

## Alphasat I-XL – Satellitenkommunikation startet in eine neue Ära

## Alphasat I-XL – Satellite Communication Taking off into a New Era

Seite 8 / page 8

A large, detailed image of Earth from space, showing continents and clouds. Several satellites are depicted in various orbits around the planet. Red lines connect the satellites to specific locations on Earth, representing communication links. One satellite in the foreground is a large dish antenna.

**Vom Assistenten zum hochspezialisierten Facharbeiter**  
From Humble Assistant to Skilled Space Engineer 14

**SoziRob – Mensch und Roboter meistern Isolation**  
SoziRob – Humans and Robots Mastering Isolation 18

**WADIS – Dem Seegang der Mittleren Atmosphäre auf der Spur**  
WADIS – Rough Seas in the Middle Atmosphere 22

**Planck – Folgt Herschel in den Ruhestand**  
Planck – Following Herschel into its Retirement 26

**ModuLES – Zukunft der Lebenserhaltung im All**  
ModuLES – The Future of Life Support in Space 30

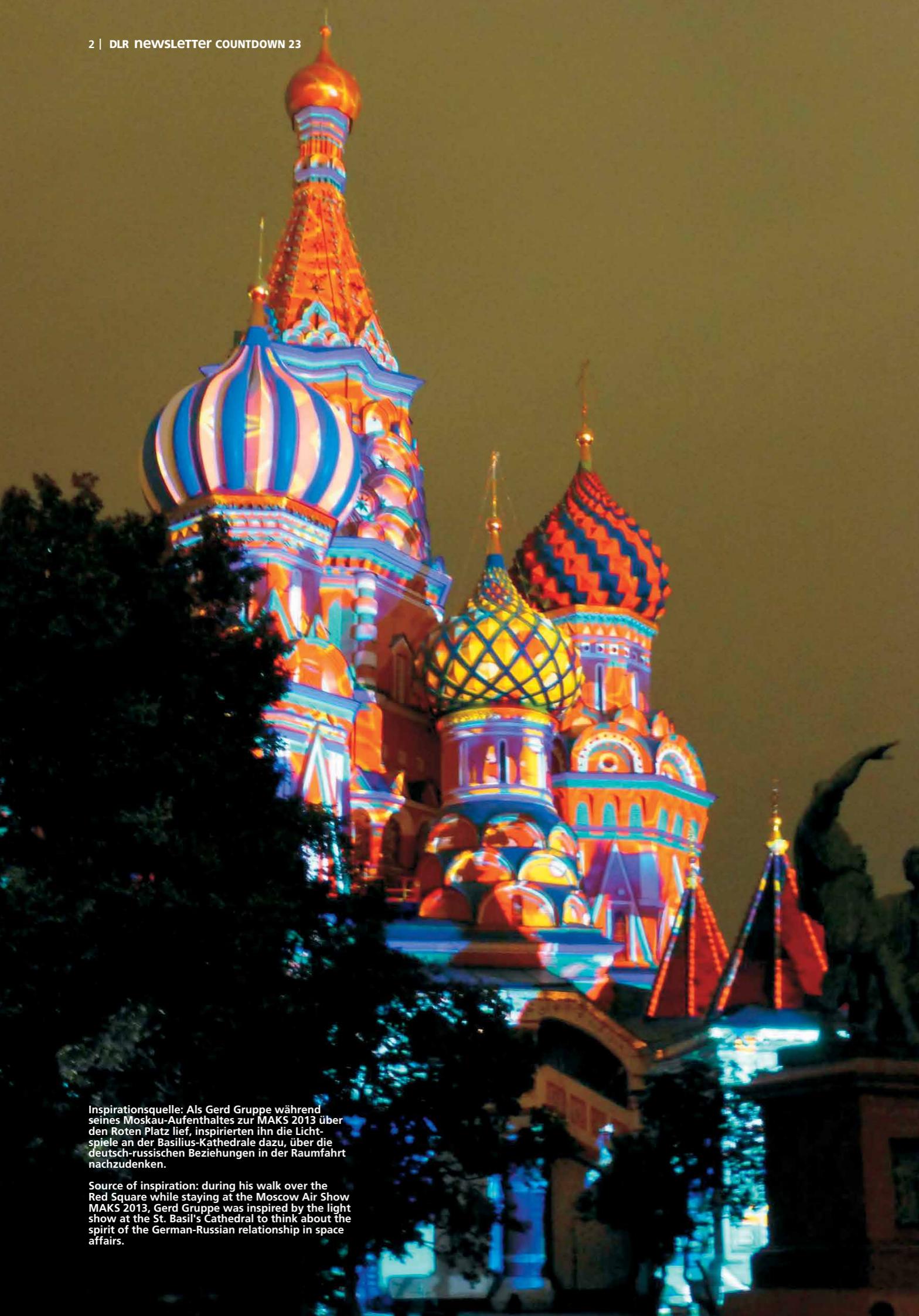
**Salz – Das „weiße Gold“ im Raumfahrtprogramm**  
Salt – Space Life Sciences Programme Examines the Role of 'White Gold' 36

**ASE – Besuch aus dem Weltraum**  
ASE – Visitors from Outer Space 40

**Normung – Raumfahrt ordnen und Kosten senken**  
Standardisation – Creating Order in Space Technology to Cut Costs 44

**KMU – Wegbereiter der Raumfahrt – Teil 6**  
SMEs – Trailblazers in the Space Sector – Part 6 48

**Raumfahrtkalender**  
Space Calendar 52



**Inspirationsquelle:** Als Gerd Gruppe während seines Moskau-Aufenthaltes zur MAKS 2013 über den Roten Platz lief, inspirierten ihn die Lichtspiele an der Basilius-Kathedrale dazu, über die deutsch-russischen Beziehungen in der Raumfahrt nachzudenken.

**Source of inspiration:** during his walk over the Red Square while staying at the Moscow Air Show MAKS 2013, Gerd Gruppe was inspired by the light show at the St. Basil's Cathedral to think about the spirit of the German-Russian relationship in space affairs.



**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,**

in der letzten Augustwoche war das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt zum fünften Mal zu Gast auf der MAKS, dem Moskauer Aerosalon. Die deutsch-russische Freundschaft hat eine lange Tradition und in der Raumfahrt gibt es ein breites Spektrum der Zusammenarbeit. Dieses reicht vom Mitflug deutscher Astronauten über die gemeinsame Nutzung der Internationalen Raumstation ISS bis zu russischen Startdienstleistungen für deutsche Satellitenvorhaben. Ein besonderer Schwerpunkt der Zusammenarbeit ist die wissenschaftliche Kooperation mit dem Moskauer Institut für biomédizinische Probleme (IBMP) – zum Beispiel bei der großen Isolationsstudie Mars 500.

Auf der MAKS konnten wir viele Gespräche mit unseren russischen Partnern führen. Diese haben deutlich gemacht, welch großes gegenseitiges Interesse an Zusammenarbeit besteht. Für Russland bleibt Deutschland wegen seiner technologischen Kompetenz – vor allem in den Bereichen Robotik, Erdbeobachtung und wissenschaftlichem Gerät – ein fragrater Partner.

Doch dabei wollen wir nicht stehenbleiben. Erst vor wenigen Wochen endete das deutsch-russische Jahr der Kunst und Wissenschaft, das unter dem Motto stand „Gemeinsam die Zukunft gestalten“. Hier müssen wir anknüpfen und die deutsch-russische Zukunft der Raumfahrt gestalten. Wie in vielen anderen Bereichen auch, ist Deutschland in der Raumfahrt „Mittelmacht“. Das heißt, wir verfügen über erhebliche Sachkompetenz und Fähigkeiten in vielen Bereichen, benötigen aber auch die Kooperation zur Ergänzung. Mein Eindruck aus den vielen persönlichen Begegnungen in Moskau war, dass uns die russischen Partner mit ihren breit gefächerten, vielfältigen Kompetenzen offene Hände entgegenstrecken. Diese Hände müssen wir ergreifen, um das Kooperationspotenzial wirklich zu heben. Ich sehe hier insbesondere einen Ausbau der wissenschaftlichen Tätigkeiten – natürlich vor allem auf der ISS. Deutschland als europäischer Hauptbeitragszahler für die Nutzung der ISS hat hier ein sehr starkes Interesse.

Darüber hinaus gibt es Interessen an deutschen Kompetenzen der optischen und nicht optischen Erdbeobachtung. Hier könnte sich für deutsche Unternehmen ein großer Markt eröffnen. Gerade wegen deutscher Spezialkompetenzen sehe ich hier auch ein erhebliches Potenzial für deutsche KMU. Hier kann das DLR ein wichtiger Wegbereiter sein, um deutsche und russische Kompetenzen zu verknüpfen. Deshalb sollten wir den gelegten Faden des vergangenen deutsch-russischen Kooperationsjahres aufgreifen und als nächstes ein deutsch-russisches Jahr der Wissenschaft und Technik wagen. Hier könnte die deutsche Raumfahrt einen wichtigen Beitrag leisten.

Gute Inspiration durch diese COUNTDOWN-Ausgabe wünscht Ihnen

Gerd Gruppe

Wishing you good inspirations from reading this edition of COUNTDOWN, Yours

Gerd Gruppe

**Dear reader,**

The last week in August marks the fifth time the German Aerospace Center was a guest at Moscow's Aerospace Exhibition, MAKS. Russian-German friendship goes back a long time, and in the space sector there has been a long tradition of cooperation across a wide spectrum, ranging from German astronauts sharing a ride on Russian spacecraft, or working together on the International Space Station ISS, to Russian launch services for German satellite projects. A particular highlight of our collaboration has been our joint scientific research at the Moscow Institute for Biomedical Problems (IBMP) on projects like the big Mars500 isolation study.

At the MAKS, we were able to hold numerous conversations with our Russian partners. These talks demonstrated that there is great interest in cooperation on both sides. To Russia, Germany – with its technological competence particularly in the area of robotics, Earth observation and scientific equipment – remains an attractive partner.

But we shall not leave it at that. Only a few weeks ago the Russian-German Arts and Science Year ended, which had been held under the motto "Shaping the Future Together". This is where we ought to pick up the threads and shape the future of Russian-German cooperation in space. As in many other fields, Germany is one of the medium-sized powers in space, meaning that we have considerable knowledge and skills in many areas but require partners to cooperate with. From the many personal encounters I had in Moscow my impression is that our multifaceted competent Russian partners are meeting us with outstretched hands. We must take those hands in order to really lift this cooperation potential. I can see us extending collaboration between scientists – in particular, of course, on the ISS. Germany as Europe's biggest contributor to the ISS utilisation is highly interested in such opportunities.

Then again, there is an interest in Germany's capabilities in optical and non-optical Earth observation. This is where a vast market could unfold for German manufacturers. These might particularly include German SMEs with their high level of special skills. DLR could act as an important broker, bringing together German and Russian competencies. This is why we should pick up the connections made during the recent Russian-German Cooperation Year and try for a new venture, a Russian-German Year of Science and Technology. The German space sector could make an important contribution.

# Facing Space

Die Meinung unserer internationalen Partner

In dieser Ausgabe: ASI-Präsident Enrico Saggese

Enrico Saggese wurde im Juli 2009 zum Präsidenten der italienischen Raumfahrtagentur Agenzia Spaziale Italia (ASI) berufen. Zuvor lenkte er als stellvertretender Vizepräsident der Firma Finmeccanica S.p.A. die Geschicke der Raumfahrtsparte eines der größten Industriekonzerne Italiens.



Anlässlich der Eröffnung des neuen ASI-Hauptsitzes am 25. Juli 2012 in Rom gratulierte die ehemalige Verwaltungschefin der NASA, Lori Garver, Enrico Saggese zu einem besonderen Jubiläum: 20 Jahre fliegen italienische Astronauten nun schon in den Weltraum.

During the inauguration ceremony of the new ASI headquarters in Rome on July 25, 2012, the former NASA administrator Lori Garver congratulated Enrico Saggese on a special anniversary: Italian astronauts have been flying into space for 20 years.

**Zurzeit befindet sich der italienische Astronaut Luca Parmitano auf der ISS. Welche Bedeutung hat die bemannte Raumfahrt für Italien und das italienische Raumfahrtprogramm?**

Italien und insbesondere die italienische Weltraumagentur ASI haben der bemannten Raumfahrt seit Beginn der internationalen Zusammenarbeit sehr große Bedeutung beigemessen. Mit den Shuttle-Flügen wurde Italien erstmals Mitglied im exklusiven Club der Raumfahrtnationen. Entscheidende Weichen wurden 1998 mit der Gründung des Europäischen Astronauten-Körpers gestellt. In diesem Zusammenhang erwarb Italien durch das Abkommen mit der NASA über Mehrzweck-Logistikmodule (MPLM) auch Anspruch auf die Teilnahme an drei Kurzzeit- und drei Langzeitflügen. 2009 wurden hierfür Luca Parmitano und Samantha Cristoforetti von der ESA ausgewählt, zusätzlich zu den bisher vier italienischen Astronauten, die der italienischen Luftwaffe angehören. Italien ist im Rahmen einer bilateralen Kooperation zwischen ASI und der NASA an der Internationalen Raumstation ISS unter anderem durch seinen Beitrag zur Entwicklung der Logistikmodule Leonardo, Raffaello und Donatello beteiligt. Diese Module werden Material und Experimente von der Erde zur ISS und zurück transportieren und zudem als Wohneinheiten auf der ISS genutzt. Im Rahmen einer weiteren ESA-Kooperation beteiligte sich die ASI an der Entwicklung von Node 2 und Node 3, den Verbindungselementen zwischen den verschiedenen Druckmodulen der Station. Ferner war Italien an den ESA-Programmen zur Entwicklung des Labormoduls Columbus, des Automated Transfer Vehicle (ATV), der Rettungskapsel und der Beobachtungskuppel beteiligt. Die ASI wirkt wesentlich an den biowissenschaftlichen Projekten auf der ISS und in anderen Forschungsinstituten mit. Sie unterstützt mit großem Engagement die ISS und ihre Nutzung in der wissenschaftlichen Forschung und Technologieentwicklung. Dabei legt sie Wert darauf, auch künftig in enger Zusammenarbeit mit allen Partnern durch einen ständigen Optimierungsprozess die Betriebskosten weiter zu senken.

Positions of our International Partners

In this Edition: ASI President Enrico Saggese

In July 2009, Enrico Saggese was appointed president of Italy's space agency, Aggenzia Spaziale Italia (ASI). He previously headed the space division of one of Italy's largest industrial corporations, Finmeccanica S.p.A., of which he was a vice president.



Enrico Saggese ist Präsident der italienischen Raumfahrtagentur ASI.

Enrico Saggese is the president of the Italian space agency ASI.

**Currently, Italy's astronaut Luca Parmitano is on the ISS. How important is human spaceflight for Italy/the Italian space programme?**

Italy and ASI, in particular, have attributed a big importance to human spaceflight since the very beginning of international cooperation in spaceflight. Thanks to shuttle flights Italy enters in the exclusive club of astronauts. 1998 was a very important year with the decision to create the 'European Astronaut Corps' (EAC). In this context, Italy, through the Multi Purpose Logistic Module (MPLM) agreement with NASA, had also acquired the rights for three short duration flights and three long duration flights. In 2009, Luca Parmitano and Samantha Cristoforetti were selected by ESA, in addition to the four Italian astronauts belonging to the Italian Air Force. In particular, Italy has participated in the ISS through: the development, in an ASI/NASA bilateral cooperation, of three logistics Modules called Leonardo, Raffaello and Donatello which will transport materials and experiments from Earth to the ISS and back. They will also be used as habitation modules at the ISS; the development, through another agreement with ESA, of Nodes 2 and 3, the interconnecting elements among the various pressurised modules of the station; the participation in ESA programmes for the development of the Columbus Laboratory, the Automated Transfer Vehicle, the Crew Rescue Vehicle and the Cupola. ASI is also strongly involved in life sciences projects at ISS and other test facilities. ASI is strongly motivated and involved to support the ISS and its full scientific and application utilisation. ASI deems it important to continue to pursue, in strict conjunction with all partners, an optimisation process aimed at a further reduction of operation costs.



Die Vega ist die kleinste europäische Rakete für Satelliten, die im Auftrag der ESA seit 1998 entwickelt wurde. Der vierstufige Träger bringt bis zu 2,5 Tonnen in eine erdnahen Umlaufbahn. Ihren Erstflug hat sie am 13. Februar 2012 erfolgreich absolviert.

Vega is Europe's smallest satellite launcher. Its development was commissioned by ESA in 1998. The four-stage launcher can carry up to 2.5 tons into a near-Earth orbit. It successfully completed its maiden flight on February 13, 2012.

**Mit der Vega haben Sie eine erfolgreiche neue Trägerrakete gebaut. Können Sie uns einen Ausblick auf die Zukunft geben?**

Nach den ersten beiden erfolgreichen Vega-Flügen wird Italien alles tun, um an der Weiterentwicklung der Trägerrakete zu arbeiten und ihre Leistung weiter zu steigern. Ein erster Meilenstein in diesem Optimierungsprozess war beim zweiten Flug der Einsatz einer Steuerungs-Software, die komplett aus italienischer Hand kam. Als nächstes geht es um die zuverlässige Bereitstellung weiterer Subsysteme und Geräte und um die Reduzierung der Startkosten durch Senkung der Herstellungs- und vor allem der Betriebskosten. Bereits 2012 hat die ESA-Ministerratskonferenz in Italien einem neuen Programm zur Weiterentwicklung der Vega zugestimmt. Dieses VECEP-Programm umfasst verschiedene Elemente der aktuellen Trägerrakete, zum Beispiel ein verbessertes Triebwerk für die erste Stufe (P120) und möglicherweise eine neue Oberstufe, etc. Aber politisch gesehen war das wichtigste Ergebnis dieser Zustimmung zu VECEP die deutsche Unterstützung für das Programm.

**Inwiefern?**

Italien sieht in der Beteiligung der deutschen Industrie mit ihrer reichen Erfahrung und ihrem Know-how im Bereich der Trägerraketen einen echten Gewinn für das Programm, insbesondere für die erwähnte neue Oberstufe mit einem Triebwerk für Flüssigtreibstoff. Die neue Vega soll für eine Tragkraft von 2 bis 2,2 Tonnen ausgelegt sein; damit können kleinere geostationäre Satelliten auf 700 Kilometer in einen sonnensynchronen Orbit gebracht werden, von wo aus sie mit einem eigenen elektrischen Antrieb den geostationären Orbit erreichen. Dieses Ziel soll schrittweise erreicht werden, damit einerseits Produktion und Start der aktuellen Vega-Version reibungslos weiterlaufen und andererseits nach und nach einzelne Elemente der Trägerrakete wie zum Beispiel das Triebwerk der ersten Stufe, die zweite und die oberste Stufe ersetzt werden. Alle Weiterentwicklungen und Optimierungen der Rakete müssen so konzipiert werden, dass sie die Wettbewerbsfähigkeit der kleinen Trägerrakete Vega auf dem Weltmarkt stützen. Grundlegende Voraussetzung dafür ist ein hohes Maß an Produktionssynergien mit der künftigen neuen Schwerlast-Trägerrakete der ESA. Wenn dies gelingt, profitieren beide Trägerraketen durch einen geringeren Fixkostenanteil je produzierter Einheit und damit durch niedrigere Produktionskosten.

**Italy has built a successful new launcher, Vega. What are the perspectives?**

After the first two successful flights of Vega, Italy is committed to put in place all the measures to ensure the right continuation of the Vega life, including consolidation and improving of performance. A first important milestone of the consolidation process has been achieved with the utilisation in the second flight of an all-Italian guidance software. Further steps are foreseen to ensure the availability of other subsystems and equipment and in particular to reduce the launch service price by reducing production and above all operation costs. The last ESA ministerial council held in Italy in 2012 has approved a new programme for the enhancement of Vega's performance. The content of this VECEP programme covers different elements of the current launcher, e.g. an improved first-stage motor (P120), a possible new upper stage, etc. But from a political point of view, the main result of the VECEP approval has been the support of Germany for this programme.

**To what extent?**

Italy considers the German involvement in Vega a real added value for the programme thanks to the heritage and know-how owned by German industry in the launcher field, in particular for the mentioned new possible liquid propulsion upper stage of Vega. The new performance that should be attained by the new Vega is around 2-2.2 tons in SSO orbit at 700 kilometres in order to possibly launch small geostationary satellites that could reach the GEO orbit by means of their own electrical propulsion system. To reach this performance, a step by step approach shall ensure the proper continuation of the production and launches of the current Vega configuration and on the other side allow a sequential replacement of individual elements of the launcher, i.e. the first-stage motor, second and upper stage. Any consolidation and enhancement of the launcher must be conceived in order to ensure an increased competitiveness of the Vega small launcher in the world-wide commercial market. To this aim it is considered fundamental to define maximum component commonality with the future new ESA heavy launcher. If this goal is achieved, both launchers will benefit in terms of lower production cost and the reduced impact of fixed costs on each element produced.

# Sterex – Raumfahrt in der dritten Dimension

Traumstart unter Palmen: Als am 5. Juni 2013 um 23:52 Uhr Mitteleuropäischer Sommerzeit (MESZ) eine Ariane 5-Rakete den vierten ESA-Raumfrachter ATV „Albert Einstein“ ins All brachte, war ein besonderer Passagier an Bord: Das vom DLR Raumfahrtmanagement und der europäischen Raumfahrtagentur ESA geförderte Sterex-Experiment. Herzstück dieses aus vier Kameras bestehenden Systems ist die stereoskopische Montage zweier Kameras, mit denen die Separation von ATV-4 zum ersten Mal von Bord der Ariane 5 aus in 3D aufgenommen wurde. Die Videodaten wurden in der Nacht vom 6. Juni von der DLR-Bodenstation in Weilheim empfangen, aufgezeichnet, und so aufbereitet, dass zunächst ein zweidimensionales Video vom Start und vom Absetzen des europäischen Raumtransporters im Weltraum zur Verfügung stand. Das 3D-Video wurde in den darauffolgenden Tagen auf den DLR-Webseiten gezeigt.

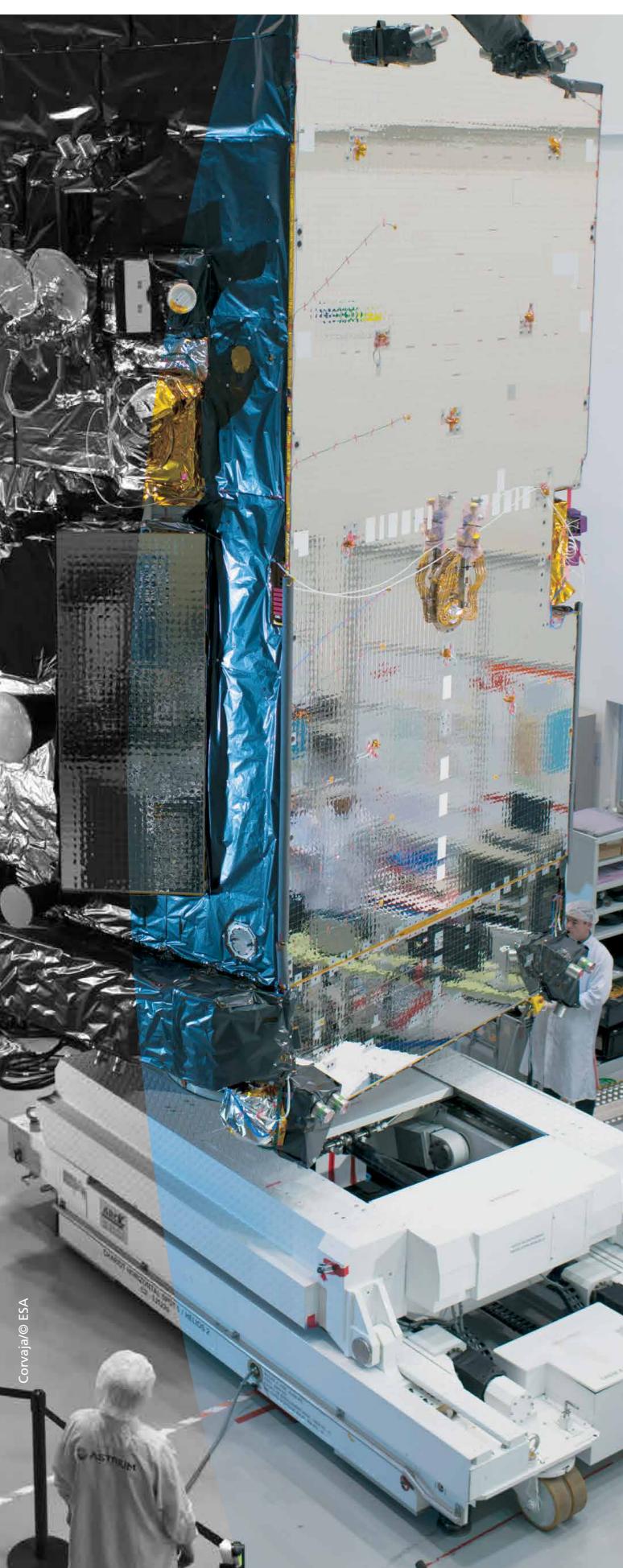
## Sterex – Spaceflight in the Third Dimension

A dream launch under the palm trees: when, at 23:52 (CEST) on June 5, 2013, an Ariane5 launcher carried ESA's fourth resupply spacecraft called 'Albert Einstein' into space, it had a very special passenger on board: the Sterex experiment, built with funds from the DLR Space Administration and ESA. The system, which consists of four cameras, features a set of two cameras in a stereo configuration. It was used to shoot the first-ever 3-D video sequence of the separation of ATV-4 as seen from Ariane5. The video data were received by the DLR ground station at Weilheim, where they were recorded and processed to produce, at first, a two-dimensional video showing the launch and the release of the European spacecraft into its orbit. The 3-D video was shown on the DLR website on the next few days.



Die Bilder zeigen die dynamischen Abläufe bis zur Trennung des ATV von der Ariane aus einer neuen Perspektive. Sie helfen dabei, diese Prozesse noch besser zu verstehen und zu analysieren. Das Video dokumentiert den Start der Ariane-5ES-Rakete vom ESA-Raumfahrtzentrum in Kourou (Französisch-Guiana), die Separation der Booster und der Hauptstufe, das Zünden der Oberstufe, und dann den losgelösten Flug von ATV-4 ins All. Es sind seit 2006 die ersten Video-Aufnahmen eines Ariane-Starts, die an Bord der Rakete selbst aufgenommen worden sind.

The images show the dynamic sequence of events from liftoff to the separation of the ATV from an entirely new perspective. They will help us understand and analyse these processes even better. The video documents the Ariane-5ES launcher lifting off from the ESA spaceport in Kourou (French-Guiana), the separation of the booster and the main stage, the ignition of the upper stage, followed by the free flight of ATV-4 into space. This has been the first video footage of an Ariane launch shot from the rocket itself since 2006.



# Alphasat I-XL:

## Satellitenkommunikation startet in eine neue Ära

Von Dr. Anke Pagels-Kerp und Rolf Meyer

**Informationen beherrschen unseren Alltag. Stetig wachsende Datenmengen müssen rund um den Globus transportiert werden. Satellitenkommunikation hat einen wesentlichen Anteil daran, dass uns diese Informationen zuverlässig erreichen. Deutsche Spitzentechnologie ist mit an Bord, als am 25. Juli 2013 um 21:54 Uhr Mitteleuropäischer Sommerzeit (MESZ) Alphasat I-XL, der bislang größte ESA-Kommunikationssatellit, vom Raumfahrtzentrum der Europäischen Weltraumorganisation in Kourou (Französisch-Guiana) an Bord einer Ariane-5-Trägerrakete ins Weltall gestartet ist. In einer Höhe von knapp 36.000 Kilometern über der Erde soll der Riesensatellit in den kommenden 15 Jahren die Breitbandkommunikation mit seinen über 750-L-Band-Kanälen im Bereich Mobilfunk revolutionieren.**

### Alphasat I-XL:

*Satellite Communication Taking off into a New Era*

By Dr Anke Pagels-Kerp and Rolf Meyer

**Information rules our daily life. Steadily growing volumes of data must be transported around the globe. Satellite communication materially contributes towards ensuring that data reaches its destination reliably. When Alphasat I-XL, ESA's biggest communications satellite so far, took off on board an Ariane-5 launcher from the European Space Agency's spaceport at Kourou (French Guiana) at 21:54 Central European Summer Time (CEST) on July 25, 2013, it was packed with German-built high-tech equipment. Orbiting the Earth at an altitude of nearly 36,000 kilometres, the giant satellite will revolutionise broad-band communication with its more than 750 L-band mobile-radio channels.**

Alphasat I-XL ist der größte europäische Kommunikationssatellit. Er wurde bei Astrium in Toulouse gebaut und getestet. Das deutsche Laser Communication Terminal (LCT) zur lichtgestützten Datenübertragung ist an der Außenhülle angebracht.

Alphasat I-XL is the largest communications satellite built in Europe so far. It was built and tested by Astrium in Toulouse. Installed on the outer shell of the satellite, the German-built laser communication terminal (LCT) is used for light-based data transmission.



Autoren: **Dr. Anke Pagels-Kerp** ist in der Abteilung Satellitenkommunikation des DLR Raumfahrtmanagements mit der Alphasat I-XL-Mission betraut. Ihr Kollege **Dr. Rolf Meyer** ist in der gleichen Abteilung Projektleiter für das Laser Communication Terminal-Projekt.

Authors: At the Satellite Communication department of the DLR Space Administration, **Dr Anke Pagels-Kerp** is in charge of the Alphasat I-XL mission. Her colleague **Dr Rolf Meyer** leads the Laser Communication Terminal project at the same department.

Alphasat I-XL ist ein so genanntes PPP – eine Public-Private-Partnership zwischen der ESA und Inmarsat, einer globalen Betreiberfirma für mobile Satellitenkommunikations-Dienste. Dieser öffentlich-privaten Partnerschaft verdankt der Satellit auch das „I“ in seinem Namen. „XL“ trägt der Tatsache Rechnung, dass es sich beim Alphasat um den größten bisher in Europa gebauten Kommunikationssatelliten handelt. Mit dem Alphasat-Entwicklungsprojekt im Rahmen des ESA-Satellitenprogramms ARTES 8 – an dem sich Deutschland über das Raumfahrtmanagement des DLR mit den Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) finanziell stark beteiligt – werden gleich mehrere Ziele verfolgt.

### Mit deutschen Technologien im geostationären Orbit unterwegs

Die neu entwickelte Satellitenplattform „Alphabus“ führt auch eine vielversprechende europäische Produktlinie für das Marktsegment großer Satelliten bis zu 8,8 Tonnen ein. Zwar wurde Alphabus unter französischer Führung von den Hauptauftragnehmern EADS Astrium und Thales Alenia Space in Toulouse entwickelt. Dennoch sind deutsche Zulieferer maßgeblich am Bau der Satellitenplattform beteiligt. Folgerichtig ist Deutschland auch der zweitgrößte Beitragszahler im Alphabus-Entwicklungsprogramm: Die deutschen Komponenten sorgen für den Transfer des Alphasat I-XL in den geostationären Orbit, sind für einen Teil der Lageregelung verantwortlich und stellen die elektrischen Leistungen für den Satelliten zur Verfügung.

Der Solar Generator wurde bei EADS Astrium in Ottobrunn entwickelt und gebaut. Er stellt zwölf Kilowatt Leistung für Alphasat I-XL zur Verfügung. Mit jeweils vier Paneelen auf der Nord- und

Alphasat I-XL is a so-called PPP, a public-private partnership between ESA and Inmarsat, a company that provides mobile satellite communications services worldwide. It is to this public-private partnership that the satellite owes the letter "I" in its name. The XL has been added to indicate that Alphasat is the largest communications satellite built in Europe so far. Implemented under ESA's ARTES 8 satellite programme, the Alphasat development project – funded to a considerable extent by Germany through the Space Administration of the DLR on behalf of the Federal Ministry of Economics and Technology – pursues several objectives at a time.

### German technologies flying in a geostationary orbit

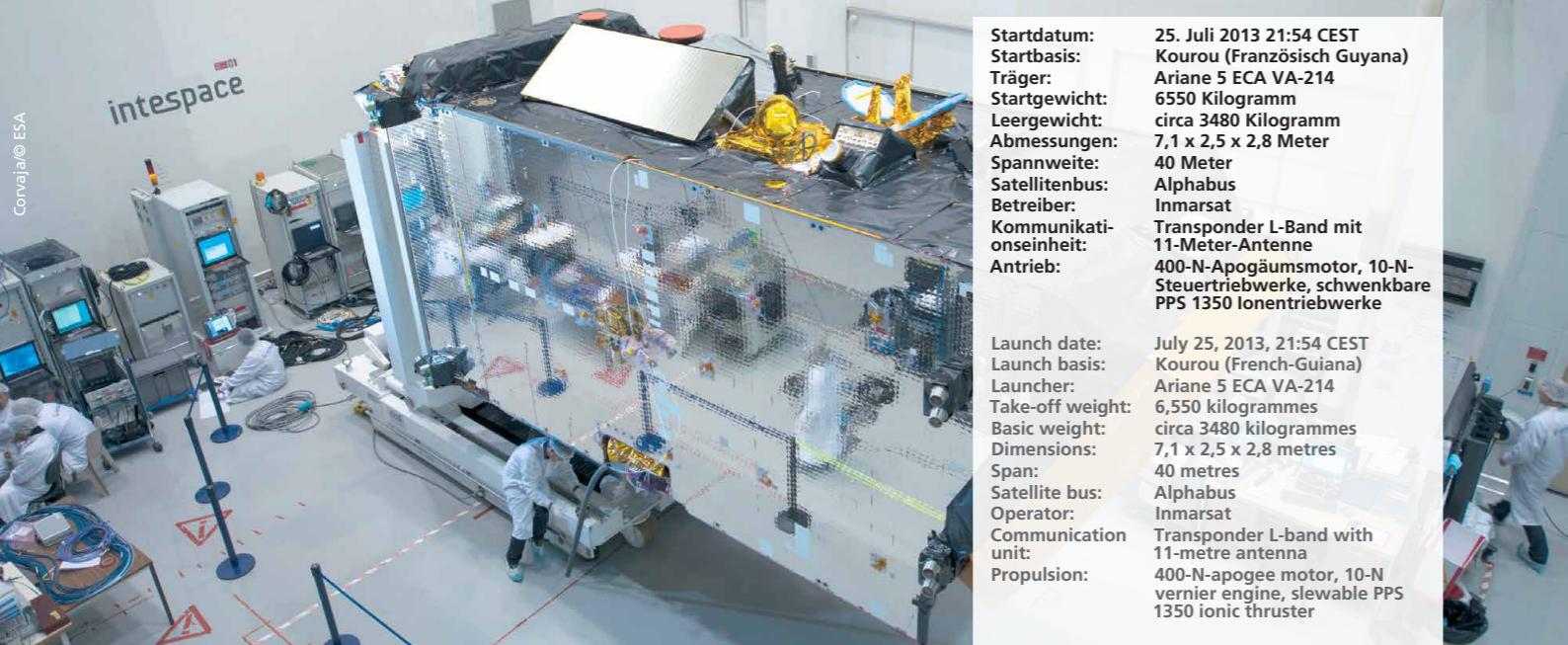
Alphabus, a newly developed satellite platform, introduces a promising European product line for the market segment of large satellites weighing up to 8.8 tons. Alphabus was developed under French leadership by two prime contractors, EADS Astrium and Thales Alenia Space of Toulouse. Nevertheless, German suppliers had a considerable share in the construction of the satellite platform. This is why Germany is the second biggest financial contributor to the Alphabus development programme: German components will take care of the transfer of Alphasat I-XL into its geostationary orbit, be partially responsible for its attitude control, and supply the satellite with electricity.

The solar generator was developed and built by EADS Astrium in Ottobrunn. It supplies Alphasat I-XL with 12 kilowatts of power. Spanning almost 40 metres, the two groups of four panels each attached to the northern and southern face of the satellite exceed the wingspan of an Airbus A320 by several metres. To deliver that power output, new and larger panels were needed,

Am 19. Juni 2013 unterzeichneten Magali Vaissière, ESA-Direktorin für Telekommunikation, und DLR-Vorstand Dr. Gerd Gruppe auf der Pariser Luft- und Raumfahrtmesse Le Bourget den Vertrag für die Technologiedemonstrations-Nutzlast TDP1 auf Alphasat, der am 25. Juli 2013 auf einer Ariane 5-Rakete startete.

At the Paris Air Show at Le Bourget on June 19, 2013, Magali Vaissière, ESA Director of Telecommunications and Integrated Applications, and Dr Gerd Gruppe, member of the DLR Executive Board, signed a contract on the technology demonstration payload TDP1 to be flown on Alphasat. The Ariane 5 carrying the satellite was launched on July 25, 2013.





**Startdatum:** 25. Juli 2013 21:54 CEST  
**Startbasis:** Kourou (Französisch Guyana)  
**Träger:** Ariane 5 ECA VA-214  
**Startgewicht:** 6550 Kilogramm  
**Leergewicht:** circa 3480 Kilogramm  
**Abmessungen:** 7,1 x 2,5 x 2,8 Meter  
**Spannweite:** 40 Meter  
**Satellitenbus:** Alphabus  
**Betreiber:** Inmarsat  
**Kommunikationsinheit:** Transponder L-Band mit 11-Meter-Antenne  
**Antrieb:** 400-N-Apogäumsmotor, 10-N-Steuertriebwerke, schwenkbare PPS 1350 Ionentriebwerke

**Launch date:** July 25, 2013, 21:54 CEST  
**Launch basis:** Kourou (French-Guiana)  
**Launcher:** Ariane 5 ECA VA-214  
**Take-off weight:** 6,550 kilograms  
**Basic weight:** circa 3480 kilograms  
**Dimensions:** 7,1 x 2,5 x 2,8 metres  
**Span:** 40 metres  
**Satellite bus:** Alphabus  
**Operator:** Inmarsat  
**Communication unit:** Transponder L-band with 11-metre antenna  
**Propulsion:** 400-N-apogee motor, 10-N vernier engine, slewing PPS 1350 ionic thruster

Südfläche des Satelliten überragt er mit seiner „Spannweite“ von fast 40 Metern die des Airbus A320 um einige Meter. Um diese Leistung zu erreichen waren neue und größere Paneele notwendig, die in Ottobrunn auch mit Beiträgen der Münchner Firma GKN Aerospace entwickelt wurden. Der Solar Generator ist dabei von Anfang an so ausgelegt, dass er zukünftige, noch weit größere Versionen des Alphabus mit einer Gesamtleistung von bis zu 22 Kilowatt versorgen kann.

Das Antriebssystem für den Transfer zum geostationären Orbit sowie die Triebwerke für die Lagerregelung des Satelliten wurden von EADS Astrium in Lampoldshausen bereitgestellt. Wie bei den Kommunikationssatelliten üblich, wird der Satellit von der Startrakete in einem niedrigen geostationären Transferorbit ausgesetzt. Um seine Zielposition, den geostationären Orbit in rund 36.000 Kilometern zu erreichen, wird dann das bord-eigene chemische Antriebssystem des Satelliten benötigt. Auch die rund 2.000 Liter fassenden Treibstofftanks für das chemische Antriebssystem stammen aus deutschen Ideenschmieden. Dem Augsburger Unternehmen MT Aerospace ist es gelungen, die größten, jemals gebauten Tanks für Kommunikationssatelliten herzustellen. Die Reaktionsräder, die für eine stabile Ausrichtung des Satelliten im Weltall sorgen, wurden von Rockwell Collins in Heidelberg gebaut.

Ein Nutzlastprozessor mit Beiträgen des Astrium Standortes in Ottobrunn bei München ermöglicht eine besonders flexible Auslegung und Konfiguration der 750-L-Band-Kommunikationskanäle und somit eine Reaktion auf zukünftig sich wandelnde Nutzeranforderungen und Datenverkehrsaufkommen.

**Alphasat – Träger für die Erprobung neuer Technologien**  
 Neben der kommerziellen Nutzlast von Inmarsat bietet Alphasat I-XL zusätzlich Platz für innovative Technologien, die erstmals unter den besonderen Bedingungen des Weltalls getestet werden sollen. Von den vier Nutzlasten, die zu Demonstrationszwecken auf Alphasat mitfliegen, stammen zwei aus Deutschland: Ein innovativer Sternsensor der Firma Jena Optronik liefert hochgenaue Bahn- und Lageinformationen des Satelliten und unterstützt damit auch die genaue Ausrichtung des Laserkommunikationsterminals, der zweiten Demonstrationsnutzlast aus Deutschland. Das optische Laser-Kommunikationsterminal (LCT) wurde unter Feder-

which were also developed at Ottobrunn, with GKN Aerospace of Munich contributing. From the beginning, the solar generator was designed to supply future, far larger versions of the Alphabus with up to 22 kilowatts of power.

The propulsion system for transferring the satellite to its geostationary orbit and the thrusters for controlling its attitude were supplied by EADS Astrium in Lampoldshausen. Following common practice, the communications satellite will be released by the launcher in a low transfer orbit. To reach its destination, a geostationary orbit at an altitude of around 36,000 kilometres, the satellite will use the chemical drive system it carries on board. The tanks holding around 2,000 litres of fuel for the chemical drive system were equally developed by a team of creative engineers in Germany. MT Aerospace, an Augsburg-based company, succeeded in developing the largest tanks ever built for communications satellites. The reaction flywheels that will stabilise the attitude of the satellite in space were built by Rockwell Collins of Heidelberg.

**Mit Alphasat starten wir in ein neues Kommunikations-Zeitalter. Der Satellit wird den Mobilfunk revolutionieren.**

**Dr. Rolf Densing, Programmdirektor im DLR Raumfahrtmanagement.**

Alphasat is the start into a new age of communication. The satellite will revolutionise mobile telephony.

**Dr Rolf Densing, programme director at the DLR Space Administration**

A payload processor which includes contributions from the Astrium plant at Ottobrunn near Munich permits particular flexibility in dimensioning and configuring the 750 L-band communication channels so that future changes in user requirements and data volumes may be accommodated.

#### Alphasat – a platform for testing new technologies

In addition to Inmarsat's commercial payload, Alphasat I-XL offers space for innovative technologies that will be tested for the first time under the special conditions prevailing in space. Two of the four payloads that will fly on Alphasat for demonstration purposes come from Germany: an innovative star sensor developed by Jena Optronik supplies ultra-precise information about the satellite's orbit and attitude, thus supporting the precise alignment of the laser communication terminals, the other demonstration payload from Germany. Co-ordinated by Tesat of Backnang, the development of the optical laser communication terminal (LCT) was commissioned by DLR as part of the preparations for a new data highway in space – the European Data Relay System (EDRS).

führung der Firma Tesat aus Backnang im Auftrag des DLR und in Vorbereitung für eine neue Datenautobahn im All – das europäische Datenrelaisystem EDRS – entwickelt.

#### Licht statt Radiowellen – Laser ermöglicht schnellere Datenübertragung

Die Übertragung der gigantisch steigenden Datenmengen zwischen Satelliten und Erde stellt die Ingenieure vor immer größere Herausforderungen. Durch den Einsatz höherer Funkfrequenzen und neuer Elektroniksysteme konnten sie die Datenübertragungsrate zwar bislang kontinuierlich steigern. Doch die Funktechnik stößt hier an ihre physikalischen Grenzen. Die Funkfrequenzen sind limitiert und viele sind schon belegt. Mit dem Wechsel von langsam schwingenden Radiowellen zum schnell schwingenden Laserlicht sollen diese Engpasse umgangen und größere Datenmengen in Zukunft transportiert werden. Doch diese Entwicklung kommt nicht von ungefähr: Seit mehreren Jahren werden Laser-Übertragungssysteme auf Satelliten getestet. Dem deutschen Erdbeobachtungssatelliten TerraSAR-X gelang es erstmals 2008 mittels eines LCT Daten mit dem amerikanischen Satelliten NFIRE über eine Distanz von 5.000 Kilometern mit einer Datenrate von 5,6 Gigabits pro Sekunde (Gbps) auszutauschen – eine Datenmenge, die die Übertragung von 400 DVDs pro Stunde ermöglichen würde.

#### Auf dem Weg zur neuen Datenautobahn

Auf Alphasat kommt ein modifiziertes LCT zum Einsatz: Es wird eine etwas reduzierte Datenmenge von 1,8 Gbps – 130 DVDs pro Stunde – über eine weit größere Distanz von 45.000 Kilometern transportieren. Damit wird die Übertragung zwischen Satelliten im sogenannten Low Earth Orbit mit einer Höhe von 200 bis 2.000 Kilometern und denen im Geostationären Orbit in rund 36.000 Kilometern Höhe möglich. Diese Übertragung zwischen geostationären und Low Earth Orbit wird mit dem LCT auf Alph-

#### Light instead of radio waves – lasers achieve faster data transmission

The need to shunt enormous and rapidly growing volumes of data back and forth between satellites and the Earth confronts engineers with increasingly difficult challenges. While up until now they found ways to increase data communication rates continuously by using higher radio frequencies and innovative electronics systems, radio technology has now reached its physical limits. The number of radio frequencies is limited, and many are occupied already. By changing from slowly oscillating radio waves to quickly oscillating laser light, engineers intend to circumvent these bottlenecks so that larger data volumes may be transmitted in the future. However, this development is not happening out of the blue: laser communications systems have been tested on satellites for several years. In 2008, the German Earth observation satellite TerraSAR-X successfully exchanged data with the American NFIRE satellite at a rate of 5.6 gigabits per second (gbps) over a distance of 5,000 kilometres, using an LCT. At this rate, it is possible to transmit the content of 400 DVDs every hour.

#### Heading for the new data highway

The LCT installed on Alphasat is a modified version: it will transmit data at the slightly reduced rate of 1.8 gbps (130 DVDs per hour) over a much greater distance – 45,000 kilometres. This will enable satellites flying in so-called low-Earth orbits at an altitude of 200 to 2,000 kilometres to communicate with others in a geostationary orbit about 36,000 kilometres up. The LCT on Alphasat I-XL will test this link between geostationary and low-Earth orbits. Through it, Europe's largest communications satellite will be receiving data from two European Earth-observation satellites, Sentinel 1A and Sentinel 2A. The technology demonstrator 'made in Germany' that is travelling on Alphasat I-XL will pave the way for the European



Der Solar Generator wurde bei EADS Astrium in Ottobrunn entwickelt und gebaut. Mit jeweils vier Paneele auf der Nord- und Südfäche des Satelliten überragt er mit seiner „Spannweite“ von fast 40 Metern die Airbus A320 um einige Meter.

The solar generator was developed and built by EADS Astrium in Ottobrunn. Spanning almost 40 metres, the two groups of four panels each attached to the northern and southern face of the satellite exceed the wingspan of an Airbus A320 by several metres.

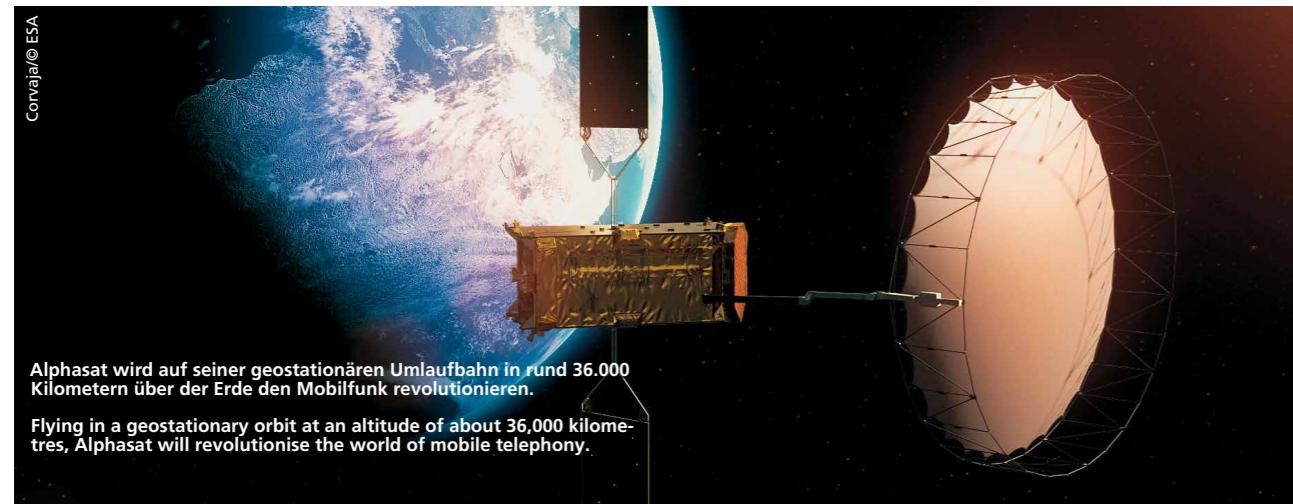
sat I-XL getestet. So wird der größte europäische Kommunikationssatellit Daten von den beiden europäischen Erdbeobachtungssatelliten Sentinel 1A und Sentinel 2A empfangen. Mit dieser Technologiedemonstration „made in Germany“ stößt Alphasat I-XL das Tor zum europäischen Datenrelaisystem EDRS auf – eine Datenautobahn im All, bei der Informationen zwischen den Satelliten rund um die Uhr ausgetauscht werden können. Führend beteiligt an dieser revolutionären Übertragungsmethode ist die Firma Tesat-Spacecom. Sie hat in Zusammenarbeit mit dem DLR und der Schweizer Firma RUAG das LCT für Alphasat I-XL gebaut. Die Entwicklung des LCT wird vom DLR Raumfahrtmanagement über das „Nationale Raumfahrtprogramm“ gefördert.

#### Treffsicher über große Distanz

Als der Schweizer Armbrustschütze Wilhelm Tell der Legende nach seinem Sohn einen Apfel vom Kopf schoss, traf er ein kleines, unbewegtes Ziel auf eine Distanz von 80 Schritten – eine Leistung, die in die Geschichte einging. Bei LCT muss der konzentrierte Laserstrahl auf eine Distanz von mehreren tausend Kilometern ein winzig kleines Ziel auf einem anderen Satelliten treffen, die beide jeweils mit einer Geschwindigkeit von rund 28.000 Kilometer pro Stunde ihre Bahnen um die Erde ziehen. Die Zeit, die dem Satelliten für das Zielen und Treffen bleibt, ist bei der Alphasat I-XL-Technologiedemonstration auf 60 Sekunden limitiert. Die kürzesten Zielzeiten, die bislang mit dem LCT während der TerraSAR-X-NFIRE-Mission erreicht wurden, waren zehn Sekunden – eine enorm kurze Zeitspanne.

#### Mit dem Laser durch die Atmosphäre

Funktioniert im Vakuum des Weltalls die Laserkommunikation wunderbar, so ist die Verbindung vom Satelliten zu einer Bodenstation auf der Erde weitaus schwieriger. In der Atmosphäre unseres Heimatplaneten gibt es zu viele Störfaktoren für eine reibungslose Datenübertragung mittels Laserlicht. Deshalb werden bislang alle Daten mit Radiowellentechnologie zur Erde übertragen. Will man dennoch Informationen mittels Lasertechnologie vom Satelliten zur Erde schicken, um größere Datenmengen zu übertragen, dann muss entweder das Wetter stimmen oder die Ingenieure müssen die Störungen der Datenübertragung in der Atmosphäre berechnen und entsprechend korrigieren. DLR-Wissenschaftler arbeiten gerade an einer speziellen Optik, die es möglich machen soll, atmosphärische Störungen der Datenübertragung zu korrigieren. Während der Alphasat I-XL-Mission soll das LCT auf dem Satelliten mit einer mobilen DLR-Bodenstation Daten austauschen, um auch Laser-Downlinks in Zukunft möglich zu machen.



EDRS data relay system – a data highway in space through which satellites will be able to exchange information around the clock. One leading player in the development of this revolutionary transmission method is Tesat-Spacecom, the company which built the LCT for Alphasat I-XL in collaboration with DLR and the Swiss RUAG company. The DLR Space Administration is sponsoring the development of the LCT under the National Space Programme.

#### Marksmanship at great distances

According to legend, William Tell of Switzerland shot an apple from the head of his son with his crossbow, hitting a small, stationary target at a distance of 80 paces – a feat which went down in history. In our case, the highly focused laser beam emitted by the LCT must hit a tiny target on another satellite several thousand kilometres distant, with both satellites orbiting the Earth at a speed of around 28,000 kilometres per hour. The time allotted to Alphasat I-XL for taking aim and hitting the target during the technology demonstration is limited to 60 seconds. The shortest time for scoring achieved by an LCT during the TerraSAR-X/NFIRE mission was ten seconds, very little time indeed.

#### Penetrating the atmosphere with a laser beam

While laser communication works excellently in the vacuum of space, linking a satellite to a ground station on Earth is far more difficult. There is too much interference in the atmosphere of our home planet to permit trouble-free communication by laser, which is why, so far, only radio waves have been used in the transmission of data to Earth. If you want to use laser technology to communicate large volumes of data from a satellite to Earth, either the weather must be absolutely right or the engineers will have to compute the effects of atmospheric interferences with data communication and carry out the necessary corrections. At present, DLR scientists are working on a special optical system which

will enable them to correct for atmospheric interferences with data communication. During the Alphasat I-XL mission, the satellite's LCT will be exchanging data with a mobile DLR ground station so that laser downlinks will become possible in the future.

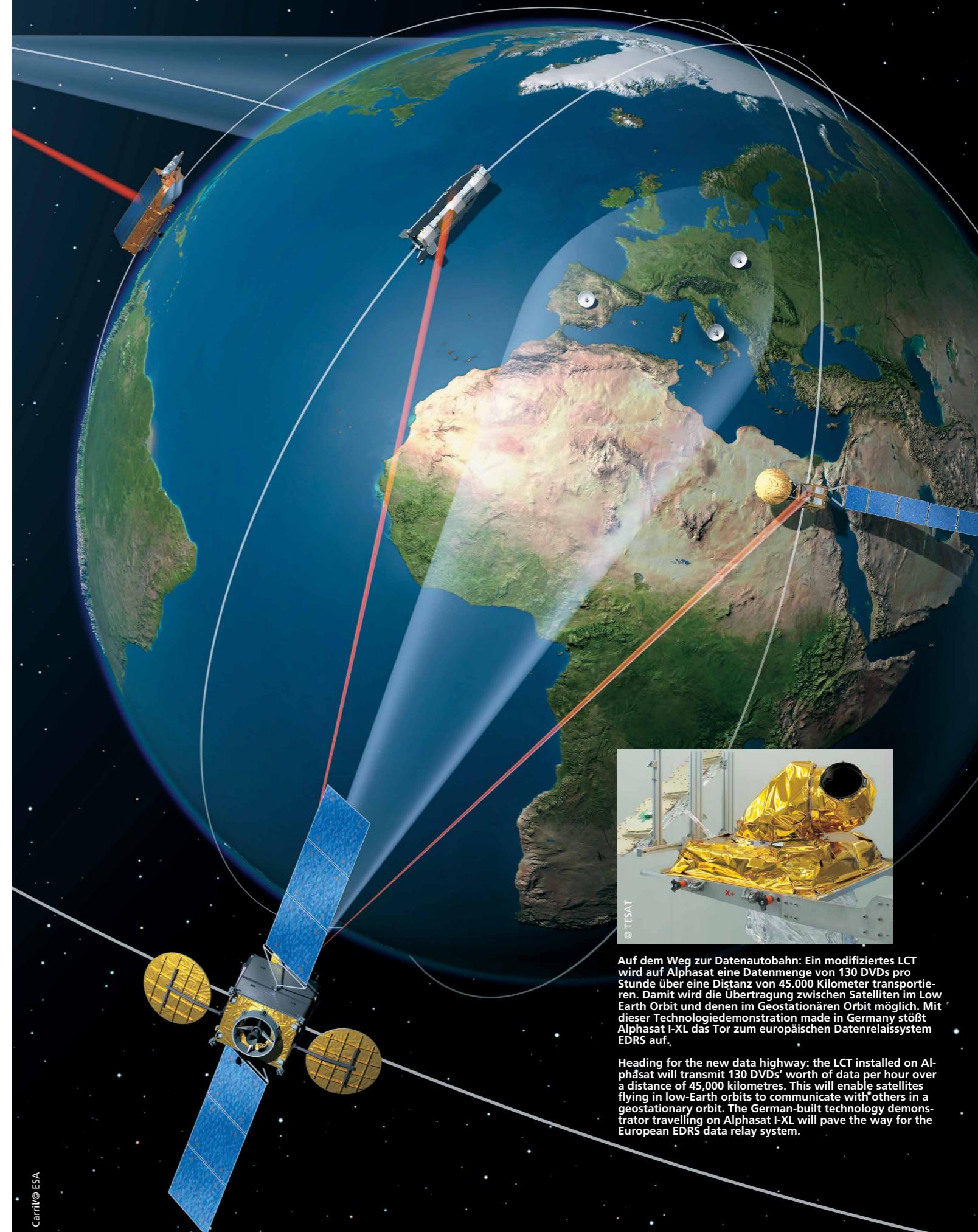
Mit der Entwicklung der Laserdatenübertragung starten wir in eine neue Ära der Satellitenkommunikation. Deutschland hat die Bedeutung dieser Technologie frühzeitig erkannt und sie von Anfang an gefördert. Diese Förderung hat nun Früchte getragen: Mit Tesat ist ein deutsches Unternehmen Weltmarktführer in diesem Segment.

Dr. Gerd Gruppe, DLR-Vorstand zuständig für das Raumfahrtmanagement.

As we develop laser data communication, we are striding into a new era of satellite communications. Germany has been promoting this technology from the beginning, having recognised its importance at an early stage. These endeavours are now bearing fruit: Tesat, a German company, now leads the world market in this segment.

Dr Gerd Gruppe, DLR Executive Board member in charge of Space Administration

Carril/© ESA





# Automation und Robotik:

**Vom Assistenten zum hochspezialisierten Facharbeiter**

*Von Paul Feddeck und Bernd Sommer*

**Roboter sind die idealen Assistenten des Menschen im Weltall: Sie überstehen lebensfeindliche Umgebungen, verrichten gefährliche Aufgaben und werden niemals müde. Schon jetzt helfen sie Astronauten zum Beispiel bei Reparaturen und spielen so eine wichtige Rolle im All. In naher Zukunft werden intelligente Roboter vom Assistenten zum selbstständigen Arbeiter aufsteigen und Satelliten autonom inspizieren, warten, versorgen, betanken und umrüsten. Die Reparaturen verlängern das Leben der Satelliten. Bei Gefahr können defekte Satelliten auch gezielt entsorgt werden. Weltraumschrott soll erst gar nicht entstehen. Damit machen die fleißigen Arbeiter die Raumfahrt nachhaltiger. Aber auch sie sind nur der Anfang einer neuen Ära: Langfristig werden Weltraumroboter zu hochspezialisierten Facharbeitern aufsteigen und ganz neue Logistik-Konzepte für den erdnahen Orbit und später auch für Explorationsmissionen ermöglichen: Einheitliche Satellitenplattformen, die flexibel an neue Aufgaben und Anforderungen angepasst und umgerüstet werden können, entstehen. Mit einer strikten Trennung von Nutzlast und Plattform reift eine effizientere, robustere und nachhaltigere Raumfahrt heran.**

**Automation and Robotics:**

**From Humble Assistant to Skilled Space Engineer**

*By Paul Feddeck and Bernd Sommer*

Robots make ideal assistants in space: they are able to endure hostile environments, do hazardous work, and they never tire, no matter how long it takes to finish a job. Already today they are playing a vital role in space, for instance by helping astronauts perform essential repair work. In the near future, smart robots will no longer be mere assistants but independent workers, autonomously inspecting, servicing, supplying, re-fuelling, and re-fitting satellites. Good maintenance prolongs the life of a satellite. In cases of imminent danger, robots can dispose of defective satellites individually, thus avoiding the accumulation of more space debris. In this way, these industrious workers will make space travel more sustainable. Yet all this is only the beginning of a new era: in the long run, space robots will rise to qualified engineering positions, making possible an entirely new approach to logistics for our activities in the near-Earth orbit and, further along, for exploratory missions: standardised satellite platforms will evolve which can be adapted and refitted flexibly to suit new tasks and requirements. A strict separation of payload and platform will permit a more efficient, robust, and sustainable form of spaceflight to develop.



**Autoren:** **Paul Feddeck** leitet die Abteilung Raumfahrt-Strategie und Programmatisierung des DLR Raumfahrtmanagements. **Bernd Sommer** arbeitet in der Abteilung Technik für Raumfahrt-Systeme und Robotik. Sein Kollege **Daniel Nölke** ist in derselben Abteilung verantwortlicher Projektleiter für modulare Satelliten.

**Authors:** **Paul Feddeck** heads the Space Strategy and Programme department of the DLR Space Administration. **Bernd Sommer** works at the General Technologies and Robotics department of the DLR Space Administration. His colleague **Daniel Nölke** leads the modular satellite projects at the same department.

## **Condemned to sustainability**

In der modernen Wissensgesellschaft wächst der Bedarf an weltweiter Telekommunikation, engmaschiger Navigation, zuverlässigen Wettervorhersagen, Geodaten, Sicherheitsüberwachung und wissenschaftlichen Forschungsergebnissen stetig. Dementsprechend steigt der Bedarf an Satelliten. Fortschrittliche Technologie im Weltraum führt dazu, dass das Wirtschaftsleben und die Sicherheit der Gesellschaft zunehmend von der Datengewinnung und -übertragung der Satellitenfleotten abhängen. Diese Abhängigkeit wird sich im Laufe dieses Jahrhunderts weiter verschärfen. Aber schon unsere heutigen Satelliten sind durch Weltraumschrott aller Art gefährdet. Wir brauchen mehr Nachhaltigkeit im Umgang mit der Umlaufbahn. Das Ziel muss sein, Weltraumschrott zu vermeiden, alte Satelliten zu reparieren, zu modernisieren und so deren Laufzeit zu verlängern und gegebenenfalls im erdnahen Orbit aufzuräumen. Denn Störungen in der kontinuierlichen Bereitstellung und Verteilung von Daten werden schnell zur globalen Katastrophe – sozial, politisch und ökonomisch. Ein Leben ohne die Vorteile der Raumfahrt ist schon jetzt nicht mehr vorstellbar. Wir brauchen moderne Raumfahrttechnologie und deren erdbasierte Anwendungen. Doch um diesen Hunger weiterhin zu stillen, sind wir gezwungen, umzudenken und nachhaltig zu handeln.

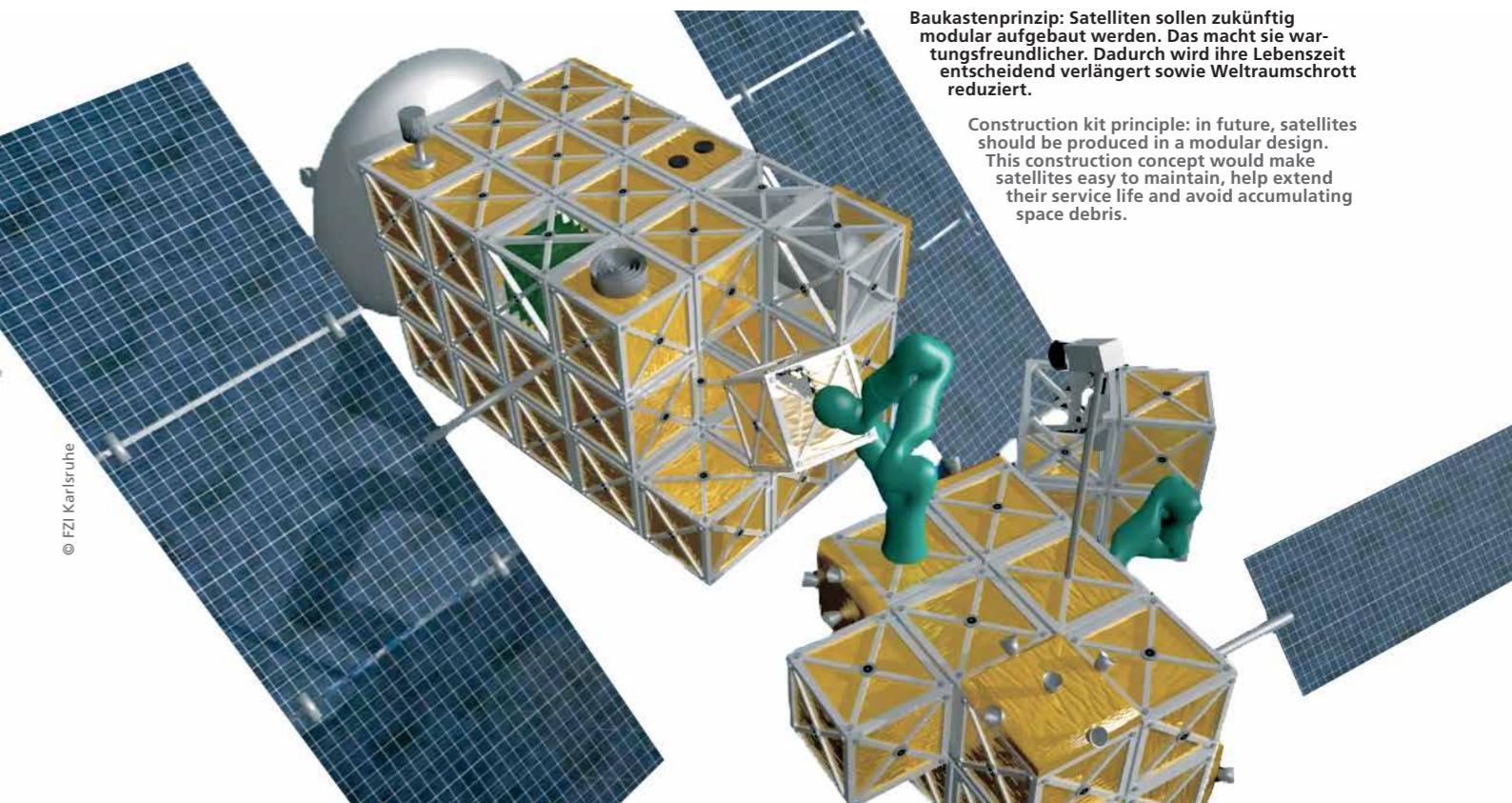
## **Baukasten im erdnahen Orbit**

Die heute noch üblichen „Einwegsatelliten“ müssen der Vergangenheit angehören. Zukünftige Weltraum-Infrastrukturen wer-

In modern knowledge and information-based societies, there is a steadily growing demand for worldwide telecommunications, tight-mesh navigation, reliable weather forecasts, geodata, security surveillance, and scientific results. And as a result the demand for satellites is growing at the same pace. The existence of advanced technology in space has led to an increasing dependence of business and the security of societies upon data generated and transmitted by the satellite fleets. This dependence will escalate as the century progresses. But even today's satellites are at risk from all kinds of space debris. We need greater sustainability in the way we handle the Earth's orbit. Our objective must be to avoid producing space debris, repair defunct satellites, modernise satellites to give them a longer service life, and, where possible, tidy up the near-Earth orbit. For any upset in the continuity of data provision and distribution may quickly turn into a global disaster – social, political, and economic. Even today, life appears inconceivable without the benefits of space. We need innovative space technology and its ground-based applications. But if we want to feed this appetite, we will have to rethink and begin acting sustainably.

## **Construction kits in a low-Earth orbit**

The 'disposable satellites' that are common today must become a thing of the past. Instead, the space infrastructures of the future will remind us rather of Lego bricks, the classic Danish



den eher an Lego-Bausätze erinnern. Der dänische Spielzeugklassiker hat schon in der Vergangenheit aus Kindern Ingenieure gemacht. Bereits im Kinderzimmer wurden die bunten Klötzen zu Raumschiffen und Raketen zusammengesetzt, mit denen wir in unserer Phantasie die Erde umkreisen oder zu fernen Planeten aufbrachen. In naher Zukunft wird dieses phantastische Baukasten-Prinzip im Weltall Anwendung finden. Statt großer schwerer Teile kommen austauschbare Module zum Einsatz – Bausteine, die nach Bedarf zusammengebaut und kombiniert werden können. Diese flexiblen und robusten Mehrzweckplattformen besitzen montagefreundliche, standardisierte Schnittstellen. Sie können je nach Anforderung neue oder leistungsfähigere Nutzlasten aufnehmen. Alle Bauteile vom Antrieb über die Lage- und Bahnregelung, die Kommunikation, Batterieeinheiten, Datenspeicher, Datenverarbeitung, Sensoren bis hin zu den Steuerungsblöcken sind austauschbar. Wie im Baukasten werden diese Module vor Ort in der Umlaufbahn weitgehend autonom zusammengesetzt und später gewartet, versorgt, erneuert und am Ende auch sicher entsorgt. Damit wird die zeitnahe Modernisierung und Erweiterung von Nutzlasten – oder ihr Ersatz im Falle eines Defektes – zur Routine. Die entsprechenden Bau- und Ersatzteile sowie Treibstoff werden mit Raketen zu Weltraumlagern gebracht und dort verstaut. Wartungsroboter bedienen sich in diesen Lagern, steuern einen defekten Satelliten an, erfassen ihn mit einem Greifarm, ziehen ihn heran, docken an, reparieren ihn und kehren anschließend zu ihrem Lager zurück, wo sie sich für den nächsten Auftrag ausrüsten – ein ADAC im Weltall. Der Weltraum wird damit zur Konstruktionshalle, in der intelligente Roboter-Fachkräfte komplexe Satellitensysteme und Raumstationen aufbauen, bewirtschaften und letztlich auch wieder abbauen.

#### Vom Assistenten zum selbstständigen Arbeiter

Die Deutsche Orbital Servicing-Mission (DEOS) macht aus dem Roboter als Assistenten des Menschen im Weltraum einen selbstständigen Arbeiter: Ein Wartungsroboter erfasst einen defekten und manövrierunfähigen Satelliten mit seinen Sensoren, bewegt sich auf ihn zu, fährt seinen Greifarm aus, hakt den Satelliten ein, zieht ihn zu sich heran, wartet, repariert und betankt ihn – alles selbstständig und ohne den Einsatz von Astronauten. Ist eine Reparatur nicht möglich, dann soll der Wartungsroboter den defekten Satelliten gezielt in der Erdatmosphäre verglühen lassen, um so Weltraumschrott aktiv zu vermeiden. Das DEOS-Projekt soll dabei helfen, langfristig eine breite Palette von Technologien für operative Einsätze in der Schublade zu haben. Hier hat Deutschland in den letzten Jahren eine breit angelegte Technologieentwicklung in der Automation und Robotik angestoßen und vorangetrieben.

#### Vom selbstständigen Arbeiter zum Raumfahrt-Ingenieur

Ist ein Satellit defekt oder veraltet, so wird er bislang durch einen neuen ersetzt. Nur wenige werden repariert. Die Reparatur und der Start eines neuen Orbiters sind aufwändig, kostspielig und erzeugen Weltraumschrott. Die zukünftige Satellitengeneration muss deshalb wartungs-

toys that have a long history of turning children into engineers. Many of us remember using the colourful bricks to build spaceships and rockets on which we imagined ourselves orbiting the Earth or setting out for distant planets. In the near future, this fantastic kit principle will become standard space-industry practice. Large and weighty components will be replaced by exchangeable modules that can be assembled and combined as needed. Flexible and robust, these multi-purpose platforms will be equipped with standardised interfaces for easy installation. Depending on requirements, they will be able to accommodate new or more efficient payloads. Virtually all components will be replaceable: drive systems, attitude and flight path controls, communication, battery packs, data memories and processors, sensors, and even control modules. Like building bricks from a kit, these modules will be assembled, serviced, supplied, modernised in orbit, and ultimately disposed of in a largely autonomous process. Thus, promptly modernising and upgrading payloads – or replacing them in case of a defect – will become routine. Rockets will carry components, spares, and fuel to warehouses in space where they will be stored. Service robots will help themselves from these warehouses, set a course for a defective satellite, grab hold of it with a robotic arm, pull it close, dock on, repair it, and return to their warehouse to equip themselves for the next mission – a kind of RAC breakdown service in space. Thus, space becomes a manufacturing facility where intelligent robot workers build, manage and ultimately dispose of complex satellite systems and space stations.

#### From assistant to autonomous worker

The German Orbital Servicing Mission (DEOS) transforms robots from assistants in space into autonomous workers: a maintenance robot spots a defective, immobilised satellite with its sensors, moves towards it, runs out its arm, puts the satellite on the hook, pulls it close, services, repairs, and refuels it – autonomously and without interference from astronauts. If a defective satellite cannot be repaired, the service robot will remove it from its position and make it burn up in the terrestrial atmosphere, thus actively helping to avoid space debris. The objective of the DEOS project is to help build a broad inventory of technologies for operative missions. Germany has initiated and pursued the development of a wide range of technologies in automation and robotics in recent years.

#### From autonomous worker to skilled space engineer

So far, any defective or obsolete satellite used to be replaced by a new one. Only a few got repaired. Both

Die zukünftige Satellitengeneration muss wartungsfreundlicher werden. Kompakte Systemmodule wie Batterieeinheiten, Datenspeicher, Sensoren oder Steuerungsblöcke müssen einfach ausgetauscht werden können.

Future satellite generation will have to become more maintenance-friendly. Compact system modules such as battery packs, data memories, sensors, and control units must be easy to replace.

freundlicher werden. Kompakte Systemmodule wie Batterieeinheiten, Datenspeicher, Sensoren oder Steuerungsblöcke müssen einfach ausgetauscht werden können. Wie so ein wartungsfreundlicher Satellit gebaut werden muss, wird vom DLR Raumfahrtmanagement detailliert untersucht. Der systematische Aufbau eines solchen Satelliten durch genormte, einheitliche Bauteile und Module soll die Kosten für die Wartung drastisch senken. Beschädigte oder veraltete Module werden im Orbit einfach ausgetauscht, statt wie bisher den ganzen Satelliten zu ersetzen. Ein intelligenter Weltraumroboter entfernt ein altes oder defektes Bauteil und steckt das neue Ersatzteil mittels genormter Steckverbindungen einfach an die gleiche Stelle. Doch damit aus dieser Idee Realität wird, müssen Standards geschaffen werden, um die Satellitenbusse zu vereinheitlichen. Im Jahr 1999 wurde bereits ein erster Schritt in diese Richtung gegangen, indem die internationale gültige Definition des CubeSat-Standards eingeführt wurde. Dieser Standard im Bereich der Kleinsatelliten hat die Startkosten von Nutzlasten mit einer Masse von ein bis drei Kilogramm bereits drastisch gesenkt – ein erster Schritt. Was im Kleinen schon gelungen ist, muss nun im Großen folgen. Einheitliche Satellitenplattformen sollen in Zukunft in kürzester Zeit an die Anforderungen einer neuen Mission angepasst werden können. Zeitaufwändige und kostenintensive Einzelentwicklungen werden damit der Vergangenheit angehören.

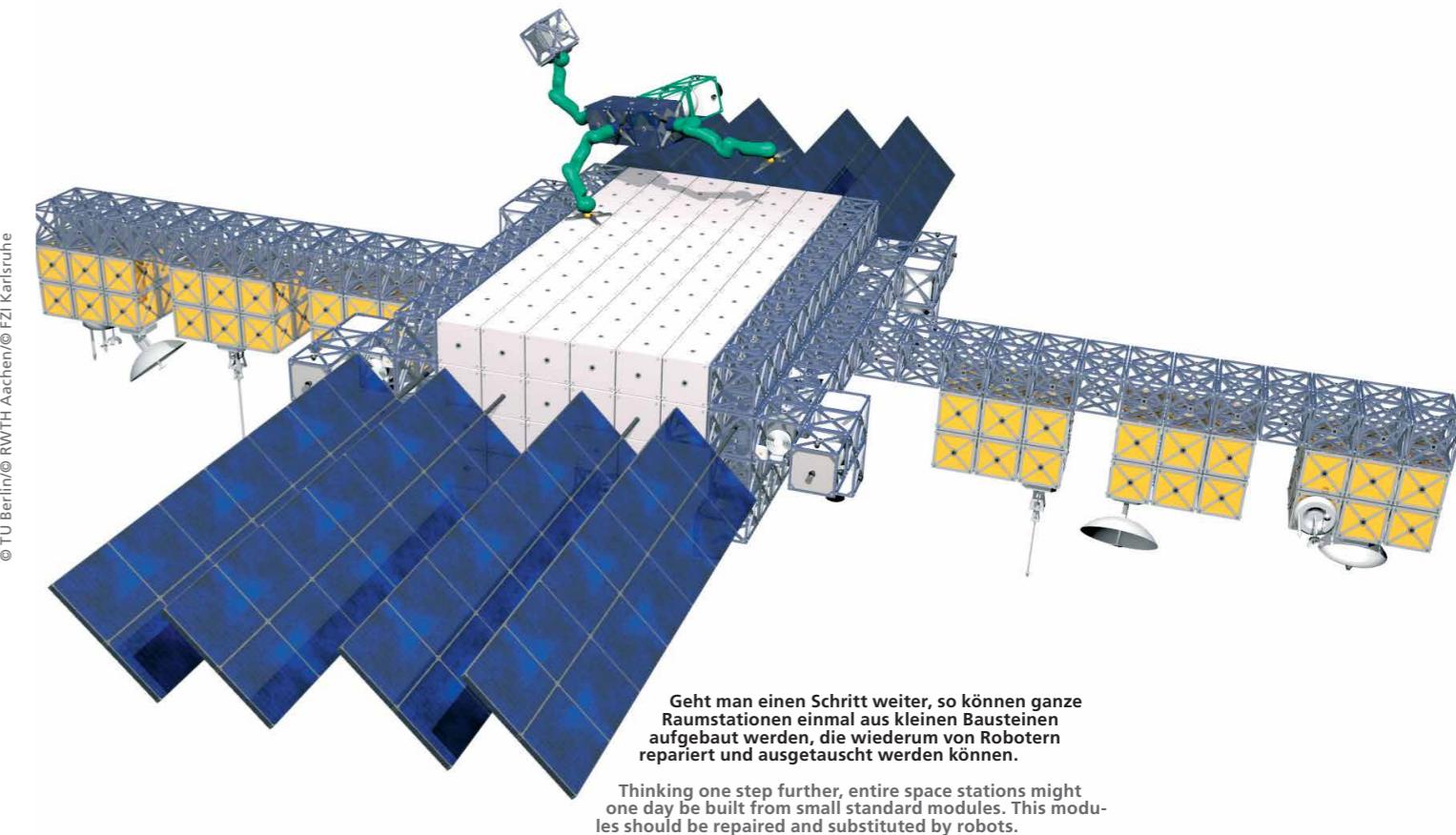
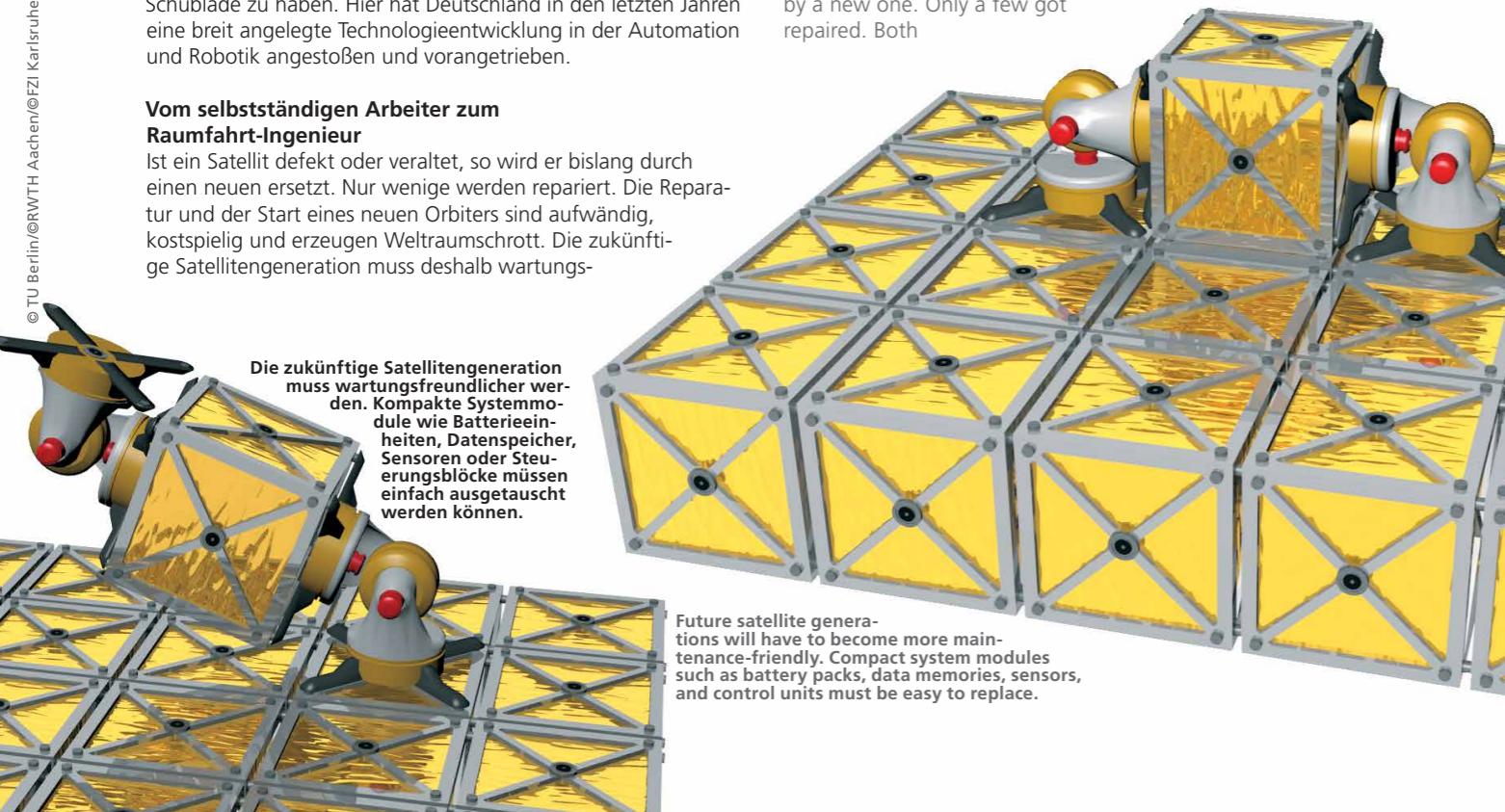
#### Neue Märkte entstehen

Mit diesen Entwicklungen und Ideen macht das DLR Raumfahrtmanagement den Weg frei für eine stärker kommerzielle Ausrichtung der Raumfahrt. Es entstehen neue Geschäftsfelder im Weltall. Satelliten können von Raumfahrt-Unternehmen, die die notwendige Logistik-Infrastruktur im Erdorbit unterhalten, gewartet werden. Logistik- und Nutzlastelemente lassen sich getrennt voneinander betreiben. Staatliche und kommerzielle Nutzer können sich so auf die Verwendung der Satellitendaten und private Satellitendienstleister auf ihr Kerngeschäft, die Bereitstellung der Nutzlast sowie die Vermarktung der Dienste, konzentrieren. Durch diese Ansätze ergeben sich für die Raumfahrt neue wirtschaftliche Perspektiven, die über die traditionellen Geschäftsmodele weit hinausreichen.

repairing and launching a satellite is a complex and a costly process that generates space debris. Consequently, future generations of satellites must be more maintenance-friendly. Compact system modules, such as battery packs, data memories, sensors, or control units must be easy to replace. The DLR Space Administration has recently begun to investigate the different ways in which such a maintenance-friendly satellite could be built. Systematically building a satellite from standardised, uniform components and modules is expected to result in a dramatic cut in maintenance costs. Thus, damaged or obsolete modules could be simply exchanged in orbit instead of replacing the entire satellite, as at present. Thanks to standardised connectors, an intelligent space robot will remove an old or defective component and plug in its replacement. For this idea to become reality, however, standards must be developed to streamline the design of satellite buses. A first step in this direction was taken in 1999 when the CubeSat standard definition was introduced internationally. This standard, which applies to small satellites, has already drastically lowered the cost of launching payloads weighing between one and three kilograms – a first step. What has been successful on a small scale must now be implemented on a large scale. In the future, it should be possible to adapt standardised satellite platforms to the requirements of a new mission in the shortest possible time. Customised developments and the expense of time and money involved will thus become a part of history.

#### New markets develop

In following up these developments and ideas, the DLR Space Administration is paving the way for a greater commercial element in space flight. The ideas can spawn entirely new fields of business. Satellites may be serviced by companies maintaining the requisite logistical infrastructure in orbit around Earth. It will become possible to handle logistics and payload elements separately. This enables governmental and commercial users to concentrate on exploiting satellite data, while private satellite service providers may focus on their core business, which is providing payloads and marketing services. New space-economy perspectives will emerge, which go far beyond traditional business models.





## SoziRob

### Mensch und Roboter meistern Isolation spielend

By Daniel Nölke and Prof. Franz Kummert

Wie verhalten sich Menschen, wenn sie in der Isolation auf Roboter treffen? Sind Emotionen im Spiel? Können Roboter auf soziale Kommunikation eingestellt werden? Sind die „sozialen“ Roboter Nao und Flobi geeignet, um Menschen zu Sport und Spiel zu animieren? Können Roboter Astronauten aus emotionalen Tiefs während Langzeitmissionen holen? Um diese Fragen zu beantworten, hat das DLR Raumfahrtmanagement die Universität Bielefeld beauftragt, das Forschungs- und Entwicklungsprojekt SoziRob zur Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) durchzuführen. Nach knapp drei Jahren Forschung wurden nun in zwei Kampagnen jeweils acht Probanden für drei Wochen in den Isolationsräumen des DLR Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln von der Außenwelt abgeschnitten, um Mensch und Roboter auf die Probe zu stellen. Am 28. April 2013 endete die zweite Isolations-Kampagne und erste Ergebnisse liegen vor.

## SoziRob

### Humans and Robots Mastering Isolation at Play

By Daniel Nölke and Prof. Franz Kummert

How do humans behave when they encounter robots in isolation? Are there any emotions involved? Could robots be programmed for social communication? Can the 'social' robots Nao and Flobi encourage humans to engage in sports and games? Could robots guide humans out of emotional doldrums during long-term missions? To find answers to all these questions, the DLR Space Administration commissioned the University of Bielefeld to implement SoziRob, a research and development project in man-machine interaction (MMI). After a little less than three years of research, two campaigns were mounted in which eight volunteers were cut off from the outside world in the isolation rooms of the DLR Institute of Aerospace Medicine in Cologne to put humans and robots to the test. After the end of the second isolation campaign on April 28, 2013, the first results have become available.



Autoren: **Daniel Nölke** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Technik für Raumfahrtssysteme und Robotik des DLR Raumfahrtmanagements und leitet das SoziRob-Projekt. **Prof. Franz Kummert** leitet das Exzellenzcluster Kognitive Interaktionstechnologie CITEC der Universität Bielefeld und ist dort für das SoziRob-Projekt verantwortlich.

Authors: A scientific assistant at the General Technologies and Robotics department of the DLR Space Administration, **Daniel Nölke** leads the SoziRob project. **Prof. Franz Kummert** heads the Center of Excellence on Cognitive Interaction Technology, CITEC, at the University of Bielefeld and is responsible for the SoziRob project.

### Mental auf die Probe gestellt

Isolation ist die beste Voraussetzung, um den Einfluss sozialer Roboter auf den Menschen in Vorbereitung einer Weltraummission zu testen. Im Weltall sind Astronauten einer Vielzahl an psychologischen Herausforderungen ausgesetzt: Sie sind völlig isoliert und somit auf sich allein gestellt. Der Kontakt zu Freunden und Familie ist nur sehr eingeschränkt möglich. Das kann zu sozialen Spannungen innerhalb der Crew führen, die im Ernstfall eine ganze Weltraummission gefährden könnten. Während an der ersten Kampagne kein Roboter „teilnahm“, um die Studienteilnehmer zu Spiel und Sport zu motivieren, stellte der sprechende Roboterkopf Flobi die Probanden in der zweiten Kampagne mental und geistig auf die Probe, indem er mit jedem von ihnen täglich einige Partien Memory spielte. Er reagiert mimisch auf sein Gegenüber, indem er Augen, Brauen, Lider und Lippen bewegt. Flobi hat sehr gut funktioniert und ausgiebig mit den Studienteilnehmern gespielt, insbesondere auch deutlich länger, als die Teilnehmer der Kontrollgruppe alleine. Das spricht dafür, dass Flobi die Teilnehmer gut unterhalten hat. Dabei geben Fragebögen den Wissenschaftlern genaue Informationen über den emotionalen Zustand der Studienteilnehmer. Auswertungen haben ergeben, dass sich die Stimmungslage der Probanden in beiden Gruppen über den Lauf der gesamten Isolationszeit nicht wirklich unterschieden hat. Die Teilnehmer haben den Roboter als sehr vielseitig kennengelernt. Darüber hinaus scheint es in der zweiten Kampa-

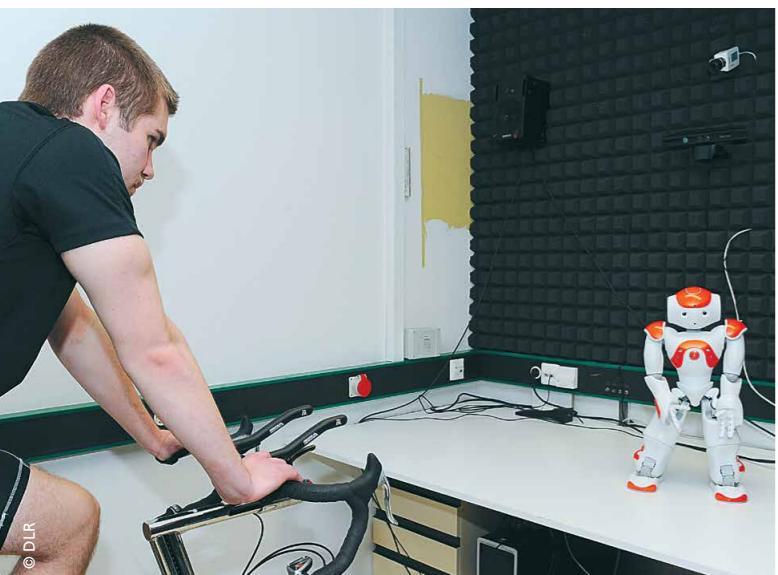
### A test of the mind

Isolation is the best possible condition for testing the influence of social robots on humans during a space mission. In space, astronauts are exposed to a multitude of psychological challenges. Completely isolated, they are left entirely to their own devices. Contacts with their friends and families are highly restricted. This may lead to social tensions within the crew which might even endanger the mission itself if things were to become serious. In the first campaign, there was no robot 'participant' to motivate the subjects to engage in sports and games. In the second campaign, Flobi, a talking robotic head, put the subjects to mental and intellectual tests by playing them at Pairs several times per day. Flobi is capable of changing its facial expression, moving its eyes, eyebrows, eyelids, and lips in response to its counterpart. Working in excellent fashion, Flobi played with the subjects extensively and, more importantly, considerably longer than the subjects of the reference group played amongst themselves, an indication that Flobi was a good entertainer. Questionnaires provided scientists with exact information on the emotional condition of the subjects. Evaluations have shown that the general mood of the subjects did not really differ from group to group throughout the period of isolation. As they came to know the robot, the subjects found it highly versatile. Moreover, the frame of mind of the subjects in the second 'robot-assisted' campaign appears to have been noticeably steadier, fluctuating less than in the first cam-



Foto: © DLR  
Flobi hat die Studienteilnehmer in der zweiten Kampagne mental und geistig auf die Probe gestellt, indem er mit jedem von ihnen täglich einige Partien Memory spielte. Die Partien mit Flobi waren ausgiebig und dauerten sogar länger als bei den Teilnehmern in der Kontrollgruppe.

During the second campaign, Flobi challenged the participants' mental and intellectual capacities by playing them at Pairs several times a day. Games played with Flobi were exhaustive and lasted even longer than those played by control groups.



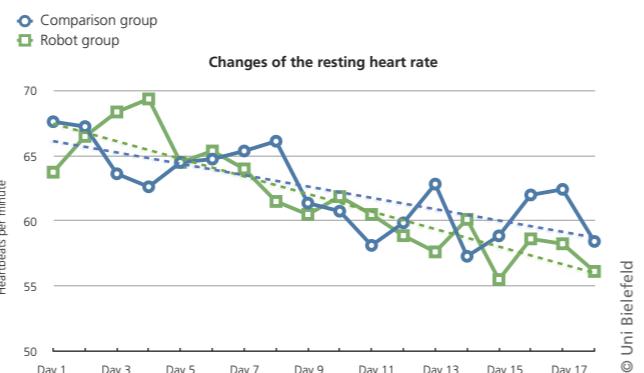
gne unter „Roboterbegleitung“ einen deutlich konstanteren Gemütszustand der einzelnen Probanden mit geringeren Schwankungen als in der ersten Kampagne ohne Roboterunterstützung gegeben zu haben. Trotz der mentalen Belastungen, die eine Isolation mit sich bringt, haben sich die Probanden mit den beiden robotischen Gefährten also gut vertragen. Zu diesem Schluss kommen die Hamburger Raumfahrtpsychologen des DLR Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin, die die Probanden während der Isolation psychologisch begleitet haben.

#### Roboter als Fitnesscoach

Doch Astronauten sind im Weltall neben den psychologischen Belastungen auch mit physiologischen Strapazen konfrontiert: Die besonderen Bedingungen im All wie Schwerelosigkeit und Weltraumstrahlung führen zu Muskel- und Knochenschwund. Schwerelosigkeit sorgt dafür, dass Muskeln und dadurch auch die Knochen nicht mehr belastet werden, weil sie kein Gewicht mehr tragen müssen. Deswegen müssen Astronauten im All regelmäßig Sport treiben. Flobis Kollege, der knapp 60 Zentimeter große Nao, sollte die Studienteilnehmer dabei begleiten. Er war für das Sporttraining während der Isolation verantwortlich und leitete jeden der Probanden täglich für eine Stunde beim Spinning auf dem Indoor-Fahrrad an. Nao zeigte beispielsweise den Takt für die Geschwindigkeit an und erteilte Übungsanweisungen. Könnte Nao Astronauten dazu motivieren, mehr Sport zu treiben? Bei einer ersten Auswertung der Leistungsdaten über die gesamte Zeit konnten die Bielefelder Forscher im Abschlusstest eine leichte Tendenz zur Leistungsverbesserung feststellen. Sowohl für die Nao- als auch für die Vergleichsgruppe sank der Ruhepuls deutlich über die Zeit der Isolation ab – ein Beleg für eine konstant gesteigerte sportliche Leistungsfähigkeit. Durch das tägliche Fitnessprogramm hat sich bei beiden Gruppen also ein Trainingseffekt eingestellt. In der Roboter-Trainingsgruppe fiel dieser Effekt sogar marginal stärker aus als in der Vergleichsgruppe – aufgrund der kleinen Stichprobengröße im Rahmen der Isolationsstudie ein gutes Ergebnis.

#### Nao motiviert zu höherer Anstrengung

Die Freude am Training war in beiden Gruppen über den gesamten Zeitraum gleich. Allerdings schätzten die Teilnehmer, die mit Nao trainierten, die körperlichen Trainingsanforderungen härter ein, obwohl beide Gruppen den gleichen Trainingsplan hatten. Alle Probanden mussten die gleichen Übungen mit identischen Zeitvorgaben absolvieren. Die Anstrengung während des Trainings war allerdings in der Nao-Gruppe höher. Roboter könnten also der entscheidende Faktor sein, um Menschen zum Erreichen von optimalen Trainingsleistungen anzuregen. Dementsprechend lag die subjektive Trainingsmotivation in der Nao-



Der knapp 60 Zentimeter große Nao war für das Sporttraining während der Isolation verantwortlich und leitete jeden der Probanden täglich für eine Stunde beim Spinning auf dem Indoor-Fahrrad an. Nao zeigte beispielsweise den Takt für die Geschwindigkeit an und erteilte Übungsanweisungen. Beim Training sank sowohl für die Nao- als auch für die Vergleichsgruppe der Ruhepuls deutlich über die Zeit der Isolation ab. Durch das tägliche Fitnessprogramm hat sich bei beiden Gruppen also ein Trainingseffekt eingestellt, der in der Roboter-Trainingsgruppe marginal stärker ausfiel.

Nearly 60 centimetres tall, Nao was in charge of athletic training during the isolation period and coached subjects during their daily one-hour workout on the indoor bicycle. Thus, for example, Nao counted time to control their speed and gave exercising instructions. Both in the Nao-led as well as in the reference group, the participants' resting pulse rate declined noticeably during the period of isolation. The daily fitness programme therefore produced a training effect in both groups which, however, was marginally more effective in the Nao group.

paign without robot support. In spite of the mental stress that is a concomitant of isolation, the subjects apparently got on well with their two robotic companions. Such at least is the conclusion of the space psychologists from Hamburg who attended the subjects psychologically during the period of isolation on behalf of the DLR Institute of Aerospace Medicine.

#### A robot as a fitness coach

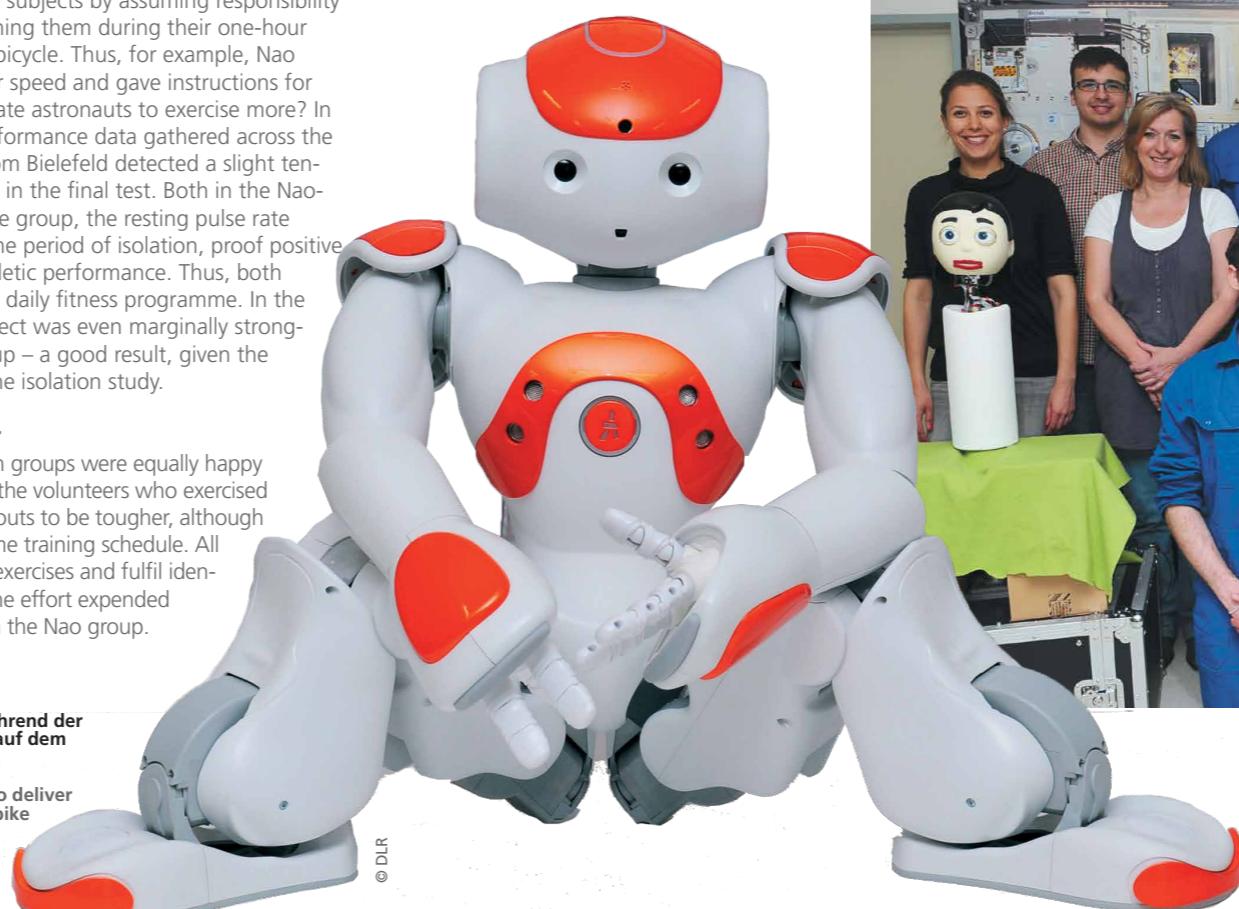
However, astronauts in space are confronted not only by psychological stresses but also by physiological discomfort. The peculiar conditions prevailing in space, such as microgravity and cosmic radiation, cause atrophy of muscles and bones. In weightlessness, muscles and, by the same token, bones are not exercised because they no longer need to support any weight. For this reason, astronauts in space must work out regularly. Nao, a colleague of Flobi's which is nearly 60 centimetres tall, was designed to support the subjects by assuming responsibility for their workouts and coaching them during their one-hour daily training on the indoor bicycle. Thus, for example, Nao counted time to control their speed and gave instructions for exercising. Might Nao motivate astronauts to exercise more? In a tentative evaluation of performance data gathered across the entire period, researchers from Bielefeld detected a slight tendency towards improvement in the final test. Both in the Nao-led as well as in the reference group, the resting pulse rate declined noticeably during the period of isolation, proof positive of a constant increase in athletic performance. Thus, both groups benefitted from their daily fitness programme. In the robot training group, the effect was even marginally stronger than in the reference group – a good result, given the small size of the sample in the isolation study.

#### Nao makes you try harder

During the entire period, both groups were equally happy with their training. However, the volunteers who exercised with Nao perceived the workouts to be tougher, although both groups followed the same training schedule. All subjects had to do the same exercises and fulfil identical time targets. However, the effort expended during training was greater in the Nao group.

Nao spornte die Probanden während der Isolation zu hohen Leistungen auf dem Spinning-Fahrrad an.

Nao, cheering on the subjects to deliver their best performance on the bike during the isolation study



Gruppe über der der Vergleichsgruppe. Dies scheint allerdings nicht daran zu liegen, dass das Training mit dem Roboter generell mehr Spaß gemacht hätte, da sich die Freude beim Training zwischen beiden Gruppen nicht unterschied. Das Roboter-Trainingssystem verhalf scheinbar durch die direkte Interaktion mit den Probanden zu besseren körperlichen Trainingseffekten, anspruchsvollerem Training und höherer Motivation. Das legt den Schluss nahe, dass die Probanden Nao während der Isolation akzeptiert und seine Anweisungen gut umgesetzt haben. Die Mensch-Roboter-Interaktion hat offenbar gut funktioniert.

Das zeigt sich auch in den vergleichenden Bewertungen: Das Training mit Roboter empfanden die Studienteilnehmer als abwechslungsreicher, interaktiver, zugänglicher und aufmerksamer. Bei exakt gleichem Trainingsplan scheint der Roboter also Menschen dabei zu helfen, ihre körperlichen Trainingsziele zu erreichen. Die höhere Trainingsmotivation als auch die positiven Bewertungen unterstützen diese Ergebnisse. In weiteren Auswertungen werden nun die exakten körperlichen Trainingseffekte genauer untersucht und durch umfangreiche Video-Analysen unterstützt.

#### Roboter als Bereicherung für Weltraummissionen?

Auch die Emotionen der Studienteilnehmer wurden beobachtet. Dabei geholfen haben Kameras, die im ganzen Habitat verteilt waren. In der Interaktion haben die Bielefelder Forscher sowohl Freude wie auch Frustration bemerkt. Die Isolation an sich scheint auch teilweise zu Energieslosigkeit geführt zu haben. Starke emotionale Zustände die eine Mission gefährden könnten, haben sie allerdings nicht festgestellt, weder durch die Roboter-Interaktion noch durch die Isolation. Die ersten Ergebnisse haben gezeigt, dass Menschen auch im Weltraum Roboter akzeptieren und ihre Anweisungen umsetzen könnten. Die Technik hat tadellos funktioniert. Flobi und Nao haben bewiesen, dass soziale Interaktion zwischen Mensch und Roboter bei Weltraummissionen eine Bereicherung ist. Das eröffnet auch attraktive Möglichkeiten auf der Erde: Sport, Rehabilitation und die Unterhaltungsbranche sind nur ein paar Beispiele, bei denen Roboter im Alltag eingesetzt werden können.

This is also confirmed in comparative evaluations which similarly indicate that, in the subjects' opinion, training with a robot was more varied, interactive, accessible, and attentive. Apparently, therefore, people following exactly the same training schedule find it easier to reach their physical objectives when assisted by a robot. These findings are supported by their greater motivation and their positive judgements. Further evaluation supported by extensive CCTV record analyses will now focus on the exact physical effects of training.

#### Robots – a gain for space missions?

The study also involved monitoring the subjects' emotions, assisted by cameras placed all over the entire habitat. Observing the interactions, researchers from Bielefeld noted both feelings of joy as well as of frustration. It appears that isolation itself caused a sense of listlessness in some cases. At the same time, it was found that neither the interactions with the robots nor isolation itself gave rise to emotions powerful enough to threaten a mission. The first results have shown that also on space missions humans are likely to accept robots and follow their instructions. The technology has worked extremely well. Flobi and Nao have proven that social interaction between humans and robots could, in fact, enrich space missions. At the same time, the study opens up attractive options on Earth in sports, rehabilitation, and the entertainment industry, to name but a few examples involving the employment of robots in everyday life.



Die acht Probanden der zweiten Kampagne haben sich in drei Wochen gut an die Roboter Flobi und Nao gewöhnt und ihre Anweisungen umgesetzt. Am 28. April 2013 verließen sie die Isolationsräume des DLR Instituts für Luft- und Weltraummedizin.

In the space of three weeks, the subjects of the second campaign grew accustomed to the robots Flobi and Nao and followed their instructions. On April 28, 2013, they left the isolation rooms at the DLR Institute of Aerospace Medicine.



# WADIS

## Dem Seegang der Mittleren Atmosphäre auf der Spur

Von Dr.-Ing. Christian Gritzner und Dr. Boris Strelnikov

In 50 bis 85 Kilometer Höhe ist alles ruhig und friedlich – könnte man meinen. Doch das ist ein Irrtum. In der sogenannten Mittleren Atmosphäre herrscht ein „rauer Seegang“, der entscheidenden Einfluss auf unser Klima nimmt. Hier sorgen Schwerewellen für Verwirbelungen, die auch für unser Wetter in Bodennähe verantwortlich sind. Um diese periodischen Schwankungen besser zu verstehen, ist am 28. Juni 2013 um 01:52 Uhr Mitteleuropäischer Sommerzeit (MESZ) eine Höhenforschungsrakete mit der ersten WADIS-Nutzlast von der Andøya Rocket Range (ARR) bei Andenes (Nord-Norwegen) aus auf ihre zehnminütige Reise gestartet. Sie durchflog die Mittlere Atmosphäre bis zu einer Gipfelhöhe von 115 Kilometern, um dort Messungen durchzuführen.

## WADIS

### Rough Seas in the Middle Atmosphere

By Dr.-Ing. Christian Gritzner and Dr Boris Strelnikov

50 to 85 kilometres up, all is calm and peaceful – or so you might think. But you would be wrong. The so-called middle atmosphere is disturbed by a 'rough swell' whose influence on our climate is crucial. At this altitude, gravity waves cause turbulences that affect even the weather close to the ground. To improve our understanding of these periodic fluctuations, a high-altitude sounding rocket carrying the first WADIS payload took off for a ten-minute trip from the Andøya Rocket Range (ARR) near Andenes (northern Norway) on June 28, 2013, at 01:52 Central European Summer Time (CEST). Flying through the middle atmosphere, it reached a peak altitude of 115 kilometres to carry out measurements.



Autoren: **Dr. Christian Gritzner** betreut für das DLR Raumfahrtmanagement als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Extraterrestrik das WADIS-Projekt. **Dr. Boris Strelnikov** arbeitet in der Abteilung Radarsondierungen und Höhenforschungsraketen des Leibniz Instituts für Atmosphären Physik (IAP). Er ist Principal Investigator der WADIS-Mission.

Authors: **Dr Christian Gritzner** supervises the WADIS project as a scientific assistant at the Space Science department of the DLR Space Administration.

**Dr Boris Strelnikov** works for the department Radar Soundings and Sounding Rockets at the Leibniz Institute for Atmospheric Physics (IAP). He is the Principal Investigator of the WADIS mission.

## What are gravity waves?

Schwerewellen sind zyklische Schwankungen von Temperatur, Dichte, Druck und Wind. Sie kommen und gehen und ihre Perioden liegen zwischen einigen Minuten und mehreren Stunden. Schwerewellen treten in der gesamten Mittleren Atmosphäre auf. Ihre horizontalen Wellenlängen können zwischen zehn und einigen tausend Kilometern betragen – die vertikalen schwanken zwischen ein und 30 Kilometern. Doch wie entsteht dieser atmosphärische Seegang? Durch Hindernisse wie einzelne Berge oder ganze Gebirgszüge, durch starke Gewitterstürme, durch den Jetstream in der Tropopausenregion oder durch Welle-Welle-Wechselwirkungen werden die Schwerewellen angeregt und schaukeln sich – ähnlich wie auf dem Meer – zu Wogen auf.

Dieser atmosphärische Seegang ist ein wichtiger Antrieb für die Zirkulation der Atmosphäre, weil so Energie und Impuls vom Ort der Anregung in der Atmosphäre nach oben transportiert und in der Höhe wieder an die Hintergrundatmosphäre übertragen wird, wo sich die Schwerewellen „brechen“ und schließlich auflösen. Auf diese Weise treiben sie auch die Zirkulation vom Sommer- zum Winterpol an. Dadurch entsteht die polare Sommermesopause – die kälteste Stelle in der gesamten Erdatmosphäre. Erst durch Schwerewellen bilden sich in dieser Region Eisteilchen, die als leuchtende Nachtwolken beobachtet werden können. Bei der Brechung der Schwerewellen wird außerdem eine Turbulenz erzeugt, die in der Mesosphäre und in der Stratosphäre beobachtet werden kann.

## Aufgaben von WADIS

WADIS steht für „Wellenausbreitung und Dissipation in der Mittleren Atmosphäre: Energiebudget und Spurenstoffverteilung“. Die Forscher wollen mit der Nutzlast die Ausbreitung von Schwerewellen und deren komplexe Wechselwirkungen untersuchen. Sie verfolgen die Wogen von ihrer Quelle in der Troposphäre bis sie sich in der unteren Thermosphäre „brechen“ und auflösen.

**Kurz vor dem Start posiert das WADIS-Team vor der Rakete im Startkomplex.**

The WADIS team, posing in front of their rocket in the launcher building shortly before launch.



## The tasks of WADIS

WADIS is a German acronym that stands for 'wave propagation and dissipation in the middle atmosphere: energy budget and distribution of trace substances'. Researchers intend to use the payload to investigate the propagation of gravity waves and the complex interactions between them. They want to track the waves from their source in the troposphere to the point where they 'break' and dissipate in the lower thermosphere. At the same time, they aim to measure the contribution made by gravi-

(„Dissipation“). Der Beitrag der Schwerewellen zum Energiebudget der Mittleren Atmosphäre sowie der Einfluss des turbulenten Transports auf die Konzentration des atomaren Sauerstoffs sollen ebenfalls bestimmt werden. Ferner soll gleichzeitig und durch neue Instrumente weltweit erstmals die Konzentration des atomaren Sauerstoffs in der Mesosphäre und der niedrigen Thermosphäre hochpräzise vermessen werden. Bei atomarem Sauerstoff sind die einzelnen Atome frei und ungebunden. Er kommt allerdings stabil nur unter extremen Bedingungen vor, beispielsweise im Vakuum des Weltalls oder in heißen Sternatmosphären. Dennoch hat er eine wesentliche Bedeutung als reaktives Zwischenprodukt in vielen Reaktionen der Atmosphärenchemie. So nimmt er Einfluss auf die Weltraumstrahlung und das Energiebudget der Erde. Mit den Messungen wollen die Wissenschaftler versuchen, das Energiebudget des atomaren Sauerstoffs zu bestimmen, und so versuchen, die komplexen Vorgänge in unserer Erdatmosphäre zu verstehen.

WADIS wird vom Leibniz Institut für Atmosphärenphysik (IAP) an der Universität Rostock, Kühlungsborn geleitet. Im Projekt soll unter zwei sehr verschiedenen geophysikalischen Bedingungen gemessen werden: Dies bedeutet, dass die erste Raketenkampagne im Sommer durchgeführt wurde und die andere im kommenden Winter folgen soll. Es soll je eine WADIS-Höhenforschungsrakete gestartet werden, die von Salven von bis zu zwölf meteorologischen Raketen begleitet wird. Vor und nach dem ersten WADIS-Flug wurden zusätzlich insgesamt elf Datasonden mit „Super-Loki-Raketen“ in fünf Salven gestartet. Diese sogenannten MetRockets haben zusätzliche meteorologische Messungen in Höhen bis zu 70 Kilometern durchgeführt. Sie wurden kostenneutral von der NASA beigestellt. Die Raketenmessungen werden von bodengebundenen Systemen begleitet und ergänzt.

#### Wie untersucht man Schwerewellen?

Zentrale Experimente waren die beiden CONE-Instrumente des IAP und FIPEX und PHLUX des Instituts für Raumfahrtssysteme (IRS) der Universität Stuttgart. FIPEX kam schon auf der Internationalen Raumstation ISS zum Einsatz und hat dort die räumlichen und zeitlichen Konzentrationsschwankungen des atomaren Sauerstoffs erfolgreich gemessen. Solche Messungen sind für die Auslegung von Satelliten und Raumschiffen sehr wichtig, da der atomare Sauerstoff sehr aggressiv ist, mit den Oberflächen reagiert und diese schädigt. PHLUX hat dieselbe Aufgabe wie FIPEX, nutzt aber eine andere Technologie. CONE ist für die Messung der Neutralgasdichte, Temperatur und somit der Turbulenz verantwortlich. Weitere Instrumente steuerten die Uni-

ty waves to the energy budget of the middle atmosphere as well as the influence exerted by turbulent transport on the concentration of atomic oxygen. Also, for the first time worldwide, the concentration of atomic oxygen in the Mesosphere and the Lower Thermosphere will be measured at high precision in-situ using innovative instruments. In atomic oxygen, each individual atom is unbonded. However, it remains stable only under extreme conditions such as, for example, in the vacuum of space or in the hot atmosphere of a star. Nevertheless, atomic oxygen constitutes an important reactive intermediate product in many chemical reactions in the atmosphere. Thus, it has an influence on Earth's cosmic irradiation and energy budget. Through their measurements, scientists hope to determine the energy budget of atomic oxygen and improve their understanding of the complex processes that are happening in our atmosphere.

Co-ordinated by the Leibniz Institute of Atmospheric Physics (IAP) at Rostock University in Kühlungsborn, the WADIS project involves measurements under two very different geophysical conditions: the first rocket campaign was run in summer, and the next will follow in the coming winter. Each involves the launch of one WADIS high-altitude sounding rocket accompanied by simultaneous launches of up to twelve meteorological rockets. Before and after the first WADIS flight, eleven additional data probes were launched in five salvos of Super-Loki rockets. These so-called MetRockets carried out additional meteorological measurements at altitudes of up to 70 kilometres. The rockets were provided by NASA at no extra cost. Ground-based systems support and complement their measurements.

#### How do we examine gravity waves?

Key experiments included two CONE instruments from the IAP and the FIPEX and PHLUX instruments supplied by the Institute of Space Systems at Stuttgart University. On a previous mission, FIPEX successfully measured spatial and temporal fluctuations in the concentration of atomic oxygen on the International Space Station (ISS). Such measurements are very important in designing satellites and spacecraft because atomic oxygen, being highly aggressive, reacts with and thus damages material surfaces. PHLUX serves the same purpose as FIPEX but uses another technology. CONE is responsible for measuring neutral gas densities and temperatures, and thus turbulences. Further instruments were contributed by the University of Stockholm (MISU), the Technical University of Graz (TUG), and the Embry-Riddle Aeronautical University (ERAU) in Florida. Measured parameters included turbulence, neutral-gas density, tempera-

ture, electron density, ion density, particles, ionisation status, atomic oxygen, and radiation at various wavelengths.

The range of ground-based instruments did a similarly excellent job, recording valuable data. The WADIS flight was accompanied by measurements performed by lidar and radar systems, some of them unique worldwide. While radar receives the echoes reflected by atmospheric layers of varying density, ice particles, and clouds, lidar is an optical system that uses laser beams. Lidar is capable of measuring temperatures, wind fields, the distance of clouds, aerosols, and other parameters. During this campaign, the trajectory of the rocket was measured in its entirety for the first time, using the MAARSY radar. Operated by the IAP, MAARSY (Middle Atmosphere ALOMAR Radar System) is located in the immediate vicinity of the launch site. Situated on a mountain above the range, the Norwegian ALOMAR station (Arctic Lidar Observatory for Middle Atmospheric Research) also conducted measurements with a variety of instruments. Lastly, the flight was observed by special radar systems located in Tromsø about 100 kilometres away.

#### A soft landing at the polar circle

Suspended from a parachute, the payload came down gently in the sea and was recovered successfully. Now, there is no reason why the second campaign should not begin on schedule in January/February 2014 because all instruments can be re-used after an overhaul. The implementation of the rocket campaign was entrusted to DLR's Mobile Rocket Base (MORABA). The rocket was powered by a Brazilian S30 solid-fuel engine that had been modified by MORABA to suit the requirements of the mission. The take-off weight of the 7.6-metre rocket was 1,561.8 kilograms, of which 233.8 kilograms were accounted for by the 4.3-meter payload tip, including the adapter and the recovery system. With a field experience of many years that is appreciated worldwide, MORABA is also in charge of high-altitude research campaigns such as TEXUS, BEXUS, and SPEXEX in Kiruna (Sweden). The scientific objectives of the WADIS campaign can be attained only with high-altitude sounding rockets: altitudes around 85 kilometres above the ground are too high for research balloons and too low for Earth-observation satellites. After a preliminary examination of the data, all experimenters declared themselves highly satisfied with the results obtained. After detailed evaluation, the final results will be presented in international journals and at conferences.



Die Rakete steht im Starturm und ist für ihren zehnminütigen Flug in Richtung Mittlere Atmosphäre bereit.  
The rocket standing in the launching tower ready for its ten-minute flight into the middle atmosphere.



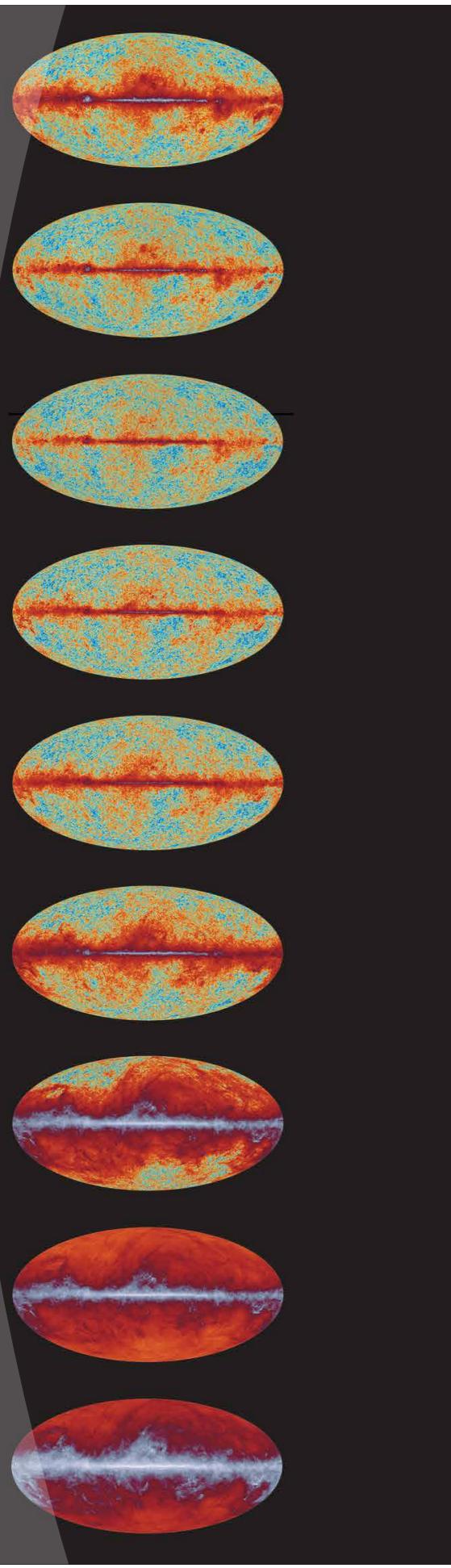
Die WADIS-Nutzlast wird in der Rakete verstaut.  
Stowing the WADIS payload inside the rocket.



Das MAARSY-Radar des IAP hat erstmals die komplette Flugbahn der Rakete verfolgt.  
The MAARSY radar followed the complete trajectory of the rocket for the first time.



Im Kontrollraum wird der Flug der Rakete genauestens verfolgt und die WADIS-Instrumente überwacht.  
Control room staff closely monitor the rocket's trajectory and the WADIS instruments.



# Planck

Folgt Herschel in den wohlverdienten Ruhestand

Von Josef Hoell und Dr. Torsten Enßlin

Nachdem Ende April „Herschel“ die Kühlmittelvorräte ausgingen und das europäische Weltraumteleskop abgeschaltet wurde, ging im August die Schwesteronde „Planck“ in ihren wohlverdienten Ruhestand. Das nach dem Begründer der Quantenphysik benannte Teleskop hat das älteste Licht des Universums so präzise eingefangen wie nie zuvor. Das Licht stammt aus der Zeit kurz nach der Geburt des Weltalls. Als Reststrahlung des Urknalls verrät es mehr darüber, wie unser Universum entstanden ist und wie es sich zusammensetzt. Seit Planck im Mai 2009 zusammen mit Herschel auf einer Ariane 5 ECA vom Weltraumbahnhof Kourou gestartet wurde (siehe COUNTDOWN Ausgabe 22), hat das Teleskop von seiner Umlaufbahn um den Lagrange-Punkt L2 in circa 1,5 Millionen Kilometern Entfernung von der Erde den gesamten Himmel mehrfach kartiert.

## Planck

Following Herschel into its Well-Earned Retirement

By Josef Hoell and Dr Torsten Enßlin

Following Europe's space telescope Herschel which was decommissioned in late April after having spent all its coolant reserves, its sister spacecraft, Planck, reached its well-earned retirement in August. Named after the founder of quantum physics, the telescope captured the earliest light in the universe, at a level of precision never reached before. The light hails back to the period shortly after the universe was born. This relic radiation of the Big Bang gives us an idea about how our universe originated and what it is composed of. Since its launch together with Herschel from the Kourou spaceport, carried by an Ariane5 ECA in May 2009 (see COUNTDOWN 22), the telescope, orbiting Lagrange Point L2 at a distance of about 1.5 million kilometres from Earth, mapped the whole sky several times.

Himmelskarten in den neun Frequenzbändern von Planck von 30 GHz bis 857 GHz. Die Darstellungen zeigen jeweils den gesamten Himmel mit dem Band der Milchstraße in der Mittelebene.

Maps of the sky in Planck's nine frequency bands ranging from 30 GHz to 857 GHz. Each of these images shows the entire sky with the band of the Milky Way in the central plane.



Autoren: **Josef Hoell** betreut für das DLR Raumfahrtmanagement als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Extraterrestrik das Planck-Projekt. Dr. **Torsten Enßlin** leitet die Planck-Arbeitsgruppe am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching.  
Authors: **Josef Hoell** supervises the Planck project as a scientific assistant at the Space Science department of the DLR Space Administration. At the Max Planck Institute for Astrophysics, **Dr Torsten Enßlin** leads the Planck working group.

## Blick auf das frisch geborene Universum

Diesen Einblick in die Geburt unseres Universums machen vor allem zwei Instrumente im Mikrowellenteleskop Planck möglich. Das High Frequency Instrument (HFI) und das Low Frequency Instrument (LFI) decken einen weiten Frequenzbereich von 30 bis 857 Gigahertz in neun einzelnen Bändern ab. Doch diese hohe Empfindlichkeit erfordert eine anspruchsvolle Kühlung auf 0,1 Kelvin (-273 Grad Celsius) – 0,1 Grad über dem absoluten Nullpunkt – für das HFI und 20 Kelvin (-253 Grad Celsius) für das LFI. Nach Verbrauch des Kühlmittels Helium-3 wurde das HFI im Januar 2012 ausgeschaltet, während das LFI noch bis August 2013 weiter messen konnte. Mit diesen Instrumenten hat Planck insgesamt neun Karten – eine für jedes Band – erstellt. Diese wurden dann zu der bislang genauesten Himmelskarte der kosmischen Hintergrundstrahlung kombiniert. Planck gewährt uns damit Einblick in eine frühe Entwicklungsphase des Universums: In eine Zeit, in der die Entstehung der ersten Strukturen einsetzte, aus denen sich später die heute beobachteten Galaxienhaufen, Galaxien, Sterne und Planeten formierten.

## Das frühe Universum – ein ungemütlicher Ort

Hunderttausend Jahre nach dem Urknall war das Universum ein ungemütlicher Ort. Es war gefüllt mit einem Wasserstoff-Helium-Plasma, das heißt Protonen und Helium-Kernen, zwischen denen schnelle Elektronen herumschwirrten. Dominierend war aber eine heiße Strahlung mit Temperaturen von einigen zehntausend Grad. Sobald sich ein Proton und ein Elektron zu einem neutralen Wasserstoff-Atom zusammenfanden, wurden sie durch die hochenergetische Strahlung wieder getrennt. Die Strahlung wurde durch Streuung an den freien Elektronen ständig abgelenkt, ähnlich wie in einem dichten Nebel. Ein Beobachter hätte daher in dieser lebensfeindlichen Umgebung nicht viel sehen können.

## Der Nebel lichtet sich

Mit der Ausdehnung des Universums sank die Strahlungsenergie, die schließlich nicht mehr ausreichte, um neutrale Atome anzuregen. Die Elektronen wurden an die Atomkerne gebunden und die sogenannte kosmische Hintergrundstrahlung konnte sich ab diesem Zeitpunkt nahezu geradlinig ausbreiten. Der Nebel lichtete sich. Weitgehend unverändert spiegelt diese Strahlung den Zustand des Universums zu diesem Zeitpunkt, circa 380.000 Jahre nach dem Urknall, wieder. Nur ihre Temperatur ist inzwischen auf 2,73 Kelvin über dem absoluten Nullpunkt, das heißt minus 270 Grad Celsius, abgesunken. Da die Wellenlänge dadurch in den Mikrowellenbereich verschoben wurde, spricht man auch vom kosmischen Mikrowellen-Hintergrund (Cosmic Microwave Background, CMB), den Planck jetzt kartiert hat.

## A glimpse into the new-born universe

We can sneak a look into the new-born universe mainly thanks to two instruments inside the microwave telescope Planck, i.e. the High Frequency Instrument (HFI) and the Low Frequency Instrument (LFI). Together they cover a frequency range from 30 to 857 Gigahertz in nine individual bands. But this extreme sensitivity requires powerful cooling: the HFI must be cooled down to 0.1 Kelvin (-273 degrees Celsius), or 0.1 degrees above absolute zero – and the LFI needs to be kept at 20 Kelvin (-253 degrees Celsius). When the HFI had used up all its helium-3 coolant, it was switched off in January 2012, while the LFI was able to carry on with its measurements until August 2013. These instruments made it possible for Planck to generate a total of nine maps – one for each band. These were combined to form the most accurate sky map of cosmic background radiation produced to this date. Therewith, Planck permits us to catch a glimpse of the early days of the universe: a time in which the first structures came into being, which then gradually separated into the galaxy clusters, galaxies, stars, and planets that we can observe today.

## The early universe – an uncomfortable place to be

One hundred thousand years after the Big Bang, the universe was not a cosy place. It was filled with plasma of hydrogen and helium, or rather, protons and helium nuclei, with fast electrons zipping around in between. But the dominating factor was hot radiation with temperatures of up to several ten thousand degrees. Whenever a proton and an electron joined together to form a neutral hydrogen atom, they were instantly separated again by the prevailing high-energy radiation. Deflected by the free electrons, the radiation was continuously scattered, forming something like a very dense fog. Therefore a casual bystander would not have been able to see a lot in this life-hostile environment.

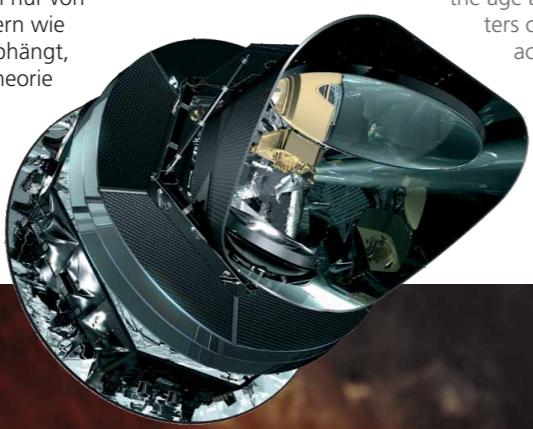
## The fog clears

As the universe expanded, radiation energy became less intense, to a point where it was no longer strong enough to blow neutral atoms apart. Electrons became bound to protons, and the so-called cosmic background radiation from then on propagated in straight lines without scattering. The fog cleared. It is this radiation that reflects the state of the cosmos in its early days, i.e. about 380,000 years after the Big Bang. It has remained largely unchanged since then, the only difference being that its temperature has meanwhile fallen to 2.73 Kelvin above absolute zero, or minus 270 degrees Celsius. Since this caused the wavelength to be shifted into the microwave range of the electromagnetic spectrum, the radiation is also referred to as the Cosmic Microwave Background, or CMB, which has now been precisely mapped by Planck.

**Geringe Abweichungen erfordern hohe Messgenauigkeit**  
Doch das Erstellen dieser Karte der Hintergrundstrahlung ist alles andere als trivial: Egal in welche Richtung am Himmel man schaut, die Temperatur von 2,73 Kelvin ist vermeintlich überall gleich. Erst mit steigender Messgenauigkeit zeigt sich eine erste Abweichung von circa 0,1 Prozent, die bei der Bewegung des Sonnensystems entsteht. Sie belegt, dass sich unsere Sonne mit einer Geschwindigkeit von circa 370 Kilometer pro Sekunde gegenüber dem Strahlungshintergrund bewegt. Bei einigen Millionen Grad Messgenauigkeit zeigen sich schließlich die Abweichungen, für deren Untersuchung Planck gebaut wurde. Die hohe Empfindlichkeit und das Auflösungsvermögen des Teleskops haben die Erstellung der genauesten CMB-Himmelskarte erst möglich gemacht.

Doch wie kommen diese Temperaturabweichungen eigentlich zustande? Die Materie im frühen Universum ist nicht überall gleich verteilt. Dort, wo sie sich ballt und verdichtet, misst Planck eine etwas höhere Temperatur. Diese Schwankungen hat Planck „eingefangen“. Doch das ist gar nicht so einfach: Jede Menge Störfaktoren wie Staub, Gas und Einzelquellen wie Galaxienhaufen, Galaxien und Sterne strahlen ebenfalls im Frequenzbereich von Planck. Doch das Teleskop ermöglicht es den Wissenschaftlern, diese Störfaktoren zu erkennen und von den Beobachtungsdaten abzuziehen, so dass anschließend die unverfälschte Hintergrundstrahlung übrig bleibt.

Dessen Temperaturänderungen werden statistisch ausgewertet und mit Modellrechnungen über die Entwicklung der Materieverteilung verglichen. Diese Rechnungen sagen präzise das „Leistungsspektrum“ dieser Temperaturschwankungen voraus, das die Häufigkeit der Temperaturschwankungen zu ihrer Ausdehnung in Bezug setzt. Bestimmte Ausdehnungen wurden von Planck auffallend häufig beobachtet. Die Modellrechnungen zeigen, dass die Leistungsspektrum nur von wenigen kosmologischen Parametern wie Alter und Dichte des Universums abhängt, die sich durch den Vergleich von Theorie und Messung aus den Planck-Beobachtungen mit bisher unerreichter Präzision bestimmen lassen.



#### Meilensteine in der Untersuchung der kosmischen Hintergrundstrahlung (CMB)

1948	Vorhersage dieser Reststrahlung aus dem frühen Universum durch George Gamov
1965	Entdeckung der Hintergrundstrahlung durch Arno Penzias und Robert Wilson
1970	Vorhersage der durch das Leistungsspektrum beschriebenen akustischen Oszillationen im CMB durch Rashid Sunyaev, heute Direktor am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching, und Yakov Zel'dovich
1978	Nobelpreis an Penzias und Wilson
1989	Start des COBE-Satelliten, der die Planck-Form des CMB Frequenzspektrums und erste Schwankungen in der Strahlungstemperatur nachwies
2001	Start des WMAP-Satelliten zur Messung der Temperaturverteilung
2006	Nobelpreis an George Smoot und John Mather aus dem COBE-Team
2009	Start des Planck-Satelliten
2011	Nobelpreis an Saul Perlmutter, Brian Schmidt und Adam Riess für den Nachweis der Dunklen Energie, deren Anteil Planck hochpräzise bestimmt hat

#### Tiny differences require great accuracy

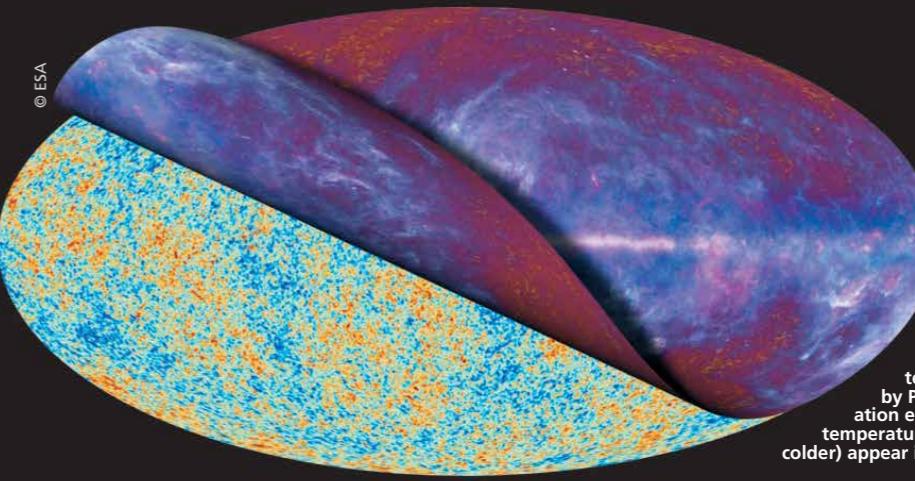
Yet, making a map of this background radiation is anything but trivial: no matter where in the sky you look, the general temperature of 2.73 Kelvin appears to be the same everywhere. Only with enhanced measuring precision does one begin to see very small temperature deviations of about 0.1 per cent, caused by the movement of the solar system. These deviations prove that our Sun travels with respect to the cosmic background at a velocity of some 370 kilometres per second. With even greater accuracy, down to a few millionths of a degree, one can finally study the pattern of deviations for which Planck was built. The telescope's high sensitivity and resolution have made it possible to generate the most accurate CMB map that has ever existed.

But what exactly causes these temperature variations? In the early universe, matter was not evenly distributed. In places where matter is more densely agglomerated, Planck records a slightly raised temperature. Planck systematically captures these fluctuations. This is not that easy to do, given that various other objects, too, emit radiation within Planck's frequencies: dust, gas, and singular sources such as galaxies, galaxy clusters, and stars. But the telescope enables scientists to identify these noise factors and subtract their effect from the observation data, leaving only the unadulterated cosmic background radiation.

The recorded temperature fluctuations are statistically analysed and compared with computed models of the distribution of matter in cosmic history. The models predict the exact ‘power spectrum’ of temperature fluctuations, meaning the strength of temperature fluctuations in relation to their spatial expansion. Planck permits us to determine the location and the heights of the peaks in this power spectrum with unprecedented precision. The models show that the form of the power spectrum only depends on very few cosmological parameters, such as the age and density of the universe. These parameters can now be determined with unparalleled accuracy by a comparison between theory and the data obtained by Planck.

#### Milestones in the investigation of the cosmic microwave background (CMB)

1948	George Gamov predicts the existence of relic radiation from the early universe
1965	Background radiation discovered by Arno Penzias and Robert Wilson
1970	Rashid Sunyaev, today a director of the Max Planck Institute for Astrophysics in Garching, together with Yakov Zel'dovich predicts acoustic CMB oscillations in the power spectrum
1978	Penzias and Wilson receive the Nobel Prize
1989	Launch of the COBE satellite, confirmation of the CMB's Planck spectrum and first evidence of variations in the radiation temperature
2001	Launch of the WMAP satellite to measure temperature distributions
2006	Nobel Prize awarded to George Smoot and John Mather, members of the COBE team
2009	Launch of the Planck satellite
2011	Nobel Prize awarded to Saul Perlmutter, Brian Schmidt and Adam Riess who discovered strong evidence for the existence of dark energy, whose fraction is determined now by Planck very precisely



Darstellung des gesamten Himmels mit der von Planck gemessenen Temperaturverteilung: Nach Abzug der Strahlung der Vordergrundquellen werden Temperaturschwankungen von millionstel Grad (rot – heißer, blau – kälter) in der kosmischen Hintergrundstrahlung sichtbar.

Map of the whole sky showing the temperature distribution measured by Planck: after elimination of the radiation emitted by foreground objects, tiny temperature fluctuations (red – hotter, blue – colder) appear in the CMB.

#### Aufbau des Universums

Im März 2013 hatte das Planck-Team, eine Kollaboration aus mehreren Hundert Wissenschaftlern aus mehr als 50 Instituten in Europa, den USA und Kanada, die ersten kosmologischen Ergebnisse in einer Serie von 29 Veröffentlichungen publiziert. Ihnen liegen die Temperaturdaten der ersten 15,5 Monate der Mission zugrunde. Die Ergebnisse verfeinern und etablieren das kosmologische Standardmodell, das „ $\Lambda$ CDM“ (Lambda Cold Dark Matter)-Modell des Universums: Die heutige Energieichte wird von Dunkler Energie (68,3 Prozent) und Dunkler Materie (26,8 Prozent) dominiert, während der Anteil an „normaler“ Materie nur 4,9 Prozent beträgt. Das Universum ist 13,8 Milliarden Jahre alt. Seine heutige Ausdehnungsgeschwindigkeit wird durch die Hubble-Konstante angegeben und beträgt 67,9 Kilometer pro Sekunde pro Mpc. Weitere Eigenschaften betreffen zum Beispiel die Krümmung des Raumes und die Anzahl und Masse von Neutrinos.

#### Bestätigung der Inflationstheorie?

Planck ermöglicht auch Aussagen aus noch früheren Zeiten – sogar bis zu Sekundenbruchteilen nach dem Urknall. Man nimmt an, dass sich in dieser Geburtsstunde das Universum exponentiell aufgebläht hat. Diese Inflationstheorie impliziert, dass in dieser frühesten Phase eher große als kleine Strukturen entstanden sein sollen. Diese besondere Materieverteilung wurde von Planck erstmals signifikant aufgespürt und somit die Theorie bestätigt.

#### Datenauswertung geht weiter

Die vollständige Analyse der Daten wird sich noch mindestens ein Jahr hinziehen. Schließlich waren in 30 Monaten mit beiden Instrumenten über fünf Himmelsdurchmusterungen durchgeführt, und dabei neben der Temperatur auch die Polarisierung der Strahlung gemessen worden, von der Hinweise auf Gravitationswellen – Krümmungen der Raum-Zeit, die sich wie Schallwellen ausbreiten, – im frühen Kosmos erwartet werden. Das Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching beteiligt sich weiterhin an der Datenaufbereitung, besonders mit der dafür benötigten Simulationssoftware. In aufwändigen Computersimulationen wird dabei Strukturbildung und Strahlungstransport im frühen Universum unter variablen Anfangsbedingungen simuliert und mit Planck-Beobachtungen verglichen.

#### „Nützliche Störquellen“

Für die Analyse der Hintergrundstrahlung sind es Störquellen: die Milchstraße mit Sternen, Staub und Gas, die Galaxien und Galaxienhaufen. Viele Astrophysiker sind dagegen begeistert von den Planck-Beobachtungen dieser Objekte und nutzen sie für weitere wissenschaftliche Forschung. So lassen sich auch eigene Himmelskarten von den einzelnen „Störquellen“ erstellen. In unserer Milchstraße ist das zum Beispiel Strahlung von lichtschnellen Elektronen, von CO-Molekülen und von Staub. Verlässt man unsere Milchstraße sieht Planck andere Galaxien, in denen sich gerade Sterne bilden. Sein Wellenlängenbereich erfasst deren Infrarotstrahlung, in der sich bevorzugt Sterngebürtigen in relativ kalten Umgebungen beobachten lassen. Ein wichtiges Werkzeug zur Untersuchung von Galaxienhaufen, großräumiger Strukturen im Universum und zur Bestimmung kosmologischer Parameter ist der Sunyaev-Zel'dovich-Effekt. Er beschreibt eine Modifizierung des CMB-Spektrums, wenn das Licht einen Galaxienhaufen durchquert. Durch Streuung am heißen Gas im Haufeninneren wird die Strahlungsgenerierung im Mittel zu höheren Frequenzen verschoben. Während dieser Effekt bei seiner Vorhersage 1970 noch nicht beobachtbar war, hat Planck mittels dieses Effektes bis zu 1227 Galaxienhaufen entdeckt und vermessen. Galaxienhaufen und andere Strukturen beeinflussen auch die Richtung der Strahlung durch ihre Schwerkraft. Planck hat nachgewiesen, dass die Hintergrundstrahlung durch diesen Gravitationslinseneffekt abgelenkt worden ist.

#### Structure of the universe

In March 2013, the Planck team presented the first results of its cosmological studies in a series of 29 publications. The team consists of several hundred scientists from more than 50 institutions in Europe, the USA, and Canada. The publications are based on the temperature data from the first 15.5 months of the mission. They refine and confirm the cosmological standard model, called the  $\Lambda$ CDM (Lambda Cold Dark Matter) model of the universe. The energy density of today's universe is to a large extent dominated by dark energy (68.3 per cent) and dark matter (26.8 per cent), while the content of 'ordinary' matter as we know it is a mere 4.9 per cent. The age of the universe is 13.8 billion years. Its current rate of expansion is expressed by the Hubble constant and amounts to 67.9 kilometres per second per Mpc. Other properties relate to the curvature of space and the number and mass of neutrino species.

#### Inflation theory confirmed?

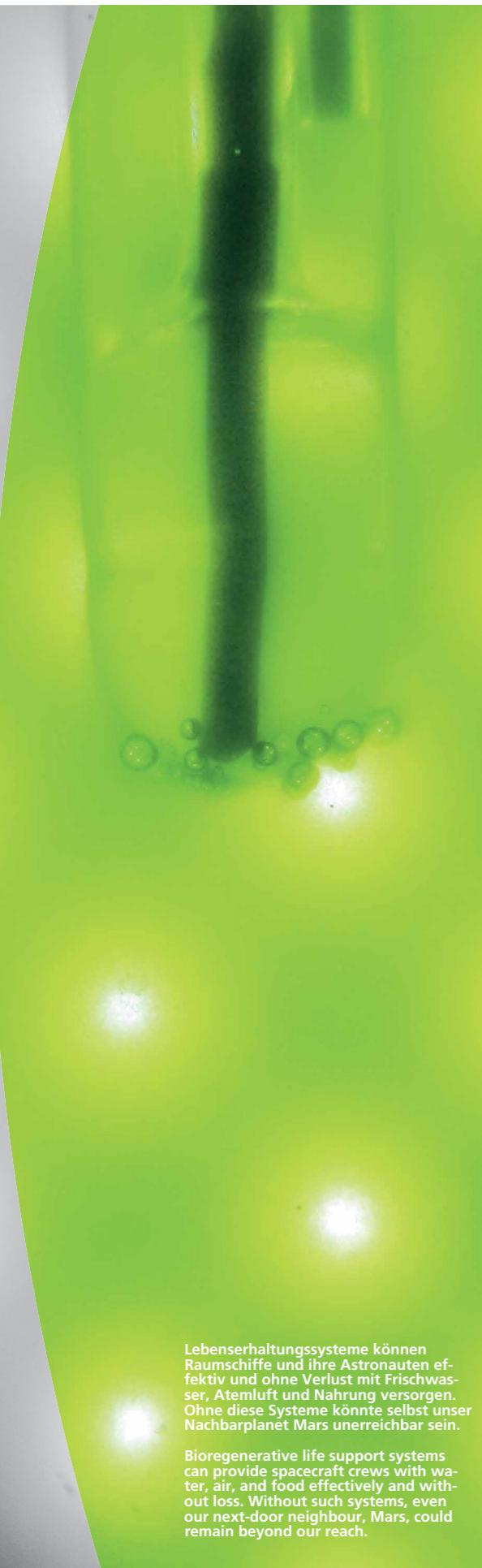
Planck helps us to find clues about an even earlier time – back to a few fractions of a second after the Big Bang. It is assumed that at that moment the universe expanded exponentially. This inflation theory implies that most of the early structures that formed in this phase were rather larger than smaller structures. Planck, for the first time, detected significant evidence of this peculiar distribution of matter, thus confirming the theory.

#### Data evaluation goes on

The complete analysis of the data will continue for at least one more year. After all, the two instruments together conducted more than five all-sky surveys in 30 months, collecting not only temperature data but also polarisation signals, from which scientists hope to learn more about gravitational waves – curvatures of space-time that spread like waves – in the early cosmos. The Max Planck Institute for Astrophysics in Garching, Germany, helps to prepare the data, notably by providing the necessary simulation software. Elaborate computer programmes are used to simulate the formation of structures and the way in which radiation propagated in the early universe, and to compare the result with Planck's observation data.

#### ‘Useful noise’

The Milky Way with its stars, dust and gas, but also other galaxies and clusters of galaxies: to a scientist whose job it is to analyse the cosmic microwave background, all these are a nuisance. Yet, many astrophysicists are eager to use the Planck data on these signals for further scientific research. Sky maps can be generated for each type of these ‘noise’ factors. Concerning our Milky Way, for instance, these would include the radiation emitted by fast electrons, CO molecules, and dust. Looking beyond our own Milky Way, Planck can peer into distant galaxies in which stars are currently being formed. Planck's wavelength coverage includes the infrared, which enables us especially to observe star births in comparatively cold neighbourhoods. An important tool for the study of galaxy clusters and large-scale structures in the universe and for the analysis of other cosmic parameters is the so-called Sunyaev-Zel'dovich effect. It describes a spectral modification of the CMB when light travels through a galaxy cluster. The radiation being scattered in the hot gas inside the cluster causes a slight shift in the mean radiation energy towards higher frequencies. While at the time when it was predicted in 1970, the effect could not actually be seen, Planck has now discovered and surveyed up to 1,227 galaxy clusters based on this effect. Galaxy clusters and other structures, by virtue of their gravitation, influence also the direction of the microwave radiation. Planck has demonstrated that the cosmic background has, in fact, been deflected by this so-called gravitational lensing effect.



# Bioregenerative Lebenserhaltungssysteme

**25 Jahre Forschung im biowissenschaftlichen Weltraumprogramm**  
Teil 3: Das ModuLES-Projekt (ab 2011)

Von Prof. Günter Ruyters und PD Dr. Markus Braun

Seit mehr als 50 Jahren leben und arbeiten Menschen im Weltraum. Die besonderen Umgebungsbedingungen wie Vakuum, extreme Temperaturen und die starke Strahlenbelastung erfordern für die Astronauten besondere Lebensräume wie die Internationale Raumstation ISS. In diesen künstlichen Habitaten sorgen sogenannte Lebenserhaltungssysteme für frische Atemluft, die Wasseraufbereitung sowie für die Entsorgung schädlicher Gase. In der Vergangenheit und auch gegenwärtig auf der ISS haben sich chemisch-physikalische Lebenserhaltungssysteme bewährt. Zusätzlich müssen jedoch Nahrung und Wasser von der Erde aus zur Raumstation gebracht werden. Für Langzeitmissionen zu fernen Planeten ist dieses Konzept nicht realistisch, da die Astronauten auf ihrer Reise von jedwedem Nachschub abgeschnitten sein werden. Physiko-chemische Systeme müssen daher Schritt für Schritt durch biologische Systeme erweitert und teilweise ersetzt werden. Im dritten und letzten Teil der Serie stellen wir das neue ModuLES-Projekt vor.

## Bioregenerative Life Support Systems

**25 Years of Research in the German Space Life Sciences Programme**  
Part 3: The ModuLES Project (from 2011)

By Prof. Günter Ruyters and PD Dr Markus Braun

For more than 50 years, human beings have been living and working in space. The harsh conditions prevailing there – vacuum, extreme temperatures, high radiation exposure – have made it necessary to create special living environments for the astronauts, like the International Space Station (ISS). Within such an artificial habitat, so-called life support systems provide fresh air, regenerate waste water, and eliminate harmful gases. Physico-chemical life support systems have proven their value in the past as well as currently on the ISS. However, the space station must be regularly supplied with new food and water from Earth. For long-term missions to distant planets, this concept is not realistic because the astronauts will be completely cut off from supplies on their journey. Therefore, step by step, current physico-chemical systems must be complemented and partially replaced by biological systems. In the third and last part of this series, we are going to introduce the new ModuLES project.

Lebenserhaltungssysteme können Raumschiffe und ihre Astronauten effektiv und ohne Verlust mit Frischwasser, Atemluft und Nahrung versorgen. Ohne diese Systeme könnte selbst unser Nachbarplanet Mars unerreichbar sein.

Bioregenerative life support systems can provide spacecraft crews with water, air, and food effectively and without loss. Without such systems, even our next-door neighbour, Mars, could remain beyond our reach.

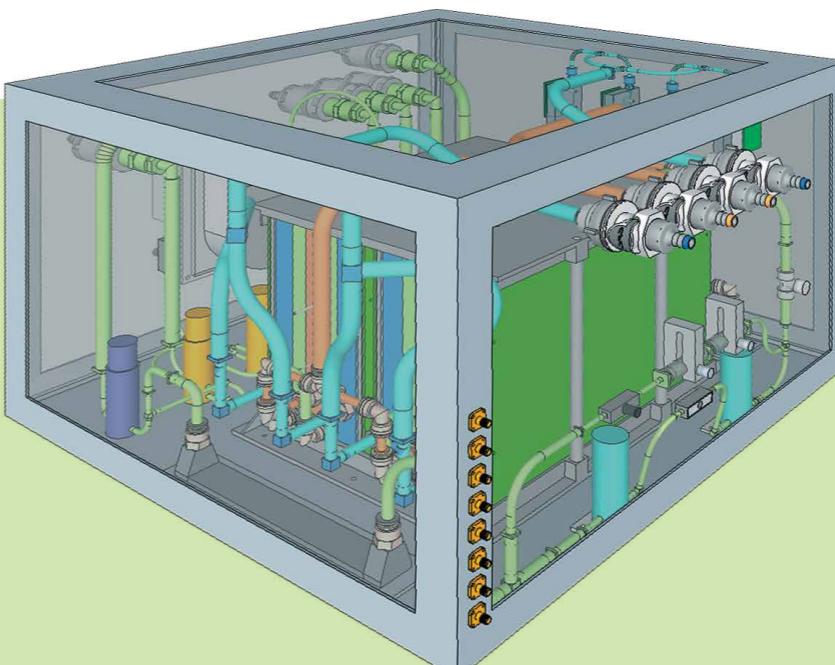


Autoren: Prof. Günter Ruyters (l.) leitet in der Abteilung Forschung unter Weltraumbedingungen des DLR Raumfahrtmanagements das Programm Biowissenschaften (Biologie, Medizin). Dr. Markus Braun ist deutscher Projektleiter des ModuLES-Projekts.

Authors: Prof. Günter Ruyters (l.) heads the Life Sciences Programme at the department of Microgravity Research (Life and Physical Sciences) of the DLR Space Administration. Dr Markus Braun supervises the ModuLES project as its German project manager.

None of the long-term space missions to distant destinations that are currently being planned in various exploration initiatives will be possible without bioregenerative life support and energy systems. Such systems will eliminate the need to send costly cargo supplies into space. They will conserve resources and enhance mission effectiveness, on condition that the biological components can bring about a nearly-closed cycle of matter and energy. Even our next-door neighbour, Mars, will probably remain out of our reach if our spaceships are unable to supply themselves and their astronaut crews with water to drink, air to breathe, and food to eat as effectively as possible and without loss. For this reason, the 'Research under Space Conditions' programme committee, which advises decision-makers at the DLR Space Administration on strategic questions, specifically calls for the development of such systems in its Research under Space Conditions 2025 Strategy Paper.

**Systems biology for maximum efficiency and reliability**  
One such concept is ModuLES (Modular Life Support and Energy System) which aims to develop an improved bioregenerative life support system based on findings of the CEBAS and Aquacells/Omegahab research projects. Germany's experience in the field of aquatic and terrestrial habitat research will provide the key input. To optimise the supply of air, for example, suitable organisms must be kept in ideal living conditions to make them feel comfortable and produce sufficient oxygen. However, since several organisms and subsystems will eventually be combined, the question is, whether and how all the different components fit together to form an efficient and reliable system. To make this happen, research is required in the area of systems biology. This is the underlying idea that makes the ModuLES concept innovative and, so far, unique. The interaction between the



© OHB Systems AG

Für das ModuLES-Konzept wird gerade ein Algenbioreaktor entwickelt. Der Reaktor soll maximale Effizienz in Bezug auf Sauerstoff- und Biomasseproduktion mit minimalem Aufwand an Energie und Masse erzielen.

An algae bioreactor is currently being developed for the ModuLES project. The reactor is designed for maximum efficiency, i.e. high oxygen and biomass production combined with a minimum energy and mass requirement.

der ist so komplex, dass manche Ansätze wie das US-amerikanische Biosphere-2-Projekt scheiterten. Darum werden bei ModuLES sowohl die Organismen in den einzelnen Modulen als auch die Wechselwirkungen zwischen den kombinierten Bausteinen als ökologische Lebensgemeinschaft intensiv biochemisch, physiologisch und molekularbiologisch untersucht. Denn das Lebenserhaltungssystem kann nur dann zuverlässig arbeiten, wenn „Input“ und „Output“ der einzelnen Module und insbesondere die Wechselwirkungen zwischen allen Partnern einer Lebensgemeinschaft kontrolliert und geregelt werden können.

#### Vom einzelnen Baustein zum Gesamtsystem

Hat man einmal das Zusammenspiel in diesem Ökosystem verstanden, dann sollten die einzelnen Bausteine möglichst effektiv untereinander kombiniert werden. Hier hat das ModuLES-Konzept eine ideale technische Lösung parat: Die Größe der einzelnen Module lässt sich je nach gewünschter Verwendung den Bedürfnissen anpassen. Weiterhin sorgen einheitliche Schnittstellen dafür, dass die einzelnen Module ähnlich wie in einem Baukasten zu einem geschlossenen Lebenserhaltungs- und Energiesystem zusammengezettet werden können. Dieses Gesamtsystem besteht aus mehreren sich ergänzenden biowissenschaftlichen und technologischen Subsystemen, die alle notwendigen Teifunktionen eines Lebenserhaltungssystems erfüllen, aber auch unabhängig voneinander betrieben werden können. Physikalisch-chemische Module wie zum Beispiel der Elektrolyseur und die Brennstoffzelle sorgen für die Energieversorgung. Biowissenschaftliche Systeme sind zum Beispiel für die Aufbereitung der Atemluft, des Frischwassers und der Verarbeitung des Abfalls zuständig. Die Schaltzentrale – das zentrale Rückgrat der Anlage – beherbergt computergestützte Mess- und Kontrollsysteme: Sensoren erfassen den Sauerstoff-, Kohlenstoffdioxid- sowie den pH-Gehalt und messen die Temperatur. Entsprechende Regeltechnik sorgt dafür, dass Veränderungen sofort korrigiert werden und hält so das Gesamtsystem im Gleichgewicht. Technische Systeme überbrücken zudem Phasen, in denen biologische Bauteile eventuell neu gestartet oder regeneriert werden müssen. Die Schaltzentrale sorgt auch dafür, dass alle Module optimal versorgt und deren Produkte über Zwischenspeicher entsprechend dosiert weitergereicht und verarbeitet werden. Durch diesen kontrollierten Stoffaustausch zwischen den Modulen und einer gezielten Probenentnahme können allgemeine ökologische Aspekte genauso wie spezielle Fragestellungen zur Mikroalgenphysiologie, Bioreaktortechnologie, Wasserstoff-, Sauerstoffproduktion und Ökosystemforschung untersucht werden.

#### ModuLES – Zukunftsmusik oder bald schon Realität?

Ein erster wichtiger Schritt in die Zukunft moderner Lebenserhaltungssysteme ist bereits getan: Zur Vorbereitung wurde in den Jahren 2009/10 die OHB Systems AG vom DLR Raumfahrtmanagement beauftragt, eine Bestandsanalyse durchzuführen und ein Konzept für ModuLES zu entwerfen. Mitte Juli 2010 erhielt dieses Konzept dann grünes Licht. Daraufhin wurde ab

modules and organisms of an ecosystem is extremely complex, a fact that has caused previous experiments to fail, not least the American Biosphere-2 project. Consequently, ModuLES involves intensive biochemical and physiological as well as molecular-biology research to investigate interactions between the organisms both within individual modules and in the module combinations that will eventually make up a symbiotic community. A life support system can work reliably only if the input and output of each module and, more particularly, the interactions between all partners in a symbiotic community can be properly monitored and controlled.

#### From modules to systems

Once it has been understood how the parts of an ecosystem interact with each other, they should be combined as effectively as possible. ModuLES offers an ideal technical solution: the size of each module can be modified to suit the needs of any desired application. Thanks to uniform interfaces, the individual modules can be combined like building blocks from a kit to form a closed-loop life support and energy system. The integral system comprises several mutually complementary biological and technological subsystems, which perform all the functions required for a life support system but may be operated independently as well. Physico-chemical modules like the electrolyser and the fuel cell provide energy, while biological systems take care of air and water reconditioning and waste recycling. The control centre, the backbone of ModuLES, is equipped with computer-aided measuring and control systems: sensors keep track of oxygen and carbon dioxide concentrations as well as pH and temperature levels. Closed-loop control circuitry ensures that any deviations are immediately corrected, thus keeping the overall system in balance. Standby systems are in place to bridge any time gap during which biological components may have to be restarted or regenerated. Furthermore, the control centre ensures that all modules are optimally supplied and their products are released in the correct amounts via intermediate buffer devices. This controlled exchange of substances between modules, combined with selective sample-taking, makes it possible to investigate general ecological aspects as well as very specific questions relating to micro-algal physiology, bioreactor technology, the production of hydrogen and oxygen, and ecosystem research.

#### ModuLES – a pipe dream or a near-future reality?

A first important step towards the future of modern life support systems has already been taken: as a preparatory measure, OHB Systems AG was commissioned by the DLR Space Administration in 2009/10 to prepare a status analysis and outline a concept for ModuLES. The concept was given the go-ahead in mid-July 2010. In the middle of 2011, the development of the first module – an algae bioreactor – was begun. A research grant for the scientific ModuLES photo-bioreactor project was awarded to

Mitte 2011 mit der Entwicklung des ersten Bausteins – eines Algenbioreaktor-Moduls – begonnen. Entsprechende Zuwendungen für das wissenschaftliche Verbundprojekt „ModuLES-Photobioreaktor“ gingen an die Universität Karlsruhe, die Universität Bochum sowie die FH Bremen. Sie sind seitdem für den wissenschaftlichen Anteil des Forschungsprogramms verantwortlich. Der industrielle Partner OHB Systems AG steuert das technische Knowhow bei. Diese Allianz dient einem Ziel: maximale Effizienz in Bezug auf Sauerstoff- und Biomasseproduktion mit minimalem Aufwand an Energie und Masse. Weitere geplante Einsatzmöglichkeiten eines solchen Reaktors sind die Produktion von Nahrungsergänzungsmitteln und Wasserstoff zur Energiegewinnung.

Zurzeit wird eine erste Testanlage des ModuLES-Reaktors fertiggestellt. Im September 2013 und im Februar 2014 soll auf Parabelflügen unter wechselnden Schwerkraftbedingungen sein Design überprüft, wichtige physiologische Aspekte wie Photosyntheserate und molekulargenetische Anpassungsmechanismen analysiert sowie der Algenfilter getestet werden. Danach soll dann das endgültige Design für ein Photobioreaktor-Modul vorgestellt werden, das für eine Kopplung mit weiteren Modulen zu funktionellen Subsystemen geeignet ist und auf der ISS, auf FOTON- und BION-Satelliten sowie auf der chinesischen Raumstation und dem Shenzhou-Raumschiff eingesetzt werden kann. Dafür werden Kooperationen mit anderen Raumfahrtagenturen angestrebt. Die ersten Gespräche mit den möglichen Kooperationspartnern ESA, NASA, JAXA, IBMP, Roskosmos und CMSA haben bereits stattgefunden. Das neuartige ModuLES-Konzept ist weltweit auf großes Interesse gestoßen, ein erster Flug ist für den Zeitraum 2016/17 vorgesehen.

#### Gemeinsam forschen – Raumflug ermöglichen

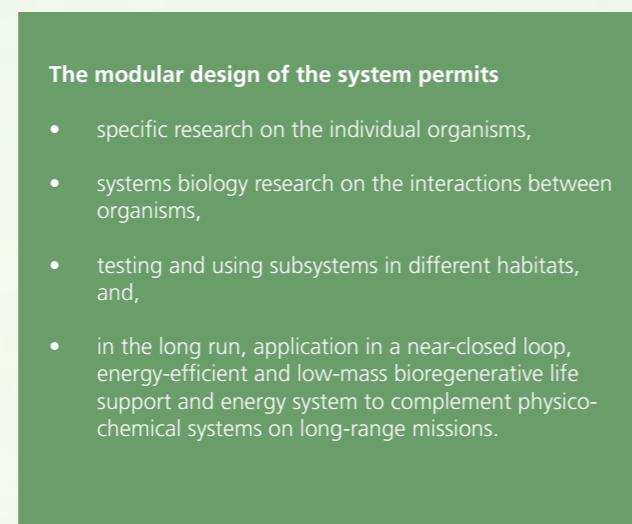
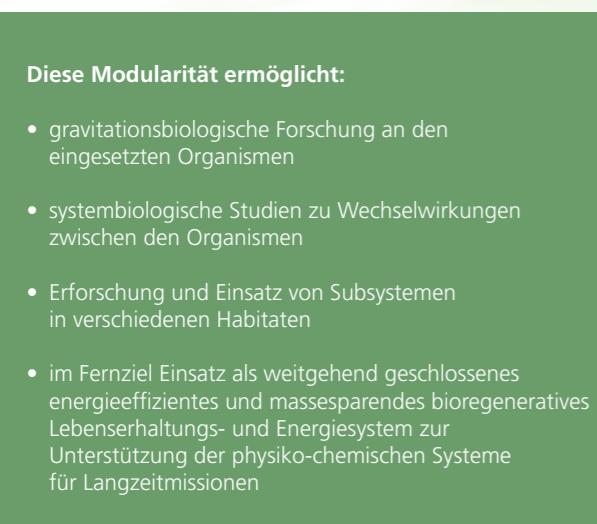
Wie es mit ModuLES weitergeht, ist stark vom Erfolg des Algenbioreaktors abhängig. Erst wenn sich dieser erste Baustein bewährt, kann die Entwicklung weiterer Module und damit auch der Zusammenschluss zu einem komplexen bioregenerativen Lebenserhaltungssystems für Forschung und später für exploratorische Langzeitmissionen vorangetrieben werden. Die Aktivitäten im Programm Forschung unter Weltraumbedingungen sind dabei aber nur eine wichtige Säule im Hinblick auf zukünftige Explorationsmissionen. Eine weitere Säule bildet die Raumfahrt-Habitat-Technologie und hier derzeit vor allem das Projekt der Universität Stuttgart zur Kopplung von Brennstoffzellen mit einem Algenbioreaktor sowie das C.R.O.P.-Projekt des DLR Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin. Auch das im Juli 2013 frisch eröffnete :envihab – ebenfalls ein Projekt dieses DLR-Instituts – wird seinen Teil zur Forschung beitragen. Erst wenn diese Projekte gemeinsam koordiniert werden und alle Beteiligten zusammenarbeiten, wird in Zukunft vielleicht ein deutsches bioregeneratives Lebenserhaltungssystem auf einer Erkundungsmission zu einem fernen Planeten dabei sein.

a consortium comprising Karlsruhe University, Bochum University, and Bremen University of Applied Sciences. This consortium is responsible for the scientific part of the research programme, with the industry partner, OHB Systems AG, contributing the necessary technical expertise. All members of this alliance pursue a single purpose: ensuring maximum efficiency in the production of oxygen and biomass while keeping energy use and mass to a minimum. There are plans to use reactors of this kind in other areas, too, such as the production of food supplements and of hydrogen for energy generation.

At present, work is in progress to finish the first demonstrator of a ModuLES reactor. In September 2013 and in February 2014, the reactor's design will be reviewed under varying gravitational conditions on parabolic flights to analyse important physiological aspects including photosynthesis rates and molecular-genetic adaptation mechanisms, as well as testing the gas-exchange rates. Subsequently, the finalised design of the photo-bioreactor module will be presented, a module which can be coupled to others to form functional subsystems for use on the ISS, on FOTON and BION satellites, and on the Chinese space station and the Shenzhou spaceship. Efforts are under way to forge joint ventures with other space agencies. Exploratory talks have already been held with ESA, NASA, JAXA, IBMP, Roscosmos, and CMSA as potential co-operation partners. The innovative ModuLES concept has aroused great interest worldwide. Its first flight is scheduled for the 2016/17 period.

#### Joint research to enable deep-space missions

What happens next depends crucially on the success of the ModuLES algae bioreactor. Only if this first module proves viable, it will become possible to develop other modules which can then be combined into a complex bioregenerative life support system for research purposes and eventually for exploratory long-term missions. In this context, activities under the 'Research under Space Conditions' programme are only one, yet important, element. Another line is space habitat technology, prominently featuring Stuttgart University's project to couple fuel cells to an algae bioreactor, and the C.R.O.P. project of the DLR Institute of Aerospace Medicine. The :envihab laboratory, which was opened only recently in July 2013, is another project run by the same DLR institute. It, too, will pass on its results to the ModuLES researchers. Once all these projects work in sync and collaboration by all stakeholders is assured, it may become possible one day for a German-made bioregenerative life support system to be a part of an exploratory mission to a distant planet.



Algen spielen im ModuLES-Konzept eine Schlüsselrolle. Sie sind für den Gasaustausch innerhalb des Lebenserhaltungssystems zuständig. Im Projekt kommen *Chlamydomonas reinhardtii* zum Einsatz, die hier in einer Falschfarben-Rasterelektronenmikroskopaufnahme dargestellt sind.

Algae play a key role in the ModuLES concept. They are responsible for the gas exchange that takes place within the life support system. In this project, *Chlamydomonas reinhardtii* will be used, which are figured in a false-coloured scanning electron microscope image.



Für unsere Ernährung ist Kochsalz ungeheuer wertvoll. Doch es kommt auf das rechte Maß an. Weltraumexperimente und Isolationsstudien haben dazu beigetragen, dass wir das Wechselspiel zwischen Salz und unserem Körper besser verstehen und somit die Tür zu neuen Therapie-, Präventions- und Diagnoseverfahren aufgestoßen.

Salt is a highly valuable part of our diet. But it is important to keep consumption within limits. Experiments conducted during space missions and isolation studies have improved our knowledge of how salt interacts with our body, opening the door to new methods in treatment, preventive care, and diagnostics.

## Salz in unserer Haut

### Das „weiße Gold“ im biowissenschaftlichen Raumfahrtprogramm

Von Prof. Günter Ruyters

Im Mittelalter wurde Salz wegen seiner Seltenheit in Europa mit Gold aufgewogen – daher auch seine Bezeichnung „weißes Gold“. Nur wenige wohlhabende Familien konnten es sich leisten, Salz auf den Speiseplan zu nehmen. Für unsere Ernährung ist Kochsalz (Natriumchlorid) jedoch ungeheuer wertvoll. Ohne Natriumchlorid könnten wir nicht überleben: Der Transport von Wasser und Nährstoffen im Körper würde zusammenbrechen, die Nerven hätten Mühe, ihre Signale zu übertragen und auch die Muskeln könnten nicht richtig funktionieren. Aber Vorsicht: Zu viel Salz wirkt sich nachteilig auf viele körpereigene Systeme und Prozesse wie Blutdruckregulation und Knochenstoffwechsel aus. Es kommt also auf das rechte Maß an. Weltraumexperimente und Isolationsstudien haben dazu beigetragen, dass wir das Wechselspiel zwischen Salz und unserem Körper besser verstehen und somit die Tür zu neuen Therapie-, Präventions- und Diagnoseverfahren aufgestoßen.

### Salt in Our Skin

Space Life Sciences Programme Examining the Role of 'White Gold' in Human Physiology

By Prof. Günter Ruyters

In medieval Europe, salt was so rare that it was considered to be worth its weight in gold - hence the expression 'white gold'. Only very few rich families could afford to add it to their food on a regular basis. Salt (sodium chloride) is, however, of tremendous value in the human diet. In fact, without sodium chloride, we would be unable to survive: the transport of water and nutrients in our bodies would cease, nerves would have difficulties transmitting signals, and our muscles, too, would be unable to function properly. But there is a reservation: too much salt has a negative effect on many of our body systems and processes such as blood pressure regulation and bone metabolism. Restraint is of the essence. Experiments in space and isolation studies have contributed to a better understanding of the interaction between salt and the human body, paving the way for new methods in treatment, prevention, and diagnostics.



Autor: Prof. Günter Ruyters leitet in der Abteilung Forschung unter Welt- raumbedingungen des DLR Raumfahrtmanagements das Programm Biowissenschaften (Biologie, Medizin).

Author: Prof. Günter Ruyters heads the Life Sciences Programme in the department of Microgravity Research (Life and Physical Sciences) of the DLR Space Administration as the German project manager.

The twelve grammes of salt we consume every day in industrialised countries is twice the daily intake recommended by the World Health Organisation. This has massive consequences. According to a study published in 2010, an appropriate reduction of salt consumption in the USA would mean between 66,000 and 120,000 fewer cases of coronary heart disease, between 32,000 and 66,000 Schlaganfälle and between 54,000 and 99,000 Herzinfarkte vermieden werden könnten – mit Einsparungen im Gesundheitssystem zwischen zehn und 24 Milliarden US-Dollar.

### Das Dogma der Kopplung von Salz- und Wassergehalt

Der Körper eines gesunden Menschen will den Salzgehalt im Gleichgewicht halten. Salz- und Wasserhaushalt sind dabei – laut Dogma – eng aneinander gekoppelt: Nimmt ein Mensch zu viel Kochsalz zu sich, ergreift der Körper bestimmte Gegenmaßnahmen, die letztlich den Überschuss an Natrium wieder aus dem Körper entfernen sollen. Zunächst nimmt der Durst zu. Der Mensch trinkt, so dass Wasser vermehrt im Gewebe eingelagert wird und die Konzentration von Natrium in den Körperflüssigkeiten konstant bleibt. Im nächsten Schritt wird dann die Natrium- und Wasserausscheidung über die Nieren gesteigert. Soweit das Dogma.

### Weltraumexperimente wecken Zweifel am Dogma

Versuche deutscher Wissenschaftler der Charité Berlin und aus dem DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin bei Isolationsstudien sowie bei der deutschen Spacelab-Mission D-2 und auf der russischen Raumstation MIR hatten jedoch bereits in den 1990er-Jahren Zweifel an der strengen Kopplung von Salz- und Wasserhaushalt bei Astronauten in Schwerelosigkeit geweckt. Vor allem die Ergebnisse einer streng kontrollierten Stoffwechselstudie während der deutsch-russischen MIR 97 Mission ließen sich mit dem gängigen Bild nicht in Einklang bringen: Salz- und Wassereinlagerung passten in Schwerelosigkeit nicht zusammen. Forscher entdeckten in nachfolgenden klinischen Studien auf der Erde einen bislang unbekannten Mechanismus der Salzspeicherung in der Haut, den Wissenschaftler der Universität Erlangen in tierexperimentellen Untersuchungen bestätigten: Ratten konnten unter kochsalzreicher Ernährung erhebliche Mengen an Natrium in der Haut und in den Knochen einlagern. Natrium wird dabei an bestimmte Zucker-Eiweiß-Moleküle gebunden. Nach Meinung der Wissenschaftler lässt sich dieser neu entdeckte Mechanismus durch die Evolution erklären: In Zeiten von Kochsalzmangel stelle er einen deutlichen Selektionsvorteil dar.

Eine weitere wichtige Rolle bei der Salzspeicherung in der Haut spielen bestimmte Zellen des Immunsystems – die Makrophagen. Neben der Abwehr von Infektionen sind sie offenbar auch an der Regulation des Salzhaushalts beteiligt. Sie bewirken die Bildung neuer Blut- und Lymphgefäß in der Haut in Regionen mit hoher Salzkonzentration und regulieren damit auch die Mikrozirkulation. Diese hängt wiederum mit der Blutdruckregulation zusammen, so dass Makrophagen letztlich auch den Blutdruck steuern.

### The dogma of a coupled salt and water balance

A healthy human body tries to keep its salt concentration stable. According to conventional wisdom, there is a close correlation between the salt and the water balance. If we ingest too much salt, our body takes certain countermeasures to rid itself of surplus sodium. Our first reaction is a feeling of thirst. We drink, thus accumulating more water in our tissue to keep the salt concentration in our body fluids constant. The next step is to eliminate more sodium and water via our kidneys – so much for the established dogma.

### Space experiments challenge conventional dogma

As long ago as in the 1990s, experiments conducted as part of a number of isolation studies as well as during the German D-2 Spacelab mission and on the Russian MIR space station, carried out by scientists from the Charité hospital in Berlin and from the DLR Institute of Aerospace Medicine raised doubts about the strict link between salt and water balance in astronauts. It was especially the results of a tightly controlled metabolic study during the Russian-German mission, MIR 97 that failed to confirm the common theory: under conditions of microgravity, the measured concentrations of salt and water did not match. In a series of follow-up studies on the ground, scientists discovered a mechanism unknown until then, whereby salt is stored in the human skin, a finding that was subsequently confirmed by animal experiments conducted by scientists at Erlangen University. They were able to show that rats, when fed a salt-rich diet, are able to store considerable amounts of sodium in their skins and bones, bonded to certain sugar-protein molecules. Scientists believe that the explanation for this newly discovered mechanism can be found in evolution: in times of a salt shortage, this capability constitutes a clear selective advantage.

Another important part in the storage of salt in skin is played by macrophages, a type of cells in the immune system. Besides defending the body against infections, they appear also to be involved in the regulation of the salt balance. In body regions with high salt concentrations, they cause the formation of new blood and lymph vessels in the skin, thus helping to regulate the body's microcirculation. The latter, in turn, is also connected with blood pressure regulation, so that macrophages ultimately play a part in controlling blood pressure as well.

These findings are also relevant from the clinical point of view, in that they explain why some patients do respond to a high



**Fliegende Hamburger:** Auch auf der Internationalen Raumstation ISS müssen die Kosmonauten auf ihre Ernährung und den Salzgehalt achten. Hamburger, wie ihn der Kosmonaut Sergei Treschev (l.) und die Astronautin Peggy Wilson zu sich nehmen, stehen deshalb nicht jeden Tag auf dem Speiseplan im All.

Flying hamburgers: cosmonauts in the International Space Station ISS, too, must keep an eye on what they eat, and how much salt it contains. This is why the hamburgers Sergei Treschev (l.) and astronaut Peggy Wilson are enjoying here are not on the menu every day.

salt intake with a rise in blood pressure, and others don't. Early results of the study suggest that, contrary to previous assumptions, blood pressure variations after increased salt intake are, in fact, caused by the salt itself, rather than by the water accumulation following a high salt intake. This is highly likely to lead to a new treatment for hypertension.

#### Mars500: surprising male hormone cycle discovered

This interesting line of investigation was continued under the Mars500 isolation study. Between June 2010 and November 2011, a simulated journey to our neighbour planet was conducted at the Moscow-based Institute of Biomedical Problems (IBMP). The study was carried out by Russian scientists as well as a number of researchers funded by the DLR Space Administration. Its purpose was to find out more about the effects of a long period of isolation on the human physiological and mental condition. The study, amongst other things, offered scientists a unique opportunity to gather data on the human metabolism over several months. In a closed 'space capsule' it was possible to meticulously monitor food intake and excretion; the setup permitted a day-by-day comparison of each subject's prescribed dose of salt specified on their diet plan with sodium concentrations in the urine. According to the conventional dogma, the exact amount of sodium taken up with the food should have left the body again within 24 hours, yet, despite the intake of identical amounts each day, there was an enormous variance in daily excretion. A more detailed analysis soon revealed that the excretion of salt follows a certain rhythm, with cycles lasting 7, 14, and 28 days, respectively. But this is not all. Two hormones, aldosterone and cortisol, which so far have been believed to have a similar effect, apparently act as antagonists in the accumulation and excretion of sodium, and their concentrations, too, vary in 7, 14, and 28-day cycles – in other words, there seems to be a kind of 'male period'. Thus it is not only the kidney that is responsible for the regulation of the salt-water balance, but certain hitherto uninvestigated hormonal factors play a part as well. This, in fact, is a belated explanation of results obtained in an earlier isolation study carried out by a research team at Berlin's Charité hospital in the early 1990s, a study whose outcome had not been completely understood at the time. The recent findings will also re-shape hospital routines. We now know that collecting 24-hour urine is not sufficient to assess a patient's salt balance reliably. And there was another assumption that the scientists from Erlangen could confirm during the Mars500 experiment. Ingesting less salt did, in fact, lower the subjects' blood pressure – even that of healthy subjects in Mars500.

#### New non-invasive sodium check filed for patent

These discoveries made by space researchers gave the Erlangen scientists an idea: they developed an innovative visualisation method (23Na-Magnet Resonance Imaging, MRI) to measure the surplus salt in a person's skin and muscles in a non-invasive way. In future, 23Na-MRI will be used to determine the salt status of hospital patients. A patent for the technology has been applied for a short while ago.

Some brand new findings recently published in Nature by the same scientists suggest that there is a connection between dietary salt concentrations and the incidence of autoimmune disease – at least in mice. Although evidence is still outstanding as to whether the same mechanism also applies to humans, the results, if confirmed, would open up completely new possibilities of making a widespread disease preventable. In recognition of his important discoveries regarding the causes of hypertension and other cardiovascular disorders, the leader of the Erlangen research team

um das überschüssige und in Haut und Muskeln gespeicherte Salz nicht-invasiv sichtbar zu machen. Künftig soll 23Na-MRI den Salzstatus der Patienten in der Klinik feststellen. Eine Anmeldung zum Patent ist gerade erfolgt.

Ganz neue Befunde, kürzlich von denselben Wissenschaftlern in Nature veröffentlicht, zeigen nun erstmals auch einen Zusammenhang zwischen Salzgehalt in der Nahrung und dem Auftreten von Autoimmunkrankheiten auf – zumindest bei Mäusen. Der entsprechende Nachweis beim Menschen steht zwar noch aus, doch sollten sich die Ergebnisse hier bestätigen, würden sich ganz neue Möglichkeiten der Vermeidung solcher Volkskrankheiten auftun. Für seine wichtigen Forschungsergebnisse über die Ursachen von Bluthochdruck und anderer Herz-/Kreislauferkrankungen wird der Leiter der Erlanger Forschergruppe im Herbst mit dem sogenannten „Mid-Career Award for Research Excellence 2013“ der American Heart Association sowie mit dem Franz-Volhard-Preis der Deutschen Gesellschaft für Nephrologie ausgezeichnet.

#### Salz und Knochenabbau in Schwerelosigkeit – eine neue ISS-Studie

Neben der Wirkung von Salz auf den Blutdruck und das Immunsystem scheint es auch einen nachteiligen Effekt von zu viel Salz auf das Skelettsystem zu geben: Hohe Kochsalzzufuhr steigert über eine Ansäuerung durch die Bindung von Salz an die Zucker-Eiweiß-Moleküle den Knochenabbau bei Menschen auf der Erde. Im Weltall sorgen die fehlende Schwerkraft und die damit einhergehenden Minderbelastung für einen erhöhten Muskel- und Knochenabbau. Steigert eine hohe Kochsalzzufuhr den Knochenabbau bei Astronauten also noch zusätzlich? Das ISS-Experiment „SOLO“ soll diese Frage beantworten. Experten des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln und der Universität Bonn untersuchen seit Ende 2008 das Zusammenspiel von Ernährung, Salz-, Flüssigkeits- und Säure-Basen-Haushalt und den Knochenstoffwechsel.

Die Astronauten müssen dazu während ihres Aufenthaltes auf der ISS zweimal jeweils fünf Tage lang eine festgelegte Diät einhalten, die einmal einen niedrigen und einmal einen hohen Salzgehalt aufweist. Dabei wird die Ausscheidung von Salz sowie von bestimmten Markern, die einen Hinweis auf den Knochenstoffwechsel geben, über Urinabgaben erfasst. Blutabnahmen dienen zur Bestimmung weiterer Knochenmarker und der Hormone des Salz- und Wasserhaushalts. Das regelmäßige Wiegen der Astronauten im All liefert den Wissenschaftlern eine Aussage über die Flüssigkeitsmenge, die über die Haut verlorengegangen ist. Erste vorläufige Ergebnisse zeigen, dass die Calcium-Ausscheidung während der fünftägigen Hochsalzphase höher ist als während der fünftägigen Niedrigsalzphase. Dies könnte langfristig zu einer negativen Calciumbilanz, einer erhöhten Knochenresorption und einem erhöhten Nierensteinrisiko führen. Übertragen auf die Erde würde niedrige körperliche Aktivität – so wie bei alten und bettlägerigen Menschen – gekoppelt mit einem hohen Salzverzehr zu einem erhöhten Knochenabbau führen. Eine Kombination aus Diät- und Fitnessprogrammen könnte diesem Prozess entgegenwirken und die Gesundheitsvorsorge verbessern.

Die Raumfahrtmedizin hat unser Bild des Salzhaushaltes verändert und so die Tür zu neuen Therapie-, Präventions- und Diagnoseverfahren aufgestoßen. Auch bei der Ernährung sollten wir auf die Ratschläge aus der Weltraumforschung hören und unsere Speisepläne salzärmer gestalten. Mit der nicht-invasiven 23Na-MRI-Methodik wird den Medizinern zudem als Folge der Weltraumprojekte eine neue Diagnosemethode für den klinischen Alltag an die Hand gegeben.

will receive the American Heart Association 'Mid-Career Award for Research Excellence 2013' as well as the Franz Volhard Prize of the German Society for Nephrology.

#### The role of salt in bone loss under microgravity conditions – a new ISS study

Besides playing a part in the development of hypertension and the weakening of the immune system, too much salt also seems to have a negative effect on the musculoskeletal system: because the bonding of salt to the sugar-protein molecules causes acidification, a high salt intake increases bone loss in humans on Earth. In space, the absence of gravity and the resulting lack of muscular exertion already lead to an increase in muscle and bone decay. Does this imply that a salt-rich diet exacerbates bone degradation in astronauts? The ISS experiment SOLO is to answer this question. Since 2008, experts from the Cologne-based DLR Institute of Aerospace Medicine and from Bonn University have been studying the interaction between nutrition, salt, fluids, the acid/alkaline balance and the human bone metabolism.

For this purpose, astronauts have to spend two five-day periods on the ISS following a defined diet, one period with a high salt content and one with a low one. Their excretion of salt and that of special marker substances which deliver indications as to their bone metabolism will be recorded in the urine. Blood tests provide additional evidence on further bone markers and the hormones involved in the salt/water balance. Regular weight checks tell scientists how much fluid has been given off through the astronauts' skin. First results indicate that during periods with a high salt intake the excretion of calcium is higher than during the five-day period with a low salt intake. This, in the long run, might lead to a negative calcium balance, higher bone reabsorption and a higher risk of developing kidney stones. Applied to conditions on Earth, a low level of physical activity – as it is common in elderly and bedridden patients – combined with a high salt intake would thus lead to increased bone decay. A combination of dietary measures and exercise programmes could offset this tendency and improve healthcare outcomes.

Space medicine has changed our understanding of the human salt balance and pushed open a door towards new methods of treatment, prevention, and diagnosis. We would be well-advised to take heed of the message from space scientists, and cut down on salt in our daily diet. Moreover, space research has prompted the development of the new, non-invasive 23Na-MRI method, which will soon become available to doctors as a routine diagnostic tool in hospitals.

**Knallharte Essensrationen:** Während der Isolationsstudie Mars500 erhielten die sechs „Kosmonauten“ das erste Jahr einen festgelegten Speiseplan, in dem die Kochsalzzufuhr von zwölf auf neun und schließlich auf sechs Gramm kontinuierlich reduziert wurde. Das überraschende Ergebnis: Die Annahme, dass der menschliche Körper Speisesalz innerhalb von 24 Stunden wieder ausscheiden würde, stimmt nicht. Stattdessen speichert der Mensch das Salz über einen längeren Zeitraum hinweg und gibt es dann wieder frei.

Strict rationing: during the Mars500 isolation study, the six "cosmonauts" during their first year were fed on a fixed meals schedule in which their salt intake was continuously reduced from twelve to nine and finally to six grammes. The surprising result was that the old assumption the human body eliminates salt within 24 hours is wrong. Salt is stored in our body over a longer period before it is released.





## ASE

### Besuch aus dem Weltraum

Von Freya Scheffler-Kayser und Martin Fleischmann

**Mars, Mond und Titan sind die Lieblingsreiseziele der Raumfahrer. Das verrieten die sieben internationalen Astronauten, die am 3. Juli 2013 das DLR Raumfahrtmanagement in Bonn besuchten. Mitarbeiter, dem Bonner Bundestagsabgeordneten Ulrich Kelber, drei Schulklassen sowie fünfzehn Schülerpraktikanten berichteten sie von ihren spannenden Ausflügen ins All. Der Besuch fand im Rahmen des Planetary Congress der Association of Space Explorers (ASE) statt, der vom 1. bis 6. Juli 2013 im Köln-Bonner-Raum stattfand.**

### ASE

#### Visitors from Outer Space

By Freya Scheffler-Kayser and Martin Fleischmann

The destinations most favoured by space travellers would be Mars, the Moon, and Titan, a fact that was disclosed by the seven international astronauts who visited the DLR Space Administration in Bonn on July 3, 2013, to tell the employees of the Administration, the MP for Bonn, Ulrich Kelber, and three classes of pupils and fifteen interns about their thrilling excursions into space. Their visit took place during the Planetary Congress of the Association of Space Explorers (ASE) which was held in the Cologne-Bonn region from July 1 to 6, 2013.

**DLR-Vorstand Dr. Gerd Gruppe spricht an historischer Stätte: Das Alte Wasserkwerk in Bonn wurde von 1986 bis 1992 als Plenarsaal des Deutschen Bundestags genutzt.**

DLR director Dr Gerd Gruppe speaking at a historic venue: from 1986 until 1992, Bonn's ancient waterworks building was used by the Bundestag as its temporary plenary hall.



Autoren: **Freya Scheffler-Kayser** arbeitet in der Abteilung Bemannte Raumfahrt, ISS und Exploration des DLR Raumfahrtmanagements. Sie hat die ASE-Veranstaltungen in Bonn organisiert. **Martin Fleischmann** betreut als Redakteur die Inhalte und das Layout von Printtiteln und Broschüren des DLR Raumfahrtmanagements sowie des Newsletters COUNTDOWN.

Authors: **Freya Scheffler-Kayser** works at the Human Spaceflight, ISS and Exploration department of the DLR Space Administration. She organised the ASE events located in Bonn. **Martin Fleischmann** is responsible for editing and layout of printings and brochures of the DLR Space Administration as well as the COUNTDOWN newsletter.

### The first spacewalk – on a leash

One of the seven fliers who visited the Space Administration was the Russian cosmonaut Alexei A. Leonov, the first space walker ever. He told his audience about the Voskhod-2 mission during which he left his space capsule on March 18, 1965, the first human to float in space secured only by a tether. But this first EVA ran into problems: Leonov's space suit had expanded in the vacuum of space, and he had serious trouble getting back into the capsule. It was only when he improvised the emergency solution of bleeding some of the air from his space suit that he was able to return. Going head first, the cosmonaut struggled back into the airlock – the end of twelve strenuous minutes of floating freely in space. Leonov did succeed in entering the air lock, but once there, the next problem was awaiting him: to close the hatch, he had to turn around in a cramped space measuring 190 centimetres in length and 120 centimetres in diameter. With the last of his strength, he was able to close the hatch and make his way into the capsule. This story, which he told to his enthralled audience in Bonn, has also provided material for a novel: in his book 'Two Sides of the Moon', which Leonov autographed in Bonn, the cosmonaut describes his near-panicky struggle with his safety tether during the first extra-vehicular activity in the history of spaceflight.

### The last hoisting of the Soviet flag took place in space

Leonov's fellow cosmonaut, Anatoly P. Artsebarsky, also had much to tell. He and Sergei K. Krikalev, the present-day chief of the civilian Juri Gagarin Cosmonaut Training Centre, hoisted the Soviet flag on the former Russian space station Mir at a time when, down on Earth, the Soviet Union had already collapsed. He showed a film to illustrate to the 50 students what life had been like on Mir, introducing a piece of space history into the Space Administration's Wernher von Braun room. How do people live in space? How do you trim your hair in microgravity? How do you eat your meals on a space station? The Q&A covered some of the more 'mundane' questions, too.



Zu Besuch beim Raumfahrtmanagement in Bonn: Die Taikonauten Yang Liwei und Liu Boming, DLR-Vorstand Dr. Gerd Gruppe, Kosmonaut Alexei A. Leonov, der Bonner Bundestagsabgeordnete Ulrich Kelber, sowie der NASA-Astronaut Jeffrey A. Hoffman und der ESA-Astronaut Frank De Winne (v. l.).

Visitors at the DLR Space Administration in Bonn: taikonauts Yang Liwei and Liu Boming, DLR Director Dr Gerd Gruppe, Cosmonaut Alexei A. Leonov, the MP for Bonn Ulrich Kelber, and NASA astronaut Jeffrey A. Hoffman and ESA astronaut Frank De Winne (from left to right).

## Vom Flugzeug ins Space Shuttle

Ähnlich wie Artsebarsky wusste auch der NASA-Astronaut Richard A. Searfoss sich das Interesse der Schüler zu sichern. Er berichtete von seiner Ausbildung zum Space-Shuttle-Piloten und dem harten Training in einer Gulfstream-2-Maschine, die sich dank ihrer Umrüstung durch NASA-Ingenieure genauso fliegt wie das Shuttle selbst. Er selbst habe das am Anfang nicht geglaubt, aber es mache tatsächlich keinen Unterschied, ob man das Shuttle oder dieses Flugzeug steuert. Bei seinen drei Raumflügen als Space-Shuttle-Pilot hat er diese Erfahrung dann persönlich gemacht. Dabei war er zehn, zwölf und sechzehn Tage im All – der zweitlängste Shuttle-Flug überhaupt. Mit an Bord war das in Deutschland entwickelte Spacelab, das der internationalen Forschung einen großen Dienst erwiesen habe.

## Linsenkorrektur für Hubble

Sein NASA-Kollege Jeffrey A. Hoffman gehört mit seinen fünf Raumflügen zu den Vielfliegern. Seine prominenteste Mission war die erste Reparatur des Weltraumteleskops Hubble. Durch einen Herstellungsfehler des Hauptspiegels war die Bildqualität des Teleskops in den ersten Betriebsjahren begrenzt. Das Teleskop lieferte nur unscharfe Aufnahmen. Darum startete am 2. Dezember 1993 das Space Shuttle Endeavour zur ersten von insgesamt fünf Reparaturmissionen. Mit an Bord war der Missionsspezialist Hoffman. Er nahm an drei von fünf Außenbordarbeiten teil, bei denen das Korrekturinstrument COSTAR- und eine Spezialkamera installiert sowie ein Solarpaneel zur Stromversorgung ersetzt wurde. Seitdem liefert Hubble wieder scharfe Bilder und macht Einblicke ins Weltall möglich, die uns ohne den Einsatz von Hoffman und seiner Kollegen verborgen geblieben wären.

## ISS erstmals unter europäischem Kommando

Als ESA-Astronaut besuchte der Leiter des European Astronaut Center (EAC) Department, Frank De Winne, das Raumfahrtmanagement. Der Belgier war der erste europäische Kommandant auf der Internationalen Raumstation ISS und verbrachte dort 185 Tage. Mit seinem Flug am 27. Mai 2009 läutete der ESA-Astronaut seine sechsmalige Mission OasISS ein. In den ersten vier Monaten dieser Mission nahm De Winne als Mannschaftsmitglied der „Expedition 20“ Aufgaben als Flugingenieur wahr. Nach der Rotation von drei der sechs Mannschaftsmitglieder im Oktober 2009 übernahm De Winne dann das Kommando über die Crew „Expedition 21“ bis zu seiner Rückkehr zur Erde im November 2009.

## Erster Chines in All

Den Besuch in Bonn rundeten die beiden Taikonauten Yang Liwei und Liu Boming ab. Yang Liwei gehörte zu der ersten Crew in der Geschichte der chinesischen bemannten Raumfahrt. Am 15. Oktober 2003 startete er mit dem Raumschiff Shenzhou 5. Der Flug dauerte über 21 Stunden und endete mit einer Landung bei Sonnenaufgang in der Provinz Innere Mongolei. Zusammen mit Liu Boming, der auf Shenzhou 7 startete, erzählte er von seinen Erfahrungen im Weltraum und ließ die Zuhörer in die Welt der chinesischen Raumfahrt eintauchen. Er schilderte den Aufbau der chinesischen Raumstation Tiangong – den „Palast des Himmels“ – und des chinesischen Raumfahrtprogramms.

## From plane to space shuttle

NASA astronaut Richard A. Searfoss captured the students' attention just as skilfully as Artsebarsky. He reported how hard it had been for him during his training as a shuttle pilot to fly a Gulfstream-2 plane which had been converted by NASA engineers so that it handled exactly like a space shuttle. Although he had not believed it in the beginning, he said, it really did not make any difference whether you were flying a space shuttle or that particular aircraft. Such had been his personal experience during his three flights as a shuttle pilot when he stayed in space for ten, twelve, and sixteen days, the latter being the second-longest shuttle flight ever. On that flight, the shuttle carried SpaceLab, a German development which, so he said, had done a great service to international research.

## Restoring Hubble's eyesight

Having completed five trips into space, Searfoss's colleague Jeffrey A. Hoffman is a frequent flyer. His most prominent achievement was the first Hubble space telescope servicing mission. A manufacturing defect in its primary mirror had caused the telescope's image quality to deteriorate in its first few years of operation. Images delivered by the telescope were becoming more and more blurred. Therefore, the Endeavour space shuttle took off on December 2, 1993, for the first of five repair missions, with Hoffman on board as a mission specialist. He took part in three of five extra-vehicular activities, during which the COSTAR corrective optics package and a special camera were installed and one of the power supply system's solar panels was replaced. Since then, Hubble has been delivering sharply defined images again, showing us glimpses of space which we would never have seen without the commitment of Hoffman and his colleagues.

## The ISS under European command for the first time

The astronaut representing ESA was Frank De Winne, the director of the European Astronaut Centre (EAC). The Belgian was the first European to command the International Space Station (ISS), where he spent 185 days. His flight on May 27, 2009, marked the beginning of the six-month OasISS mission. During the first four months of this mission, De Winne took over the duties of a flight engineer as a member of the Expedition 20 crew. Following the rotation of three of the six crew members in October 2009, he took command of the Expedition 21 crew until his return to Earth in November 2009.

## The first Chinese in space

Two taikonauts, Yang Liwei and Liu Boming, completed the roster of visitors in Bonn. Yang Liwei belonged to the first crew in the history of human spaceflight in China. On October 15, 2003, he took off on the Shenzhou 5 spaceship for a flight that lasted more than 21 hours and ended with a sunrise landing in the province of Inner Mongolia. Together with Liu Boming, who flew on Shenzhou 7, he told of his experiences in space, enabling his audience to picture the world of Chinese spaceflight activities. He described the construction of the Chinese space station Tiangong – ‘Palace of the Heavens’ – and the Chinese space programme.

**Astronauten zum Anfassen:**  
Die beiden Raumfahrer Richard A. Searfoss und Anatoli P. Artsebarsky umringt von Bonner Schülern im Foyer des Raumfahrtmanagements.

Real live astronauts: two flyers, Richard A. Searfoss and Anatoli P. Artsebarsky, surrounded by Bonn students in the foyer of the Space Administration building.



In Bonn trafen sich die Astronauten auch im Alten Wasserwerk. Hier organisierten die Vereinten Nationen und das DLR am 4. Juli 2013 eine große Veranstaltung zur nachhaltigen Entwicklung, Umweltschutz sowie zur Zukunft der astronautischen Raumfahrt unter dem Motto „Kommerzialisierung, Industrie und Weltraum“.

One of the venues of the astronauts conference was Bonn's historic Altes Wasserwerk, where the United Nations and DLR hosted a major event on sustainable development, environmental protection and crewed space-flight entitled "Commercialisation, Industry and Space".

## Astronautentreffen im Bonner Wasserwerk

Am 4. Juli trafen sich alle 80 Astronauten im historischen Plenarsaal des Alten Wasserwerks in Bonn. Gemeinsam mit Experten der Vereinten Nationen aus Bonn, des DLR Raumfahrtmanagements sowie Gästen aus Forschung und Industrie diskutierten sie über nachhaltige Entwicklung, Umweltschutz sowie die Zukunft der astronautischen Raumfahrt unter dem Motto „Kommerzialisierung, Industrie und Weltraum“.

## Der Blick aus dem All für den Schutz der Erde

Den Vormittag gestalteten das UN-Vertretung in Bonn sowie das in Bonn ansässige UN Spider Büro, die Plattform der Vereinten Nationen für raumfahrtgestützte Informationen für Katastrophenmanagement und Notfallmaßnahmen. Astronauten und UN-Experten betonten die Bedeutung der vielfältigen Einsichten in Klimawandel, Landdegradierung, Artenvielfalt oder Naturkatastrophen durch den Blick aus dem All.

## Kommerzialisierung, Industrie und Raumfahrt

Vor dem Hintergrund der Nutzung von Raumfahrttechnologien zum Wohle der Menschheit standen nachmittags die Zukunft der Internationalen Raumstation ISS und der astronautischen Raumfahrt sowie ihre industrielle Nutzung in Europa und den USA im Fokus. Unter dem Motto „Weltraum Innovationen“ zeigte DLR-Vorstand Dr. Gerd Gruppe am Beispiel Deutschlands Möglichkeiten eines erfolgreichen Technologietransfers aus der Raumfahrt in das tägliche Leben auf. Damit erfüllt das DLR die deutsche Raumfahrtstrategie auch mit Blick auf das Thema „Neue Märkte und Kommerzialisierung“. Dazu setzt das Raumfahrtmanagement auf das besondere Innovationspotenzial der deutschen Industrie mit ihren mittelständischen und großen Unternehmen. Die DLR-Initiativen „INNOspace“ und „GoSpace“ sollen Innovationen und industrielle Nutzung vorantreiben und neue Märkte erschließen. Für den Programmleiter des Raumfahrtmanagements, Dr. Rolf Densing, ist Kooperation der Schlüssel für die Zukunft der astronautischen Raumfahrt und Exploration. Die anspruchsvollen Missionen erfordern auch in Zukunft eine enge Zusammenarbeit sowie die Bündelung von Ressourcen und Kapazitäten – wie bereits heute die internationale Partnerschaft auf der Raumstation. So bieten die Kooperationen zwischen der ESA und der NASA mit dem europäischen Service Modul ESM für die Orionkapsel sowie mit Roskosmos bei EXOMARS die Basis für eine weitere Zusammenarbeit.

Die Sicht der europäischen Raumfahrtindustrie zur astronautischen Raumfahrt und die Möglichkeiten mit und nach der ISS beschrieb Bart Reijnen, Standortleiter und Vizepräsident für Orbitalsysteme und Exploration von Astrium Bremen. Er sieht großes Potenzial in der kommerziellen astronautischen Raumfahrt in Kombination mit Robotern und unbemannten Fahrzeugen. Einige amerikanische Astronauten stellten den kommerziellen Ansatz der USA in der astronautischen Raumfahrt vor: zum Beispiel die Dragonkapsel von Space X zur Versorgung der ISS, Projekte von Boeing oder den Dream Chaser von Sierra Nevada. Das von der NASA finanzierte Kompetenzzentrum CASIS soll die ISS-Nutzung kommerzialisieren.

## Earth observation as an act of stewardship

The morning session was led by the United Nations Office for Outer Space Affairs as well as the Bonn-based UN-SPIDER Office, the UN platform for space-based information crisis management and emergency. Astronauts and UN experts emphasised the importance of the many new insights from satellite-borne research in areas like climate change, land degradation, biodiversity and natural disasters.

## Commercialisation, industry and space

Under the general theme of the benefits of space technology for humankind, the afternoon debate focused on the future of the International Space Station ISS and other human spaceflight missions, as well as on their commercial utilisation in Europe and in the USA. In a presentation entitled 'Space Innovation', the member of DLR Executive Board DLR Dr Gerd Gruppe talked about ways to transfer technology from space to our daily lives, referring in particular to the case of Germany. This is where DLR delivers the other component of Germany's two-pronged national space strategy, 'New markets and commercialisation'. DLR Space Administration is relying on the specific innovative potential of German industry with its many SMEs and large enterprises. DLR's 'INNOspace' and 'GoSpace' initiatives aim to encourage innovation, commercial utilisation, and the opening up of new markets. Dr Rolf Densing, head of programmes at the DLR Space Administration, said that the key to the future of astronautics and space exploration lies in cooperation. Complex future missions will demand close cooperation and the pooling of resources and capacities – like the partnership already practiced on the International Space Station. The way ESA collaborates with NASA on the European service module, ESM, as well as on the Orion capsule, and with Roskosmos on EXOMARS, offers a good starting ground from which to develop further cooperation.

Bart Reijnen presented the European space industry's position concerning the chances of human missions on and after the ISS. As site manager and Vice President for Orbital Systems and Exploration at Astrium in Bremen, he sees great potential in commercial human spaceflight combined with robotic and unmanned missions. American astronauts presented the USA's commercial efforts in spaceflight, speaking about the Dragon capsule built and operated by Space X to deliver cargo to the ISS, several projects by Boeing, and the Dream Chaser vehicle built by Sierra Nevada. The task of the NASA-funded competence centre CASIS will be to advance the commercial utilisation of the ISS.



# Normung

## Raumfahrt ordnen – Kosten senken

By Dr.-Ing. Andreas Kumar Jain and Stephan Bonk

„Ordnung ist das halbe Leben – woraus mag die andere bestehen?“, hatte der deutsche Schriftsteller Heinrich Böll einmal gefragt. In der Raumfahrt ist diese Frage ganz einfach zu beantworten: Auch aus Ordnung. Um so viel Disziplin und Kontrolle zu erreichen, braucht man das Werkzeug „Normung“. Sie ist heute ein wichtiger Bestandteil internationaler Raumfahrtprojekte. Sie hilft dabei, vertragliche Rahmenbedingungen und Leistungsinhalte festzulegen sowie Schnittstellen und Methoden aufeinander abzustimmen und zu verfeinern. Für die Forschung sind Normen ein wichtiges Mittel, um sich Alleinstellungsmerkmale zu erarbeiten, Innovation anwendungsorientiert umzusetzen und Kooperationen mit Industriepartnern einzuleiten. Weiterhin ergeben sich aus der direkten Mitarbeit in Normungsgremien eine Wissensquelle für neue Forschungsthemen und ein Wissensaustausch mit nationalen und internationalen Fachkräften von dem alle Beteiligten profitieren.

## Standardisation

### Creating Order in Space to Cut Costs

By Dr.-Ing. Andreas Kumar Jain and Stephan Bonk

If half your life is ruled by order, as the old German adage has it, what is the other half ruled by, to quote a question asked by the German writer Heinrich Böll. In the space sector, this question is easily answered: order again. To attain that level of discipline and control, standardisation is an indispensable tool. Today, standards are an important element in international space projects, helping to define contractual framework conditions and performance specifications and assisting in harmonising and refining interfaces and methods. In applied research, standards are important in developing unique selling propositions, implementing innovations in practical application, and initiating collaborations with industry partners. Furthermore, direct collaboration in standardisation committees may prove a source of information about new research subjects, besides facilitating the exchange of knowledge with national and international experts to the benefit of all concerned.



Autoren: **Dr. Andreas K. Jain** leitet die Abteilung Normung und EEE-Bauteile des DLR und führt im Auftrag des DLR Raumfahrtmanagements die Koordination und das Management von Normungsaktivitäten für das DLR durch.

**Stephan Bonk** arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Normung und EEE-Bauteile. Er betreut DLR Institute und Einrichtungen bei Projekten der Forschungs- und Entwicklungsbegleitenden Normung.

Authors: **Dr Andreas K. Jain** heads DLR's Standardisation and EEE Parts Division. Acting on behalf of the DLR Space Administration, he is responsible for co-ordination and management standardisation activities. **Stephan Bonk** works as a scientific assistant at the Standardisation and EEE Parts Division. He assists DLR institutes and facilities in projects regarding research and development phase standardisation.

Das DLR hat als eine der ersten Organisationen im Bereich der Luft- und Raumfahrtforschung Normung als wichtigen Eckpunkt in seiner strategischen Ausrichtung aufgenommen und entsprechende strategische Ziele definiert. Dies geschieht auch im Hinblick auf das normungspolitische Konzept der Bundesregierung und einer Studie des Deutschen Instituts für Normung (DIN), die den gesamtwirtschaftlichen Nutzen hervorhebt. So soll eine technische und wirtschaftlich unerwünschte Vielfalt vermieden sowie die internationale Zusammenarbeit verstärkt werden, um den Bedarf an vereinheitlichten Lösungen im wirtschaftlichen, behördlichen und wissenschaftlichen Bereich zu decken.

### Aktivitäten in der Raumfahrtnormung

Um seine Ziele umzusetzen, eine aktive, systematische und koordinierte Normenarbeit sicherzustellen und seine Interessen zu wahren, ist das DLR in allen wesentlichen nationalen und internationalen raumfahrtbezogenen Normungsorganisationen vertreten. Als Raumfahrtagentur übernimmt das DLR für Deutschland eine wichtige Koordinierungsfunktion, um die Innovationsteilnehmer – Forschung, Industrie und Behörden – in einer gestaltenden Rolle zusammenzubringen.

Auf nationaler Ebene sind die Normungsaktivitäten im Normungsausschuss NA131 „Luft- und Raumfahrt“ des Deutschen Instituts für Normung (DIN) e.V. in zehn Fachbereichen angesiedelt. Besondere Bedeutung für die Raumfahrt haben hierbei der Fachbereich 5 „Sicherheit, Qualität, Managementverfahren“, der Fachbereich 6 „Raumfahrt“ und der neu gegründete Fachbereich 10 „Interoperabilität von Informations-, Kommunikations- und Navigationssystemen“. Diese drei Disziplinen und die ihnen zugeordneten Arbeitsausschüsse sollen Normen zu Management, Qualität und Sicherheit von Luft- und Raumfahrtprojekten, zu neuen Technologien und Methoden in der Raumfahrt und zu raumfahrtgestützten, terrestrischen Anwendungen erstellen und pflegen. Weiterhin stimmen sie die Normen mit Regelwerken aus Konsortien wie der European Cooperation for Space Standardization (ECSS), European Space Components Coordination (ESCC), Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS), International Aerospace Quality Group (IAQG) und AeroSpace and Defence Industries Association of Europe (ASD) ab.

Im Zusammenspiel mit den nationalen Raumfahrtagenturen, der Industrie und der Europäischen Raumfahrtagentur ESA betreibt das DLR in Europa mit der ECSS eines der fortschrittlichsten Standardisierungssysteme weltweit. Gegründet 1993 definiert dieser Verband Normen, die in den europäischen Raumfahrtprojekten zum Einsatz kommen und dort direkt als Grundlage von Verträgen dienen. Die herausgegebenen Standards behandeln dabei die Themen Projektmanagement, Produktsicherung, Raumfahrttechnik und Nachhaltigkeit. Die einheitlichen und umfassenden Formulierungen führen so zu einer Effizienzsteigerung und verbessern die Nachvollziehbar- und Vergleichbarkeit der Projektergebnisse.

DLR was one of the first organisations in the aerospace research sector to include standardisation among the cornerstones of its strategy and define related strategic objectives. This is in line with the federal government's policy on standardisation, and with a study by the German Institute for Standardisation (DIN) which emphasises the benefit of standards to the economy as a whole. The aim of standardisation is to avoid technically and economically undesirable diversity and to strengthen international collaboration so that the demand for standardised solutions in the business, governmental, and scientific sectors can be met.

### Standardisation activities in the space sector

To implement its goals, to ensure that standardisation remains active, systematic, and co-ordinated, and to safeguard its own interests, DLR is represented in all major national and international organisations dealing with standardisation in space. In its capacity as Germany's space agency, DLR performs the important co-ordinating function of bringing together the innovation stakeholders in research, industry, and government to play a formative part in the process.

Standardisation activities on the national level are handled by ten departments of the aerospace standardisation committee NA131 at the German Institute for Standardisation (DIN). For the space sector, department 5 (security, quality, management processes), department 6 (space), and the recently established department 10 (interoperability of information, communication, and navigation systems) are particularly important. The task of these three disciplines and their respective working committees is to develop and update standards addressing the management, quality, and safety of aerospace projects, new technologies and methods in space, and space-based terrestrial applications. Furthermore, these bodies are mandated to harmonise standards with others developed by consortiums, such as the European Co-operation for Space Standardisation (ECSS), European Space Components Co-ordination (ESCC), Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS), International Aerospace Quality Group (IAQG) and AeroSpace and Defence Industries Association of Europe (ASD).

Interacting in Europe with other national space agencies, the space industry, and the European Space Agency (ESA), DLR together with the ECSS operates one of the most progressive standardisation systems worldwide. Founded in 1993, the organisation defines standards that are applied in European space projects as part of contract provisions. Standards so far published deal with project management, product assurance, space technology, and sustainability. These uniform, comprehensive texts help to enhance efficiency and improve the transparency and comparability of project results.

To cover not only space systems but also space-based applications, such as satellite navigation or Earth observation, the Euro-

Um über die reinen Raumfahrtssysteme hinaus den Bereich der raumfahrtbasierten Anwendungen wie zum Beispiel Satellitennavigation oder Erdbeobachtung abzudecken, wurde im Februar 2012 offiziell das neue europäische Normungsgremium CEN/CENELEC/TC 5 „Space“ auf Grundlage eines Mandats der Europäischen Kommission gegründet. Es ist ein Gemeinschaftsprojekt der drei europäischen Normungsorganisationen Comité Européen de Normalisation (CEN), Comité Européen de Normalisation Électrotechnique (CENELEC) und European Telecommunications Standards Institute (ETSI), mit Beteiligung der ECSS. Das Sekretariat wird im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt geführt.

Zu den vorgesehenen Themenfeldern des neuen Technischen Komitees gehören unter anderem die Interoperabilität und Integration von Mobil- und Festsatellitensystemen mit terrestrischen Systemen, die Überwachung der Weltraumlageerfassung, Nutzlastschnittstellen für Trägersysteme, Katastrophenmanagement und der planetarer Schutz vor terrestrischer beziehungsweise extraterrestrischer Kontamination. Europäische EN-Normen werden hier beispielsweise für das Satellitennavigationssystem Galileo, Raketen-Startanlagen, die Internationale Raumstation ISS sowie andere nationenübergreifende Programme erarbeitet.

Im weltweiten Raumfahrtnormungsgeschäft ist das technische Komitee TC20 „Aircraft and Space Vehicles“ bei der internationalen Organisation für Normung ISO für die Raumfahrt zuständig. Die Aktivitäten verteilen sich dort auf zwei Unterkomitees: Das „Space Data and Information Transfer Systems“ (ISO TC20 SC13) kümmert sich vornehmlich um Datenübertragungsstandards und Standardisierung der Bodeninfrastruktur, um einheitliche Kommunikationsstrukturen zwischen Satelliten und Bodenstationen zu erarbeiten. Auf diese Weise sollen die Missionskontrolle vereinfacht, die Redundanz erhöht und die Missionskosten gesenkt werden. Dabei werden hier im Wesentlichen die globalen CCSDS-Empfehlungen als ISO-Standards übernommen. Im Subkomitee „Space Systems and Operations“ (ISO TC20 SC14) widmen sich Mitglieder aus zwölf Ländern in sieben Arbeitsgruppen der Standardisierung von Themen wie Projektmanagement, Schnittstellen zwischen den verschiedenen Systemen, System- und Nutzlastintegration, Weltraumschrott etc. Die dort erarbeiteten Standards werden als ISO-Norm publiziert und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Im Bereich der Qualitätsmanagementnormung findet eine enge Kooperation des Raumfahrtsektors mit dem Luftfahrtbereich statt. Hier arbeitet das DLR in der von der Luft- und Raumfahrtindustrie



**DIN EN ISO 14620-1**  
Raumfahrtssysteme – Sicherheitsanforderungen

**ISO 14303**  
Schnittstellen Raumfahrzeug/Träger

**DIN EN ISO 17666**  
Risikomanagement

**ISO 14300**  
Programm-Management

**DIN EN 14737**  
Bodensysteme und Bodenbetrieb



**DIN EN 13290**  
Raumfahrtmanagement

**DIN EN 14607**  
Raumfahrttechnik – Mechanik

**ISO 16454**  
Raumfahrt Systeme – Phase Strukturlayout – Belastbarkeitsanalyse

**DIN EN 13292**  
Raumfahrttechnik



**DIN EN 14776**  
Anwendung des Telemetrie- und Telekommando-Datenpaket

**DIN CEN/TS 16071**  
Interoperabilität der Flugdatenverarbeitung (Flugverkehrskontrolle)

**DIN EN 13293**  
Raumfahrttechnik

General technologies – Security requirements

Interface space vehicle/ launcher

Risk management

Programme management

Ground-based systems and ground operations

pean standardisation committee CEN/CENELEC/TC5 Space was officially founded in February 2012 on the basis of a mandate from the European Commission. It is a joint project between three European standardisation organisations, Comité Européen de Normalisation (CEN), Comité Européen de Normalisation Électrotechnique (CENELEC), and European Telecommunications Standards Institute (ETSI), with the ECSS participating. The secretariat is managed by the DIN aerospace committee.

The subjects envisaged for the work of the new technical committee include the interoperability and integration of mobile and stationary satellite systems on the one hand and terrestrial systems on the other, the regulation of the space situational awareness process, payload interfaces with carrier systems, disaster management, and the protection of other planets from terrestrial and/or extraterrestrial contamination. European EN standards being developed apply, for example, to the Galileo satellite navigation system, rocket launch facilities, the International Space Station (ISS), and other transnational programmes.

In the global business of space standardisation, space-related matters are handled by the TC20 technical committee on aircraft and space vehicles at the International Standardisation Organisation (ISO). Activities there are distributed among two sub-committees: the committee on space data and information transfer systems (ISO TC20 SC13), which is chiefly concerned with data communication standards and the standardisation of ground infrastructures, aims to develop uniform structures for communication between satellites and ground stations. The objective is to simplify mission control, cut down redundancy, and reduce mission costs, with ISO essentially adopting the global recommendations of the CCSDS as its own standards. In the sub-committee on space systems and operations (ISO TC20 SC14), members from twelve countries divided into seven working groups address themselves to standardisation in fields like project management, interfaces between different systems, system and payload integration, space debris, etc. Standards developed by this committee are published and released as ISO standards.

In the field of quality management standardisation, the space sector is co-operating closely with the aviation industry. In this case, DLR collaborated with the International Aerospace Quality Group (IAQG) founded by the aerospace industry on the Common Quality Standards of the 9100 series, the objective being to create a harmonised quality management for aero-

gegründeten International Aerospace Quality Group (IAQG) mit. Thema sind die gemeinschaftlichen Qualitätsstandards der 9100-Reihe mit dem Ziel eines harmonisierten Qualitätsmanagements für Luft- und Raumfahrtbetriebe zu schaffen. Viele Firmen des Raumfahrtsektors sind auch im Bereich Luftfahrt tätig.

#### Anwendung und Nutzen

Vor dem Hintergrund einer zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer abgestimmten Produktsicherung hat das DLR in seiner Funktion als Raumfahrtagentur in enger Zusammenarbeit mit der deutschen Raumfahrtindustrie einen nationalen Produktsicherungskatalog erstellt. In bedarfsmäßigen Abständen erfolgt eine Wiederholung des Abstimmungsprozesses und damit wird eine ständige Aktualisierung der zukünftigen Inhalte für die Produktsicherung von nationalen Raumfahrtvorhaben sichergestellt. Hierbei bilden die europäischen ECSS-Raumfahrtstandards – aber auch Anforderung an die Vermeidung von Weltraummüll, Launcher und weitere – die Grundlage für die notwendigen Produktsicherheits-Maßnahmen.

Das DLR als Auftraggeber nationaler Raumfahrtprojekte hat dazu ein Werkzeug entwickelt, das in einem einheitlichen Prozess die Zusammenstellung projektspezifischer Produktsicherungsanforderungen ermöglicht. Dabei werden eine Reihe von Kriterien wie alle unterschiedlichen Modalitäten der einzelnen Vorhaben, die zusätzlichen, individuellen Forderungen der Organisationen der Launcher, Betreiber und Nutzer, aber auch die Aspekte der Wirtschaftlichkeit und die etablierten Prozesse der Raumfahrtindustrieberücksichtigt. Dadurch kann der Erstellungsauwand für diese Anforderungen wesentlich verringert und der Abstimmungsaufwand bei verbesserten Reaktionszeiten auf ein Minimum reduziert werden. Dank des nationalen Produktsicherungs-Maßnahmenkatalogs wird das ECSS-System konsequent angewendet. Die nationale Produktsicherungskompetenz der Raumfahrtindustrie kann zum Vorteil deutscher Auftragnehmer genutzt werden, indem relevante Maßnahmen zusätzlich in den Katalog aufgenommen werden.

Ein anderes, aktuelles Beispiel für die Zusammenarbeit ist die Erstellung eines internationalen Standards zur Vermeidung von Weltraummüll, um Kollisionen im Weltraum zu verhindern. Läuft zum Beispiel die Trennung eines Satelliten von seiner Rakete nahezu rückstandslos ab, wird die Menge der entstehenden Trümmer minimiert. Im Zuge der breit aufgestellten internationalen Zusammenarbeit ist dabei ein Hauptstandard (ISO 24113) mit Anforderungen zur Vermeidung von Weltraummüll entstanden. Wie diese Anforderungen umzusetzen sind, beschreiben zahlreiche untergeordnete Standards. Sie werden von den verschiedenen ISO-Arbeitsgruppen im Subkomitee SC14 des ISO TC20 bearbeitet.

Ein weiteres Beispiel für Einfluss der Normung im Bereich Raumfahrt ist die unter DLR-Federführung entstandene ISO-Norm zur „Technologiereifegradbewertung“. Das DLR erstellte im Rahmen des BMWi-Projektes „Innovation mit Normen und Standards“ eine Entscheidungshilfe zur Technologiebewertung in der Raumfahrt. Damit können bei noch nicht erprobten Technologien Aufwand und Risiken für eine mögliche Produktumsetzung eingeschätzt werden. Die standardisierte Bewertung ist vom Anwender nahezu unabhängig und jederzeit vergleichbar mit anderen Bewertungen. In einer zweiten Stufe soll dieses Verfahren auch für andere Bereiche erweitert werden.

Schlussendlich arbeitet das DLR auch an der Entwicklung kostensenkender, normierter Testmethoden für Raumfahrthardware mit. Komponenten und Baugruppen müssen während der Transportphase von der Erdoberfläche in den Zielorbit starke Vibrations- und Stoßbelastungen durch das Trägersystem überstehen. Das DLR hat ein internationales Normungsprojekt angestoßen, um eine Methode zur Vibrationstestung über Kraftbegrenzung zu entwickeln. So soll teure Raumfahrthardware während der Tests vor Überlastung geschützt werden.

space companies. Many companies in the space sector are also active in aviation.

#### Applications and benefits

To facilitate agreements on product assurance between client and contractor, DLR – acting in its capacity as space agency – has developed a national product assurance catalogue in close co-operation with the German space industry. The harmonisation process is repeated at intervals dictated by demand, which ensures that contents relating to the product assurance of national space projects will be updated constantly in the future. Any product assurance measures being deemed necessary are based on the European ECSS space standards as well as on requirements applying to space debris avoidance, launchers, and other subjects.

As the contracting agency for national space projects, DLR has developed a tool for compiling project-specific product assurance requirements in a standardised process. The criteria that are taken into account include the entire range of modalities of each individual project, the additional individual demands of launcher, operator, and user organisations as well as aspects of economic efficiency and the established processes of the space industry. The tool serves to materially reduce the effort needed to develop applicable requirements, improve response times, and reduce the harmonisation effort to a minimum. Thanks to the national catalogue of product assurance measures, the ECSS system is now applied consistently. By adding further relevant measures to the catalogue, the product assurance competence of the national space industry may be used to the benefit of German contractors.

Another topical case of collaboration is the development of an international standard for avoiding space debris to prevent collisions in space. The quantity of debris could be minimised, for instance, if the separation of a satellite from its launcher could be managed almost without residue. Far-ranging international co-operation has resulted in the development of a master standard (ISO 24113) containing requirements regarding the avoidance of space debris. Numerous subordinate standards handled by various working groups within sub-committee SC14 of ISO TC20 describe how these requirements should be implemented.

Another case illustrating the influence of standardisation in the space sector is the ISO standard on technology maturity assessment whose development was co-ordinated by DLR. Under a project entitled Innovation through Norms and Standards that was sponsored by the Ministry of Economics and Technology, DLR has developed a document to support technology assessment decisions in the space sector. It may be used to estimate the expenditures and risks involved in translating technologies into products that have not been proven to be suitable for the intended use. The standardised assessment processes are almost user-independent and easily compared with other assessments. In a subsequent step, the method will be expanded to include other sectors.

Finally, DLR collaborates also on the development of standardised cost-cutting test methods for space hardware. Components and modules need to withstand powerful vibrations and shocks generated by the launcher system while they are being transported from the surface of the Earth to their target orbit. DLR has initiated an international standardisation project to develop a vibration test method that involves force limitation, the objective being to protect expensive space hardware from overexposure during testing.



## KMU

### Wegbereiter der Raumfahrt Teil 6: IMST GmbH und STI GmbH

Von Rens Baggen und Jost Munder

Denkt man an Raumfahrttechnik in Deutschland, zum Beispiel an das Columbus-Labor der Internationalen Raumstation oder die Satellitenmissionen TerraSAR-X, TanDEM-X und Galileo, dann erscheinen sofort die Namen der Hauptauftragnehmer EADS Astrium GmbH und OHB AG. Doch diese beiden Unternehmen sind nicht alleine im Raumfahrtgeschäft. Ohne kleine und mittlere Unternehmen – die so genannten KMU – wären diese Missionen nicht möglich, denn sie sind wichtige und unentbehrliche Zulieferer für Hauptauftragnehmer. Der Arbeitskreis Raumfahrt KMU im DLR Raumfahrtmanagement ist die Stimme dieser Unternehmen. Er sorgt dafür, dass die deutschen Raumfahrt-KMU besser in die nationalen sowie ESA- und EU-Raumfahrtprogramme eingebunden werden und stärkt damit ihre Wettbewerbsfähigkeit im industriellen Umfeld. Grundsatz hierbei: Hilfe zur Selbsthilfe – keine dauerhaften Subventionen. Diese Artikelserie stellt die 30 KMU und ihre Zusammenarbeit mit dem DLR vor. In diesem Heft lesen Sie mehr über die Firmen IMST GmbH und SpaceTech GmbH (STI).

### SMEs

### Trailblazers in the Space Sector Part 6: IMST GmbH and STI GmbH

By Rens Baggen and Jost Munder

A lot of big enterprises sustain their position in space. Thinking of programmes in Germany such as the Columbus laboratory on the International Space Station, or the TerraSAR-X, TanDEM-X, and Galileo satellite missions, the names that immediately appear at the horizon are those of the big firms, EADS Astrium and OHB Systems. Yet these two players are not alone in the space sector. Big missions would not be possible without small and medium-sized enterprises – or, for short, SMEs – sending innumerable parts down the main contractor's supply chain. The voice of these firms in Germany is a group called AKRK (Arbeitskreis Raumfahrt KMU, or SME Working Group on Space Technology). The body aims to ensure that small German space industry suppliers get a fair share of business out of German, ESA, and EU space programmes and helps them become more competitive within the sector. It operates under the 'aid for selfhelp' principle and awards no long-term subsidies. This series of articles will present 30 SMEs and the part they play in DLR projects. In this issue you can read more about IMST GmbH and SpaceTech GmbH (STI).



Autoren: **Rens Baggen** ist Antennenexperte bei der IMST GmbH. Weiterhin koordiniert er unter anderem ESA- und Forschungsprojekte. **Jost Munder** ist als Gesellschafter und 2. Geschäftsführer der STI GmbH für interne Organisation, terrestrische Systeme und die ICARUS-Projekte zuständig.

Authors: **Rens Baggen** is an antenna expert at IMST GmbH. His responsibilities include the coordination of ESA and public funded R&D projects. As stockholder and 2<sup>nd</sup> CEO of the STI GmbH **Jost Munder** is responsible for internal organisation, terrestrial systems and the ICARUS projects.

### From Mobile Telephony to Satellite Communications

Ever since its foundation as a service provider and development house, IMST GmbH has been synonymous with innovative wireless solutions. In the beginning, the focus was on mobile telephony: in the 1990s, for example, the company developed the RF technology for Siemens mobile phones. In the course of time, however, the company with its 145 employees has moved into space applications, backed and supported by the DLR Space Administration.

Since the company was founded in 1992, IMST's service portfolio has included the development of chassis-mounted multiband- and broadband antennas as well as agile antenna front-ends, the design of RF circuits and semiconductor components, the implementation of digital building blocks, the development of software, and the operation of a measuring and testing laboratory. Meanwhile, however, the range of its activities has widened considerably: it now includes not only cellular wireless technology but also automotive applications, industrial automation, metering technology, RFID chip technology, medical technology, radar, navigation, multi-media applications and – last but not least – satellite communications technology. In the last-named field, the company develops technology solutions for satellites in space as well as for users on the ground.

For satellites, IMST has developed a highly diverse range of components: high-precision distribution networks, multi-layer multi-feed systems, liquid-crystal phase shifters, special synthesisers, power amplifiers, and switches. Furthermore, IMST specialises in complex multi-layer circuits using low temperature co-fired ceramics (LTCC) technology and has its own LTCC manufacturing facility. In the development of such innovative technologies, the DLR Space Administration lends valuable support through promotion measures from which IMST benefits. Some of the company's solutions have been successfully flying in orbit for many years on, some of them installed on DLR's TerraSAR-X and TanDEM-X Earth observation satellites. New, highly innovative components and subsystems are currently being tested in orbit on the technology demonstrator satellite TET 1 under the OOV programme of the DLR Space Administration. Yet more functional equipment is scheduled to share a ride for orbital validation on the German geostationary Heinrich Hertz mission, which will be launched in 2017. Thus, components made by the company are present on important national space programme missions.

For use on Earth, IMST builds electronically steerable antennas for mobile satellite communications. These antennas may be smartly integrated in the outer skin of vehicles, ships, and aircraft, enabling the beam of the antenna to track its target via electronic control. This tracking capability is necessary for this application because the satellite link must be maintained continuously while the vehicle is moving. Antennas of this kind constitute highly complex systems whose design requires special

Antennen sind hochkomplexe Systeme, deren Design spezielle Hochfrequenz-Expertise sowie Kenntnisse auf dem Gebiet von digitalen Bausteinen, Signal Processing, Aufbautechnologien, Sensorik und Wellenausbreitung erfordert. Das Unternehmen hat in den letzten 20 Jahren Terminals für verschiedene mobile Plattformen und Services in verschiedenen Frequenzbereichen von L-Band bis V-Band entwickelt. Eine Spezialität von IMST ist in diesem Zusammenhang die Umsetzung von planaren Gruppenantennen mit elektronischem Beamforming, also der Möglichkeit, den Antennenbeam mittels elektronischer Amplituden- und Phasenregelung zu formen und auszurichten. Die Firma hat hierzu Konzepte entwickelt, die heute und in naher Zukunft in vielen modernen, kompakten und leistungsfähigen Satellitenterminals einsetzbar sind.

Um solche komplexen Hochfrequenz-Aufbauten und Antennenstrukturen zu entwerfen, benötigt man die richtigen Werkzeuge: Ein selbstentwickeltes 3D-Simulationstool unterstützt den kompletten Entwicklungsprozess. Dieses Werkzeug ist seit vielen Jahren auch für externe Ingenieure und andere Firmen unter dem Namen 'Empire' erhältlich und wird weltweit genutzt. Es ermöglicht einen sehr effizienten Entwicklungsprozess durch realistische Konzeptanalysen und sehr genaue Simulationsergebnisse. Diese Simulationen sind meistens der erste Schritt in einem Projekt. Prototypen werden in späteren Phasen dann hausintern umgesetzt und vermessen. Natürlich ist das Unternehmen auch zertifiziert und mit einem Qualitätsmanagement System nach EN 9100 ausgestattet. Mit diesem breiten Hintergrund und mehr als 20 Jahren Erfahrung im Wireless Bereich ist die Firma gut gerüstet für zukünftige anspruchsvolle Raumfahrtprojekte.

#### Auf dem Weg zum System-Integrator

Im Jahr 2004 wurde die SpaceTech GmbH (STI) mit Sitz in Immenstaad am Bodensee von den Gesellschaftern und Geschäftsführern Bernhard Doll und Jost Munder mit einer Vision gegründet: Als kompaktes, systemtechnisch orientiertes Unternehmen will STI unabhängig und komplementär von den großen, deutschen Raumfahrtunternehmen im internationalen Raumfahrtmarkt auftreten. Die Firma ist hier schon auf einem guten Weg: Waren die Anfänge noch durch kleinere Beraterverträge und Hardware-Aufträge im Bereich mechanischer Unterstrukturen gekennzeichnet, hat sich STI mit inzwischen über 50 Mitarbeitern zu einem mittelständischen Technologieunternehmen entwickelt, das erfolgreich auf dem internationalen Markt operiert. Das Portfolio umfasst die Auslegung von Raumfahrtmissions- und Satellitenystemen, die Entwicklung und Produktion von Raumfahrtbauteilen sowie die Bereitstellung von Dienstleistungen für Satellitenstarts. Neben der Raumfahrt ist STI mit etwa zehn Prozent seines Umsatzes in der Entwicklung und Installation terrestrischer Frühwarnsysteme aktiv. Mit der derzeitigen Erweiterung des 2008 erstellten Firmengebäudes werden ab Mitte 2014 Arbeitsplätze für insgesamt 90 Ingenieure, erweiterte mechanische und elektrische Labore sowie ein weiterer Reinraum für die Integration und Funktionstests von mittelgroßen Satelliten zur Verfügung stehen. Ein CNC-Bearbeitungszentrum und eine eigenen Vakuumkammer runden die auf weiteres Wachstum ausgelegte Infrastruktur ab.

**Steuerbares 8 x 8 Antennen-Frontend im Ka-Band für Satellitenkommunikations-Terminals: links die Oberseite mit den Antennenelementen, rechts die Unterseite mit aktiven Bauteilen und Flüssigkühlung (SANTANA-Projekt).**

**Steerable 8 x 8 antenna front-end operating in the Ka-band for satcom terminals; left: topside showing antenna elements; right: bottom side featuring active components and liquid cooling system (SANTANA project)**

expertise in high-frequency and digital modules as well as in signal processing, RF-architecture technology, sensor systems, and wave propagation. In the last 20 years, the company has developed terminals for various mobile platforms and services in a variety of frequencies ranging from the L- to the V-band. In this context, it is one of IMST's specialities to construct planar antenna arrays with electronic beam-forming features, capable of shaping and aiming the beam of the antenna by means of electronic amplitude and phase control. For such applications, IMST has developed compact, efficient, and highly agile concepts for use in numerous modern, compact, and efficient satellite terminals today and in the future.

To design such complex high-frequency configurations and antenna structures one needs suitable tools: a proprietary 3D simulation tool supports the entire development process. This tool has been available for many years to external engineers and other companies under the name of 'Empire' and is used worldwide. Offering realistic concept analyses and highly exact simulation results, the tool greatly enhances the efficiency of the development process. In most cases, simulations of this kind are the first step undertaken in a project; prototypes will be realised and analysed in later project stages. Needless to say, IMST is certified and operates a quality management system conforming to EN 9100. Given its sound background and its more than 20 years of experience in the wireless sector, the company is well set up for the demanding space projects of the future.

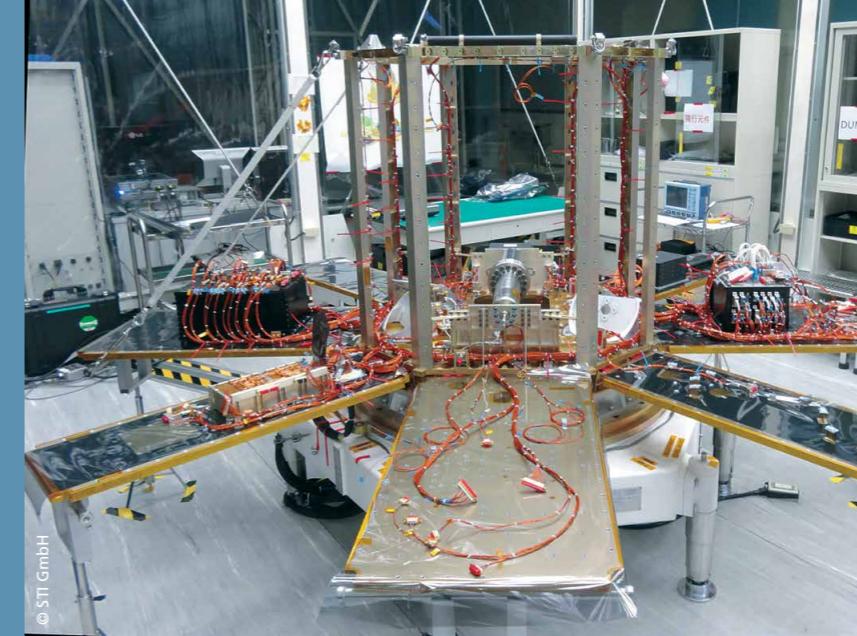
#### A system integrator in the making

Domiciled in Immenstaad on Lake Constance, SpaceTech GmbH (STI) was founded in 2004 by Bernhard Doll and Jost Munder, its present partners and chief executives. Their vision was of STI as a compact system-technology enterprise that would appear on the international space market as an independent entity, complementary to the big German space corporations. As far as that is concerned, the company is going strong: in the beginning, its business was mainly in minor consultancy contracts and hardware orders for mechanical sub-systems. Today, STI has become a medium-sized 50-strong technology company, which successfully operates on the international market. Its portfolio includes designing space mission and satellite systems, developing and producing space components, and providing services around satellite launches. In addition to the space sector, STI draws about ten per cent of its income from developing and installing terrestrial early-warning systems.

Built in 2008, the company's premises are currently being expanded to accommodate a total of 90 engineers, enlarged mechanical and electronics laboratories, and another clean room for integrating and testing the functions of medium-sized satellites from the middle of 2014 onwards. To complete the infrastructure, which is designed for further growth, there is a CNC fabrication centre and a vacuum chamber.



© IMST GmbH



© STI GmbH

**Im Reinraum der STI GmbH wurde der Solar-Generator für die Sentinel-5-Precursor-Mission der europäischen Weltraumagentur ESA installiert.**

**At the clean room at the STI GmbH the solar generator for ESA's Sentinel 5 Precursor mission has been prepared.**

While the company's first steps in the field of space systems were characterised by consultancy work mainly for customers from East Asia, the first breakthrough on the hotly contested international market came in 2005: the company received an order for providing system support for the Taiwanese Earth observation satellite FormoSat-5 and procuring additional flight hardware. Under this contract, STI supported the Taiwanese space organisation NSPO in engineering activities of every kind, beginning with tentative mission outlines and analysis and ending with planning and implementing system tests. Subsequently, the company received important orders from the DLR Space Administration involving the design of the twin satellites of the Lunar Exploration Orbiter programme (LEO, phase A), the system management of the DEOS robotics programme (phase A), and the client satellite of DEOS (phase B1). STI has completed the concept for ICARUS, a space-based system for tracking small animals that was commissioned by DLR and the Max Planck Institute for Ornithology. In September 2013, it was ordered to build a demonstrator to be operated in the Russian segment of the ISS. The ultimate objective, for which preparations are being made at present, is to install the system in a satellite constellation. For the GRACE follow-on mission, STI developed on behalf of the German Georesearch Centre a laser ranging interferometer capable of measuring the distance between the two satellites down to 50 nanometres, a curtain-raiser for STI in the construction of complex space instruments.

With regard to components, STI is concentrating on solar generators with and without deployment mechanisms, thermostable satellite and instrument structures, and Earth/Sun sensors for attitude control. The first flight heritage for hardware was reached when the solar panels of the Korean Earth observation satellite KompSat-3 unfolded successfully in 2012. The outstanding characteristics of the mechanism include extremely low friction, high torque reserves, and low shock loads. Subsequently, the company received further orders for a complete solar-generator system for the Turkish Earth observation satellite Göktürk-2 (commissioned in 2012) and for ESA's Sentinel-5 mission. In the field of structures, the company focuses on designing and pre-integrating large structures like, for example, the validation model of the solar shield of the interplanetary BepiColombo probe or the primary structure for FormoSat-5. For both satellites of the GRACE follow-on mission, STI supplies the carbon-fibre structure, the antenna deployment mechanism, the mechanical ground support equipment, and the Earth/Sun sensor. Thanks to the support of the DLR Space Administration, the efficiency of the CESS sensor will be materially improved in the future.

# Business Launch

**Hoher Besuch am DLR-Stand auf der MAKS 2013:** Dr. Gerd Gruppe, DLR-Vorstand Raumfahrtmanagement (2. v. l.), und DLR-Vorstandsvorsitzender Prof. Johann-Dietrich Wörner (3. v. l.) präsentieren dem russischen Ministerpräsidenten Dmitri Medwedew unter anderem das Modell des DLR-Spaceliners.

Important guest at the DLR booth during the MAKS 2013 exhibition: DLR Board Member for Space Administration Dr Gerd Gruppe, (2<sup>nd</sup> from left) and DLR Chairman Professor Johann-Dietrich Wörner (3<sup>rd</sup> from left) showing Russia's prime minister Dmitri Medvedev inter alia the DLR Spaceliner.

Auf der ASE-Pressekonferenz am 4. Juli 2013 in Bonn stellte sich ein breit gefächertes Panel den Fragen der Journalisten: Dr. Gerd Gruppe, DLR-Vorstand, Dr. Gerhard Thiele, deutscher ESA-Astronaut, Prof. Jakob Rhyner, Vizektor Europa der Universität der Vereinten Nationen (UNU), und Dr. Alice Fiser von der Informationsstelle der Vereinten Nation in Bonn (v. l.).

At a press conference held in Bonn on July 4, 2013, during the ASE conference, a broadly based panel answered questions from journalists. DLR Director Dr Gerd Gruppe, German astronaut Dr Gerhard Thiele, European Vice Director of the University of the United Nations (UNU) Prof. Jakob Rhyner, and Dr Alice Fiser from the United Nations Information Centre in Bonn (from left to right).



**Hoher Besuch am DLR-Stand:** Beim Tag der offenen Tür des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) am 24. August 2013 informieren sich Bundeswirtschaftsminister Dr. Philipp Rösler (2. v. l.) und Dr. Michael Scharnberg (3. v. l.), Referent für Raumfahrttechnologie beim BMWi, bei den DLR Raumfahrtmanagement-Mitarbeitern Godela Roßner (l.) und Jens Danzeglocke (im Hintergrund) über Erdbeobachtungsthemen.

Important guests at the DLR booth: On an Open-Day event on August 24, 2013, held by the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), economics minister Philipp Rösler (2<sup>nd</sup> from left), and Dr Michael Scharnberg (3<sup>rd</sup> from left), the officer responsible for space technology at the BMWi, were discussing Earth observation matters with Space Administration staff members Godela Roßner (l.) and Jens Danzeglocke (in the background).

# Raumfahrtkalender

Termin Ereignis

## 2013

22. September	Tag der Luft- und Raumfahrt 2013 des DLR in Köln-Porz
23.-27. September	64th International Astronautical Congress in Peking (China)
25. September	Start Sojus 36S von Baikonur (Kasachstan, Expedition ISS)
30. September	Start Sojus STB von Kourou (Französisch-Guyana) mit vier Kommunikationssatelliten der O3b-Konstellation
4.-14. Oktober	Studenten-Ballonkampagne BEXUS 16/17 in Esrang (Nordschweden)
Anfang November	Start TEXUS 51 (DLR) von Esrang mit vier deutschen Experimenten
7. November	Start Sojus 37S von Baikonur (ISS Expedition)
18. November	Start Mars Science Orbiters (MAVEN) mit Atlas V von Cape Canaveral (Florida/USA)
20. November	Start der ESA-Satellitenmission Gaia mit Sojus STB von Kourou
20. November	Start Progress 53P von Baikonur (Versorgung ISS)
November/Dezember	Start der ESA Earth-Explorer-Mission SWARM mit Rockot von Plesetsk (Russland)
Dezember	Start Sojus STB von Kourou mit den ersten beiden OHB Galileo-Satelliten
11. Dezember	Start Proton 3R von Baikonur mit dem ISS-Logistikmodul MPLM und dem Roboterarm ERA

## 2014

1. Quartal	Start EU/ESA-Copernicus-Mission Sentinel-1A mit Sojus von Kourou
1. Quartal	Erstflug des zweiten deutschen Instruments FIFI-LS auf dem Stratosphären-Observatorium SOFIA
Januar/Februar	2. WADIS Höhenforschungskampagne in Andoya (Norwegen)
15. Januar	Start Falcon 9 von Cape Canaveral, 3. ISS-Versorgungsflug (SpaceX CRS-3)
20. Januar	Asteroidenmission ROSETTA: Aufwecken aus "Winterschlaf"
3.-14. Februar	24. DLR-Parabelflug in Bordeaux (Frankreich)
5. Februar	Start Progress 54P von Baikonur (Versorgung ISS)
März	Studenten-Raketenkampagne REXUS 15/16 in Esrang
26. März	Start Sojus 38S von Baikonur (ISS Expedition)

# Space Calendar

Date Event

## 2013

September 22	German Aerospace Day 2013 of DLR in Cologne-Porz (Germany)
September 23-27	64th International Astronautical Congress in Beijing (China)
September 25	Launch of Soyuz 36S from Baikonur (Kazakhstan, ISS expedition)
September 30	Launch of Soyuz STB from Kourou (French-Guiana); carrying four communication satellites for the O3b constellation
October 4-14	Student balloon campaign BEXUS 16/17 in Esrang (North of Sweden)
Beginning of November	Launch of TEXUS 51 (DLR) from Esrang; carrying four German experiments
November 7	Launch of Soyuz 37S from Baikonur (ISS expedition)
November 18	Launch of Atlas V from Cape Canaveral (Florida/USA); carrying the Mars Science Orbiters (MAVEN)
November 20	Launch of Soyuz STB from Kourou; carrying the ESA satellite Gaia
November 20	Launch of Progress 53P from Baikonur (ISS logistics)
November/December	Launch of Rockot from Plesetsk (Russia); carrying the three ESA Earth-explorer satellites SWARM
December	Launch of Soyuz STB from Kourou; carrying the first two OHB Galileo satellites
December 11	Launch of Proton 3R from Baikonur; carrying the ISS logistics module MPLM with the robot arm ERA

## 2014

1 <sup>st</sup> Quarter	Launch of Soyuz from Kourou; carrying the EU/ESA Copernicus mission satellite Sentinel-1A
1 <sup>st</sup> Quarter	1st flight of the 2nd German instrument FIFI-LS; mounted on the stratospheric observatory SOFIA
January/February	2nd WADIS sounding rocket campaign in Andoya (Norway)
January 15	Launch of Falcon 9 from Cape Canaveral, 3rd ISS logistics flight (SpaceX CRS-3)
January 20	Asteroid mission ROSETTA: wake up from the " hibernation"
February 3-14	24th DLR parabolic flight in Bordeaux (France)
February 5	Launch of Progress 54P from Baikonur (ISS logistics)
March	Student rocket campaign REXUS 15/16 in Esrang
March 26	Launch Sojus 38S from Baikonur (ISS expedition)

Astronautentraining & Raumfahrt,  
Luftwaffe & Forschungsflotte, Wissenschaft & Hightech



# TAG DER LUFT- UND RAUMFAHRT

Beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln-Porz  
DLR Köln – Köln Bonn Airport



22.9.2013

Wissen für Morgen



esa

www.esa.int



Luftwaffe  
Wir. Dienen. Deutschland.



© Maus - Schmitt-Merzel / WDR Mediagroup GmbH. Die Sendung mit der Maus © WDR

Schirmherrschaft:  
Bundeskanzlerin  
Angela Merkel

Die  
Bundeskanzlerin

In Kooperation mit:

germanwings

FLUGREVUE

WDR 2

Kölner Stadt-Anzeiger  
www.ksa.de

EXPRESS

T-Systems



AIRBUS  
AN EADS COMPANY

## 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 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

## Impressum

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

Sabine Hoffmann  
Leiterin DLR-Kommunikation  
(ViSdP)

Redaktion:  
Elisabeth Mittelbach (Teamleitung)  
Martin Fleischmann (Redaktionsleitung)  
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](mailto:martin.fleischmann@dlr.de)  
[DLR.de/rd](http://DLR.de/rd)

Mitarbeiter der Ausgabe: Andreas Schütz

Druck: KÖLLEN DRUCK & VERLAG GmbH  
53117 Bonn-Buschdorf

Gestaltung: CD Werbeagentur GmbH,  
53842 Troisdorf  
[www.cdonline.de](http://www.cdonline.de)

ISSN 2190-7072

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

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## DLR at a glance

DLR is the national aeronautics and space research centre of the Federal Republic of Germany. Its extensive research and development work in aeronautics, space, energy, transport, and security is integrated into national and international cooperative ventures. In addition to its own research, as Germany's space agency, DLR has been given responsibility by the federal government for the planning and implementation of the German space programme. DLR is also the umbrella organisation for the nation's largest project execution organisation.

DLR has approximately 7400 employees at 16 locations in Germany: Cologne (headquarters), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Juelich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also has offices in Brussels, Paris, Tokyo, and Washington D.C.

## Imprint

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

Sabine Hoffmann  
Director DLR Corporate Communications  
(responsible according to the press law)

Editorial office:  
Elisabeth Mittelbach (Team Leader)  
Martin Fleischmann (Editor in Chief)  
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](mailto:martin.fleischmann@dlr.de)  
[DLR.de/rd](http://DLR.de/rd)

Assistant for this edition: Andreas Schütz

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

Layout: CD Werbeagentur GmbH,  
53842 Troisdorf, Germany  
[www.cdonline.de](http://www.cdonline.de)

ISSN 2190-7072

Reprint with approval of publisher and with reference to source only. Printed on environment-friendly, chlorine-free bleached paper. Copyright DLR for all imagery, unless otherwise noted. Articles 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