen und finanziellen Möglichkeiten der großen Staaten von denen der kleineren in Form eines bilateralen Projekts. Es sollte die Basis für eine fortwährende politische, wissenschaftliche und industrielle Partnerschaft zwischen Deutschland und Frankreich in der Raumfahrt bilden. Durch „Symphonie“ wurde das bereits mit der Trägerrakete Europa begründete Schema der national vorbereiteten und später europäisierten Programme fortgeführt: „Symphonie“ hatte maßgeblichen Einfluss auf die etwas später einsetzende Entwicklung des ESRO (European Space Research Organisation, heute ESA)-Kommunikationssatelliten OTS („Orbital Test Satellite“).

„Symphonie“ setzte die Bemühungen der Bundesregierung um einen nationalen Kommunikationssatelliten für die Fernsehübertragung der XX. Olympischen Sommerspiele 1972 in München fort. Das Projekt fügte sich zudem eng in die Konzeption von Bundeskanzler Kurt Georg Kiesinger ein, die deutsch-französischen Beziehungen durch bilaterale Zusammenarbeit weiterzuentwickeln. Dies war im Bereich des Satellitenbaus besonders attraktiv, da es der Bundesrepublik in Kooperation mit der fortgeschrittenen französischen Raumfahrttechnologie ermöglichte, technologisch aufzuholen. Mit „Symphonie“ wurde aber auch der politische Wille Bonns bekräftigt, der nationalen Raumfahrt einen eigenständigen Charakter zu verleihen.

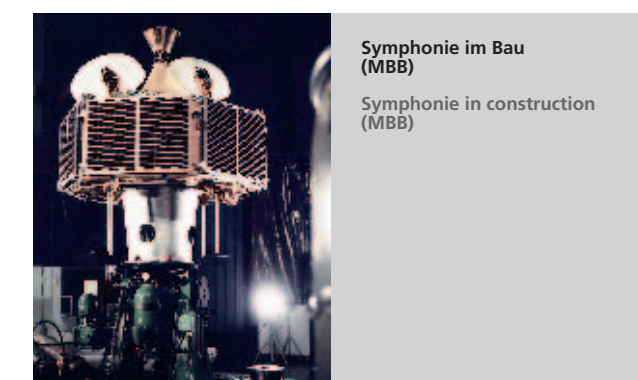
Vernetzte deutsch-französische Organisation

Die Leitung des gut 550 Millionen D-Mark (275 Millionen Euro) teuren, paritätisch finanzierten Unternehmens übernahmen ein Direktionsrat sowie ein Exekutivausschuss. Für die Auftragsvergabe und Durchführung des Vorhabens zeichneten auf deutscher Seite die Gesellschaft für Weltraumforschung (GfW), später die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raum-

The beginnings of Franco-German cooperation in space flight

The first severe crisis in European space flight came about at the end of 1966. Next to political disagreements between France and Great Britain, runaway increases in the cost of almost all projects bore most of the responsibility. It was the resultant cost pressure which obstructed the project of an European communications satellite. Endeavours to build up competence in this sector of space technology that were undertaken in parallel by Germany (Olympia) and France (Sargos) similarly failed because of their cost. The solution that began to emerge was a bilateral project between the two nations which made sense in technological as well as political terms: space research was one of the fields in which the Franco-German friendship treaty of 1963 stipulated trustful cooperation.

Early in 1967, the ministries concerned reached an understanding on a joint communications satellite mission called ‘Symphonie’ and the establishment of two ground-based radio stations. On June 6, they concluded an intergovernmental agreement to strengthen their national space capacities.



Symphonie im Bau (MBB)

Symphonie in construction (MBB)

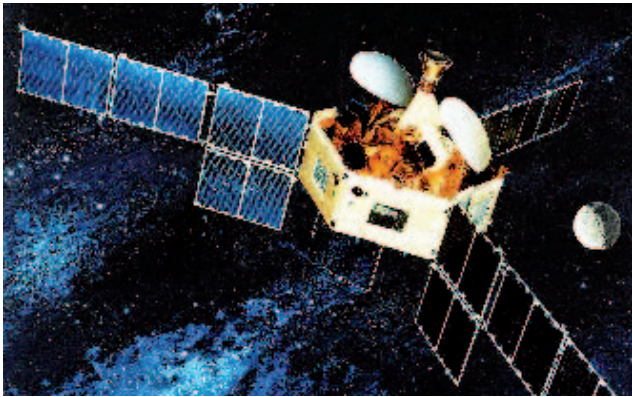
Greater sovereignty through satellite communications

‘Symphonie’ stirred up resentment among the European partner nations. For the first time, a bilateral project set the interests and financial resources of the major countries apart from those of the smaller countries. The project was to lay the foundation for an enduring political, scientific, and industrial partnership in space flight between the central European powers of Germany and France. ‘Symphonie’ continued the pattern of preparing programmes nationally and Europeanising them later on that had been set by the Europa launcher. ‘Symphonie’ crucially influenced the development of a communications satellite called OTS (Orbital Test Satellite) by the ESRO (European Space Research Organisation, today: ESA) which began some time later.

‘Symphonie’ was part of the efforts of the Federal Government to obtain a national communications satellite for broadcasting the 20th Olympic Summer Games in Munich in 1972 on television. Moreover, the project fitted in closely with Federal Chancellor Kurt Georg Kiesinger’s concept of developing Franco-German relations through bilateral cooperation. In the field of satellite construction, this was a particularly attractive notion as cooperating with the advanced space technology of France would enable the Federal Republic to catch up. However, ‘Symphonie’ also affirmed the government’s political will to give the country’s national space flight an independent character.

A networked Franco-German organisation

Financed on a parity basis, in the end, the cost was more than 550 million Deutschemarek (about 275 million Euros). The project was managed by a council of directors and an executive committee. On the German side, the Society for Space Science (GfW) and later the German Aerospace Research and Development Organisation (DFVLR, today: DLR) were responsible for



fahrt (DFVLR, heute DLR) verantwortlich. Der französische Partner war das „Centre National d’Études Spatiales“ (CNES). Das Projektbüro wurde im französischen Raumfahrtzentrum Bretigny eingerichtet.

Die Projektdefinition und Entwicklung der Funktionsmodelle, des Prototypen sowie der beiden Satelliten übernahm das deutsch-französisches Konsortium CIFA („Consortium Industriel Franco-Allemande pour le Satellite Symphonie“). Diesem gehörten aus Deutschland MBB, Siemens und AEG-Telefunken an, aus Frankreich Aerospatiale, Thomson-CSF und SAT.

Schwierige transatlantische Partnerschaft

Mit den ersten, in allen drei Achsen stabilisierten, zivilen Kommunikationssatelliten erarbeiteten sich Deutschland und Frankreich eine Wettbewerbsposition gegenüber den USA. Über drei Viertel der elektronischen Komponenten des „Symphonie“-Programms wurden in Europa gefertigt, nur knapp 25 Prozent kamen aus den USA. Der eigenständig entwickelte Apogäums-Motor, der die Flugkörper auf ihre geostationäre Umlaufbahn brachte, funktionierte reibungslos. Mit ihrem passiven Wärmehaushalt, dem Heißgas-Düsen-system zur Lageregelung, dem Sonnengenerator sowie den komplizierten Sensoren konnten zukunfts-trächtige Technologien im nahen Orbit erprobt und erstmals eigenständig Bahn- und Lagemanöver geostationärer Satelliten präzise durchgeführt werden. „Symphonie“ verfügte mit seinen 244 Kilogramm Gewicht über 600 Telefonkanäle oder zwei Farbfernsehkana-le.

„Symphonie“ war ein Erfolg für Deutschland und Frankreich, für Europa jedoch keineswegs. Ursprünglich hätten beide Satelliten bereits in den Jahren 1970/71 von einer Europa 2-Trägerrakete gestartet werden sollen. Doch zum einen verzögerte sich das Satelliten-Projekt – neben technischen Problemen auch aufgrund von Kürzungen im französischen Raumfahrtbudget im Jahr 1969. Zum anderen wurde das Entwicklungsprogramm der Europa-Rakete im April 1973 eingestellt. Daraufhin begonnene Verhandlungen mit den USA und Comsat über den Ankauf von Thor-Delta-Raketen und deren Start von Cape Canaveral konnten zwar im Juni 1974 abgeschlossen werden, mussten aber erhebliche politische Hürden überwinden. Denn in den Augen der US-Regierung stellten bereits die experimentellen europäischen Kommunikationssatelliten eine potenzielle Bedrohung für das amerikanisch dominierte INTELSAT-Konsortium dar. Weil „Symphonie“ mit einem amerikanischen Träger gestartet wurde, konnte die USA durchsetzen, dass keiner der „Symphonie“-Satelliten kommerziell genutzt werden würde.

Wie kritisch „Symphonie“ seitens der US-Regierung gesehen wurde, zeigt auch ein anderes Detail der transatlantischen Zusammenarbeit: Den Europäern wurde zugesichert, die zum Ausrichten der Antennen notwendigen Infrarot-Horizontsensoren zu liefern, dazu kleine Steuerraketen zur Lagestabilisierung des Satelliten. Vier Wochen vor dem vereinbarten Liefertermin wurde die Vereinbarung von Seiten des Department of Commerce – nicht der NASA – rückgängig gemacht.



Die Mission Symphonie wurde in Deutschland als Briefmarke der Serie Industrie und Technik der Deutschen Bundespost verewigt. (Deutsche Bundespost)

In Germany, the Symphonie mission was eternalised in the stamp series 'Industry and Technology' of the Deutsche Bundespost. (Deutsche Bundespost)

awarding orders and implementing the project. The French partner was the Centre National d’Études Spatiales (CNES). The project office was set up at the French space centre of Bretigny.

The definition of the project and the development of the functional models, the prototype, and the two satellites was handled by the Franco-German CIFA consortium (Consortium Industriel Franco-Allemande pour le Satellite Symphonie). Its German members included MBB, Siemens, and AEG-Telefunken, while France was represented by Aerospatiale, Thomson-CSF, and SAT.

A troubled transatlantic partnership

Having constructed the first triaxially stabilised civilian communications satellites, Germany and France now held a position of their own in competition with the USA. More than three quarters of the electronic components for the ‘Symphonie’ programme were made in Europe; only a scant 25 per cent came from the USA. The independently-developed apogee engine which put the satellites into their geostationary orbit worked without a hitch. The satellites’ passive heat balance, their hot-gas jets for attitude control, their solar generators, and their complicated sensors represented enabling technologies which were tested in orbit and facilitated precise orbit and attitude manoeuvres for the first time. Weighing 244 kilogrammes, ‘Symphonie’ had a capacity of 600 telephone channels or two colour-TV channels.

‘Symphonie’ was a success for Germany and France but not at all for Europe. Originally, the two satellites should have been launched on Europa 2 rockets as early as 1970/71. On the one hand, however, the satellite project was delayed not only by technical problems but also by cuts made in the French space budget in 1969. On the other hand, the development programme of the Europa rocket was cancelled in April 1973. The negotiations that were subsequently begun with the USA and Comsat about purchasing Thor Delta rockets to be launched from Cape Canaveral were successfully concluded in June 1974, although considerable political hurdles had to be jumped before that: in the view of the US government, even Europe’s experimental communications satellites represented a potential threat to the American-dominated INTELSAT consortium. Because ‘Symphonie’ was started on an american launcher the USA could achieve that non of a ‘Symphonie’ satellite would be used commercially.

There is another detail of transatlantic cooperation which shows how critically the US government viewed ‘Symphonie’. The Europeans were assured that the infrared horizon sensors needed to pinpoint the antennas as well as the small attitude control jets required for stabilising the satellites would be supplied. Four weeks before the agreed delivery date, the agreement was annulled by the Department of Commerce, not by NASA.



Ein wichtiges Ziel konnte nicht erreicht werden: Die Olympischen Spiele 1972 in München wurden nicht mit „Symphonie“ übertragen. (dpa)

One important goal was missed: The Olympic Games 1972 in Munich could not be broadcast by ‘Symphonie’. (dpa)

Technologisches Meisterstück

Lange nachdem die Olympischen Spiele mit Hilfe von Satelliten der Kategorie INTELSAT IV weltweit übertragen worden waren, startete eine erste Thor-Delta-Rakete „Symphonie“ 1 am 19. Dezember 1974, „Symphonie“ 2 folgte am 27. August 1975. Sie absolvierten ein erfolgreiches Testprogramm für die Übertragung von Ton- und Fernsehsendungen, Ferngesprächen, Fernschreiben und Daten über den Gebieten Europas, Nordafrikas, des Nahen Ostens sowie den östlichen Regionen von Nord- und Südamerika. Zu diesem gehörte unter anderem ein zur Demonstration möglicher Anwendungen geführtes Gespräch zwischen Bundeskanzler Helmut Schmidt und Staatspräsident Valéry Giscard d’Estaing im Januar 1975. Auch die Fernsehübertragung des Starts der sowjetischen Sojus-Mannschaft im Rahmen des amerikanisch-sowjetischen Apollo-Sojus-Programms erfolgte über „Symphonie“.

Die getestete Technologie erwies sich als erfolgreich und hätte durchaus in die kommerzielle Nutzung überführt werden können. Hierfür sprach neben der Verwendung der Satelliten für den globalen Katastrophenschutz und der Telefon- und Rundfunkausstrahlung nach Afrika auch das rege Interesse beispielsweise der indischen, chinesischen und iranischen Regierung an eigenen Versuchen mit Hilfe von „Symphonie“. Etwa 120 Nutzungen in 35 Ländern mit mehr als 60 Erdfunkstellen war die Bilanz des Programms. Eine kommerzielle Nutzung war aber durch die Unterzeichnung des Abkommens mit den USA ausgeschlossen. Dieser Vorfall schärfte jedoch den Willen in Frankreich, unterstützt von Deutschland, auf dem Weg der Entwicklung eines eigenständigen europäischen Satellitenträgers fortzufahren. Mit Erfolg: Am 24. Dezember 1979 startete die erste Ariane-Rakete vom europäischen Weltraumbahnhof in Kourou.

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

Kerndaten Symphonie	
Beschluss	6. Juni 1967 (deutsch-französisches Regierungsabkommen)
Start Symphonie-I	19. Dezember 1974
Start Symphonie-II	27. August 1975
Startbasis	Cape Canaveral (USA)
Träger	Thor-Delta
Masse	244 Kilogramm
Kapazität	600 Telefonkanäle oder zwei Farbfernsehkana-le
Missionsende	19. Februar 1983/Dezember 1985
Kosten	circa 550 Millionen D-Mark (275 Millionen Euro)

A technological masterpiece

Long after the Olympic Games had been broadcast worldwide by satellites belonging to the INTELSAT IV category, ‘Symphonie’ 1 was launched on a Thor Delta on December 19, 1974, with ‘Symphonie’ 2 following on August 27, 1975. Both successfully ran through a programme to test their capability to transmit radio and TV broadcasts, long-distance calls, telexes, and data above Europe, North Africa, the Middle East, and the Eastern regions of North and South America. One of the tests intended to demonstrate possible applications was a conversation between Federal Chancellor Helmut Schmidt and the French president, Valéry Giscard d’Estaing, in January 1975. ‘Symphonie’ also transmitted the television broadcast of the Soviet Soyuz crew take-off under the American-Soviet Apollo-Soyuz programme.

The technology tested was proved successful and might well have been developed for commercial exploitation. The arguments in favour of this option included not only the possible use of the satellites for global disaster protection as well as telephone and radio communications with Africa but also the lively interest displayed by, for example, the Indian, Chinese, and Iranian governments in using ‘Symphonie’ to conduct their own experiments. The record of the programme shows about 120 applications in 35 countries with more than 60 ground-based radio stations. However, the agreement with the USA ruled out any commercial exploitation. Yet the incident did serve to enhance the political will of France, supported by Germany, to go on with the development of an independent European satellite launcher, which was crowned with success when the first Ariane rocket took off from the European space port of Kourou on December 24, 1979.

Dr Niklas Reinke works as a politologist and historian for the Space Strategies and Programmes department of DLR Space Administration.

Symphonie’s key data	
Decision	June 6, 1967 (Franco-German intergovernmental agreement)
Launch of Symphonie-I	December 19, 1974
Launch of Symphonie-II	August 27, 1975
Launch base	Cape Canaveral (USA)
Launcher	Thor Delta
Mass	244 kilogrammes
Capacity	600 telephone channels or two colour-television channels
End of mission	February 19, 1983/December 1985
Cost	circa 550 Million D-Mark (275 million Euro)

Raumfahrtkalender

Termin Ereignis

2011

30. Mai-10. Juni	17. DLR-Parabelflug von Bordeaux (Frankreich) in Kooperation mit ESA und CNES, Flug von Mars- und Mondparabeln
7. Juni	Start Sojus 27S von Baikonur (Kasachstan, Versorgung ISS)
20.-26. Juni	International Paris Air Show (Le Bourget, Frankreich)
21. Juni	Start Progress 43P von Baikonur (Versorgung ISS)
28. Juni	Start STS-135, Space Shuttle Atlantis von Cape Canaveral (Florida, USA, voraussichtlich letzter Flug eines Space Shuttle)
29. Juni	Start einer Ariane 5ECA mit den Satelliten Astra 1N und BSAT-3c von Kourou (Französisch-Guyana)
2. Halbjahr	Start Expert-Kapsel mit Wolna-Rakete von einem U-Boot im Pazifik
Juli	Start Sojus mit deutschem Kleinsatellit TET-1 (OOV-Programm) von Baikonur
Juli	Stratosphären-Observatorium SOFIA: sieben bis zehn Basic-Science-Flüge mit deutschem Instrument GREAT
15. Juli	Start SpaceX-Träger Falcon 9 (Demo 2) von Cape Canaveral
21. Juli	Ankunft Dawn-Sonde am Asteroiden Vesta
August	Start Zenit von Baikonur: Russischer Satellit Spektr-R mit deutschem Space Debris Detector, FhG Freiburg (OOV-Programm)
16.-21. August	MAKS 2011 (Internationale Messe für Luft- und Raumfahrt in Moskau)
30. August	Start Progress 44P von Baikonur (Versorgung ISS)
September	Erststart Trägerrakete Vega von Kourou
September/Oktober	Start Raumfahrzeug Shefex von Andoya Rocket Range (Norwegen)
5.-19. September	18. DLR-Parabelflug in Bordeaux und Köln mit zwei Demonstration Flights
8. September	Start der beiden NASA-Mondorbiter GRAIL mit Delta-2 von Cape Canaveral
16.-21. September	Besuch des Stratosphären-Obervatoriums SOFIA in Köln (Tag der Luft- und Raumfahrt) und Stuttgart
30. September	Start Sojus 28S von Baikonur (Versorgung ISS)
Oktober	Erster Start einer Sojus 2 Fregat von Kourou mit zwei Galileo-Satelliten
Oktober	Studenten-Ballon-Kampagne BEXUS 12/13 von Esrange (Nordschweden)
8. Oktober	Start Falcon 9 (Demo 3) von Cape Canaveral
26. Oktober	Start Progress 45P von Baikonur (Versorgung ISS)
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
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
30. November	Start Sojus 29S von Baikonur (Versorgung ISS)
Dezember	Start einer Sojus 2-1a Fregat von Kourou mit dem französischen Erderkundungssatelliten Pleiades-HR 1
Dezember	Start ISS-Modul "MLM Nauka" mit Proton von Baikonur
7. Dezember	Start Falcon 9 von Cape Canaveral, erster ISS-Versorgungsflug
14. Dezember	Start Taurus II (Demo 1) von Cape Canaveral
27. Dezember	Start Progress 46P von Baikonur (Versorgung ISS)

2012

1. Quartal	Start Sojus 2-1b Fregat von Kourou mit zwei Galileo IOV-Satelliten
Mitte Januar bis Mitte Februar	Erste Startkampagne WADIS (IAP) von Andoya Rocket Range mit einer Nike-Improved-Orion Höhenforschungsrakete und zwölf kleinen Loki-Datasonden
20. Januar	Start Raumtransporter HTV-3 "Kounoton-3" vom japanischen Raumfahrtzentrum Tanegashima
29. Februar	Start europäischer Raumtransporter ATV-3 "Edoardo Amaldi" mit Ariane 5 von Kourou

Space Calendar

Date Event

2011

May 30-June 10	17 th DLR Parabolic Flight Campaign from Bordeaux (France) in cooperation of ESA and CNES, flight of Mars und Moon parabola
June 7	Launch of Soyuz 27S from Baikonur (Kazakhstan, ISS logistics)
June 20-26	International Paris Air Show (Le Bourget, France)
June 21	Launch of Progress 43P from Baikonur (ISS logistics)
June 28	Launch of STS-135, Space Shuttle Atlantis from Cape Canaveral (Florida, USA, presumably last flight of a Space Shuttle)
June 29	Launch of Ariane 5ECA from Kourou (French Guiana); carrying a Astra 1N satellite and a BSAT-3c
2 nd half of the year	Launch of Expert capsule with a Wolna rocket from a submarine in the Pacific area
July	Launch of Soyuz from Baikonur; carrying the small German TET-1 satellite (OOV programme)
July	Stratosphere observatory SOFIA: seven to ten basic-science flights; carrying the German instrument GREAT
July 15	Launch of SpaceX rocket Falcon 9 (Demo 2) from Cape Canaveral
July 21	Arrival of the Dawn probe at the asteroid Vesta
August	Launch of Zenit from Baikonur: Russian Satellite Spektr-R; carrying the German Space Debris Detector of the FhG Freiburg (OOV programme)
August 16-21	MAKS 2011 (International fair for aerospace in Moscow, Russia)
August 30	Launch of Progress 44P from Baikonur (ISS logistics)
September	First Launch of a Vega rocket from Kourou
September/October	Launch of the space vehicle Shefex from Andoya Rocket Range (Norway)
September 5-19	18 th DLR Parabolic Flight campaign in Bordeaux and Cologne with two demonstration flights
September 8	Launch of Delta-2 rocket from Cape Canaveral; carrying both of the NASA moonorbiters GRAIL
September 16-21	Visit of the stratospheric observatory SOFIA in Cologne (German Aerospace Day) and Stuttgart
September 30	Launch of Soyuz 28S from Baikonur (ISS logistics)
October	First Launch of a Soyuz 2 Fregat from Kourou; carrying two Galileo probes
October	Student balloon campaign BEXUS 12/13 from Esrange (North of Sweden)
October 8	Launch of Falcon 9 rocket (Demo 3) from Cape Canaveral
October 26	Launch of Progress 45P from Baikonur (ISS logistics)
November/December	Launch of the Russian Phobos-Grunt probe with a Zenit/Fregat rocket from Baikonur to the Mars moon Phobos; carrying the Mössbauer spectrometer of Mainz University
November 3	Launch of the sounding rocket TEXUS 48 (DLR/ESA) from Esrange; carrying three Experiments, one from Germany
November 25	Launch of the NASA mission Mars Science Laboratory (MSL) from Cape Canaveral; carrying the German dosimeter RAD of Kiel University and the DLR Cologne
November 30	Launch of Soyuz 29S from Baikonur (ISS logistics)
December	Launch of Soyuz 2-1a Fregat from Kourou; carrying the French Pleiades-HR 1 Earth observatory probe
December	Launch of the Proton from Baikonur, carrying the ISS module 'MLM Nauka'
December 7	Launch of Falcon 9 from Cape Canaveral; first ISS logistic flight
December 14	Launch of Taurus II (Demo 1) from Cape Canaveral
December 27	Launch of Progress 46P from Baikonur (ISS logistics)

2012

1 st Season	Launch of Soyuz 2-1b Fregat from Kourou; carrying two Galileo IOV satellites
Mid of January till mid of February	First campaign of WADIS (IAP) from Andoya Rocket Range on a Nike-Improved-Orion sounding rocket; carrying also twelve small Loki data probes
January 20	Launch of transport vehicle HTV-3 'Kounoton-3' from the Japanese space port Tanegashima
February 29	Launch of Ariane 5 from Kourou; carrying the European Automated Transport Vehicle ATV-3 'Edoardo Amaldi'

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-Agentur 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 15 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.900 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Impressum

Newsletter COUNTDOWN – Aktuelles aus dem
DLR Raumfahrtmanagement
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: Druckerei Thierbach,
45478 Mülheim an der Ruhr

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

Titelbild: ESA

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:



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 Aeronautics, Space, Energy, Transport and Security is integrated into national and international cooperative ventures. As Germany's space agency, DLR has been given responsibility for the forward planning and the implementation of the German space 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 6,900 people are employed at 15 locations in Germany: Cologne (headquarters), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, 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: Druckerei Thierbach,
45478 Mülheim an der Ruhr, Germany

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

Cover picture: ESA

ISSN 2190-7072

Reprint with approval of publisher and with refer-
ence to source only. Printed on environ-
ment-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,
distribution free of charge.

Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag