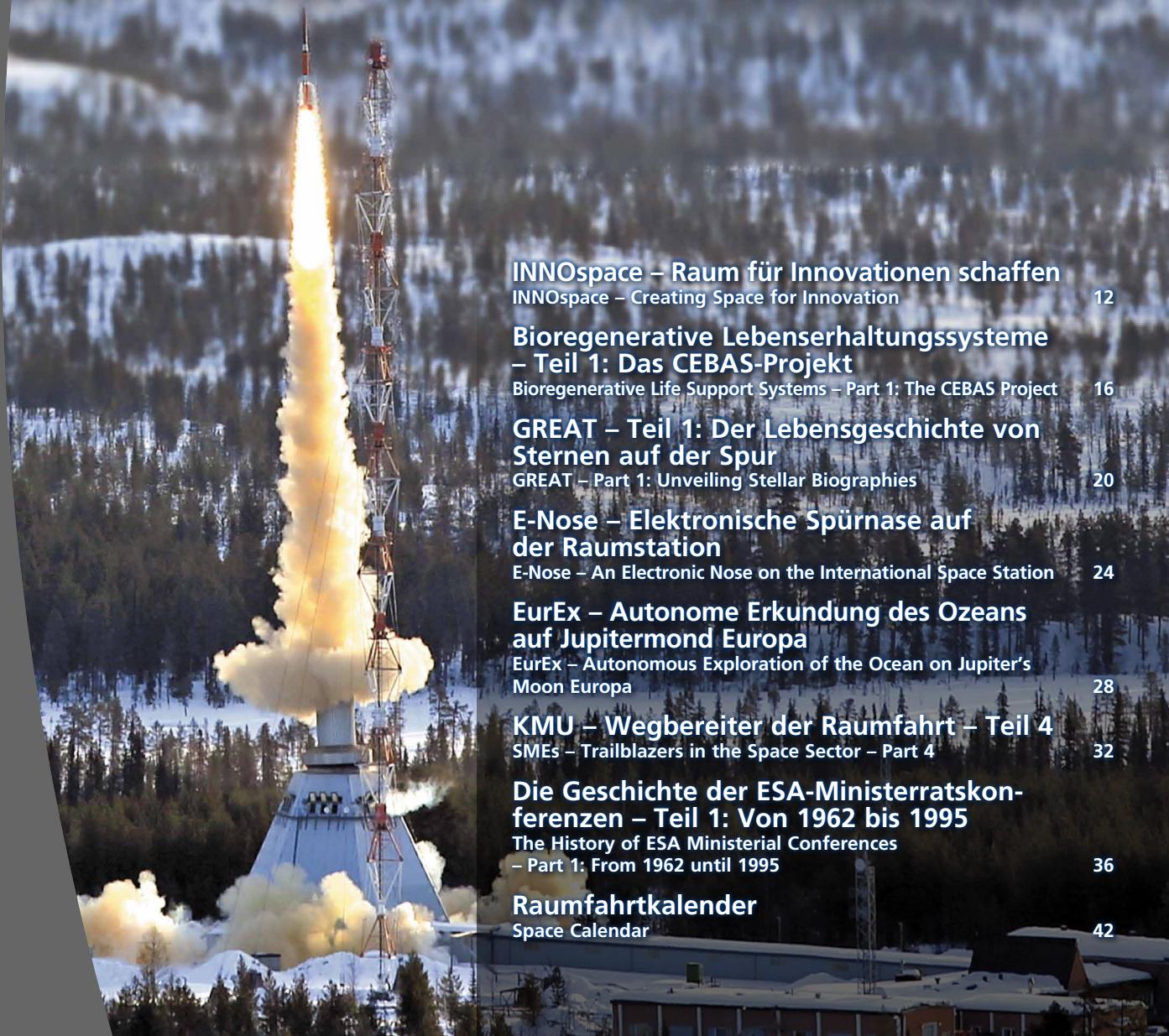


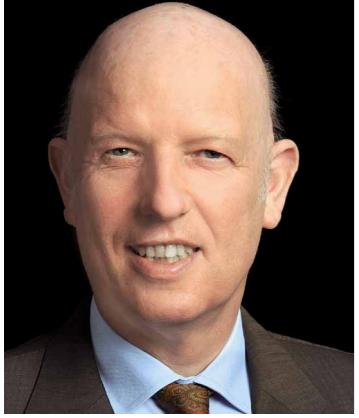
## TEXUS 50/51 – 35 Jahre Deutsches Forschungsraketen-Programm

## TEXUS 50/51 – The 35th Anniversary of the German Research Rocket Programme

Seite 6 / page 6



<b>INNOspace – Raum für Innovationen schaffen</b> INNOspace – Creating Space for Innovation	12
<b>Bioregenerative Lebenserhaltungssysteme – Teil 1: Das CEBAS-Projekt</b> Bioregenerative Life Support Systems – Part 1: The CEBAS Project	16
<b>GREAT – Teil 1: Der Lebensgeschichte von Sternen auf der Spur</b> GREAT – Part 1: Unveiling Stellar Biographies	20
<b>E-Nose – Elektronische Spürnase auf der Raumstation</b> E-Nose – An Electronic Nose on the International Space Station	24
<b>EurEx – Autonome Erkundung des Ozeans auf Jupitermond Europa</b> EurEx – Autonomous Exploration of the Ocean on Jupiter's Moon Europa	28
<b>KMU – Wegbereiter der Raumfahrt – Teil 4</b> SMEs – Trailblazers in the Space Sector – Part 4	32
<b>Die Geschichte der ESA-Ministerratskonferenzen – Teil 1: Von 1962 bis 1995</b> The History of ESA Ministerial Conferences – Part 1: From 1962 until 1995	36
<b>Raumfahrtkalender</b> Space Calendar	42



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

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

**Liebe Leserinnen und Leser,  
liebe Freunde des Raumfahrtmanagements,**

auch in einer globalisierten Welt mit technikgestützter Kommunikation zeigt sich immer wieder: Die persönliche Begegnung mit unseren Partnern ist nicht zu ersetzen. Wir brauchen diesen Austausch, um den eigenen Horizont zu erweitern, andere Sichtweisen zu verstehen – kurzum: zur gegenseitigen Inspiration. Ganz in diesem Sinn fand Mitte April 2013 im amerikanischen Colorado Springs das „National Space Symposium“ (NSS) statt. Hier ergaben sich viele Gelegenheiten, um in entspannter Atmosphäre viele persönliche Gespräche zu führen. Im Gegensatz zu den großen europäischen Branchen-Treffen in Le Bourget, Moskau oder Berlin zeichnet sich diese Veranstaltung durch seine große Bandbreite an Besuchern aus: Hier trifft man neben Militärs aller Generationen auf Lehrer, Schüler, Raumtransportfirmen – und Astronauten, Anwender, Industrievertreter. Es ist überall spürbar, wie sehr Raumfahrt als fester Bestandteil in der amerikanischen Gesellschaft verankert ist.

Eines der bestimmenden Themen war die derzeitige „sequestration“ der amerikanischen Regierung, die auch der Raumfahrt ein Sparprogramm auferlegt hat. Unsere Situation ist eine andere. Denn auch wenn wir in Deutschland über deutlich weniger Mittel für Raumfahrt verfügen, gibt uns die aktuelle Haushaltspolitik der Bundesregierung viele Chancen. So haben wir derzeit die bisher einmalige Situation, im nationalen Programm mit unserem „Big Four“ – den Missionen DEOS, ENMap, Heinrich-Hertz und MERLIN – gleich mehrere Großprojekte parallel voran zu bringen. Damit geben wir verschiedenen Fachgebieten neue Impulse. Und auch in der ESA können wir mit den uns zur Verfügung stehenden Mitteln deutsche Interessen gut einbringen. Als eines der wenigen internationalen Partnerländer war Deutschland beim NSS sehr gut vertreten: Angefangen vom Bundestagsabgeordneten Klaus-Peter Willsch über Industrievertretern bis hin zu den Militärs – inklusive Vertreter des Weltraumlagezentrums. Mit einem eigenen Stand hat auch das DLR Präsenz gezeigt.

Der große Gewinn eines solchen Events: Man bekommt einen sehr guten Einblick in die Trends der Raumfahrt, welche Fragen unsere internationalen Partner beschäftigen. Ganz deutlich zu erkennen ist die immer breitere Bedeutung der Raumfahrt. Das betrifft nicht nur die Anwendungsgebiete, sondern auch die immer stärkere Kommerzialisierung und Privatisierung der Raumfahrt. Hier haben die Amerikaner in den letzten Jahren einen sehr deutlichen Richtungswechsel vollzogen. Besonders spannend sind die Entwicklungen im Trägerbereich. Nach dem Ende der Space-Shuttle-Ära setzen die Amerikaner nun auf eine Konkurrenzsituation mit verschiedenen Anbietern, die im Rahmen des „commercial crew program“ neue Wege zum Zugang ins All entwickeln sollen. Die dabei beteiligten Firmen sind nicht nur von verschiedenen Kulturen geprägt, sondern verfolgen auch sehr unterschiedliche Ansätze. Diese reichen von technisch sehr anspruchsvollen Lösungen über eher konventionelles Design bei einem Maximum an Kosteneffizienz. Die Gespräche mit SpaceX, Orbital Science, Sierra Nevada und vielen weiteren waren daher besonders interessant.

Auch wenn man nicht alles kopieren muss, kann man von den Amerikanern doch etwas lernen: Herausragende Leistungen in der Raumfahrt kreativ würdigen und in die Gesellschaft hineinragen. Raumfahrt übt weiterhin für viele eine extreme Faszination aus. Diese müssen wir noch viel stärker nutzen, um die in allen Natur- und Ingenieurwissenschaften so dringend benötigten Nachwuchskräfte zu gewinnen. Ich bin davon überzeugt, dass wir auch in Deutschland noch sehr viele Möglichkeiten zur Gewinnung von Synergien und spin-off-Effekten nutzen können. Dabei ist unser Maßstab immer, Raumfahrt zum Nutzen des Menschen zu betreiben.

Gute Inspiration durch diese COUNTDOWN-Ausgabe wünscht Ihnen

Ihr Gerd Gruppe

Let yourself be inspired by this edition of COUNTDOWN.

Yours,  
Gerd Gruppe

**Am 15. März 2013 eröffnen der DLR-Vorstand, Dr. Gerd Gruppe (von rechts), der Parlamentarische Staatssekretär im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und Koordinator für Luft- und Raumfahrt der Bundesregierung, Peter Hintze, sowie der Abteilungsleiter für Technologiepolitik im BMWi, Dr. Sven Halldorn, den DLR SpaceBot Cup 2013.**

On March 15, 2013, Dr Gerd Gruppe, Member of the DLR Executive Board, Peter Hintze, Parliamentary State Secretary in the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi) as well as the German Government Coordinator of Aerospace Policy, and Dr Sven Halldorn, Head of the Directorate General Technology Policy in the BMWi, open the DLR SpaceBot Cup 2013.. (Manuel Tennert/DLR)



Manuel Tennert@DLR

## SpaceBot Cup 2013

### Erster nationaler Robotik-Wettbewerb geht in die heiße Phase

Roboter sind Werkzeuge des Menschen. Sie erleichtern uns den Arbeitsalltag und stoßen das Tor zu unzugänglichen Gegenden auf. Die Weltraumrobotik ist dabei auch für terrestrische Anwendungen wegweisend. Das Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) einen Wettbewerb ins Leben gerufen, um die Entwicklungen dieser Schlüsseltechnologie weiter zu fördern – den „DLR SpaceBot Cup“. Seit dem 15. März 2013 stehen die zehn Teilnehmer aus Forschungseinrichtungen und Kleinen und Mittleren Unternehmen (KMU) fest, die mit ihren Robotik-Ideen gegeneinander antreten.

Welcher Roboter erledigt die ihm gestellten Aufgaben am besten und am zügigsten? Das werden die zehn robotischen Systeme der „DLR-SpaceBot Cup“-Teilnehmer im November 2013 unter Beweis stellen. Dann werden sie sich durch einen Parcours kämpfen, der einer Planetenlandschaft ähnelt. Sie müssen eigenständig in dem zerklüfteten Gelände navigieren, Hindernisse umfahren, überwinden oder aus dem Weg räumen, nach Gegenständen greifen sowie Proben nehmen und einsammeln – und das alles innerhalb einer Stunde. „Wir legen beim DLR SpaceBot Cup den Fokus auf System-autonomie und Geschwindigkeit: Nur, wer den anspruchsvollen Parcours selbstständig in der kürzesten Zeit meistert, hat überhaupt die Klasse, sich später einmal für eine Raumfahrtmission zu qualifizieren. Die Aufgaben werden die Roboter vor große Herausforderungen stellen. Und desto besser ist auch die Chance, neue Technologie-Entwicklungen anzustoßen – das gilt gleichermaßen für die Erde und das All“, betonte Dr. Gerd Gruppe. „Dazu fördern wir jedes Team mit 50.000 Euro.“

Den Startschuss zum Wettbewerb gab am 15. März 2013 der Parlamentarische Staatssekretär im BMWi und Koordinator für Luft- und Raumfahrt, Peter Hintze: „Raumfahrt-Robotik ist Impulsgeber für neue Hochtechnologien und deshalb ein integraler Bestandteil der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Der DLR SpaceBot Cup ist ein ideales Testfeld für neue Entwicklungen, die auf der Erde und im Weltraum Anwendung finden können. Der Wettbewerb hat einen besonderen Charme, weil er gerade die Kreativität junger Köpfe auf die Probe stellt. Nur wenn wir uns mehr Gedanken um Nachwuchingenieure und -wissenschaftler machen, wird es uns gelingen, die Zukunft des Wissenschafts- und Technologiestandorts Deutschland nachhaltig zu sichern.“

Diese Teams haben sich mit ihren Ideen für den DLR SpaceBot Cup qualifiziert: hochschule 21 (hochschule 21 Buxtehude), Jacobs Robotics Team (Jacobs Universität Bremen), LAUROPE (FZI Karlsruhe), Locomotec Research Team (Locomotec GmbH), NimbRo Centauro (Universität Bonn), Berlin Rockets (FU Berlin), SEAR (TU Berlin), Space Lions (TU Braunschweig), Artemis (DFKI) und PERMANENCE (TU Chemnitz).

### The Heat Is On in Germany's First Robotics Contest

Robots are man-made tools. They make our daily life easier, and they open up doors to inaccessible places. At the same time, space robotics unlocks new possibilities for terrestrial applications, too. For this reason, the Space Administration Unit of the German Aerospace Center (DLR) is conducting a contest which is funded by the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi) and intends to promote new developments within this ground-breaking technology – the DLR SpaceBot Cup. On March 15, 2013, ten participants from research institutes and small and medium-sized enterprises (SMEs) were shortlisted to field their robotics ideas in the contest.

Which robot will be best and quickest at solving a series of tasks? This will be known at the end of the race of the ten robotic systems participating in the DLR SpaceBot Cup in November 2013. Struggling along a test track that resembles the landscape of some alien planet, they will have to navigate autonomously in rough terrain, circle around, climb over, or clear away obstacles, reach for objects, and take samples – and all that within one hour. ‘The DLR SpaceBot Cup is all about system autonomy and speed: only a robot capable of mastering the demanding test track independently and in the shortest possible time will have the class to qualify for a future space mission. The challenges put before the robots will be great indeed, which, in turn, improves the chances of sparking off new technological developments – on Earth as well as in space,’ emphasised Dr Gerd Gruppe. ‘To make this happen, we subsidise all teams with 50,000 Euros each.’

The starting gun for the contest was fired on March 15, 2013 by Peter Hintze, Parliamentary Undersecretary with the BMWi and aerospace co-ordinator: ‘Space robotics provides impulses for innovative high technologies, which is why it was included as an integral element in the Federal Government’s high-technology strategy. The DLR SpaceBot Cup provides an ideal field for testing new developments which may be applied on Earth as well as in space. The particular charm of the contest lies in the fact that it tests the creativity of young brains. Only by giving more consideration to young engineers and scientists, we will succeed in sustainably securing the future of Germany as a site of science and technology.’

The following teams and their ideas have qualified for the DLR SpaceBot Cup: hochschule 21 (hochschule 21, Buxtehude), Jacobs Robotics Team (Jacobs University Bremen), LAUROPE (FZI Karlsruhe), Locomotec Research Team (Locomotec GmbH), NimbRo Centauro (University Bonn), Berlin Rockets (FU Berlin), SEAR (Berlin TU), Space Lions (Braunschweig TU), Artemis (DFKI), and PERMANENCE (Chemnitz TU).



# Jubiläumsflug

## Jubilee Flight

Zwölf Meter lang, rund vier Tonnen schwer und angetrieben durch deutsch-brasilianische Technologie: In der Skylark-Halle auf der Raketenbasis Esrange in Kiruna (Nordschweden) bereiten Ingenieure der Mobilen Raketenbasis des DLR (MORABA) die Motoren für den Start von TEXUS 50 vor. Sie bringen im TEXUS-Programm wissenschaftliche Experimente mit den zweistufigen brasilianischen VSB-30-Raketen in eine Höhe von rund 260 Kilometern. Bereits seit 35 Jahren ermöglicht das TEXUS-Programm Forschern, ihre biologischen, materialwissenschaftlichen und physikalischen Experimente unter Weltraumbedingungen durchzuführen. Das macht TEXUS zum weltweit erfolgreichsten und am längsten bestehenden Raketenprogramm für wissenschaftliche Versuche und Technologieerprobungen in Schwerelosigkeit.

Twelve metres in length, about four tons in weight and powered by technology from Brazil and Germany: in the Skylark integration hall at the Esrange rocket base in Kiruna (northern Sweden), engineers working on DLR's Mobile Rocket Base (MORABA) prepare the motors for the launch of TEXUS 50. Integrated into Brazilian-made, two-stage VSB-30 rockets, the engines will carry a number of scientific experiments to an altitude of circa 260 kilometres. For 35 years, the TEXUS programme has enabled scientists to carry out their life sciences, materials science and physics experiments under space conditions. This makes TEXUS the world's most successful and longest-running microgravity programme for scientific research and technology testing.



# TEXUS 50/51

## 35 Jahre Deutsches Forschungsraketen-Programm

Von Dr. Otfried Joop und Diana Gonzalez

**Das weltweit am längsten andauernde Raketenprogramm für Forschung in Schwerelosigkeit feiert Jubiläum: 35 Jahre nach der ersten TEXUS-Mission im Dezember 1977 ist die 50. TEXUS-Rakete am 12. April 2013 um 6:25 Uhr Mitteleuropäischer Sommerzeit vom Raumfahrtzentrum Esrange bei Kiruna in Nordschweden erfolgreich in den Weltraum gestartet. 20 Minuten dauerte der Flug. Davon herrschten sechs Minuten und 20 Sekunden Schwerelosigkeit. Ein Fallschirm brachte die wissenschaftlichen Nutzlasten nach dem Flug wieder zurück zum Boden. Die Forschungsrakete "VSB-30" des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) trug vier deutsche Experimente aus Biologie und Materialforschung in eine Höhe von 261 Kilometern.**

## TEXUS 50/51

### The 35th Anniversary of the German Research Rocket Programme

By Dr Otfried Joop and Diana Gonzalez

The world's longest-lived microgravity research programme celebrates its anniversary: 35 years after the first TEXUS mission in December 1977, the 50th TEXUS rocket was successfully launched from the Esrange space centre near Kiruna in the north of Sweden on April 12, 2013, at 6.25 am Central European Summer Time. Of the 20 minutes which the flight lasted, microgravity prevailed for six minutes and 20 seconds. After the flight, a parachute carried the scientific payload back to the ground. A VSB-30 sounding rocket of the German Aerospace Center (DLR) had flown four German biology and materials research experiments to an altitude of 261 kilometres.



Autoren: **Dr. Otfried Joop** bringt wissenschaftliche Experimente in die Schwerelosigkeit: Er leitet die TEXUS-Kampagnen in der Abteilung Forschung unter Weltraumbedingungen des DLR Raumfahrtmanagements. **Diana Gonzalez** betreut als Online-Redakteurin die Inhalte und das Layout von Webseiten des DLR Raumfahrtmanagements. Sie hat bereits mehrere TEXUS-Kampagnen – wie auch bei TEXUS-50 – in Kiruna presseseitig unterstützt. Authors: **Dr Otfried Joop** lifts scientific experiments into microgravity. He leads the TEXUS campaigns run by the Department of Microgravity Research and Life Sciences at the DLR Space Administration. **Diana Gonzalez** is an online editor responsible for content and layout of the DLR Space Administration website. She has supported several TEXUS campaigns – including that of TEXUS-50 – concerning public relations work.

Hauptnutzlast der TEXUS-50-Mission ist die in Deutschland entwickelte Elektromagnetische Levitationsanlage EML. Mit ihr erforschen Wissenschaftler des DLR-Instituts für Materialphysik im Weltraum in zwei Experimenten thermophysikalische Eigenschaften und das Erstarrungsverhalten von Metall-Legierungen, die von industriellem Interesse sind. Die Forscher untersuchen dazu eine Aluminium-Nickel-Verbindung, die in der Luftfahrt und anderen Verkehrssystemen verwendet wird, sowie eine Nickel-Zirconium-Legierung.

Pflanzen und Pilze nehmen das Gravitationsfeld der Erde wahr. Als Folge wachsen sie „gerade“ – ein Phänomen, das unter dem Begriff Gravitropismus bekannt ist. Die Aufwärtskrümmung der Sprosse und der Fruchtkörper von Pilzen und die Abwärtskrümmung von Wurzeln laufen relativ langsam ab. Diese Prozesse können mehrere Stunden andauern. Brauchen die Pflanzen und Pilze also so lange, um eine Änderung der Position oder der Beschleunigung zu bemerken? Ganz im Gegenteil: Positions- und Beschleunigungsänderungen nehmen Pflanzen sofort wahr, allerdings setzt die damit einhergehende Krümmung verzögert ein und läuft dann sehr langsam ab. Anhand von Sporeenträgern eines Pilzes haben Forscher der Universität Marburg nun die allerersten Reaktionen eines Organismus auf Schwerkraftänderungen untersucht: Wie werden diese wahrgenommen und wie schnell reagiert der Pilz auf den Wechsel von Schwerkraft und Schwerelosigkeit? Die relativ lange Schwerelosigkeit der Rakete während des Fluges und eine eingebaute Präzisionszentrifuge sollen es den Wissenschaftlern erlauben, zum ersten Mal die Kinetik und die vom Pilz zur Reaktion benötigte Mindeststärke der Schwerkraft zu messen.

Im zweiten biologischen Experiment auf TEXUS 50 wollen Wissenschaftler der Universität Freiburg Gene und Genprodukte ("Boten-RNA") identifizieren, die bei der Wahrnehmung und der Verarbeitung des Schwerkraftreizes in Pflanzen eine Rolle spielen. Dazu flogen Keimlinge der "Acker-Schmalwand" mit – einer Pflanze, die aufgrund ihrer relativ einfachen genetischen Struktur seit den

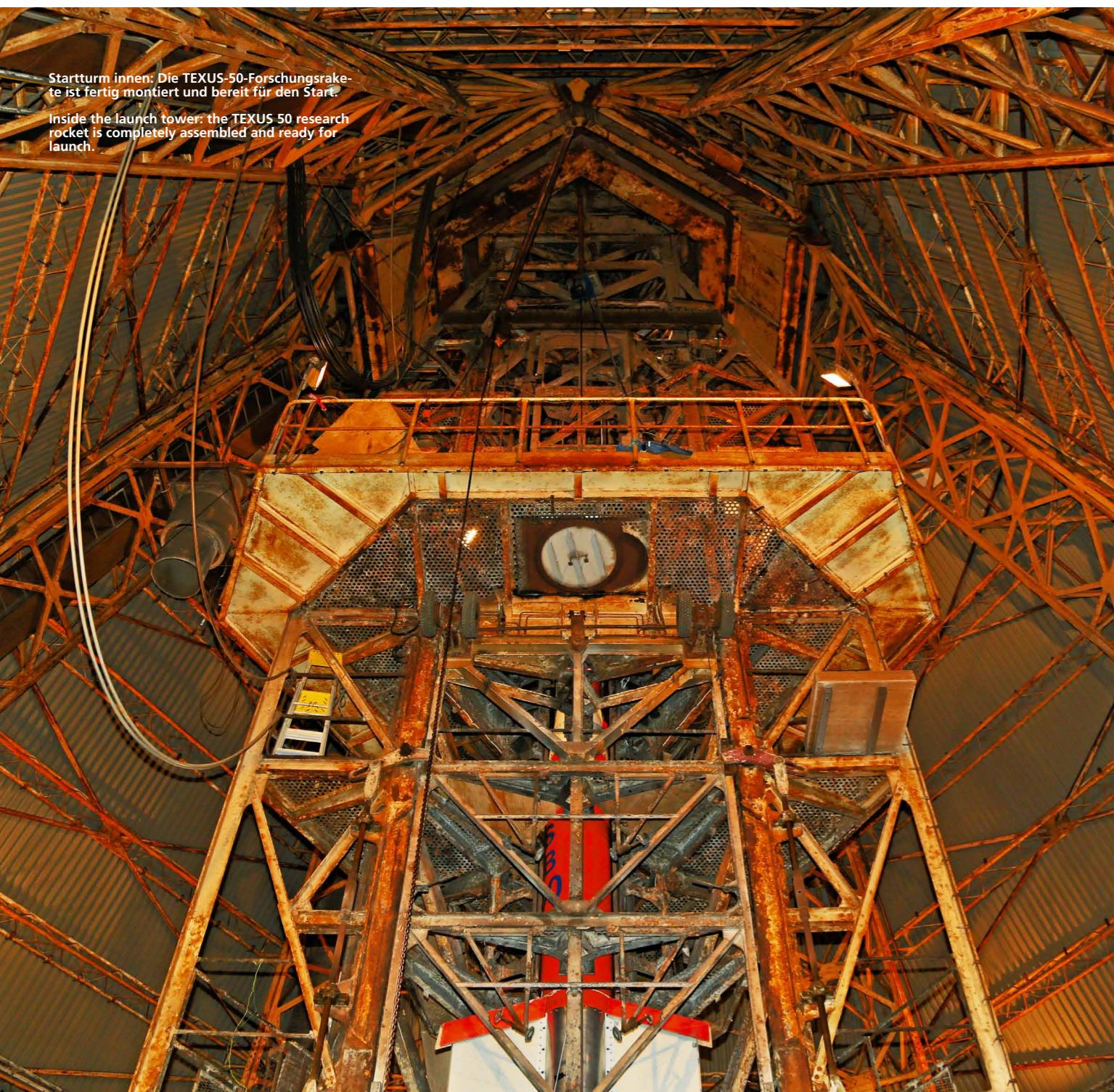
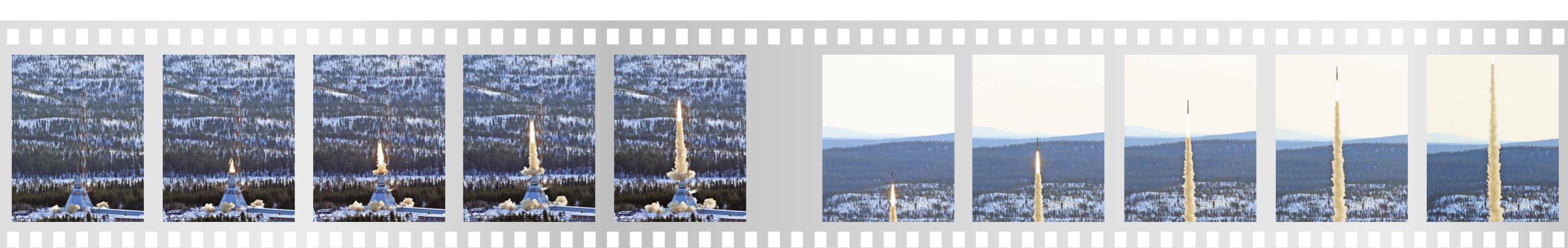
The largest payload of the TEXUS 50 mission was the electromagnetic levitator (EML) being developed in Germany. Scientists from the DLR Institute of Materials Physics in Space employed the device in two experiments to investigate the thermo-physical properties and solidification behaviour of metal alloys that are of industrial interest. Researchers examined an aluminium-nickel compound that is used in aviation and other transport systems as well as a nickel-zirconium alloy.

The Earth's gravitational field is being perceived both by plants and by fungi, as a result of which they grow 'straight' – a phenomenon that is also known as gravitropism. The process by which plant sprouts and fungal fruiting bodies curve upward and roots curve downward is relatively slow and may last several hours. So, do plants and fungi really take that much time to notice changes in position or acceleration? On the contrary: plants do notice changes in position and acceleration immediately, but the related bending process begins with a delay and progresses very slowly. Scientists from Marburg University used the sporangia of a fungus to investigate the very first reactions of an organism to changes in gravity: how are they perceived, and how swiftly does the fungus respond to an alternating sequence of gravity and microgravity? Scientists hope to make use of the relatively long period of microgravity in the rocket and a built-in precision centrifuge to measure for the first time the kinetics of the process, and the minimum gravity required for the fungus to show a response.

Irgendwo im Nirgendwo: Die Raketenbasis Esrange liegt rund 40 Kilometer von der nordschwedischen Bergwerksstadt Kiruna entfernt. Auf dem Radar-Hill stehen Antennen, die die Kommunikation mit Satelliten und Raumsonden aufrechterhalten.

Lost in Sweden: the Esrange rocket base is located 40 km away from the northern Swedish mining town of Kiruna. The Radar Hill is equipped with antennas to maintain contact with satellites and space probes.





Startturm innen: Die TEXUS-50-Forschungsra-  
ke ist fertig montiert und bereit für den Start.

Inside the launch tower: the TEXUS 50 research  
rocket is completely assembled and ready for  
launch.



Startturm außen: Kurz vor dem Start ist das  
Gelände geräumt, die Sonne scheint und einem  
Bilderbuchstart steht nichts mehr im Wege.

The launch tower seen from outside: shortly  
before launch, the area around the launch tower  
has been evacuated, the sun is shining and  
nothing will prevent this from being a textbook  
launch.

1940er-Jahren von Forschern als "Modellorganismus" benutzt wird. Forscher vergleichen im Anschluss an den Flug die TEXUS-Keimlinge mit den am Boden gebliebenen Pflanzen. Sie suchen unter anderem Antworten auf die Frage, welche Klassen von Genen bei der Schwerkraftänderung aktiviert oder inaktiviert werden.

#### Doppelkampagne: Zwei Raketen in einer Woche – Plan und Realität

TEXUS 50/51 wurde als erste deutsche Doppelkampagne seit 1981 beauftragt: Eine Woche nach der pünktlichen Jubiläumsmission war TEXUS 51 am 19. April 2013 mit vier weiteren Experimenten deutscher Wissenschaftler startbereit. Nach Auswertung der Flugbahndaten von TEXUS 50 entschied das Esrange Safety Board an diesem Tag, den bevorstehenden Start von TEXUS 51 abzusagen und auf einen späteren Zeitpunkt zu verschieben. Der Grund: Die drei Führungsschienen für die Rakete müssen innerhalb des Startturm nachgearbeitet und neu justiert werden, was mindestens mehrere Wochen dauern wird. Damit soll sichergestellt werden, dass Nutzlast und 2. Stufe nahe genug an der vorher berechneten Stelle innerhalb des vorgesehenen Gebietes landen. Ein neuer Termin für diese Mission muss nun in der nächsten Startaison – also frühestens im November 2013 – gefunden werden. Dann sollen folgende Experimente durchgeführt werden:

Mit dem Partikeleinbau bei der Züchtung von Siliziumkristallen für die Photovoltaik beschäftigen sich Forscher vom Fraunhofer IISB in Erlangen, der Universität Freiburg und der Universität Bayreuth. Das Experiment ParSiWal soll klären, durch welche Mechanismen für die Materialeigenschaften nachteilige Siliziumkarbid-Partikel bei der Kristallisation in den Siliziumkristall eingebaut werden. Denn bei der industriellen Produktion von Silizium-Solarzellen für die Photovoltaik behindern Siliziumcarbid (SiC)-Partikel die mechanische Bearbeitung des Produktes und verschlechtern den Wirkungsgrad der Solarzellen. SiC-Partikel müssen deshalb vom Siliziumkristall ferngehalten werden. Doch unter der irdischen Schwerkraft ist das gar nicht so einfach: Die Partikel entstehen während der Kristallisation in einer mit Kohlenstoff verunreinigten Siliziumschmelze. Die Schwerkraft beeinflusst maßgeblich die Strömung in der Schmelze und lässt die SiC-Partikel absinken, da sie eine höhere Dichte als Silizium besitzen.

In another biological experiment on TEXUS 50, scientists from Freiburg University intended to identify genes and gene products ('messenger RNA') that play a part in the perception and processing of the gravitational stimulus in plants. To this end, seedlings of the mouse-ear cress were included in the payload, a plant that has been used by researchers as a 'model organism' since the 1940s because of its relatively simple genetic structure. After the flight, researchers compare the TEXUS seedlings with a batch that has remained on the ground. Their intention is, *inter alia*, to find out what classes of genes are activated or deactivated by changes in gravity.

#### Double campaign: two rockets in one week – plan versus reality

TEXUS 50/51 was the first German double campaign to be initiated since 1981: one week after the jubilee launch which took place precisely on time, TEXUS 51 was ready to take off on April 19, 2013, to carry another four experiments prepared by German scientists. However, having evaluated the flight path data of TEXUS 50, the Esrange Safety Board decided on that day to cancel the imminent launch of TEXUS 51 and postpone it to another date. The reason: the three rails that guide the rocket inside the launch tower will have to be re-worked and newly adjusted, which will take several weeks at least. This is done to ensure that the payload and the second stage come down close enough to the precalculated spot within the landing area. A new date for the mission will have to be found in the next launch season, *i.e.* in November 2013 at the earliest. Then, the following experiments will be carried out:

Particle inclusion into silicon crystals being grown for photovoltaic applications is an area investigated by researchers from the Erlangen Fraunhofer IISB, Freiburg University, and Bayreuth University. Their ParSiWal experiment is intended to reveal the mechanisms by which silicon carbide (SiC) particles, which are harmful to the properties of the material, behave in a silicon crystal during crystallisation. The reason: when silicon solar cells for photovoltaics are produced industrially, SiC particles affect the processing of the product and diminish the efficiency of the solar cells. Therefore, the formation of SiC particles in the silicon crystal must be avoided. However, this is anything but easy in terrestrial gravity: in a silicon melt that is contaminated with

Im Weltall sind diese schwerkraftgetriebenen Effekte ausgeschaltet. Das vereinfacht die Vorgänge erheblich und erleichtert damit auch deren physikalische Beschreibung. Die Erkenntnisse sollen schließlich zu einer Verbesserung von Qualität und Wirkungsgrad der Solarzellen beitragen.

Forscher des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in München wollen in dem Experiment FOKUS nachweisen, dass die Technologie eines sogenannten "Frequenzkammes" für Anwendungen in der Raumfahrt ausgereift ist. Er wurde 1999 in München von Prof. Theodor W. Hänsch entwickelt, wofür er 2005 den Nobelpreis für Physik erhalten hat. Herzstück ist ein gepulster Laser, der optische Frequenzen misst. Im FOKUS Experiment werden nun ein zusätzlicher Diodenlaser und der Frequenzkamm jeweils auf eine unabhängige Uhr synchronisiert. Während des Fluges der Rakete durch das Schwerkraftfeld der Erde ermöglicht ein permanenter Vergleich zwischen Diodenlaserfrequenz und dem Frequenzkamm somit einen Test des Einstein'schen Äquivalenzprinzips: Gehen zwei Uhren an einem gemeinsamen Ort unabhängig von ihrem inneren Aufbau und von der Höhe dieses Ortes über der Erdoberfläche immer synchron? Das Experiment ist auch ein Meilenstein auf dem Weg, Laserspektroskopie routinemäßig im All einzusetzen zu können. Künftig soll diese Technologie etwa bei der Untersuchung von Spurengasen in der Atmosphäre, in der Astrophysik oder bei neuartigen, extrem genau genannten Atomuhren für Forschungsmissionen oder für die Navigation eingesetzt werden.

Das medizinisch-biologische Experiment SITI-2 einer Wissenschaftlergruppe der Universität Magdeburg möchte Mechanismen aufklären, die zu Störungen des menschlichen Immunsystems in der Schwerelosigkeit führen. So leiden einige Astronauten bei längeren Aufenthalten im All verstärkt unter Infektionen. Auf dem TEXUS-51-Flug werden dazu Zellkulturen eingesetzt, in denen die Aktivität von Genen des Immunsystems mithilfe moderner DNA-Chip-Technologie untersucht werden soll. Sollte sich die Vermutung der Wissenschaftler bestätigen, dass bestimmte Moleküle der Zellmembran für die durch Schwerelosigkeit hervorgerufenen Störungen verantwortlich

carbon, SiC particles develop during crystallisation. The influence of gravity on flows in the melt causes the particles to sink to the bottom because their density is higher than that of silicon. In space, these gravity-related effects do not apply, which greatly simplifies the process, and makes it easier to describe the underlying physics. Ultimately, the new knowledge obtained will contribute towards improving the quality and efficiency of solar cells.

The FOKUS experiment run by the Max Planck Institute for Quantum Optics in Munich is intended to demonstrate that the so-called frequency comb technology is now mature enough for space applications. It was developed in 1999 by Professor Theodor W. Hänsch of Munich who was subsequently awarded the physics Nobel Prize in 2005. Its key feature is a pulsed laser which measures optical frequencies. In the FOKUS experiment, an additional diode laser and the frequency comb will each be synchronised with an independent clock. While the rocket is flying through the Earth's gravity field, therefore, scientists can test Einstein's equivalence principle by constantly comparing the frequencies of the diode laser and the frequency comb: will two clocks located in the same place always run synchronously, independently of their inner structure and the altitude above the surface of the Earth? What is more, the experiment is a milestone on the way towards using laser spectroscopy routinely in space. In the future, this technology will be employed, among other things, to investigate trace gases in the atmosphere as well as in astrophysics and for innovative, super-precise atomic clocks for research missions and navigation.

Planned by a group of scientists from Magdeburg University, SITI-2, a medical and biological experiment, is intended to clarify the mechanisms by which microgravity causes impairments of the human immune system. Some astronauts, for example, suffer from frequent infections during prolonged space missions. On the flight of TEXUS 51, cell cultures will be used to investigate the activity of immune-system genes with the aid of advanced DNA chip technology. Scientists suspect that certain molecules within the cell membrane may be responsible for these gravity-related impairments. Should this suspicion prove correct, these discoveries might eventually lead to new approaches in disease control.



Oben: Ein Techniker bereitet die Experiment-Einheit der Universität Freiburg vor. Im zweiten biologischen Experiment auf TEXUS 50 untersuchen Forscher Keimlinge der Acker-schmalwand. Sie wollen herausfinden, welche Gene und Genprodukte bei der Wahrnehmung und der Verarbeitung des Schwerkraftreizes in Pflanzen eine Rolle spielen.  
Rechts: Nackte Nutzlast: Eines der wissenschaftlichen Experimente muss noch verpackt werden.

Up: An engineer is preparing Freiburg University's experiment. For their second biological experiment on TEXUS 50, scientists study seedlings of the mouse-ear cress to find out which genes and gene products play a part in the perception and processing of gravitational stimuli in plants.  
Right: Naked payload: one of the scientific experiments has still to be integrated into the payload.



Oben: Ein Techniker bereitet die Experiment-Einheit der Universität Freiburg vor. Im zweiten biologischen Experiment auf TEXUS 50 untersuchen Forscher Keimlinge der Acker-schmalwand. Sie wollen herausfinden, welche Gene und Genprodukte bei der Wahrnehmung und der Verarbeitung des Schwerkraftreizes in Pflanzen eine Rolle spielen.  
Rechts: Nackte Nutzlast: Eines der wissenschaftlichen Experimente muss noch verpackt werden.

Up: An engineer is preparing Freiburg University's experiment. For their second biological experiment on TEXUS 50, scientists study seedlings of the mouse-ear cress to find out which genes and gene products play a part in the perception and processing of gravitational stimuli in plants.  
Right: Naked payload: one of the scientific experiments has still to be integrated into the payload.

sind, könnten diese Erkenntnisse langfristig zu neuen Ansätzen bei der Bekämpfung von Krankheiten führen.

Im materialwissenschaftlichen Experiment TRACE-3 vom Forschungszentrum ACCESS in Aachen werden schließlich Vorgänge und Strukturen analysiert, die bei der Erstarrung metallischer Legierungen eine Rolle spielen. Dies überprüfen die Wissenschaftler beispielhaft an einem Gemisch organischer Substanzen, das ähnlich wie flüssiges Metall erstarrt. Der Erstarrungsprozess kann dabei direkt beobachtet werden, da die Legierung durchsichtig ist. Durch eine Erhöhung der Kühlrate wird der Übergang von gerichteteter zu ungerichteter Erstarrung angeregt. Bei gerichteteter Erstarrung bildet das Schmelzprodukt Dendrite in eine Richtung aus. Bei ungerichteter Erstarrung wachsen diese Dendrite in verschiedene Richtungen. Die Übergänge lassen sich durch Temperaturveränderungen steuern. Die Forscher erwarten, dass unter reduzierter Schwerkraft die in der unterkühlten Schmelze entstehenden Keime nahezu ungestört wachsen können und nicht sedimentieren oder durch die Auftriebsströmung wegtransportiert werden. Der Vergleich mit entsprechenden Experimenten unter Erdschwerkraft soll dabei neue Erkenntnisse über die Rolle der Auftriebskonvektion beim Übergang gerichtet-ungerichtetes Wachstum liefern und so helfen, industrielle Gießprozesse zu verbessern.

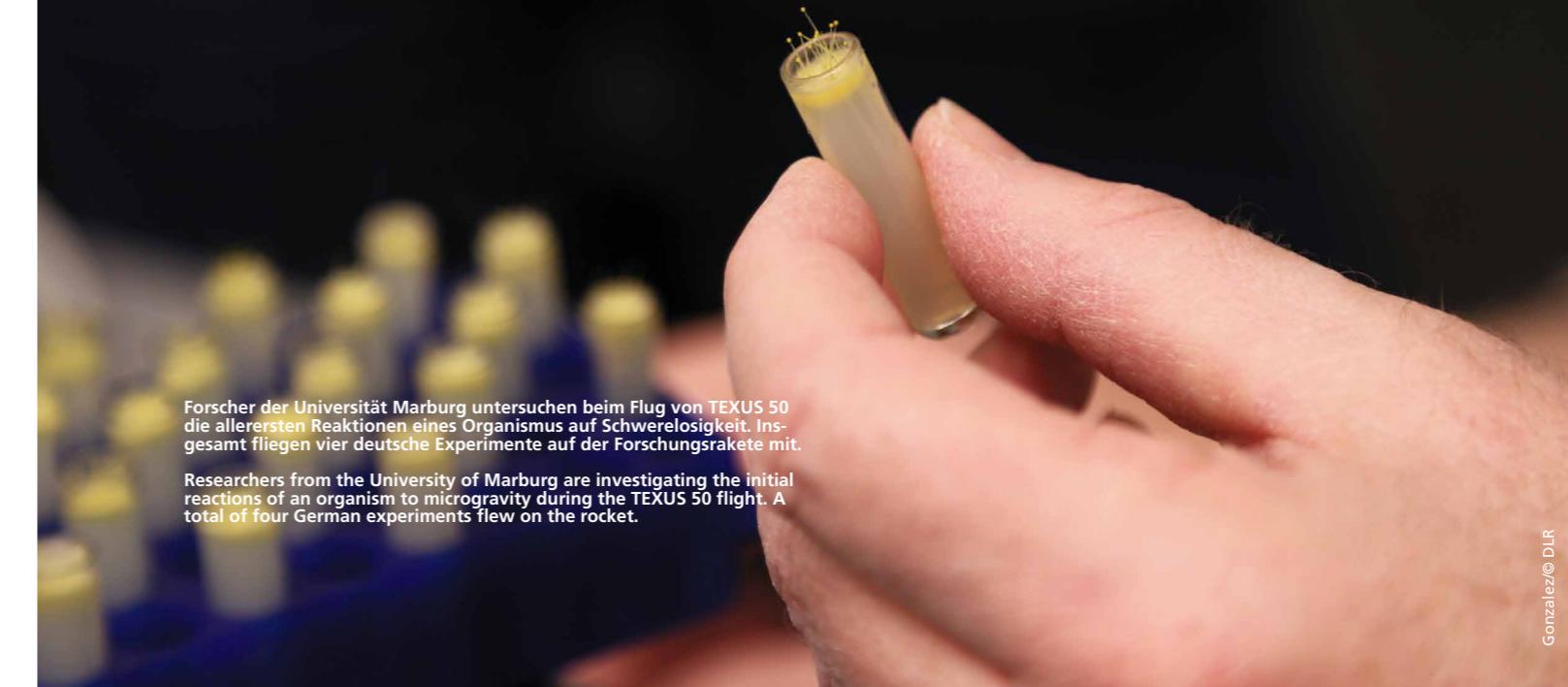
Lastly, TRACE-3, an experiment in materials science run by the ACCESS research centre in Aachen, serves to analyse processes and structures that play a part in the solidification of metal alloys. In their investigation, scientists will use a model mix of organic substances that solidifies almost like molten metal. As the compound is transparent, the solidification process may be observed directly. Speeding up the cooling rate induces the transition from directional to non-directional solidification. Directional solidification means that the melt forms dendrites in one direction only. If solidification is non-directional, dendrites grow in various directions. Transitions can be controlled by changing the temperature. Researchers expect that the nuclei forming in the undercooled melt will be able to grow in an almost undisturbed manner in reduced gravity, i.e. neither sinking to the bottom as a sediment nor being carried away by convection. By comparing this to equivalent experiments run in terrestrial gravity, they hope to find out more about the part played by buoyancy convection in the transition between directional and non-directional growth, which may help to improve industrial casting processes.

Im gesamten TEXUS-Programm wurden seit 1977 etwa 300 wissenschaftliche Experimente durchgeführt, 70 Prozent davon im Auftrag des DLR und etwa 30 Prozent im Rahmen einer Beteiligung durch die europäische Raumfahrtagentur ESA. Zusammen mit anderen Fluggelegenheiten des DLR ist TEXUS damit ein essenzieller Baustein für die Grundlagenforschung in Schwerelosigkeit und damit auch für die Vorbereitung von längerfristigen Weltraumexperimenten, etwa auf der Internationalen Raumstation ISS.

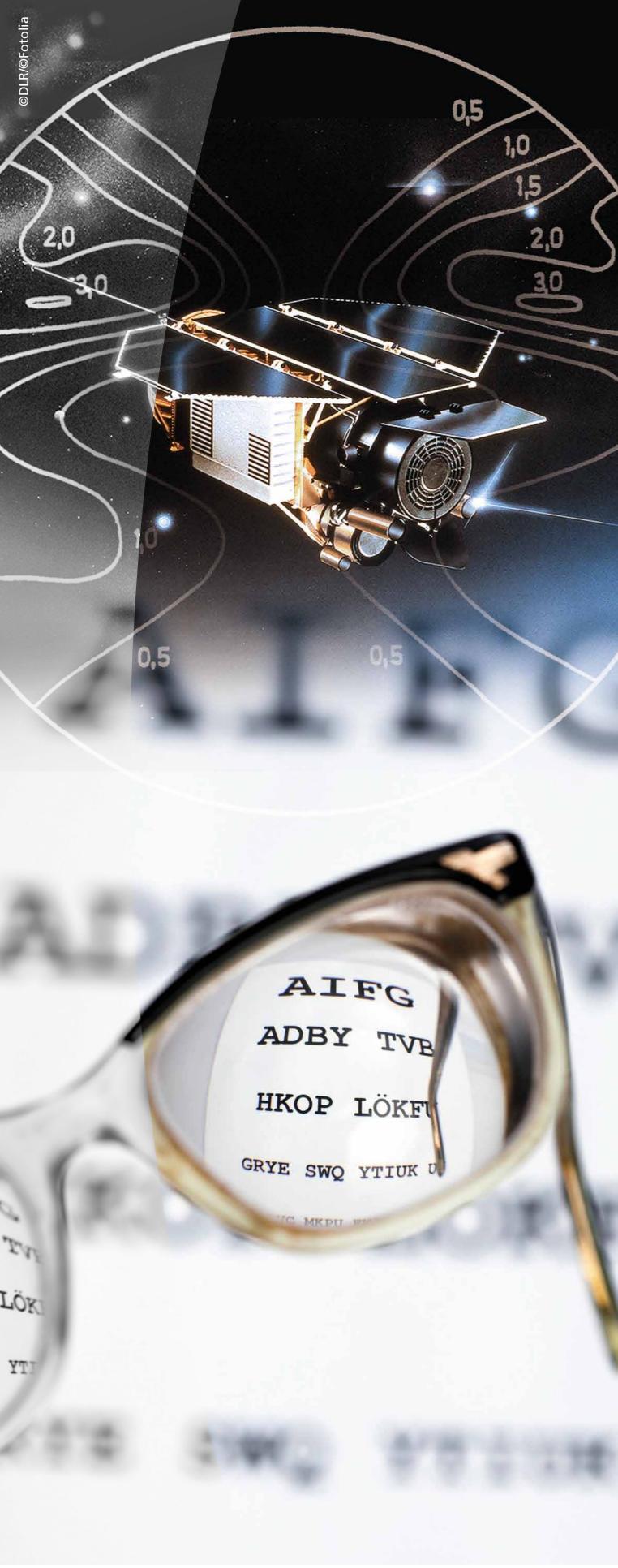
Mit den Startvorbereitungen und der Durchführung der TEXUS 50/51-Doppelkampagne beauftragte das DLR die Firma Astrium Space Transportation in Bremen. Weiterhin beteiligt sind die Firma Kayser-Threde in München und die mobile Raketenbasis (Moraba) des DLR in Oberpfaffenhofen. Die zweistufige Trägerrakete VSB-30 wurde gemeinsam von den brasilianischen Raumfahrtorganisationen CTA (Centro Técnico Aeroespacial) und IAE (Instituto de Aeronáutica e Espaço), der Mobilen Raketenbasis des DLR (MORABA), sowie der schwedischen Raumfahrtorganisation SSC entwickelt.

Since 1977, about 300 scientific experiments have been carried out within the TEXUS programme, 70 per cent of which were commissioned by DLR, while about 30 per cent were carried out in collaboration with the European Space Agency (ESA). Together with other flight opportunities offered by DLR, TEXUS is therefore an essential element for conducting basic research in microgravity and thus for preparing long-term space experiments, e.g. on the International Space Station.

Astrium Space Transportation of Bremen was commissioned by DLR to handle the launch preparations and the implementation of the TEXUS 50/51 double campaign. Other participating companies include Kayser-Threde of Munich and DLR's Mobile Rocket Base (Moraba) at Oberpfaffenhofen. The VSB-30 two-stage launcher was developed jointly by the Brazilian space organisations CTA (Centro Técnico Aeroespacial) and IAE (Instituto de Aeronáutica e Espaço), DLR's Mobile Rocket Base (Moraba), and the Swedish space organisation SSC.



Forscher der Universität Marburg untersuchen beim Flug von TEXUS 50 die allerersten Reaktionen eines Organismus auf Schwerelosigkeit. Insgesamt fliegen vier deutsche Experimente auf der Forschungsrakete mit.  
Researchers from the University of Marburg are investigating the initial reactions of an organism to microgravity during the TEXUS 50 flight. A total of four German experiments flew on the rocket.



# INNOspace

## Raum für Innovationen schaffen

Von Dr. Franziska Zeitler

**Besser sehen durch Raumfahrt. Nah und fern.** Viele Menschen können dies inzwischen dank der Gleitsichtbrille. Individuell angepasste Gläser für Gleitsichtbrillen wurden durch eine Raumfahrtmission möglich. Für die Weltraummission ROSAT (1990 bis 2011) wurde vom Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik zusammen mit der Firma Zeiss ein spezielles Verfahren zum Polieren von Weltraumspiegeln entwickelt. Diese Technologie nutzte Zeiss zur Fertigung individueller Gleitsichtgläser, die die Abstimmung auf ganz persönliche physiologische Anforderungen ermöglicht. Eine neue Ära in der Optikerbranche hatte begonnen. Raumfahrt schafft also Innovationen, die auf der Erde und im ganz alltäglichen Leben genutzt werden können. Um diese Potenziale zu heben, hat das DLR Raumfahrtmanagement in diesem Jahr die Initiative INNOspace zur Förderung von Innovationen, Transfers und neuen Märkten gestartet.

### INNOspace

#### Creating Space for Innovation

By Dr Franziska Zeitler

Space technology improves your vision, both near and distance. Many of us can see things more clearly thanks to multifocal lenses. The advent of accurate, customised optics for individual prescription glasses began with a space mission. The Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, in collaboration with Zeiss, came up with a special method of polishing space mirrors for the ROSAT mission (1990 to 2011). The technology was taken over by Zeiss for making customised multifocal lenses that fit each patient's personal physiological needs. A new era had begun in the world of dispensing opticians. The space industry produces many such windfall innovations that benefit people's everyday lives on Earth. To tap into that potential, the DLR Space Administration has now launched the INNOspace initiative to boost innovative ideas, technology transfers, and new markets.

Raumfahrttechnologien finden in vielen anderen Branchen Anwendung, so beispielsweise in der Medizintechnik und der Optik. Bei der Weltraum-Mission ROSAT wurde ein spezielles Verfahren zum Polieren von Weltraumspiegeln entwickelt. Diese Technologie nutzte Zeiss zur Fertigung individueller Gleitsichtgläser.

Space technologies enable applications in many other industrial sectors, e.g. medicine and optics. As a result of the ROSAT mission a special method for polishing space mirrors has been developed. The same technology is now used by Zeiss to produce customised multifocal lenses.



Autorin: **Dr. Franziska Zeitler** ist im DLR Raumfahrtmanagement Koordinatorin für Innovation und neue Märkte und zuständig für die Initiative INNOspace. Mit dieser Initiative sollen Industrie, Wissenschaft und Raumfahrtmanagement noch enger verknüpft werden, um zielgerichtete Innovationen und Transfers möglich zu machen.

Author: **Dr Franziska Zeitler** works as the coordinator for innovation and new markets and is responsible for the initiative INNOspace. This initiative strengthens the link between industry, science, and space administration to promote targeted innovation and transfers.

Raumfahrt liefert die Basis für eine Vielzahl von neuen Technologieentwicklungen in ganz unterschiedlichen Wirtschaftsbereichen. Statistiken wie zum Beispiel des ESA Technology Transfer Programmes zeigen viele Transfers in die Bereiche Transport, Medizin, Maschinenbau, Sicherheit oder Energie. Nicht nur die Gleitsichtbrille ist ein Transfer aus der Raumfahrt. Auch der Klettverschluss, der tägliche Wetterbericht, Live-Übertragungen im Fernsehen, das Navigationssystem im Auto oder das Outdoor-Navigationsgerät haben ihren Einzug vom All in unseren Alltag auf der Erde gefunden.

#### Von der Raumfahrt in die Medizin

Die Medizin ist hierfür ein Paradebeispiel. Aus der Weltraumwissenschaft führen viele zukunftsweisende Transfers in den medizinischen Sektor. Beispielsweise wurde die Auswertung von Bilddaten der Satellitenmission ROSAT zu einem Diagnosesystem für die Hautkrebsfrüherkennung weiterentwickelt. Hochsensible Röntgendetektoren senken die Röntgenstrahlenbelastung für Patienten. Ein Gerät zur Messung der Augenbewegung – das sogenannte 3D Eye Tracking Device – kann unter anderem zur Analyse des Gleichgewichtssystems im Innenohr genutzt werden und so neurologische Erkrankungen wie Schwindel diagnostizieren oder die Müdigkeit von LKW- und Busfahrern feststellen.

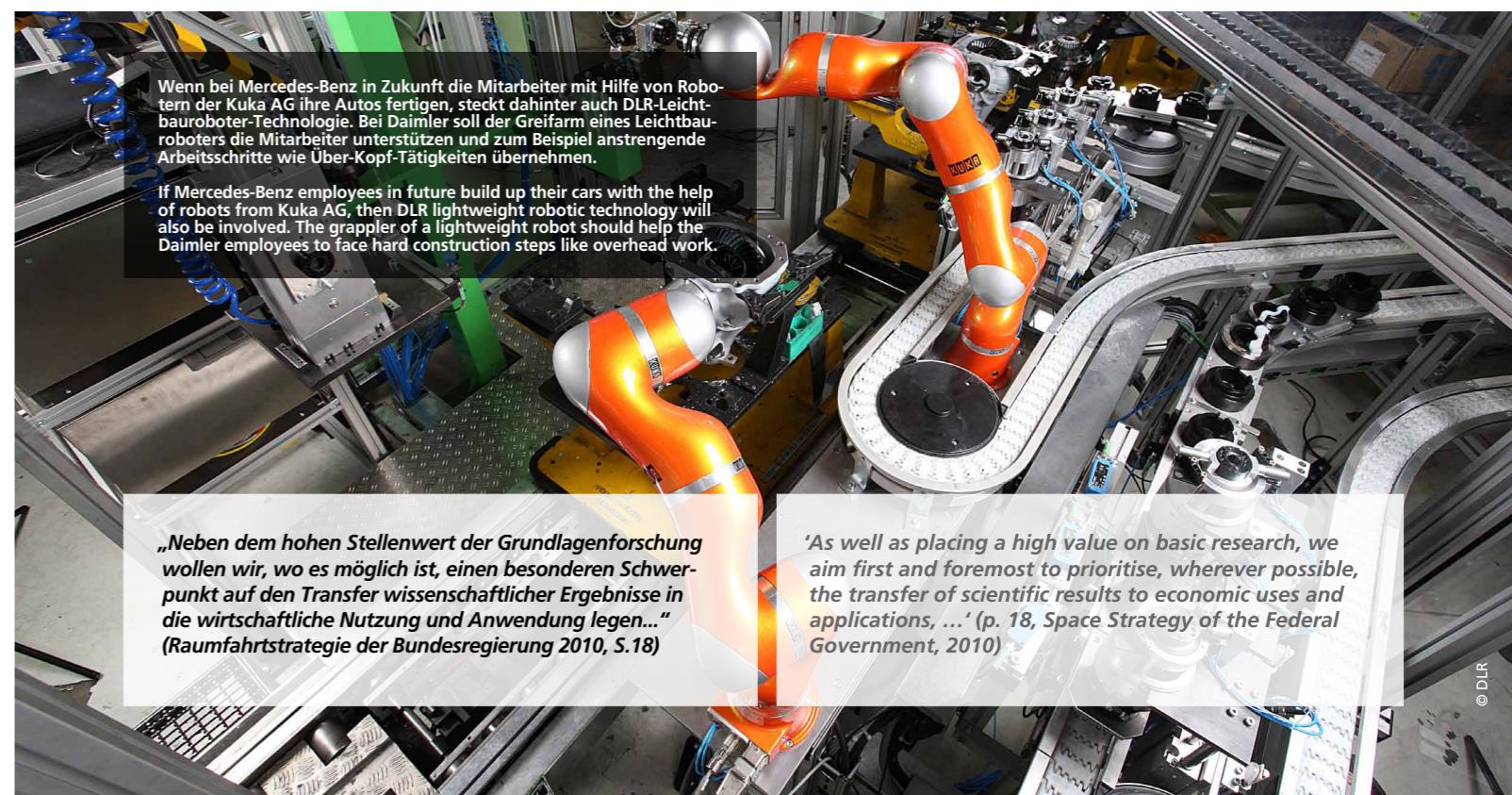
Das Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik konstruiert Plasma-Vorrichtungen und erforscht seit dem Jahr 2000 den Zustand von Plasma unter verminderter Schwerkraft. Aus diesen Experimenten

Space exploration has turned out to be a rich source of new technology developments in a wide range of industrial sectors. Statistics like that of the ESA Technology Transfer Programme show that a great deal of technology transfer occurs in the area of transport, medicine, mechanical engineering, security, and energy. Multifocal spectacle lenses are not the only space industry spin-off. Velcro straps, our daily weather forecast, live TV coverage, car SatNavs or handheld outdoor GPS devices have found their way from space into our daily lives on Earth.

#### From space exploration to medical applications

Medicine is a perfect example. A great deal of space science and technology has made its way into promising medical applications. The evaluation of image data from the ROSAT satellite mission, for example, has led to a diagnostic device to help with the early diagnosis of skin cancer. Highly sensitive X-ray detectors reduce the exposure of patients to high radiation levels. A unit that measures eye movements, called the 3D eye tracking device, can be used, amongst other purposes, to examine the organ of balance in the inner ear, which can be the cause of neurological disorders such as vertigo. It can also alert lorry and bus drivers to signs of fatigue.

The Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics is working on various plasma devices and has been conducting research on the state of plasmas under reduced gravity conditions since 2000. Following on from experiments on the International Space Station ISS, and





**Links:** Robotik birgt großes Transferpotenzial: Bundeswirtschaftsminister Dr. Philipp Rösler betonte diesen Aspekt auf der 2. Nationalen Raumfahrt-Robotik-Konferenz des DLR. **Rechts:** Das vom DLR Raumfahrtmanagement geförderte Forschungsvorhaben NAVVIS soll das Potenzial von Indoor-Navigation untersuchen und diese neue Anwendung nutzbar machen.

Left: Robotics hold huge transfer potential, a point made by Minister of Economics Dr Philipp Rösler at the 2<sup>nd</sup> National Space Robotics Conference hosted by DLR. Right: NAVVIS, a DLR-funded research project is to analyse the potential of indoor navigation, and to seek possible applications of this new technology.

auf der Internationalen Raumstation ISS und den dabei eingesetzten Technologien ist ein neuer anwendungsnaher Forschungsbereich entstanden – die sogenannte Plasmamedizin beziehungsweise Plasmahygiene. Ionisierte Gase der Atmosphäre bei Umgebungsdruck – sogenannte Kalte atmosphärische Plasmen (KAP) – werden zum Abtöten unterschiedlichster Bakterien, Pilzen und Viren benutzt. Diesen Effekt nutzt man heute gezielt zur Sterilisation von Oberflächen. Das Plasma zeigt sogar positive Eigenschaften bei der Behandlung von offenen Wunden und in der Krebstherapie. Klinische Studien hierfür laufen bereits in München. Diese Beispiele zeigen, dass Entwicklungen aus der Raumfahrt in anderen Einsatzgebieten wie der Medizin eine große Tragweite haben können. Solche Transfers sind bisher aber eher zufällig. INNOspace soll das Potenzial für neue Anwendungen und Innovationen systematisch erkennen und verstärkt entwickeln.

#### Innovation im Fokus der Politik

Raumfahrttechnologien als wichtiger Innovationsmotor und die Erschließung neuer Märkte stehen im Fokus der politischen und öffentlichen Diskussion. Deutlich wird dies in der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung 2010, in Initiativen wie der Hightech-Strategie 2020 des BMBF, der Technologieoffensive (2011) und dem Innovationskonzept (2012) des Bundeswirtschaftsministeriums. „Für die Erde ins All“ ist ein Leitmotiv für die deutsche Raumfahrtpolitik und bestimmt das Handeln des DLR Raumfahrtmanagements, das im Auftrag der Bundesregierung die Raumfahrtstrategie in konkrete Programme und Projekte umsetzt. In diese strategische Linie ist die neue Initiative zur Förderung von Innovation und neuen Märkten des DLR Raumfahrtmanagements – INNOspace – einzuordnen. INNOspace soll die Innovationsfähigkeit im Raumfahrtsektor erhöhen, die Vermarktung von Raumfahrttechnologien anregen, neue Märkte erschließen sowie die Kommunikation zwischen Raumfahrt und anderen Branchen fördern. Der technologische Beitrag, den Raumfahrt für Wirtschaft und Gesellschaft leistet, soll sichtbar werden.

#### INNOspace – Raum für Innovationen schaffen

Wie kann INNOspace Raum für neue Entwicklungen und Nutzungen schaffen und wie kann das DLR Raumfahrtmanagement dies unterstützen? Aus bisherigen Erfahrungen in der Praxis und Empfehlungen verschiedener Gesprächsrunden wurde für die Initiative ein Bündel von Maßnahmen geschnürt.

#### Wettbewerbe und Fachtagungen

Im Rahmen von INNOspace werden Ideen- und Konzept-Wettbewerbe, vergleichbar mit den erfolgreichen „European Satellite Navigation Competition“ (Galileo Masters) und „European Earth Monitoring Competition“ (Copernicus Masters), ausgerichtet. Die Masters sind internationale Ideenwettbewerbe auf den Gebieten Satellitennavigation und Erdbeobachtung. Geplant ist ein „Space Science Masters“ mit Fokus auf die Weltraumwissenschaft. Forscherteams und Unternehmen können sich mit Projektideen für die Anwendung von F&E-Ergebnissen aus der Raumfahrt bewerben. Einsatzfelder sind beispielsweise Werkstoffe, Materialien, Optik und Medizin.

Eine weitere wichtige Säule von INNOspace sind branchenübergreifende Fachtagungen, die das DLR Raumfahrtmanagement zusammen mit Bundesländern, Fachverbänden und regionalen Akteuren

based on the same techniques, two new, application-oriented fields of research have emerged called plasma diagnostics and plasma hygiene. Ionised gases taken from the atmosphere at normal ambient pressure, so-called cold atmospheric plasmas (CAP), have been shown to be lethal to bacteria, fungi and viruses, an effect that is already utilised today for surface disinfection. The plasma's useful properties can even be applied in the treatment of open wounds and in cancer therapy. Clinical studies are currently in progress in Munich. These examples show that what was originally developed in space can lead to a breakthrough in another area, such as medicine. So far, however, these spin-offs have emerged more or less accidentally. INNOspace intends to systematically identify any existing potential for new applications and leverage their development.

#### Innovation in the focus of policymakers

The fact that space technology acts as a driver of innovation and creates new markets is very much part of today's public policy debate. This is clearly reflected in the Federal Government's 2010 space strategy papers, and in initiatives such as the 'High-Tech Strategy 2020' published by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF), the 2011 Technology Initiative, and the 2012 Innovation Concept of the Federal Ministry of Economics and Technology. The leitmotif of Germany's space policy, 'For Earth into Space', is also the working philosophy of the DLR Space Administration, the agency that translates government policy into specific programmes and projects. INNOspace, the DLR Space Administration's new initiative to foster innovation and new markets, must be seen in the context of this strategy. INNOspace intends to enlarge the innovation capability of Germany's space industry. It facilitates the marketing of space technologies, to open up new markets as well as promoting interactions between the space industry and other sectors. The intention is to demonstrate the technological contribution of space activities to economy and to society.

#### INNOspace – creating space

How can INNOspace create opportunities for new developments and applications, and what kind of support can the DLR Space Administration offer? A whole bundle of measures was identified based on practical experience and focus group recommendations.

#### Competitions and conferences

INNOspace will involve a series of idea and concept competitions, comparable to their successful predecessors, 'European Satellite Navigation Competition' (Galileo Masters) and the 'European Earth Monitoring Competition' (Copernicus Masters). The Masters idea competitions envisaged will be international, and revolve around satellite navigation and Earth observation. There are also plans for a Masters focussing on space science. Participating research teams and companies can enter their ideas on how projects from space R&D can be applied in other areas. Target fields of application would be, for instance, new materials, optics, and medicine.

Another important pillar of INNOspace is that of inter-sectoral symposiums to be organised by the DLR Space Administration in collaboration with the Federal States' administrations, professional asso-

ciations, and regional businesses. These events will bring together specialists from the space industry with experts from two or three other sectors, to discuss topics such as sensor and measurement technology. Lectures and workshop discussions will offer many mutual learning opportunities, and hopefully lead to concrete development ideas and initiate new joint projects. Such events will see space scientists join, for example, medical doctors or mechanical engineers at the same table to discuss any emerging innovation potential.

#### Transfers sind keine Einbahnstraße

Innovation und Technologietransfer sind keine Einbahnstraße. Ein wichtiger Aspekt der Initiative INNOspace ist der gegenseitige Austausch der Raumfahrt mit anderen Wirtschaftszweigen. Beispieleweise sind Materialien wie Faserverbundwerkstoffe für Flugzeuge und Autos oder Produktionsverfahren wie das "Additive Layer Manufacturing" auch für die Raumfahrt sehr spannend. Dieser Transfer in die Raumfahrt hinein – die sogenannten Spin-ins – kann die Qualität in der Herstellung verbessern oder die Gesamtkosten senken.

Die angewandte Raumfahrt liefert einen wichtigen Beitrag für die Lösung globaler ökonomischer und ökologischer Probleme. Die satellitengestützte Erdbeobachtung stellt uns wichtige Daten für das Klima- und Umweltmonitoring sowie Karten- und Bildmaterial für Katastropheneinsätze zur Verfügung. Insbesondere die Satellitentechnik ist heute ein wesentlicher Bestandteil der öffentlichen Infrastruktur, unverzichtbar für Kommunikation, Navigation, Wettervorhersagen und Erdbeobachtung. Ein Vergleich mit Basis-Infrastrukturen wie der Wasser- und Energieversorgung ist durchaus zulässig. Um dies einer breiten Öffentlichkeit und Multiplikatoren vorzustellen, soll eine „Space Innovation Expo“ ab 2014 an verschiedenen Standorten in Deutschland gezeigt werden.

Das DLR Raumfahrtmanagement will im Rahmen der Initiative INNOspace eng mit verschiedenen Akteuren zusammenarbeiten. Hierzu gehören forschungsintensive Unternehmen (Systemintegrierten und KMU), Forschungseinrichtungen und Universitäten. Kooperationspartner, die wichtige Unterstützung bei Innovationsprozessen leisten, sind Fachverbände, Industrie- und Handelskammern (IHK) sowie regionale Cluster und Initiativen. Das Raumfahrtmanagement stimmt sich eng mit den zuständigen Bundesministerien, insbesondere dem Bundeswirtschaftsministerium, und mit den Bundesländern ab, um der Initiative INNOspace neben einer fachlichen auch eine wirtschaftspolitische Ausrichtung zu geben.

Under INNOspace, the DLR Space Administration will work in concert with the various stakeholders involved. These include research-intensive companies (big systems integrators as well as SMEs), research institutions, and universities. Key support in innovation processes will be offered by cooperation partners such as professional associations, the German Chamber of Trade and Commerce (IHK), as well as regional clusters and initiatives. The Space Administration will dovetail its activities closely with those of the government departments concerned, notably the Federal Ministry of Economics and Technology, and the Federal States' administrations, to highlight the significance of the INNOspace initiative not only in a technical sense but also in the context of economic policy.





# Bioregenerative Lebenserhaltungs- systeme

25 Jahre Forschung im Biowissenschaftlichen  
Weltraumprogramm  
Teil 1: Das CEBAS-Projekt (1986 – 2003)

Von Prof. Günter Ruyters

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.

## Bioregenerative Life Support Systems

25 Years of Research in the German Space Life Sciences Programme  
Part 1: The CEBAS Project (1986 – 2003)

By Prof. Günter Ruyters

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. In the past and also on the ISS, the physico-chemical life support systems have proven their value. However, additionally the space station must be regularly supplied with 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.

Bereit für den Flug im Space Shuttle – Fische und Wasserpflanzen schwimmen im Mini-Ökosystem.

Ready for take-off on a space shuttle – fish and aquatic plants swimming in a miniature ecosystem.



Autor: Prof. Günter Ruyters leitet in der Abteilung Forschung unter Welt-  
raumbedingungen des DLR Raumfahrtmanagements das Programm Biowis-  
senschaften (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.

Um biologische Lebenserhaltungssysteme in der Raumfahrt einzusetzen, müssen wir das Zusammenspiel der beteiligten Organismen verstehen. Deshalb spielt die Forschung an bioregenerativen Lebenserhaltungssystemen seit langem eine wichtige Rolle in den Programmen verschiedener Raumfahrtagenturen. Von Beginn an konzentrierte man sich in Deutschland auf aquatische Systeme. Fische und Wasserpflanzen ließen sich leichter als Landtiere halten – nicht zuletzt wegen der Abfallproblematik bei Landtieren. Geistiger Vater dieser Forschung ist Prof. Volker Blüm von der Ruhr-Universität Bochum, der auch das in diesem Beitrag beschriebene CEBAS-Projekt konzipierte. Doch nicht nur die Raumfahrt profitiert von den Entwicklungen und den wissenschaftlichen Erkenntnissen – auch auf der Erde können neue Anwendungen entstehen, wie beispielsweise eine Nutzung solcher Systeme in geschlossenen Räumen wie U-Booten oder an extremen Standorten.

Nicht nur Astronauten benötigen für ihr Überleben im Weltraum Lebenserhaltungssysteme – auch andere Organismen sind darauf angewiesen. In der Vergangenheit wurden daher zahlreiche Systeme für Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen durch Raumfahrtagenturen entwickelt. Aufgrund der großen Erfahrung deutscher Wissenschaftler und der deutschen Industrie spielten die Aktivitäten des "Nationalen Programms" auf der europäischen und internationalen Bühne dabei eine bedeutende Rolle. Im Programm Forschung unter Weltraumbedingungen der DLR-Raumfahrtagentur wurden bioregenerative Lebenserhaltungssysteme für drei unterschiedliche Anwendungen entwickelt:

als Habitate für die (futterfreie) Haltung von Organismen  
für die gravitationsbiologische Forschung in Schwerelosigkeit

für die systembiologische Untersuchung der Wechselwirkung  
zwischen den Organismen

als Lebenserhaltungssysteme unter anderem zur Produktion  
von Sauerstoff und Nahrung sowie zur Wasseraufbereitung  
in Ergänzung zu physiko-chemischen Systemen

Before we can use biological life support systems in space, we need to understand how the organisms involved interact. This is why the investigation of bioregenerative life support systems has been playing an important part in the research programmes of various space agencies for a long time. In Germany, the focus has been on aquatic systems from the very beginning. Fish and aquatic plants are easier to keep than land animals – not least because of the waste problems raised by the latter. The 'father' of this research is Prof. Volker Blüm of Bochum Ruhr University, who also masterminded the CEBAS project described in this article. These developments and scientific discoveries might not only benefit spaceflight, but open up new applications on Earth, too, such as installing those systems in enclosed spaces like submarines or in other extreme locations.

Not only astronauts need life support systems to survive in space – other organisms depend on them as well. This is why space agencies have developed many such systems for plants, animals, and micro-organisms in the past. Given the wide experience of Germany's scientists and industry, research activities conducted as part of the national programme have received great attention on the European and international stage, too. The DLR Space Administration's 'Research under Space Conditions' programme has been working on bioregenerative life support systems for three different applications:

as habitats where organisms for gravitational biology  
research can be kept (without feeding) in microgravity

for systems biology investigations to study the interaction  
between organisms

as life support systems to complement physical-chemical  
systems in the production of oxygen and food and the  
regeneration of water

In der Vergangenheit wurden – zeitlich leicht überlappend – zwei größere Projekte vom DLR Raumfahrtmanagement mit Mitteln des Bundesforschungs- beziehungsweise des Bundeswirtschaftsministeriums gefördert: das CEBAS/Aquarack Projekt (1986 bis 2003) und das Aquacells/Omegahab-Projekt (2000 bis 2013). Als drittes Vorhaben wurde vor kurzem das ModuLES-Projekt begonnen.





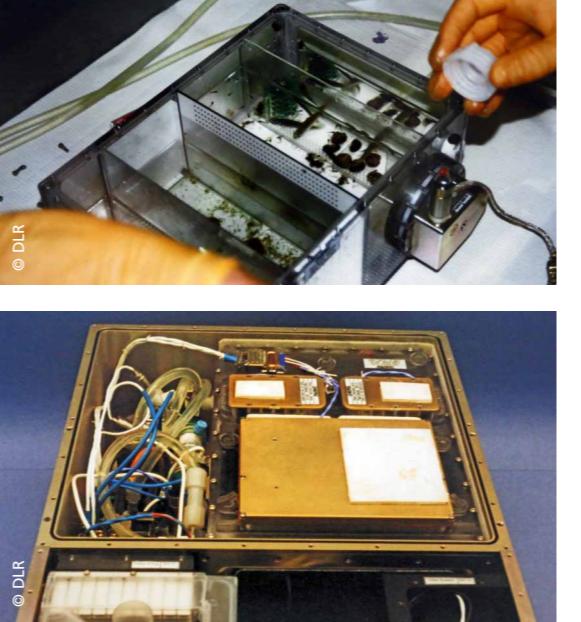
### CEBAS – Ein geschlossenes Ökosystem im Weltraum

Das "Closed Equilibrated Biological Aquatic System" (CEBAS) war ein weitgehend geschlossenes aquatisches System, in dem Fische und Schnecken, das Hornkraut *Ceratophyllum demersum* sowie Mikroorganismen lebten. Das Hornkraut sollte hauptsächlich den Sauerstoff für die Atmung der Fische und Schnecken produzieren und das ausgeatmete Kohlendioxid verarbeiten, während die Mikroorganismen vor allem für die Umwandlung von Ammoniumionen in Nitrit und Nitrat zuständig waren.

Für die gravitationsbiologische Forschung an diesen Organismen wurde Ende der 1980er- bis Anfang der 1990er-Jahre ein umfangreiches Forschungsprogramm mit Aspekten der Physiologie, Morphologie, Ökologie, Genetik und Entwicklungsbiologie auf die Beine gestellt. Die Federführung lag dabei in den Händen von Prof. Volker Blüm von der Ruhr-Universität Bochum. Seine und drei weitere Arbeitsgruppen aus Bochum wurden durch die damalige Deutsche Agentur für Raumfahrt-Angelegenheiten (DARA) sowie mit Mitteln des Ministeriums für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein Westfalen (von 1993 bis 1999) gefördert. Wissenschaftler der Universitäten Hohenheim und Hamburg spielten weitere Schlüsselrollen. Zusätzlich wurden Arbeitsgruppen aus Düsseldorf, Jena, Erlangen, Potsdam sowie zwei von der NASA geförderte Teams aus New York eingebunden. Diese wissenschaftliche Kooperation mit amerikanischen Forschern erwies sich im Verlauf des Projekts als Glücksfall. Durch dieses internationale Forschungsnetzwerk konnte eine optimale wissenschaftliche Verwertung der kostbaren, im Welt Raum geflogenen Organismen erreicht werden.

Das ursprüngliche CEBAS-Konzept der Bochumer Wissenschaftler sah eine große Anlage mit bis zu 150 Litern vor, die im amerikanischen Spacelab ein ganzes Doppelrack beansprucht hätte. Aufgrund der immensen Kosten wurde Anfang der 1990er-Jahre entschieden – gevissermaßen als Modellversuch für größere biologische Lebenserhaltungssysteme – die Entwicklung des CEBAS-Minimoduls mit einem Volumen von 8,6 Litern durch die Firma OHB in Bremen zu starten – ein realistischer und sehr erfolgreicher Ansatz, wie sich später zeigen sollte.

Das Flugmodell des CEBAS-Minimoduls wurde so gebaut, dass es in eine Schublade im Shuttle-Middeck passte. Es bestand aus einem Tank mit Pumpe und Sensoreinheit, einer Videokamera zur Tierbeobachtung sowie Temperaturregelungs- und Belüftungselementen. Die Mess- und Regelelektronik war in die Bodenplatte eingelassen. Der Tank unterteilte sich in vier wasser durchströmte Bereiche: einen Groß- und einen Kleintertank für die erwachsenen Fische beziehungsweise für Jungfische sowie für die Schnecken, einen dritten für die Wasserpflanzen sowie einen vierten für das mit Bakterien beimpfte Lavagranaulat sowie etwas Perlonwolle als Filtermaterial. CEBAS war bereits weitestgehend automatisiert: Der einzige Astronautenservice bestand im Wechseln der Videokassetten.



Die Crew des STS-89 Fluges trainiert im Januar 1998 direkt am CEBAS-Minimodul. Prof. Volker Blüm (l.) und DLR-Projektleiter Dr. Otfried Joop (r.) erklären der Crew Technik und Abläufe des Experiments.

Flight crew of STS-89 on a training mission on board the CEBAS module in January 1998. Prof. Volker Blüm (l.) and DLR project manager Dr Otfried Joop (r.) explained the experimental setup and procedures of the experiment.



Erfolgreicher Start für die Bioregenerativen Lebenserhaltungssysteme: Die Raumfahrt Endeavour brachte am 23. Januar 1998 CEBAS ins All.

Successful launch of the bioregenerative life support systems: On January 23, 1998, the US Space Shuttle Endeavour carried CEBAS into space.

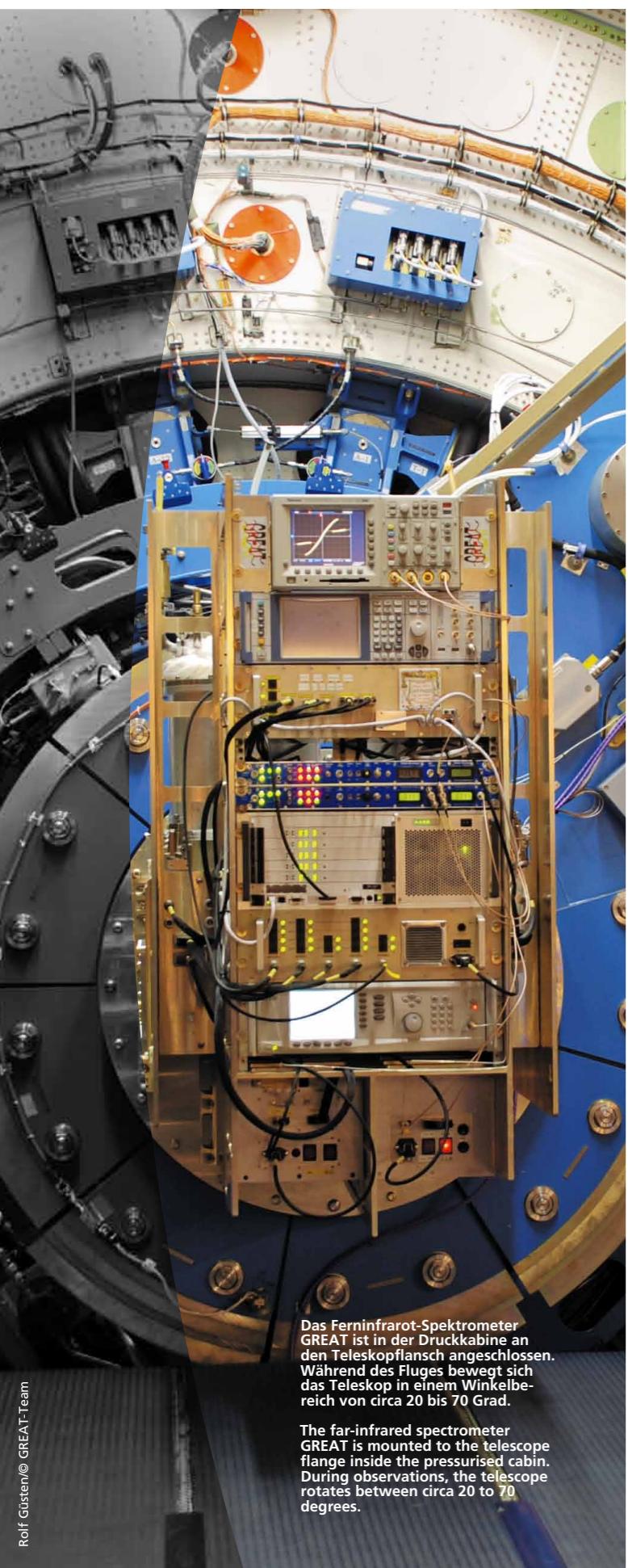
### CEBAS – Biologisches Lebenserhaltungssystem bewährt sich im Weltraumtest

Basierend auf Diskussionen und Absprachen in der "International Space Life Sciences Working Group" – einer Arbeitsgruppe der in der biowissenschaftlichen Weltraumforschung führenden Raumfahrtagenturen – über die Planung der letzten Spacelab-Mission „Neurolab“ wurden mit der NASA Mitte der 1990er-Jahre in schwierigen, aber letztlich erfolgreichen Verhandlungen zwei direkt aufeinanderfolgende Flüge für das CEBAS-Minimodul auf dem Space Shuttle vereinbart: STS-89 im Januar 1998 und STS-90 Neurolab im April 1998. In einem sogenannten Barter-Agreement mit der NASA wurden die Verantwortlichkeiten geregelt: Die NASA stellte die Fluggelegenheit, das DLR die Experimentanlage. Die wissenschaftliche Nutzung erfolgte kooperativ. Hierdurch fielen für die deutsche Seite keine Flugkosten an – eine sehr kostengünstige Art der Kooperation. Ein dritter Einsatz des CEBAS-Minimoduls auf dem Shuttle wurde nach den erfolgreichen Flügen mit der Firma Spacehab für den Flug STS-107 im Januar 2003 vereinbart. Doch der tragische Absturz der Raumfahrt Columbia beim Landeanflug am 1. Februar 2003 bedeutete auch das Ende des CEBAS-Projekts.

Trotz des Columbia-Unglücks war CEBAS ein sehr erfolgreiches Forschungs- und Entwicklungsprojekt. Die Ergebnisse der Flugexperimente und der begleitenden Bodenstudien belegten, dass mit dem CEBAS-Minimodul ein stabiles System entwickelt wurde, das einerseits ein umfangreiches Forschungsprogramm ermöglichte und sich andererseits als aquatisches, weitgehend geschlossenes bioregeneratives Lebenserhaltungssystem eignete. Die Fische zeigten in Schwerelosigkeit ein normales Verhalten und eine normale Entwicklung. Fortpflanzungs- und Immunsystem waren ebenso voll funktionsfähig wie das Magen-Darm-System. Auch die Embryonalentwicklung verlief ungestört. Die Schnecken zeigten ebenfalls keine Verhaltensänderungen. Embryonalentwicklung und Biomineralisierung der Schalen verliefen ungestört. Die Photosynthese-Aktivität und andere physiologische Parameter der Wasserpflanzen unterschieden sich nicht von denen der Bodenkontrollen und führten zu einem normalen Wachstum. Der einzige Unterschied bestand in einer unregelmäßigen Anordnung von Stärkekörnern in der sogenannten Bündelscheide, die das Leitungsgewebe im Stängel umgibt und den Stoffaustausch zwischen Leitbündel und Mesophyll kontrolliert. Dies war ein unerwartetes Ergebnis, da die Stärkekörner über ihre gravitative Lageveränderung an der Schwerkraftwahrnehmung beteiligt sind. Das Wachstum der Mikroorganismen war ebenso wie auf der Erde stark von der Sterblichkeitsrate der Jungfische beeinflusst. Eine spezifische Wirkung der Schwerelosigkeit war nicht nachweisbar.

Damit konnte bewiesen werden, dass biologische Lebenserhaltungssysteme im Weltraum funktionieren. Die Entscheidung, im Unterschied zu anderen Raumfahrtagenturen auf ein aquatisches System zu setzen, hatte sich ausgezahlt. Während sich die gravitationsbiologische Forschung beim CEBAS-Projekt aufgrund der Zusammensetzung des Wissenschaftler-Teams weitestgehend auf tierische Organismen – vor allem auf Fische – konzentrierte und die technischen und biologischen Systemaspekte sowie die Morphologie und Physiologie der Wasserpflanzen von geringerer Bedeutung waren, sollten diese Aspekte im Nachfolgeprojekt Aquacells/Omegahab stärker berücksichtigt werden. Hierüber – insbesondere über die aktuelle BION M-1 Satelliten-Mission – berichten wir in der nächsten Ausgabe der COUNTDOWN.

This was proof positive that biological life support systems will work in space. Unlike the approach pursued by other space agencies, DLR's decision to go for an aquatic system had paid off. Because of the composition of the team of scientists, research under the CEBAS project largely concentrated on animal organisms, mainly fish, while the technical and biological aspects of the system as well as the morphology and physiology of aquatic plants took a back seat. However, these aspects were to be given greater consideration in the successor project, Aquacells/Omegahab. We will report on this and particularly on the current BION M-1 satellite mission in the next edition of COUNTDOWN.



# GREAT

## Teil 1: Der Lebensgeschichte von Sternen auf der Spur

Von Dr. Dietmar Lillenthal

Wie entstehen und vergehen Sterne? Um diese Frage zu beantworten muss man vor allem den Raum zwischen den Sternen beobachten – das sogenannte Interstellare Medium. Hier tummeln sich geladene Teilchen, Atome, Moleküle sowie Staubkörner und reagieren miteinander. Um diesen galaktischen Mix und seine Phänomene zu verstehen und mehr über die Entstehungsgeschichte von Sternen zu erfahren, beobachtet der German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies (GREAT) die Vorgänge im Interstellaren Medium. GREAT ist ein moderner Empfänger für Infrarot-Astronomie, der auf der fliegenden Sternwarte SOFIA, einer modifizierten Boeing 747SP, zum Einsatz kommt. Aus rund zwölf bis 14 Kilometern Höhe lässt GREAT den störenden Wasserdampf unter sich und blickt mit Hilfe des auf SOFIA montierten 2,7-Meter-Teleskops direkt in die Sternentstehungsgebiete. Der Empfänger mit seiner hohen spektralen Auflösung hat viele Daten gesammelt, die uns einen Einblick in die Lebensgeschichte von Sternen erlauben. In der folgenden vierteiligen Artikelserie sind wir mit dem deutschen Instrument der Geburt und dem Tod von Sternen im Weltall auf der Spur.

## GREAT

### Part 1: Unveiling Stellar Biographies

By Dr Dietmar Lillenthal

How are stars born, and how do they pass away? To answer that question, we must begin by observing the space between the stars, the so-called interstellar medium. This is where charged particles, atoms, molecules, and grains of dust romp about and react with each other. To enable us to understand this galactic mix and its various phenomena and learn more about the evolutionary history of stars, the German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies (GREAT) watches what is happening in the interstellar medium. GREAT is an advanced infrared astronomy receiver deployed on SOFIA, the flying observatory mounted on a Boeing 747SP. Travelling at an altitude of around 12 to 14 kilometres, beyond the reach of water vapour, GREAT uses SOFIA's 2.7-metre telescope to look directly into star nurseries. With its high spectral resolution, the receiver has collected a large volume of data that give us an insight into the life history of the stars. In the following series of four articles we will present some of the clues we have gathered about birth and death of stars in space with the aid of this German-built instrument.



Autor: **Dr. Dietmar Lillenthal** ist Physiker und Astronom und in der Abteilung Extraterrestrik im DLR-Raumfahrtmanagement. Während der Gründung des Deutschen SOFIA-Instituts (DSI) und dem Aufbau des SOFIA-Betriebszentrums des NASA Dryden Flight Research Centers in Südkalifornien war er Projektleiter und betreut weiterhin die deutschen SOFIA-Instrumente.

Author: **Dr Dietmar Lillenthal** is a physicist and an astronomer, working at the Space Research unit of DLR Space Administration. He was in charge as SOFIA project coordinator when the German SOFIA Institute (DSI) was founded and when a SOFIA operating centre was set up at NASA's Dryden Flight Research Center in Southern California. He still supervises Germany's instruments and their scientific operation on SOFIA.

### A special kind of receiver

Seit seinem ersten wissenschaftlichen Einsatz auf dem vom DLR Raumfahrtmanagement geförderten Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie SOFIA Ende März 2011 hat GREAT auf insgesamt 16 Forschungsflügen seine wissenschaftliche Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt. Die Vielfalt der astrophysikalischen Fragestellungen der Nutzer von GREAT zur Erforschung der Vorgänge in der interstellaren Materie, zu Geburt und Tod von Sternen im Weltall, bietet reichhaltigen Erkenntnisgewinn und Ansporn zur weiteren Forschung. Gebaut von einem Konsortium deutscher Forschungsinstitute – dem Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn (MPIfR), dem 1. Physikalischen Institut der Universität zu Köln, dem Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung (MPS) und dem DLR-Institut für Planetenforschung – wurden mit GREAT inzwischen etwa zwei Dutzend verschiedene astronomische Untersuchungen unter der Leitung des "Principal Investigator" Rolf Güsten vom MPIfR erfolgreich durchgeführt.

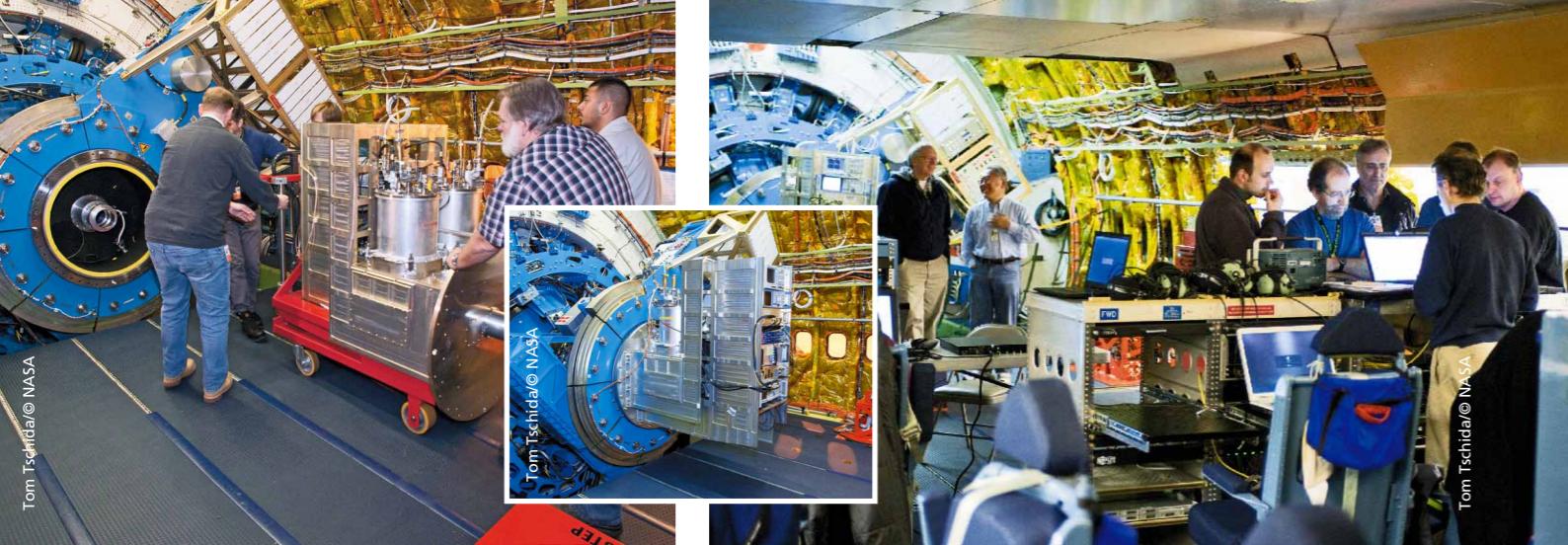
Die sogenannte Heterodyn-Technologie ermöglicht dem hochauflösenden Spektrometer einen Einblick in die Welt der infraroten Spektrallinien, die dem menschlichen Auge naturgemäß verborgen bleiben. Die hohen Signalfrequenzen der Spektrallinien des interstellaren Gases mit Wellenlängen von 60 bis 240 Mikrometern können allerdings mit der heutigen Technik nicht unmittelbar verarbeitet werden. Der Heterodyn-Empfänger GREAT wandelt deshalb das hochfrequente astronomische Signal zunächst in eine Zwischenfrequenz um. Dieses Zwischenfrequenzsignal wird verstärkt und erneut frequenzverschoben. Die Registrierung der Spektren erfolgt schließlich in speziellen Spektrometern (Fast Fourier Transform Spectrometers oder Acousto-Optical Spectrometers). Dort können diese „Botschaften“ dann mit einer sehr hohen Auflösung entschlüsselt und die Überlagerung von Spektrallinien sichtbar gemacht werden. Das Besondere an dem Empfänger ist sein modularer Aufbau. Seine Konfiguration kann den Zielen der Beobachtungen angepasst und gleichzeitig in zwei Infrarotkanälen beobachtet werden. Auf diese Weise lassen sich Spektrallinien verschiedener Moleküle beziehungsweise Übergänge zeitgleich in derselben Raumrichtung nachweisen und die Zusammensetzung, Temperatur und Dynamik des Gases

Its heterodyne technology enables the high-resolution spectrometer to see the world of infrared spectral lines that naturally remain hidden to the human eye. However, the technology we have today does not permit directly processing the high signal frequencies of the spectral lines of interstellar gas, whose wavelengths range between 60 and 240 micrometres. Consequently, the GREAT heterodyne receiver first converts high-frequency astronomic into intermediate-frequency signals, which are then amplified and frequency-shifted once again. Spectra are ultimately registered by special spectrometers (Fast Fourier Transform Spectrometers or Acousto-Optical Spectrometers), where these 'messages' are decoded at high resolution and spectral-line intersections are rendered visible. What makes the receiver special is its modular design. Capable of observing two infrared channels simultaneously, its configuration may be modified to suit the objectives of any observation. This approach permits identifying the spectral lines of different molecules and/or transitions between them simultaneously and in the same spatial direction as well as exploring the composition, temperature, and dynamics of the gases and dust in the interstellar medium. Thus, the spectra which GREAT detects afford insights into a wide range of astronomical phenomena: cold, dense clouds of molecules in the Milky Way and in neighbouring galaxies, star nurseries, protostars,



Am 11. April 2013 startete SOFIA mit GREAT an Bord zu einem technischen Flug: Es war der 100. der fliegenden Sternwarte. Das SOFIA-Team feierte diesen Meilenstein des US-amerikanisch-deutschen Programms.

Carrying GREAT, SOFIA started on April 11, 2013, for an engineering flight: it was the flying observatory's 100th mission. The staff of SOFIA celebrated this milestone in the US-German programme.



Der GREAT-Empfänger (metallisch silbern) wird zum Teleskop (in blau) des Flugzeug-Observatoriums SOFIA gebracht und dort montiert. Vor dem Flug werden alle Instrumente noch einmal überprüft.

The GREAT receiver (metallic silver) was carried to the telescope (in blue) on the SOFIA airborne observatory, where it was mounted in place. All instruments were checked before flight.

und Staubes im Interstellaren Medium erforschen. Die von GREAT registrierten Spektren eröffnen so Einblicke in ganz unterschiedliche astronomische Phänomene: kalte, dichte Molekülwolken in der Milchstraße und benachbarten Galaxien, Sternentstehungsgebiete, Protostärne, Objekte mit bipolarem Ausfluss (jetartige Ausströmungen aus den zirkumstellaren Scheiben junger Sterne, die nur einige 10.000 Jahre andauern), das galaktische Zentrum mit seiner Central Nuclear Disk (CND), Planetarische Nebel als Spätphasen der Sternentwicklung, Schockfronten in Supernova-Überresten und so weiter. So hilft uns GREAT dabei, mehr über die Entstehungsgeschichte von Sternen herauszufinden.

Hauptdarsteller dieser Entstehungsgeschichte sind Atome, Ionen und Moleküle. Sie liefern uns durch ihre Anregungszustände, das heißt durch Elektronenübergänge oder durch die von Vibrations- und Rotationsbewegungen der Moleküle ausgesendete oder absorbierte Infrarotstrahlung, Informationen über Entstehung, Entwicklung und Vergehen der Sterne in unserer Milchstraße, aber auch in benachbarten Galaxien. Doch um die Strahlung „ungetrübt“ beobachten zu können, müssen die Forscher die abschwächenden Schichten der Erdatmosphäre – wie zum Beispiel Wasserdampf – so weit wie möglich unter sich lassen. Die zur fliegenden Sternwarte SOFIA umgebauten Boeing 747 SP bietet diese einzigartige Möglichkeit. In einer Höhe von zwölf bis 14 Kilometern gewährt uns SOFIA Einblick in die Lebenszyklen von Sternen. Angeschlossen an das größte Teleskop, das jemals auf einem Flugzeug installiert wurde, blickt GREAT in Sternentstehungsgebiete mit hoher spektraler Auflösung.

**Spektrallinien erzählen uns die Lebensgeschichte von Sternen**  
 Obwohl jedes Objekt in der Milchstraße oder in benachbarten Galaxien eine eigene Struktur und einen charakteristischen Entwicklungsstand aufweist, liefern die einzelnen Beobachtungen ein immer vollständigeres Bild des kosmischen Materiekreislaufes – des Entstehens und Vergehens im Weltall: Sterne entstehen, indem sich interstellare Molekülwolken unter dem Einfluss ihrer eigenen Schwerkraft zusammenziehen. Die Bedingung dafür, dass eine kosmische Gas- und Staubwolke bestimmter Temperatur und Dichte unter dem Einfluss ihrer eigenen Schwere zusammenbrechen kann, wird durch das Jeans-Kriterium für die kritische Masse angegeben. Die Jeans-Masse einer Wolke steigt mit zunehmender Temperatur und abnehmender Dichte. Wird sie überschritten, dann kollabiert die Wolke und – abhängig vom Zustand des Gases – zerfällt stufenweise in Fragmente, bis Kerne der Größe von Sternen, sogenannte Protostärne, entstehen. In den Zentren der kollabierenden Kerne steigt die Temperatur soweit an, dass schließlich die Wasserstofffusion einsetzt und die Sterne zu leuchten beginnen. Sie starten dann ihr Leben als Hauptreihensterne und entwickeln sich zu sogenannten Roten Riesen. Je nach Masse des Sterns gibt er einen Großteil seines Hüllematerials als Planetarischer Nebel oder in Form einer Supernova-Explosion wieder an das Interstellare Medium ab. Als Endstadium bleiben dann ein Weißer Zwerg, ein Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch übrig. Das ausgestoßene Material wird erneut in den Kreislauf der kosmischen Materie eingespeist. Supernovae reichern zudem das Interstellare Medium mit schweren Elementen

objects with a bipolar discharge (jet-like ejections of matter from the circumstellar disks around young stars which endure only for some tens of thousands of years), the galactic centre with its central nuclear disc (CND), planetary nebulae in the late stages of a star's development, shock fronts in the remains of supernovas, and so on. Thus, GREAT helps us to find out more about the way in which stars are formed.

The leading actors in this history of birth are atoms, ions, and molecules. Their excitation state, i.e. the infrared radiation emitted or absorbed by electron transitions and the vibration or rotation movements of the molecules, tells us about the birth, evolution, and death of stars in our Milky Way as well as in neighbouring galaxies. In order to observe such radiation unobscured, however, researchers need to ascend as far as possible above the attenuating layers of the terrestrial atmosphere, such as water vapour, for instance. This unique opportunity is offered by a Boeing 747 SP that was converted into a flying observatory – SOFIA. Flying at an altitude of 12 to 14 kilometres, SOFIA offers us glimpses of the life cycles of stars. Connected to the largest telescope ever to be installed in an airplane, GREAT views star nurseries at high spectral resolution.

#### Spectral lines tell us about the stars' life histories

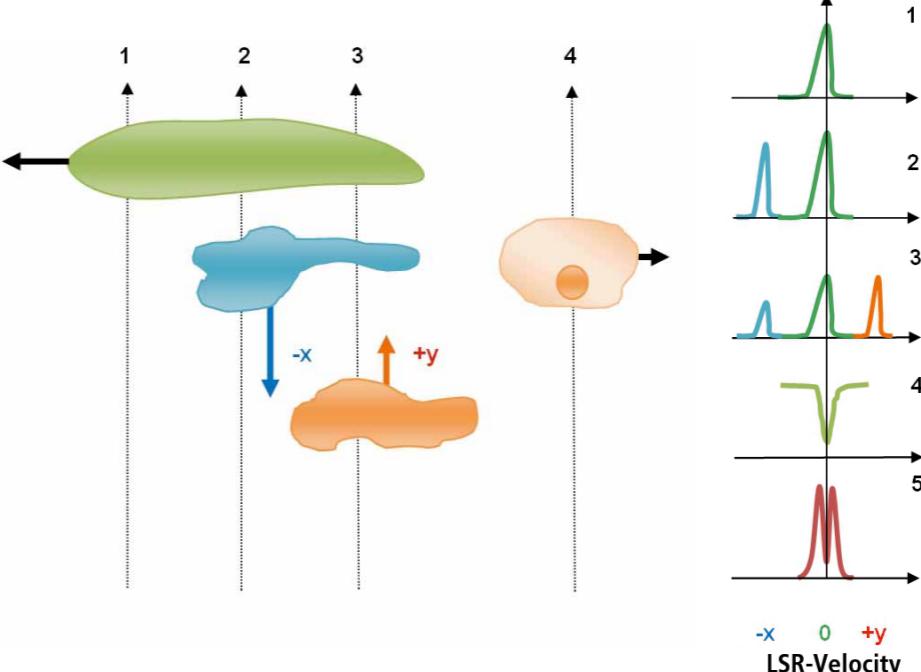
Although each and every object in the Milky Way or its neighbouring galaxies has its own structure and characteristic level of development, individual observations supply an increasingly complete picture of the cosmic matter cycle, of birth and death in space: stars are formed by interstellar molecular clouds that contract under the influence of their own gravity. The condition for the collapse of a cloud of interstellar gas and dust at a specific temperature and density under the influence of its own gravity is the so-called Jeans criterion of critical mass. The Jeans mass of a cloud grows as its temperature increases and its density decreases. If that limit is infringed, the cloud will collapse and – depending on the state of the gas – break up gradually into fragments until nuclei the size of stars are formed,

Channel	Frequency [GHz]	Important crossover of spectral lines
L1a	1252-1392 (240-216 micrometres)	CO(11-10), CO(12-11), OD, SH, H2D <sup>+</sup> , HCN, HCO <sup>+</sup>
L1b	1417-1520 (212-197 micrometres)	[NII], CO(13-12), HCN, HCO <sup>+</sup>
L2	1815-1910 (165-157 micrometres)	NH3(3-2), OH(2 $\pi$ 1/2), CO(16-15), [CII]
Ma	2507-2514 (119,7-119,3 micrometres)	OH (2 $\pi$ 3/2)
Mb	2670-2680 (112,4-111,9 micrometres)	HD (1-0)
H	4750-4770 (63,1-62,9 micrometres)	[OI]

an, und die ausgelösten Stoßfronten verdichten das Gas und ermöglichen somit die Entstehung von Sternen der nächsten, nunmehr „metallreicheren“ Generation.

Wesentliche Grundlage unserer mosaikartig zusammengesetzten Vorstellungen über Geburt und Tod im Weltall bilden die Prozesse der Emission und Absorption von Strahlung in der kosmischen Materie und die Abhängigkeit der Vorgänge von Temperatur und Dichte in den beobachteten Gas- und Staubwolken. Hierüber geben uns die beobachteten Spektrallinien Auskunft. In der Natur strebt jedes System (zum Beispiel Atome oder Moleküle) seinen Grundzustand an – einen Zustand minimaler Energie. Durch Anregungsprozesse (zum Beispiel durch Stöße), die mit einer Energieaufnahme verbunden sind, können die Atome und Moleküle in einen höheren Zustand übergehen. Dort verbleiben sie eine gewisse Zeit, abhängig von der Lebensdauer dieses wenig stabilen/instabilen Zustands, und kehren dann in den Grundzustand zurück. Hierbei wird Energie in Form von Photonen frei, die sich als charakteristische Emissionslinien beobachten lassen. Wird umgekehrt ein Atom oder Molekül durch Aufnahme eines Photons von einem niedrigeren in einen höheren Zustand angeregt, fehlt dem kontinuierlichen Spektrum des Strahlungshintergrunds diese Energie. Diese zeigt sich demzufolge als dunkle Absorptionslinie im beobachteten Spektrum. Aus den Linien lassen sich Temperatur und Dichte der Materie bestimmen.

Die Frequenzen der mit GREAT beobachteten Spektrallinien interstellarer Wolken, zum Beispiel Emissionslinien von Atomen, Ionen oder Molekülen, lassen sich in Geschwindigkeiten umrechnen. Berücksichtigt man die Bahnbewegung und Rotation der Erde um die Sonne sowie die Bewegung der Sonne relativ zu einer repräsentativen Auswahl von Umgebungssternen, so erhält man die Geschwindigkeiten im lokalen Ruhesystem – dem Local Standard of Rest (LSR). Erst diese LSR-Geschwindigkeiten erlauben einen Vergleich der verschiedenen Wolken oder Wolkenbereiche (siehe Diagramm unten). Verschiedene Moleküle oder Ionen gehören nur dann unzweifelhaft zu derselben Wolke, wenn ihre Geschwindigkeiten exakt übereinstimmen. Von ihren Raumbewegungen lassen sich lediglich die radialen Komponenten in den Spektren, das heißt die Anteile auf uns zu oder von uns weg, beobachten. Durch Überlagerung verschiedener Effekte entstehen zusammengesetzte Profile, die kalibriert, bereinigt und im Detail analysiert werden müssen. Anhand dieser Profile können die Wissenschaftler dann auf die Zusammensetzung des Interstellaren Mediums schließen.



**Spektren 1-3:** Wolken bei LSR-Geschwindigkeiten 0, -x und +y km/s  
**Spektrum 4:** Absorption im kalten Vordergrundgas vor einer heißen Quelle  
**Spektrum 5:** Emission und unmittelbare Selbstabsorption in einer Quelle mit Temperaturunterschieden.

Profile 1-3: clouds with LSR velocities of 0, -x, and +y km/s  
 Profile 4: Absorption of cold gas in front of a hot source  
 Profile 5: Emission and immediate self-absorption in a source with temperature differences

so-called protostars. At the centre of such a collapsing nucleus, the temperature will rise until ultimately hydrogen fusion sets in, and the star begins to shine, starting its life as a main-sequence star that ultimately develops into a red giant. Depending on its mass, the star will return a large proportion of its circumstellar envelope to the interstellar medium either as a planetary nebula or through a supernova explosion. What remains in the final stage will be a white dwarf, a neutron star, or a black hole. Any ejected material is fed back into the cosmic matter cycle. Moreover, a supernova injects heavy elements into the interstellar medium, and the shock waves it emits compress the gas, thus facilitating the development of stars of the next, more 'metal-rich' generation.

Essentially, our mosaic of concepts about birth and death in space is based on the processes of radiation emission and absorption by cosmic matter and the interdependence of temperature and density processes in the gas and dust clouds we observe. The spectral lines we look at tell us about that. In nature, all systems (such as atoms or molecules) strive to reach their normal, i.e. minimum energy level. Excitation processes (such as impacts, for example) that involve absorbing energy may cause atoms and molecules to change to a higher level. Having remained in that state for a certain length of time that depends on the life of this relatively or wholly unstable state, they will return to their normal energy level. The energy released by this process in the form of photons can be observed as characteristic emission lines. Conversely, if an atom or molecule absorbs a photon and is thus excited from a lower to a higher level, this energy will be missing from the continuous background radiation spectrum. This missing energy shows up in the observed spectrum as a dark absorption line which may be used to determine the temperature and density of matter.

The frequencies of the spectral lines observed by GREAT in interstellar clouds, including the emission lines of atoms, ions, and molecules, may be converted into velocities. By taking into account the Earth's rotation and its orbital movement around the Sun as well as the Sun's movement relative to a representative selection of stars in the vicinity, we obtain velocities within the local standard of rest (LSR). Only these LSR velocities can be used to compare different clouds or cloud segments (see graph below). Different molecules and ions can be regarded as indubitably belonging to the same cloud only if their velocities in space, we can only observe the radial components of their spectra, i.e. the 'towards-us' and the 'away-from-us' fraction. By superimposing different effects, we obtain composite profiles which need to be calibrated, corrected, and analysed in detail. From these profiles, scientists may draw conclusions regarding the composition of the interstellar medium.

Profile 1-3: clouds with LSR velocities of 0, -x, and +y km/s  
 Profile 4: Absorption of cold gas in front of a hot source  
 Profile 5: Emission and immediate self-absorption in a source with temperature differences



## E-Nose

### Elektronische Spürnase auf der Raumstation

Von Joachim Lenic

**Die mikrobielle Verunreinigung durch Pilze, Keime und Sporen sind für Crews und Hardware im Weltall eine große Gefahr und können die Gesundheit der Astronauten beeinträchtigen. Auf der Internationalen Raumstation ISS oder auf Langzeitmissionen werden die winzigen Lebewesen zu einem großen, sicherheitsrelevanten Problem. Die Überwachung der Umgebungsbedingungen auf der ISS ist somit ein wichtiger Schritt und gleichzeitig eine große Herausforderung. Sie stellt hohe Ansprüche an die Messverfahren und ist technisch wie auch zeitlich sehr aufwendig. Das soll der Einsatz einer elektronischen Spürnase ändern. Seit dem 28. Februar 2013 hat eine elektronische Spürnase, die E-Nose, nun die Spur der kleinen Organismen aufgenommen. Umgesetzt wurde das Projekt unter Leitung der Produktsicherung des DLR Raumfahrtmanagements.**

### E-Nose

#### The Electronic Nose on the International Space Station

By Joachim Lenic

Threatening both crew and hardware, microbial contamination by fungi, germs, and spores constitutes a serious health risk for astronauts in space. On the International Space Station (ISS) as well as on long-term missions, those tiny organisms grow into a big health and safety problem. Therefore, monitoring environmental conditions on the ISS is both an important measure and a big challenge. It demands highly sophisticated measuring methods and its cost in terms of technology and time is high. All this will be changed by an electronic nose called E-Nose that has been tracking down small organisms since February 28, 2013. The implementation of the project was co-ordinated by the product assurance office of the DLR Space Administration.



Autor: **Joachim Lenic** ist E-Nose-Projektmanager in der Abteilung Produktsicherung des DLR Raumfahrtmanagements.  
Author: **Joachim Lenic** is the E-Nose project manager at the DLR Space Administration's department of product assurance. He oversees the project on behalf of the funding agency.

Die E-Nose leistet einen wichtigen Beitrag zur Sicherheit der ISS und deren Crews. Denn mittlerweile sind mikrobielle Organismen auch für die Internationale Raumstation zu einem ernstzunehmenden Risiko geworden. Das Moskauer Institut für Biomedizinische Probleme (IBMP) konnte bisher bis zu 300 verschiedene Organismen über die aufwändige Wischmethode auf der ISS bestimmen. Die Spürnase E-Nose misst nun elektronisch die mikrobielle Belastung auf der Raumstation über ein Gassensorsystem. Im Rahmen eines deutsch-russischen Experiments spürt sie im russischen Segment der ISS Pilze und Bakterien auf.

#### Pilze und Bakterien als Gesundheitsproblem im All

Auf der Raumstation wachsen Pilze ungehindert hinter den Panels oder in unzugänglichen Ecken. Sichtbares Pilzwachstum gibt es unter anderem auf Kabelsträngen, auf Teilen der Klimaanlagen und an Systemen zur Wasserrückgewinnung. Kritisch wird es, wenn die Organismen Dichtungen, Kunststoffe und Leiterplatten, aber auch Glas angreifen. Die Biofilme, die sogenannten extrapolymeren Substanzen (EPS), bilden sich vorzugsweise an Orten mit kalten Materialoberflächen, an denen durch Kondensation ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Es können sich Wasserperlen in Luftballongröße bilden. Darüber hinaus ist die Gesundheit der Crew durch Fungus und Bakterien-Kulturen betroffen. Dabei werden die meisten Allergene – wie zum Beispiel Pilzsporen – über die Atemluft aufgenommen. Hier sind Krankheitssymptome wie Kopfschmerzen, Konzentrationsprobleme, Augentränen, Lethargie, Entzündungen der Schleimhäute von Nase, Mund und Hals, Hautjucken, Ekzeme und so weiter die Folge.

#### Durchlüften auf der Raumstation

Umfangreicher Desinfektionsmaßnahmen zum Trotz kann sich über geringe Mengen verbleibender Sporen ein Wachstum einstellen. Falls die traditionellen Reinigungsmaßnahmen versagten, gab es in der Vergangenheit nur eine Möglichkeit als Notfallmaßnahme: Evakuierung der Crew und einmal kurz durchlüften. Doch Experimente des IBMP auf der ISS haben gezeigt, dass einige Organismen auch für längere Zeit im Weltraum überleben können. Daher wird es zukünftig gerade mit Blick auf die Sicherheit bei Langzeitmissionen wichtig sein, einer möglichen Verunreinigung gezielt und frühzeitig auf die Spur zu kommen, um auch das Gefährdungspotenzial entsprechend einzuschätzen.

#### Mikrobielle Passagiere auf dem Weg zur Erde

Ein weiteres Problem ist die Rückkehr von Mikroorganismen von der Raumstation zurück zu unserem Heimatplaneten: Ähnlich wie Schiffe beispielsweise mit Containern oder im Brackwasser unerwünschte mikrobielle Passagiere mit in Europäische Zielhäfen bringen, können auch Mikroorganismen, die sich auf ISS-Hardware angesiedelt haben, zurück zur Erde gebracht werden. Diese Passagiere können unter den besonderen Bedingungen des Weltalls wie Weltraumstrahlung mutiert sein – also ihr Erbgut dauerhaft verändert haben. Hier soll die E-Nose eine Kontamination rechtzeitig erkennen, so dass sie rechtzeitig und effektiv behandelt werden könnte.

The E-Nose contributes a great deal to the safety of the ISS and its crew because microbial organisms have become a serious risk to the ISS. So far, the Moscow Institute of Biomedical Problems (IBMP) has identified as many as 300 different organisms by the laborious wiper-sampling method. As of now, the E-Nose uses a gas sensor system to measure the microbial pollution on the ISS electronically. In the Russian segment of the ISS, it is sniffing out fungi and bacteria in a common German-Russian experiment.

#### Fungi and bacteria – a health problem in space

On the space station, fungi grow unhindered behind panels or in inaccessible corners. They grow visibly on cables and on parts of the air-conditioning and water-recovery systems. Things become critical when these organisms attack seals, plastics, PC boards, and even glass. Biofilms called extrapolymeric substances (EPS) preferably develop in places where sufficient water condenses on cold surfaces. The drops of water that form there may reach the size of toy balloons. Moreover cultures of fungi and bacteria may affect the crew's health. Most of the allergens involved, such as fungal spores, for example, are inhaled, causing symptoms of illness such as headache, inability to concentrate, watering eyes, lethargy, inflammation of the mucous membranes in the nose, the mouth, and the throat, skin rash, eczema, and so on.

#### Letting fresh air into the space station

Even after extensive disinfection, small quantities of spores left behind may grow again. Whenever traditional cleaning methods failed in the past, there was only one option left in such an emergency: evacuate the crew and 'let in some fresh air'. Experiments run by the IBMP on the ISS have shown that some organisms are capable of surviving in space even for prolonged periods. This being so, it will be important in the future, particularly with regard to the safety of long-term missions, to pinpoint potential contamination at an early time so as to assess its hazard potential earlier.

#### Microbial passengers on the way to Earth

Micro-organisms imported from the space station back to Earth constitute another problem: just like ships carry undesirable microbial passengers to European ports in containers or their bilge water, micro-organisms that have colonised hardware on the ISS may be carried back to Earth. These passengers may have mutated under the special conditions prevailing in space, meaning that cosmic radiation may have permanently changed their genome. E-Nose is supposed to identify such contaminations as early as possible so that they can be dealt with effectively.

#### Identifying microbial colonies

Astronauts can now use the E-Nose to measure microbial contamination in various places in the ISS service module. Moreover, a so-called target book has been installed in the space station. It contains samples of various materials, including aluminium, Nomex, a polymeric plastic material, PC-board material, and cable markers. These samples are left to be colonised by biological cultures, which the ISS crew will analyse at two-month intervals. After evaluation, research-

## Mikrobielle Siedlungsgebiete erkennen

Mit der E-Nose können nun Astronauten an verschiedenen Stellen im Servicemodul der ISS die mikrobielle Belastung messen. Zusätzlich wurde ein sogenanntes Target-Book auf der Raumstation installiert. Dort sind verschiedene Materialproben wie Aluminium, der polymere Kunststoff Nomex, Platinenmaterial und Kabelmarkierung aufgetragen. Auf diesen Materialien sollen biologische Kulturen siedeln, die dann in einem Rhythmus von zwei Monaten durch die ISS-Besatzung vermessen werden. So wissen die Forscher nach der Auswertung, welche mikrobiellen Kulturen gezielt bestimmte Materialien „befallen“ und wie schnell sie sich auf diesen vermehren. Die Werte werden anschließend mit den Messergebnissen des klassischen russischen Messverfahrens – der sogenannten Wischprobe – verglichen. So soll die E-Nose ihre Einsatztauglichkeit unter Beweis stellen und ihre Messverfahren für den dauerhaften Einsatz auf der Internationalen Raumstation sowie für den Einsatz im Rahmen von Langzeitmissionen qualifizieren.

## Mikroorganismen schnell aufspüren

Im Gegensatz zur menschlichen Nase sind die Messergebnisse mit der E-Nose objektiv, das heißt, sie hängen nicht von der Tagesform oder dem Gesundheitszustand ab. Außerdem ermüdet eine elektronische Nase nicht. Ein weiterer Vorteil der E-Nose sind ihre geringen Abmessungen: Sie ist extrem klein und kann somit selbst an nur schwer zugänglichen Stellen sehr gut Witterung aufnehmen. Durch ein geringes Kammervolumen und eine spezielle Gaszufuhr arbeitet die elektronische Spürnase sehr schnell bei sehr niedrigen Nachweisgrenzen für Organismen – wie von russischer Seite gefordert. Im automatischen Dauerbetrieb liefert sie Messergebnisse im Minutenrhythmus. Zehn unterschiedlich halbleitenden Metalloxid-Sensoren spüren zuverlässig ein breites Spektrum an mikrobiellen Verunreinigungen auf. Dieses Messsystem nimmt dabei ein spezifisches Geruchsbild auf, indem es sich die oxidierende Eigenschaft der von den biologischen Kulturen freigesetzten Gasmoleküle (Microbial Volatile Organic Compounds - MVOC) zunutze macht. Diese MVOCs werden durch den Stoffwechsel der Kulturen gebildet und sind spezifisch für ihre Art. Jede Kultur regt also mit dem Freisetzen ihrer spezifischen Gasmoleküle die zehn verschiedenen Sensortypen unterschiedlich stark an. So lässt sich über ein Geruchstraining rasch ein olfaktorischer Fingerabdruck erstellen. Gasgemische werden an Hand ihres Musters nach nur einem Trainingsschritt wiedererkannt.

Zuvor ließ sich die mikrobielle Belastung nur sehr aufwendig identifizieren: Mit der Wischprobe als klassischer Methode wurden die Proben zunächst auf der ISS mittels Wattepads genommen und gesichert. Anschließend wurden die Zellkulturen zur Erde zurückgebracht und dort im Labor zeitaufwändig gezüchtet (Inkubation) und anschließend die Arten bestimmt. Die E-Nose vereinfacht und beschleunigt nun diesen Prozess erheblich: Bei Datenverbindung zur Bodenstation oder direkt zu einem Bordrechner können die Zellkulturen und somit auch die Situation auf der Raumstation zeitnah analysiert werden.

Die mikrobielle Verunreinigung durch Pilze, Keime und Sporen ist für die Gesundheit der Astronauten und für die Hardware eine große Gefahr. Das Moskauer Institut für Biomedizinische Probleme (IBMP) konnte bisher bis zu 300 verschiedene Organismen über die aufwändige Wischmethode bestimmen.

Microbial contamination by fungi, germs and spores imposes a severe risk on the astronauts' health and the hardware on board. Based on its painstaking swab tests, the Moscow-based Institute for Biomedical Problems (IBMP) was so far able to identify up to 300 different organism species.

ers will know which materials are 'targeted' by specific microbial cultures, and how quickly they propagate on them. Afterwards, the results are compared to those obtained by the classic Russian measuring method called wipe sampling. This serves to demonstrate the functional capability of the E-Nose and qualify its measuring methods for permanent use on the International Space Station and on long-term missions.

## Tracking down micro-organisms quickly

Unlike the human nose, the E-Nose produces objective data, meaning results that are not influenced by an individual's condition or state of health. Another advantage of the E-Nose is its smallness: being very handy, it can sniff out places that are hard to reach. Because of its low chamber volume and its special gas-sampling system, the E-Nose works very quickly at very low limits of detection for organisms – just like the Russian side demanded. In permanent automatic mode, it delivers results at intervals of one minute. Ten differently semiconducting metal-oxide sensors reliably detect a wide range of microbial contaminants. The measuring system generates a specific scent profile using the oxidising property of the microbial volatile organic compounds (MVOCs) released by biological cultures. Generated by the metabolism of a culture, MVOCs are species-specific. As it releases its specific gas molecules, therefore, each culture stimulates the ten different sensors to a different degree, so that an olfactory fingerprint can be quickly produced. Following a single-step 'scent training', gas mixtures can be instantly identified again by their specific pattern.

Until now, identifying microbial contamination was an extremely laborious process: the classical wipe-sampling method meant that samples were taken on the ISS using cotton swabs and secured. Next, the cell cultures were returned to Earth and incubated in a laboratory, until species could be identified. From now on, the E-Nose considerably simplifies and accelerates this process: a data link to a ground station or directly to an on-board computer permits quickly analysing cell cultures and, by the same token, the situation in the space station.



Zuvor wurde die E-Nose unter Laborbedingungen und im russischen Mars-Isolationsexperiment Mars500 getestet. Nachdem die Einsatztauglichkeit auf der Erde nachgewiesen wurde, startete die elektronische Spürnase nach mehrjähriger intensiver Vorbereitung am 19. Dezember 2012 mit einer russischen Sojus-Rakete in Richtung Raumstation. Von Ende Februar bis Juni 2013 spürt E-Nose in der Experimentphase Mikroorganismen nach. Ist die Experimentphase abgeschlossen, sollen die Messdaten von deutschen und russischen Experten gemeinsam ausgewertet werden.

## Vorteile der E-Nose

- Differenzierung der Kulturen nach Art und Menge möglich
- Klein, schnell und robust
- Nachweisstark
- Online Probenahme oder Dauerbetrieb möglich
- Schutz der Sensoren – lange Lebensdauer, Musterstabilisierung
- eingebauter Test-Gas-Generator
- automatische Konzentrationsanpassung, Kalibrierung und Anreicherung.

The E-Nose has been previously tested under laboratory conditions and in the Russian Mars isolation experiment, Mars500. Having demonstrated its capability on Earth, the E-Nose took off for the ISS on board a Russian Soyuz rocket on December 19, 2012, after several years of thorough preparation. E-Nose will track down micro-organisms from the end of February to June 2013. Once this experimental phase has ended, the data will be evaluated jointly by German and Russian experts.

## Advantages of the E-Nose

- Cultures can be differentiated by species and quantity
- Small, fast, and robust
- Provides strong evidence
- Sampling possible both in online and permanent mode
- Protected sensors – long life, stable patterns
- Built-in test gas generator
- Automatic concentration adaptation, calibration, and enrichment

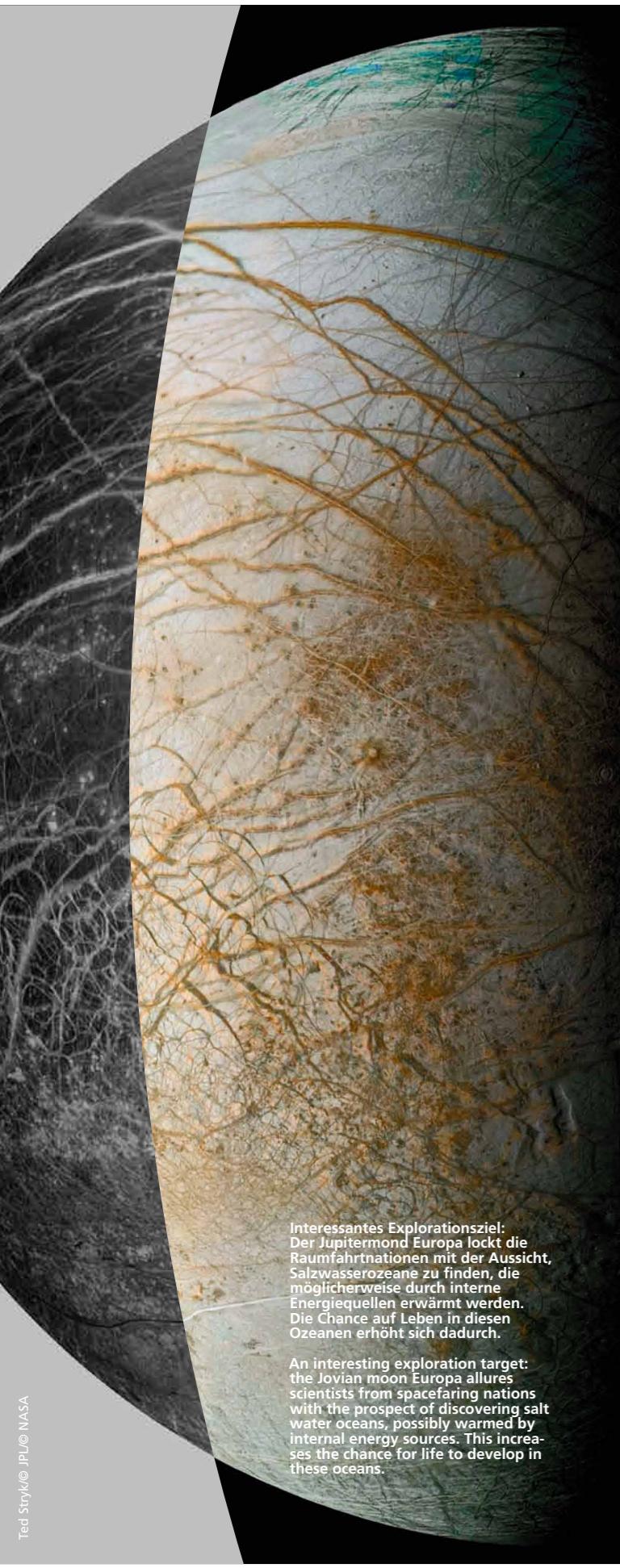
## Partners

Das von der Produktsicherung des DLR Raumfahrtmanagements geförderte Vorhaben ist ein gemeinschaftliches Projekt, das von EADS Astrium geführt wird. Wissenschaftlicher Partner ist das in Moskau ansässige Institut für Biologische und Medizinische Probleme (IBMP), das unter anderem für die Gesundheit der Crew auf der ISS verantwortlich ist. Als Grundlage für die E-Nose dient eine kommerzielle elektronische Nase der Schweriner Firma AirSense Analytics. Die wissenschaftlich-biologischen Themen werden von der Firma Innovation Works – ein technisches Kompetenzzentrum der EADS aus München – sowie vom Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT) in Bremen bearbeitet.

**Der russische Kosmonaut Roman Romanenko geht mit der E-Nose in der Raumstation auf mikrobielle Spurensuche.**

Russia's cosmonaut Roman Romanenko sniffing around with E-Nose for unwanted organisms in the space station.





# EurEx – Europa Explorer

## Autonome Erkundung des Ozeans auf Jupitermond Europa

Von Dr. Oliver Funke und Dr. Ingo Scholz

**Wasser ist ein Hort des Lebens. Die Wahrscheinlichkeit, tatsächlich Leben in extraterrestrischen Ozeanen zu finden, erhöht sich, wenn das Wasser salzig ist und gleichzeitig hydrothermale Energiequellen vorhanden sind. Beides scheint laut aktuellen Untersuchungen der US-amerikanischen Weltraumbehörde NASA im wahrscheinlich vorhandenen Ozean des Jupitermondes Europa gegeben zu sein. Forscher hatten mit dem OSIRIS-Spektrometer, das am Keck-II-Teleskop auf Hawaii montiert ist, den „spektralen Fingerabdruck“ von Epsomit – einer auch als Bittersalz bekannten Magnesiumsulfat-Verbindung – gefunden. Der Stoff könnte durch Oxidation eines Minerals entstanden sein, das sehr wahrscheinlich aus dem Ozean unter dem Eis stammt. Dieser Fund macht den Eismond Europa zu einem wichtigen Explorationsziel. Das Navigationsvorhaben „EurEx – Europa Explorer“ des DLR Raumfahrtmanagements simuliert eine voll-autonome Exploration des Flüssigwasser-Ozeans unter der Europa-Eisoberfläche.**

## EurEx – Europa Explorer

### Autonomous Exploration of the Ocean on Jupiter's Moon Europa

By Dr Oliver Funke and Dr Ingo Scholz

Water is a haven of life. The likelihood of finding life in alien oceans increases if the water is salty and if hydrothermal energy sources are present. According to a recent investigation made by the United States' Space Agency NASA, these two conditions seem to be met by the ocean that is believed to exist on Jupiter's moon Europa. Using the OSIRIS spectrometer mounted to the Keck-II telescope in Hawaii, scientists were able to identify the 'spectral fingerprint' of epsomite – a magnesium sulfate compound also known as Epsom salt. The substance may have been produced by the oxidation of a mineral which very probably stems from the ocean underneath the ice. This discovery makes the icy moon Europa an important exploration target. The 'EurEx – Europa Explorer' project of the German Space Administration is a simulation of a fully autonomous exploration of the liquid-water ocean below Europa's ice shield.



**Autoren:** Dr. Oliver Funke ist seitens des DLR Raumfahrtmanagements der Projektmanager von „EurEx – Europa Explorer“. Er leitet das Verbundvorhaben für den Zuwendungsgeber. Dr. Ingo Scholz koordiniert die Förderprojekte in der Raumfahrtrobotik am Robotics Innovation Center (RIC) des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) und verantwortet in dieser Funktion das Projekt EurEx seitens des Zuwendungsnehmers.

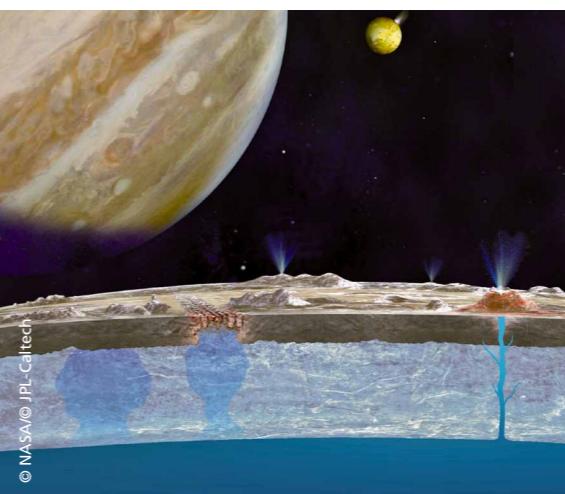
**Authors:** Dr Oliver Funke represents the DLR Space Administration as project manager in the 'EurEx – Europa Explorer' programme. Within the joint research project, he represents the research funders. Dr Ingo Scholz coordinates the funding of space robotics projects for the Robotics Innovation Center (RIC) at the German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI). In this position, he is responsible for EurEx and represents the side of the beneficiaries.

Wie kommt man an Wasserproben, die sich unter einer dutzende Kilometer dicken Eiskruste auf einem Himmelskörper befinden, der zwischen 588 und 967 Millionen Kilometer von unserer Erde entfernt ist? Eine Distanz, die jegliche direkte Steuerung der Mission unmöglich macht, weil ein Funksignal zum Jupitermond schon bis zu 30 Minuten unterwegs wäre. Ein mögliches Szenario: Eine Landeeinheit trägt ein Unterwasserfahrzeug – ein sogenanntes Autonomous Underwater Vehicle (AUV) – zum Ziel. Das AUV ist wiederum in einer Einschmelzsonde eingeschlossen. Diese Sonde dringt in Europas mächtigen Eispanzer ein. Nach dem Durchbruch in den Ozean setzt sie das AUV frei. Einmal ausgesetzt, ist der Unterwasserroboter vollständig auf sich alleine gestellt – Funkwellen werden durch Wasser fast vollständig absorbiert, und ein Kabel zur Übertragung von Energie oder Daten wäre mit der notwendigen Länge viel zu schwer. Die Einschmelzsonde stellt also sein Tor zur Außenwelt dar. Hierhin muss der Roboter jederzeit wieder zurückfinden, um seine Messergebnisse weiterzugeben und sich für die nächste Fahrt mit Energie versorgen zu können. Die Landeeinheit hingegen dient auf der Mondoberfläche als Basisstation: Sie hält die Kommunikation mit der Erde aufrecht und liefert die Energieversorgung für die Einschmelzsonde. Eine solche Raumfahrtmission ist allerdings sehr komplex. Sämtliche erforderlichen technologischen Grundlagen können nicht alleine in einem einzelnen Forschungsvorhaben erarbeitet werden. In dem über drei Jahre laufenden EurEx-Projekt konzentrieren sich die Untersuchungen deshalb auf die autonome Unterwasser-Navigation. Das Robotics Innovation Center (RIC) des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Bremen führt das Projekt im Rahmen einer Förderung des DLR Raumfahrtmanagements durch.

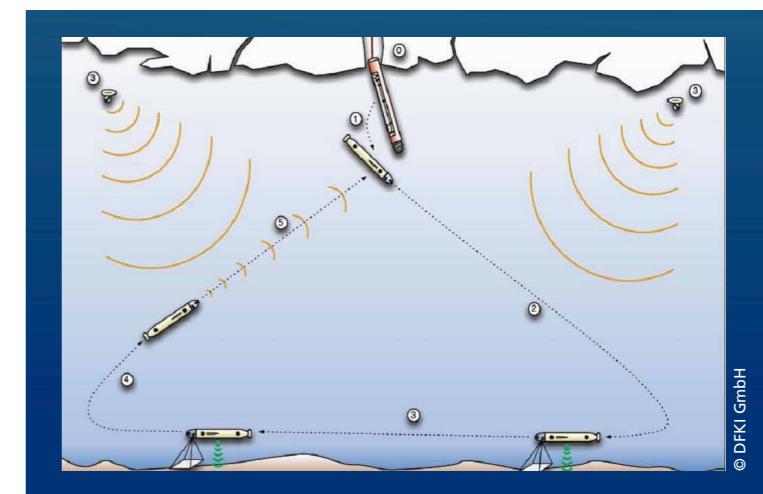
Yet, how can we get anywhere near taking water samples from under an ice shield that is dozens of kilometres thick, on a celestial body between 588 and 967 million kilometres away from our own planet? A distance that rules out any direct mission control because a radio signal takes 30 minutes to travel to the Jovian moon. Here is a possible scenario: a lander device carries a so-called AUV, or autonomous underwater vehicle, to the target area. The AUV itself is integrated into an ice-drill. The probe enters Europa's massive ice crust. After it has reached the ocean water below, it releases the AUV. Once free, the underwater robot is left to its own devices since radio waves are almost completely absorbed by water, and the length of cable that would have to be carried to transfer any energy or data would be far too heavy. Thus, the only connection with the outside world would be the ice drill. The robot has to find its way back to it any time, to hand over its harvest of data and to stock up on energy for its next trip. The lander serves as a base station on the moon's surface: it maintains communication with Earth and supplies the energy required by the underwater robot. It must be understood that such a space mission would be very complex indeed. None of the required technologies can be developed as a single research project. In the EurEx project's lifespan of three years, all investigations are therefore focused on autonomous underwater navigation. The Robotics Innovation Center (RIC) of the German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI) based in Bremen carries out the work with a research grant from the DLR Space Administration.

**Links:** Der Salzgeschmack eines Ozeans auf Europas Oberfläche – Wissenschaftler vermuten, dass Chlorsalze eingeschlossen in Blasen vom unterirdischen Ozean aufsteigen, die Eisschicht durchdringen und so an die Eisoberfläche Europas gelangen. Rechts: Schematische Darstellung des Missionenverlaufs in EurEx: Das AUV wird von der Einschmelzsonde ausgesetzt (1) und erforscht autonom den Meeresboden (2-4). Anschließend kehrt es zurück, um seine Daten zur Landeeinheit und anschließend zur Erde zu senden. Zusätzliche Bojen (3) erleichtern es dem AUV, über akustische Signale zurück zur Einschmelzsonde (5) zu finden.

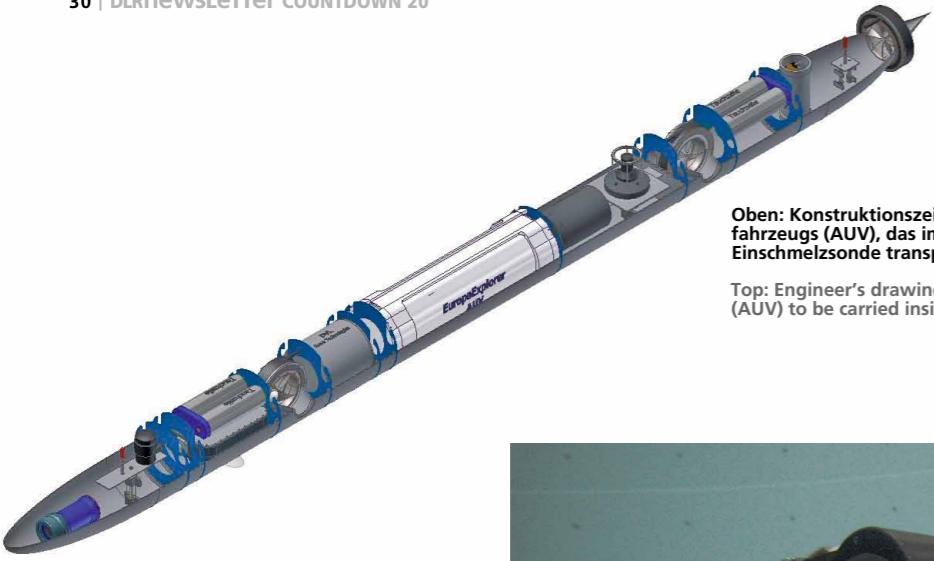
**Left:** A taste of salt on the surface of Europa – scientists assume that there may be chlorine salts trapped in bubbles rising from underground oceans, penetrating the ice sheet and reaching the ice surface. **Right:** Schematic diagram of the EurEx mission procedure: once released by the melting probe (1), the AUV sets off to explore the sea bottom autonomously (2-4). It subsequently returns to transfer its data to the lander and from there to Earth. Additionally released buoys (3) make it easier for the AUV to find its way back to the melting probe (5) using acoustic signals.



© NASA/JPL-Caltech



© DFKI GmbH



Oben: Konstruktionszeichnung des Autonomen Unterwasserfahrzeugs (AUV), das im Rahmen des EurEx-Projektes in der Einstichmelzsonde transportiert werden soll.

Top: Engineer's drawing of the Autonomous Underwater Vehicle (AUV) to be carried inside the EurEx melting probe.

Rechts: Das AUV „Dagon“ wurde im Rahmen des Förderprojekts „CUSLAM“ am DFKI RIC entwickelt. Einige Technologien werden im AUV im Zuge des EurEx-Projektes angewendet. Es wird auch für erste Experimente im EurEx-Vorhaben verwendet.

Right: An AUV called 'Dagon' was developed by scientists at the DFKI RIC under an earlier project, 'CUSLAM'. Some of its technologies will be applied in the AUV of the EurEx project. The Dagon vehicle will also be used in initial EurEx trials.

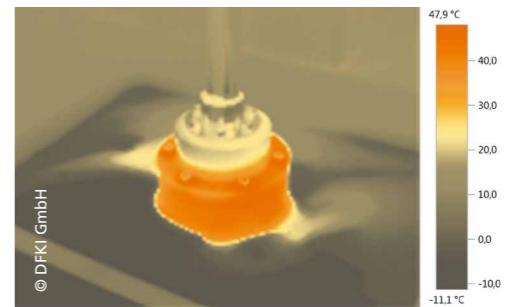
Das EurEx-Projekt sucht erstmals nach einem kombinierten und autonomen Navigationsverfahren für ein miniaturisiertes AUV. Dieses Unterwasserfahrzeug wird als Nutzlast zusammen mit einer speziell zugeschnittenen Einstichmelzsonde entworfen und gebaut. Beide Einheiten sollen dabei helfen, die Navigationstechnologie zu entwickeln, die für eine solche Europa-Mission benötigt werden. Ein praxisnaher Feldtest auf der Erde soll abschließend beweisen, dass mit den eingesetzten Technologien eine solche Mission prinzipiell möglich ist.

Nach fünf Monaten Projektlaufzeit haben die Wissenschaftler des DFKI RIC erste Konstruktionszeichnungen für die Einstichmelzsonde und das AUV erstellt, basierend auf bekannten Daten und eigenen Experimenten. Die Anforderung, das AUV innerhalb der Einstichmelzsonde zu befördern, konfrontiert die Ingenieure dabei mit ganz neuen Herausforderungen, die im Design berücksichtigt werden müssen. So steigt der Energiebedarf der Einstichmelzsonde mit ihrem Durchmesser quadratisch an, sodass es unerlässlich ist, sie so schmal wie möglich zu bauen. Um sich unter Wasser orientieren und damit autonom navigieren zu können, benötigt das AUV allerdings aufwendige Instrumente, die jedoch nur ein Minimum an Stauraum einnehmen dürfen. Das Ergebnis ist ein AUV mit lediglich 19 Zentimeter Durchmesser, dafür aber mit einer Länge von mehr als 2,5 Metern. Dieses wird passgenau in eine Einstichmelzsonde von wenig mehr als 20 Zentimeter Durchmesser eingefügt. Dabei sind allerdings noch viele Fragen zu klären, zum Beispiel wie das AUV sich von der Einstichmelzsonde abdocken kann oder mit welchen Mechanismen anschließend Sensoren oder Steuerflossen ausgeklappt werden können, um ihren Betrieb erst zu ermöglichen.

Die ungewöhnliche Form sowie das schwierige Einsatzgebiet tief unter Eis erfordern auch neue Konzepte für die Antriebstechnologie. So wurde für das AUV ein hybrides Antriebskonzept ausgewählt. Es ist einerseits in der Lage, sich aktiv über Schrauben in alle Richtungen zu bewegen, andererseits besitzt es eine Tauchzelle sowie Tiefenruder – eine Antriebsform, die sowohl ein energieeffizientes Auf- und Abtauchen ermöglicht als auch gleichzeitig eine Vorwärtsbewegung erzeugt. Parallel zur Konstruktion von Einstichmelzsonde und AUV arbeitet das EurEx-Team um den Projektleiter Marc Hildebrandt an der Software für



© DFKI GmbH



© DFKI GmbH

Experimente mit einem Schmelzkopf in den Laboren des DFKI RIC in Bremen zur Messung der Eindringgeschwindigkeit bei unterschiedlichem Energieaufwand und Gewicht.

Melting tip experiments conducted in the laboratories of DFKI RIC in Bremen to measure the rate of ice penetration by varying power inputs and weights.

die Navigationslösung und testet diese mit Hilfe bewährter Systeme wie dem AUV „Dagon“. Dabei stehen im Moment noch Experimente zur Genauigkeit und Verlässlichkeit der vielen verschiedenen Sensoren im Vordergrund: Akustische Sensoren wie das Doppler Velocity Log (DVL) messen die Geschwindigkeit über Grund beziehungsweise unter Eis. Mit Hilfe von Gyroskopen werden Lageänderungen registriert. Inertialmessgeräte stellen die Beschleunigung fest, und Stereokameras ermöglichen eine visuelle Navigation anhand von markanten Umgebungsmerkmalen: Dies können zum Beispiel Spalten und Eisverwerfungen an der Unterseite des Eispanzers sein, oder Felsformationen auf dem Grund des Ozeans. Die Lokalisierung mit Hilfe dieser unterschiedlichen Modalitäten zu beherrschen, ist für eine Mission auf dem Jupitermond Europa essentiell: Eine absolute Positionsbestimmung wie über GPS steht nicht zur Verfügung. Trotzdem muss das AUV aber jederzeit in der Lage sein, zurück zur Einstichmelzsonde zu finden.

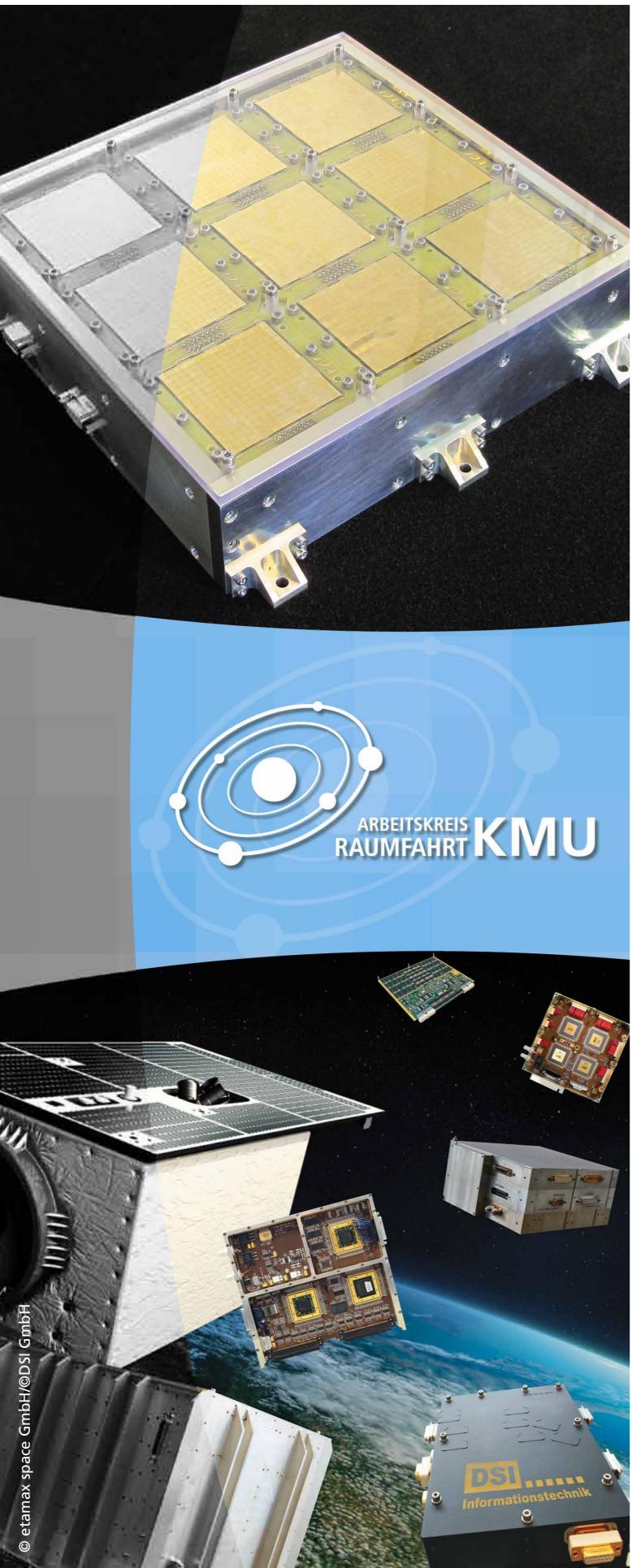
Um den Anforderungen des Explorations-Szenarios möglichst gerecht zu werden, wird das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in einem Unterauftrag die zu erwartenden Umgebungsbedingungen auf dem Jupitermond Europa bestimmen. Welche Temperaturen herrschen auf dem fernen Himmelskörper, auf, im und unter dem Eis? Mit welcher Strahlung muss man rechnen? Wie groß ist die Schwerkraft auf dem Trabanten? Wie ist das Eis beschaffen, das den Mond einhüllt? Wo könnte eine Forschungsmission am besten landen? Wo sind die Chancen am besten, den Ozean unter dem Eis zu erreichen? Welche Strömungen herrschen im Wasser unterhalb des Eises? Und schließlich: Welche Anforderungen ergeben sich daraus an die Konzeption der Einstichmelzsonde und der AUV-Nutzlast? Die Antworten auf diese Fragen werden so weit wie möglich beim Design des AUV und der Einstichmelzsonde berücksichtigt. Somit wird das EurEx-Projekt auch die Frage nach der Machbarkeit einer solchen Europa-Mission hinsichtlich der autonomen Exploration beantworten können. Eine Mission zu diesem Jupitermond rückt in greifbare Nähe: Der Start des „Jupiter Europa Orbiter (JEO)“ der NASA ist für das Jahr 2020 geplant, die Ankunft rund sechs Jahre später. Erstmals wird der geheimnisvolle Jupitermond Europa über einen längeren Zeitraum inspiziert. Mit veranschlagten 3,8 Milliarden Dollar dürfte JEO zur bislang teuersten Planetensonde avancieren. Und auch die Europäer wollen Europa näher untersuchen: JUICE ist die erste große Wissenschaftsmission des ESA-Programms „Cosmic Vision 2015–2025“. Die Sonde soll 2022 ins All starten und 2030 am Jupiter ankommen. Anschließend wird sie für mindestens drei Jahre detaillierte Beobachtungen auf dem größten Planeten unseres Sonnensystems sowie auf drei seiner größten Monde – Ganymed, Kalisto und Europa – durchführen.

Das Vorhaben EurEx ist nach „EnEx - Enceladus Explorer“ und „VaME - Valles Marineris Explorer“ das dritte Navigationsprojekt, das auf die Entwicklung eines auf drei unterschiedlichen und sehr speziellen Explorationszenarien zugeschnittenen, autonom arbeitenden Navigationsverfahrens ausgerichtet ist. Navigation als Schlüsseltechnologie soll neue und sehr anspruchsvolle Raumfahrtmissionen zur Erkundung der Planeten und Monde unseres Sonnensystems möglich machen. Diese neuen Projekte sollen erstmals Technologien erforschen, die eine gezielte Suche nach extraterrestrischem Leben in eben jenen Gebieten und Umgebungen möglich machen, die auch aus astrobiologischer Sicht als besonders interessant und vielversprechend gelten. Gerade diese Gebiete sind aber häufig mit bislang verfügbaren Methoden – wenn überhaupt – nur sehr schwer und auch nur mit hohem Risiko eines Verlusts der kompletten Mission zugänglich.

relative speed over ground or, respectively, under the ice shield. Using gyroscopes, the sensors register any change in position. Inertial measurement units measure the rate of acceleration, and stereo cameras permit 'driving by sight' using underwater landmarks for orientation. These could be ice crevices and warps on the lower surface of the ice, or rock formations on the ocean bottom. Using these various techniques for positioning the vehicle is crucial for a mission on Jupiter's moon Europa: a GPS-type approach to determine absolute positions is not available. Yet, the AUV must always be able to find its way back to the drill.

To meet the requirements of this exploration scenario as perfectly as possible, the Max Planck Institute for Solar System Research has been asked, as a sub-assignment, to determine the environmental conditions to be expected on the Jovian moon Europa. What are the temperatures on the faraway celestial body on, within, and below the ice? What radiation levels must be expected? What is the moon's gravitation? What are the characteristics of the ice that covers it? Where would be the best place for the probe to land? Where would be the best place from which to reach the water below the ice? What currents are there beneath the ice? And finally: What does all this mean in terms of design specifications for the ice drill and AUV payload section? Once available, the answers will be considered in the design of the AUV and the ice drill where possible. This is how, finally, the EurEx project will be in a position to answer the question concerning the overall feasibility of an autonomous exploration mission on Europa. Our ability to send a mission to this Jovian moon is moving within close reach. NASA is planning to launch its Jupiter Europa Orbiter (JEO) in 2020; arriving some six years later. Then, for the first time, the mysterious Jovian moon will be closely inspected over an extended period. A projected cost of 3.8 billion dollars will put JEO on the position of the most expensive interplanetary space probe so far. And the Europeans, too, are keen to know more about Europa. JUICE will be the first major science mission under ESA's 'Cosmic Vision 2015–2025' programme. The launch is scheduled for 2022 and to arrive at Jupiter in 2030. Once arrived, it is to make detailed observations on the largest planet in our solar system as well as three of its moons – Ganymede, Callisto, and Europa.

Following 'EnEx - Enceladus Explorer' and 'VaME - Valles Marineris Explorer', EurEx is Germany's third navigation project to provide an essential key technology for the search for extraterrestrial life. Each of them aims to develop an autonomously operating navigation method for three different and very specific exploration scenarios. Navigation is a key technology that will enable us to embark on new and highly sophisticated space missions to investigate the planets and moons of our solar system. The projects are to look into technologies that permit humanity to look specifically for life in their target areas, which are seen as particularly interesting and promising from an astrobiological point of view. These areas, unfortunately, are not accessible with present technologies, and even if they were, reaching them would be extremely difficult and involve a high risk of losing the complete mission.



## KMU

### Wegbereiter der Raumfahrt Teil 4: etamax und DSI

Von Holger Sdunnus und Boris Penné

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 – den sogenannten KMU – wären diese Missionen nicht möglich, denn sie sind wichtige und unentbehrliche Zulieferer für Hauptauftragnehmer. Der Arbeitskreis Raumfahrt KMU (AKRK) 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 etamax space GmbH und DSI Informationstechnik GmbH.

### SMEs

#### Trailblazers in the Space Sector Part 4: etamax and DSI

By Holger Sdunnus and Boris Penné

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 self-help' 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 etamax space GmbH and DSI Informationstechnik GmbH.



Autoren: **Holger Sdunnus** ist Geschäftsführer des Unternehmens etamax space GmbH. Er hat die Firma gemeinsam mit Ralf Westerkamp im Jahr 1997 gegründet. **Boris Penné** ist seit 19 Jahren für die Raumfahrt tätig und seit 2011 Geschäftsführer des mittelständischen Unternehmens DSI-IT. Authors: **Holger Sdunnus** is CEO of the etamax space GmbH. In 1997, he and Ralf Westerkamp founded this enterprise. **Boris Penné has been staying for 19 years** in the space business. In 2011, he became CEO of the medium-sized company DSI-IT.

### Securing spaceflight

„Sichere Software“ und „Sichere Systeme“ – das ist das Leitmotiv des interdisziplinären Teams von derzeit 45 Mitarbeitern der etamax space GmbH an den Standorten Braunschweig und Darmstadt. Bereits bei Gründung des Unternehmens durch die heutigen Geschäftsführer Holger Sdunnus und Ralf Westerkamp im Jahr 1997 spielten die Betrachtung von Risikoszenarien aufgrund von Weltraumschrott – dem sogenannten Space Debris – und Weltraumwetter sowie die Erstellung sicherer Software nach Raumfahrtstandards eine wichtige Rolle. Heute ist das Unternehmen – getreu dem Firmenmotto „Safety wherever you go“ – seit vielen Jahren in Projekten mit sicherheitsrelevantem Hintergrund für Kunden aus den Branchen Raumfahrt, Avionik, Bahnwesen und Automotive tätig. Risikoanalysen für Satellitenmissionen der europäischen Raumfahrtindustrie zählen seit Gründung der Firma zu einem wichtigen Standbein der Firma. Die Modellierung der Space Debris Umgebung durch computergestützte Simulationen gehört ebenso dazu wie die Bereitstellung von Systemen zur Einschätzung und Analyse des Weltraumwetters.

Zu den Systemen, die in den letzten Jahren in der Verantwortung von etamax space entstanden sind, gehören auch ESABASE2 und SWENET. ESABASE2 dient der Modellierung und Bewertung der Umgebungsbedingungen (zum Beispiel Space Debris und Meteoriten oder atomarer Sauerstoff) eines Satelliten unter Berücksichtigung seiner Geometrie und seiner Kinematik. Ferner erlaubt ESABASE2 das Design von Schutzmaßnahmen, zum Beispiel gegen Einschläge von Space Debris oder Meteoriten. SWENET ist eine zentrale Ressource für die Analyse von Weltraumwetter-Daten und Services. Beide Systeme – ESABASE2 und SWENET – haben sich in der europäischen Raumfahrt als Referenztools behauptet. Dank seiner Erfahrung in diesen Bereichen erstellte das Unternehmen im Auftrag des DLR den „Space Debris End-to-End Service“ – einen Prozess zur ingeniermäßigen Bearbeitung der Space-Debris-Problematik im Design von Raumfahrtmissionen. etamax-Mitarbeiter repräsentieren das DLR im Interagency Debris Coordination Committee (IADC) – dem Forum der internationalen Raumfahrtagenturen zur Diskussion des Space-Debris-Problems.

etamax space ist auch im ESA-Programm „Space Situational Awareness“ aktiv, wo Dienste wie der „Re-Entry Service“ zur Vorhersage von Wiedereintrittsszenarien entwickelt wurden. In Zusammenarbeit mit Instituten der Universität Braunschweig und dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF konzipiert die Firma den Impact Detektor AIDA. Er wurde in seinen verschiedenen Entwicklungsstufen maßgeblich vom DLR begleitet und unterstützt. Der Detektor soll Einschlagsdaten von Weltraumschrott in einer Datenbank speichern. Durch Berechnung und Analyse dieser Daten soll das Modell von der Ausbreitung der Trümmerwolken verbessert werden.

Neben dem Thema „Sichere Systeme“ ist der Bereich „Sichere Software“ das zweite große Geschäftsfeld des Unternehmens. Gerade in der Raumfahrt ist die Qualitätssicherung von Software durch struk-

ESABASE2 und SWENET are two of the systems in the development of which etamax space has been responsibly involved in recent years. ESABASE2 serves to model and assess conditions in the environment of a satellite (e.g. space debris, meteorites, and nuclear oxygen), taking into account the satellite's geometry and kinematics. Furthermore, ESABASE2 permits designing measures to protect a satellite from space debris or meteorite impacts. SWENET is a key resource for analysing space weather data and services. Both systems, ESABASE2 and SWENET, are now firmly established as reference tools in their respective segment of European space activities. Because of its experience in these fields, the company was commissioned by DLR to develop the 'Space Debris End-to-End Service', a procedure for systematically considering space debris problems in the engineering phase of space missions. Employees of etamax represent DLR on the Interagency Debris Coordination Committee (IADC), the international space agency discussion forum on the space debris issue.

etamax space is also actively involved in ESA's 'Space Situational Awareness' programme, for which the company has, for example, devised a 're-entry service' for predicting re-entry scenarios. In collaboration with institutes of Braunschweig University and the Fraunhofer Institute of Applied Optics and Precision Engineering (IOF) the company is developing the concept of the AIDA impact detector, with significant guidance and support by DLR in all stages of development. The detector will file all space debris impact data in a database. A mathematical analysis of this data will continuously improve the model simulating the spread of debris clouds.

The company's second major business field besides 'safe systems' is 'safe software'. Assuring the quality of software by means of structured tests is of great importance, particularly in a spaceflight context. Acting on behalf of German system owners, etamax space is responsible for the quality of on-board software. The company's work includes developing test environments, defining test cases, and documenting tests in conformance with aerospace standards. Relatively early on, the company used its aerospace experience to

turiertes Testen ein wichtiges Thema. etamax space nimmt seine Rolle als Verantwortlicher für die Qualität zum Beispiel von On-Board-Software auch für deutsche Systemverantwortliche war. Das Erstellen von Testumgebungen, die Definition von Testfällen sowie die Dokumentation von Tests gehören dabei entsprechend der raumfahrtrelevanten Normen zum Arbeitsumfang der Firma. Aus den Erfahrungen in der Raumfahrt heraus gelang dem Unternehmen früh der Sprung in andere Branchen. Vor dem Hintergrund der Qualitätssicherung für sicherheitsrelevante Software und Systeme zeichnet etamax seit vielen Jahren für Systeme wie den Bordrechner des Transrapid, für Fahrerassistenzsysteme wie den Einparkassistenten in Autos oder für elektronische Systeme in der Avionik verantwortlich. Das etamax Test Competence Center TCC stellt seinen Kunden als unabhängige und eigenständige Serviceeinrichtung die nötigen Mittel zur Sicherung und Verbesserung der Qualität ihrer Software und Systeme zur Verfügung.

#### DSI – IT für den Weltraumeinsatz

Die DSI Informationstechnik GmbH aus Bremen entwickelt seit 1997 Highspeed-Elektronik mit ihren fast 50 Experten in der Elektronik, Software, Projektleitung und Produktsicherung. Das Unternehmen ist auf das Design digitaler On-Board Datenverarbeitungssysteme für die Luft- und Raumfahrt spezialisiert, die signifikante Ressourceneinsparungen bezüglich Energieverbrauch, Masse und Volumen erreichen. Die hochintegrierten Ansätze ermöglichen eine schnelle Datenverarbeitung bei hoher Zuverlässigkeit, zum Beispiel durch den Einsatz neuester, qualifizierter logischer Schaltkreise wie den Field Programmable Gate Arrays (FPGA) und anwendungsorientierten Schaltungen wie den Application-Specific Integrated Circuits (ASIC).

Das Unternehmen konzipiert, entwickelt und fertigt schwerpunktmäßig Kryptographiesysteme, On-Board-Computer, Massenspeicher und digitale Nutzdatenprozessoren für den Weltraumeinsatz und auch zugehörige elektrische Boden(test)systeme. Die Firma ist als Zulieferer integraler Bestandteil der Wertschöpfungskette von anspruchsvollen Weltraummissionen für Organisationen wie DLR und ESA sowie Unternehmen wie EADS, Thales Alenia Space und OHB.

DSI verfügt über alle Einrichtungen und Sicherheitsmaßnahmen, die eine Entwicklung von zertifizierten, kryptographischen und weltraumgestützten Systemen ermöglicht. Für den Entwurf dieser Systeme, die extremen Umweltbedingungen wie hohen mechanischen Vibrationen, großen Temperaturschwankungen, starker kosmischer Strahlung und dem Vakuum langjährig standhalten müssen, werden spezielle CAD- und Analyse-Tools verwendet. Zusätzlich erfolgt im frühen Konzeptstadium die Definition von Tests unter Berücksichtigung der späteren Betriebsbedingungen, damit im Laufe der Entwicklung und Herstellung die fehlerfreie Funktionalität anhand von Testläufen verifiziert werden kann. Für diesen Zweck sind die Laborräume mit modernen Messgeräten ausgestattet. Nach der Fertigung der Raumfahrtelektronik im hauseigenen Reinraum der Klasse ISO 7 erfolgen dann Tests in der Thermalkammer sowie Thermal-Vakuumkammer. Abschließende Vibrations- und EMC-Tests werden auch in Bremen durchgeführt – zum Beispiel im DLR Institut für Raumfahrt-

branch out into other industries. In the area of quality assurance for safety-critical software and systems, etamax has been responsible for many years for systems like the Transrapid on-board computer, intelligent parking assist systems for road vehicles, and electronic systems in avionics. The etamax Test Competence Centre (TCC), an independent and autonomous service institute, provides its customers with the means to assure and improve the quality of their software and systems.

#### DSI – IT for space

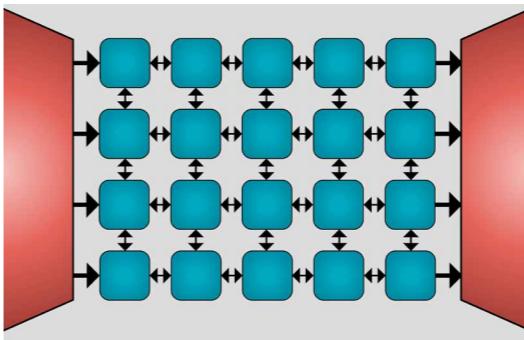
With its staff of almost 50 experts in electronics, software, project management, and product assurance, the Bremen-based company DSI Informationstechnik GmbH has been in the business of developing high-speed electronics since 1997. The company specialises in designing digital on-board data processing systems for aerospace applications with which considerable reductions can be realised in terms of power consumption, mass, and volume. Highly integrated designs permit rapid data processing combined with high reliability due to, for instance, the latest in qualified logic circuits like the Field Programmable Gate Array (FPGA) and application-oriented circuits like the Application-Specific Integrated Circuit (ASIC).

The company focuses on designing, developing, and manufacturing cryptographic security systems, on-board computers, mass memories, and digital data processors for use in space as well as related electric ground (test) systems. Supplying organisations like DLR and ESA as well as companies like EADS, Thales Alenia Space, and OHB, the company constitutes an integral link in the value chain of sophisticated space missions.

DSI has all the equipment and security features needed for developing certified cryptographic and space-based systems. The company uses special CAD and analytic tools in the design of these systems which, over many years, have to withstand extreme environmental conditions, including violent mechanical vibrations, wide ranging temperature fluctuations, intense cosmic radiation, and vacuum conditions. In addition, tests that reflect the systems' future operating conditions are defined early in the concept-formulation stage so that their functionality can be verified during development and production on the basis of test runs. For this purpose, DSI's laboratories are equipped with modern measuring devices. Electronic systems destined for space are manufactured in the company's own ISO 7-class clean room and subsequently tested in a thermal and a thermal-

**Die etamax space GmbH ist seit vielen Jahren in Projekten mit sicherheitsrelevantem Hintergrund für Kunden aus den Branchen Raumfahrt, Avionik, Bahnen und Automotive tätig.**

For many years, etamax space GmbH has been actively involved in numerous safety-related projects, serving customers from the fields of aeronautics, avionics, rail transport, and automotive engineering.



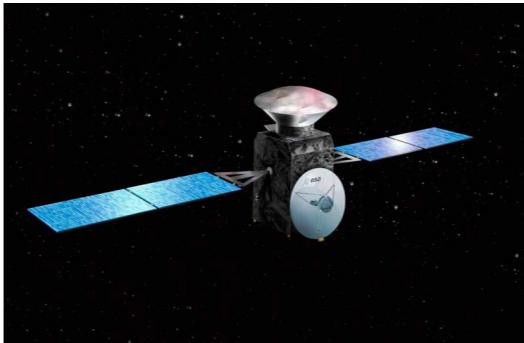
© DSI GmbH

#### Forschung

Studien und Entwicklungen im internationalen KMU Verbund - zum Beispiel: Satellitenkommunikation (DATARAIN), ManyCore-Prozessoren (QI2S) und Gebäudem Managementsysteme (BASIS).

#### Research

Studies and developments within an international SME network; examples: satellite communication (DATARAIN), ManyCore processors (QI2S), and building management systems (BASIS)



© ESA

#### Massenspeicher

DRAM- und Flash-basierte Speicher-technologien mit schneller Datenkompression und -formatierung zur Erreichung hoher Datenraten (ExoMars, EnMAP)

#### Mass memories

DRAM and flash-based memory technologies featuring rapid data compression and formatting for high data rates (ExoMars, EnMAP)

systeme oder beim Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM). Mit diesem Ansatz erreichte DSI bis dato über 30 akkumulierte, fehlerfreie In-Orbit-Jahre mit unterschiedlichen Systemen im Weltraum.

Da die hohen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt nur mit Forschungs- und Entwicklungsaufwand zu erfüllen sind, beteiligt sich DSI an internationalen Forschungsprojekten. Ergänzend ist DSI im universitären Bereich aktiv tätig – von Bremen über Braunschweig bis nach Berlin. Diese intensive und konstruktive Zusammenarbeit mit Projekt-partnern aus Wissenschaft und Industrie ermöglicht die Entstehung neuer Methoden und Ansätze und sorgt für einen schnellen Transfer von Forschungsergebnissen in Anwendungen für den wissenschaftlichen, kommerziellen und sicherheitsrelevanten Bedarf.

DSI ist im Hochtechnologiestandort Airport-Stadt in direkter Nachbarschaft zur Hochschule Bremen angesiedelt und beschäftigt studentische Hilfskräfte und betreut studentische Abschlussarbeiten in den Studiengängen Elektrotechnik, Informatik und Luft- und Raumfahrttechnik. Aktuell wird zum Beispiel das Spacelions-Team der TU Braunschweig beim Robotik-Wettbewerb "SpaceBot Cup 2103" des DLR Raumfahrtmanagements unterstützt. Darüber hinaus beteiligt sich die Firma am Girls & Boys Day, um Kindern und Jugendlichen Berufe der Luft- und Raumfahrt vorzustellen. Das geweckte Interesse kann später als Auszubildender zum Fachinformatiker für Systemintegration direkt im Ausbildungsbetrieb DSI vertieft werden. Das Unternehmen expandiert stetig und ist deshalb stets auf der Suche nach neuen motivierten Mitarbeitern für das internationale Expertenteam.



© Bundesverteidigungsministerium

#### Kryptographische Systeme

Verschlüsselte Datenverbindungen zur Flugeinheit inklusive Authentifizierung zum Schutz zivilen Eigentums und für sicherheitsrelevante Anwendungen (SAR-Lupe, EuroHawk).

#### Cryptographic systems

Encrypted data links with on-board units including authentication for the protection of civil property and for security-relevant applications (SAR-Lupe, EuroHawk)



© DLR

#### Computer

LEON-2 und -3 On-Board Computer zur Kontrolle der Subsysteme inklusive dedizierter Schnittstellenplatten zur flexiblen und modularen Anbindung (MASCOT, Proba-V, TET, EnMAP).

#### Computers

LEON 2 and 3 on-board computers to control sub-systems including dedicated interface boards for flexible and modular communication (MASCOT, Proba-V, TET, EnMAP).

vacuum chamber. Any concluding vibration and EMC tests are also carried out in Bremen by, for example, the DLR Institute of Space Systems or the Centre for Applied Space Technology and Micro-gravitation (ZARM). This approach has enabled DSI to accumulate more than 30 fault-free in-orbit years with various systems in space.

As the stringent requirements applicable in the aerospace sector can be met only by investing in research and development, DSI is actively engaged in international research projects. Moreover, DSI co-operates in research projects and gives lectures at universities in Bremen, Braunschweig, and Berlin. The company's intense and constructive collaboration with project partners from science and industry enables it to develop innovative methods and approaches and thus speed up the transfer of research results to applications for scientific, commercial, and security-relevant uses.

Domiciled in the immediate vicinity of Hochschule Bremen at Airport City, a high-tech industrial estate, DSI employs students as assistants while at the same time supporting them with their exam papers in electrical engineering, IT, and aerospace technology. At present, for example, the company supports the SpaceLions team of Braunschweig TU in their attempt to score in DLR's SpaceBot Cup 2013 contest. The company is also actively involved in girls' and boys' days where children and adolescents are introduced to occupations in the aerospace sector. The interest thus awakened may lead to future recruitments, when the young people are trained as IT specialists in system integration at DSI itself. As it steadily expands, the company is always on the look-out for new, motivated members for its international team of experts.



# Die Geschichte der ESA-Ministerratskonferenzen

## Teil 1: Von 1962 bis 1995

Von Dr. Niklas Reinke

**Vor mehr als 50 Jahren wurden zwei Weltraumorganisationen ins Leben gerufen, die 1962 den Grundstein für die heute eng verwobene europäische Raumfahrt legten: die wissenschaftlich ausgerichtete European Space Research Organisation (ESRO) und die auf den Bau einer gemeinsamen Trägerrakete zielende European Launcher Development Organisation (ELDO). Früh zeigte sich, dass regelmäßige politische und programmatiche Abstimmungen auf höchster Ebene unverzichtbar für den europäischen Erfolg in der Raumfahrt waren.**

## The History of ESA Ministerial Conferences

### Part 1: From 1962 until 1995

By Dr Niklas Reinke

In 1962, a little more than 50 years ago, two newly-founded space organisations laid the groundwork for the entire complex fabric of today's European space activities: the science-oriented European Space Research Organisation (ESRO), and the European Launcher Development Organisation (ELDO) which planned to build a joint launch vehicle. It soon became clear that regular political and programmatic coordination at the top level was indispensable for the success of any European spaceflight effort.

Erster Start einer Ariane-Rakete am Weihnachtsabend des Jahres 1979: Die Ariane-1 wurde konstruiert, um zwei Telekommunikationssatelliten auf einmal in den Orbit zu bringen. Nachdem die Größe der Satelliten in den folgenden Jahren immer weiter anstieg, wurde Ariane-1 von den stärkeren Ariane-2 und -3 abgelöst. Insgesamt starteten zwischen 1979 und 1986 elf Ariane-1-Raketen ins Weltall.

First time ever: on Christmas Eve 1979, the very first Ariane launcher took off into space. Ariane-1 was built to carry two telecommunications satellites into orbit simultaneously. With the size of satellites continually growing in the years that followed, Ariane-1 was replaced by its more powerful successors, Ariane-2 and -3. A total of eleven Ariane-1 rockets were launched between 1979 and 1986. (ESA)



Autor: **Dr. Niklas Reinke** ist Politikwissenschaftler und Historiker. Von 2004 bis 2009 leitete er die Öffentlichkeitsarbeit des DLR Raumfahrtmanagements. Seit 2013 leitet er das DLR-Büro in Tokio. Weiterhin vertritt er das DLR im IAA Committee on History.

Author: **Dr Niklas Reinke** is a political scientist and a historian. From 2004 to 2009, he headed the DLR Space Administration's Public Relations department. Since 2013, he has been heading the DLR office in Tokyo. Furthermore, he represents DLR at the IAA Committee on History.

In Europas Weltraumprogrammen herrschte Ende der 1960er-Jahre ein geordnetes Durcheinander. Mit den neuen Organisationen war es den West-Europäern zwar gelungen, Kosten und Programme für das neue Gebiet der Raumfahrt zu bündeln und den europäischen Einigungsgedanken durch praktische Zusammenarbeit zu stärken. Zu einer gemeinsamen Raumfahrtspolitik hatte man hingegen nicht gefunden. Getrennte inhaltliche Interessen, gänzlich verschiedene Entscheidungsstrukturen und gravierende Unterschiede im Erfolg der durchgeführten Projekte von ESRO und ELDO erschwerten ein ganzheitliches Konzept. Dieses wurde aufgrund der steigenden Kosten und des kommerziellen Nutzens der Raumfahrt aber immer dringlicher.

Um ein einheitliches Forum für sämtliche Belange der europäischen Raumfahrt zu schaffen, trat im Dezember 1966 die European Space Conference (ESC) erstmals auf Ministerebene zusammen. Sie erwies sich bei den zahlreichen Krisen im Programm der EUROPA-Rakete als zweckmäßige Einrichtung. Möglich wurde sie allerdings erst, nachdem die Argumente, die seinerzeit zur getrennten Gründung von ESRO und ELDO geführt hatten, obsolet geworden waren: Militärstrategische Gedanken verband 1966 kein Mitgliedsland der ELDO mehr mit dem Bau einer Trägerrakete, allenfalls noch Frankreich.

Besonders die Ergebnisse der dritten ESC in Bad Godesberg vom 12. bis 14. November 1968 hatten die Notwendigkeit einer regelmäßigen Zusammenkunft der obersten Entscheidungsträger – der verantwortlichen Minister – unter Beweis gestellt. Denn erst ihnen gelang es, den Bereich der Anwendungssatelliten in das Programm der ESRO zu integrieren. In Bad Godesberg wurde zudem die Zusammenführung von ESRO und ELDO erwogen. Um die Schwierigkeiten der Vergangenheit künftig zu vermeiden, sollten sich die Mitgliedstaaten dieser Einheitsorganisation obligatorisch an einem Forschungs- und Anwendungsprogramm sowie den operationellen Kosten beteiligen. Die Mitarbeit bei anderen Vorhaben, etwa dem Raketen- oder Anwendungsprogramm, sollte fakultativ sein.

Die Europa 1-Rakete war die erste einer Serie europäischer Trägerraketen aus den 1960er- und 70er-Jahren. Testflüge starteten in Woomera (Australien) ab dem Jahr 1970.

Europa-1 was the first of a series of European launchers built during the 1960s and 70s. It was developed by ELDO. Test flights from Woomera, Australia, began in 1970.



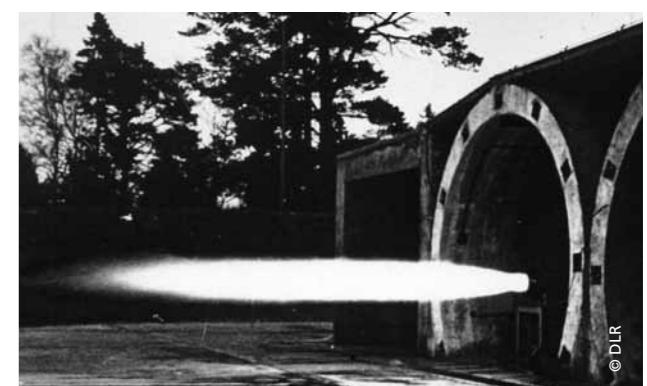
In the late 1960s, Europe's space programmes were in a state of organised chaos. Although, by setting up these new organisations, Western Europeans had managed to bundle the cost and programmes of their new activity, spaceflight, and to bolster the idea of a united Europe by promoting practical cooperation, a proper common space policy was a long way out of sight. Divided thematic interests, entirely disparate decision-making structures, and serious differences in the respective success of ESRO and ELDO projects made it difficult to agree on a single, integrated concept. Yet, developing such a concept became more and more pressing in view of the rising costs and the emerging commercial space interests.

To create a single forum for all European space interests, the European Space Conference (ESC) held its first meeting at ministerial level in 1966. The ESC soon proved to be a helpful institution during the numerous crises that shook the EUROPA rocket programme at the time. It only came into existence, however, when the arguments that had originally led to the separate foundation of ESRO and ELDO had become obsolete: by 1966, all ELDO member states had given up their earlier military strategic ideas in connection with the construction of a launch vehicle, except, possibly, France.

It was the results of the third ESC in Bad Godesberg on November 12 until 14, 1968 that demonstrated the need for regular meetings of the top decision-makers, i.e. the ministers in charge, for only they would be able to integrate all the satellite applications into the ESRO programme successfully. The first deliberations concerning a possible merger between ESRO and ELDO also took place at the Bad Godesberg conference. To avoid a re-occurrence of the problems of the past, it was found that there needed to be a rule obliging member states of any future united organisation to join a mandatory research and application programme and contribute to its operating costs. Participation in other projects such as, for instance, the rocket or application programme, was to be voluntary.

Deutscher Raketenprüfstand in Trauen im Jahr 1966: Testlauf der Oberstufe der Europa-Rakete in vertikaler Lage.

German rocket test facility at Trauen, 1966. The upper stage of the Europa launcher, being tested in a vertical position.



Diese Überlegungen führten 1975 zum Zusammenschluss von ESRO, ELDO und der europäischen Telekommunikationskonferenz CETS zur Europäischen Weltraumorganisation ESA. Ihr höchstes Entscheidungsgremium wurde der ESA-Ministerrat, ohne den die neue Organisation lange Zeit auszukommen schien. Nur am 14. und 15. Februar 1977 trat er in Paris unter anderem zur Finanzierung des Weltraumbahnhofs Kourou, eines europäischen Kommunikationssatelliten und der Weiterentwicklung der Meteosat-Wettersatelliten zusammen, dann acht Jahre lang nicht mehr. Die gemeinschaftliche Raumfahrt hatte sich mit ihren Inhalten und Strukturen gefunden. Doch in den 1980er-Jahren begannen sich die europäischen Entscheidungsprozesse wieder zu verstaatlichen. Ursache hierfür waren industrie-politisch motivierte Differenzen zwischen den großen Mitgliedstaaten. Dies veranlasste den deutschen ESA-Generalsekretär Prof. Reimar Lüst zu dem Vorschlag, den ESA-Ministerrat künftig verstärkt in die Beschlussfindung miteinzubeziehen. In diesem Rahmen fielen am 30. und 31. Januar 1985 in Rom die wichtigsten programmatischen Entscheidungen für die europäische Raumfahrt der kommenden 30 Jahre.

#### Rom 1985: Ariane 5, Raumstation und neues Wissenschaftsprogramm

In Rom beschloss der ESA-Ministerrat das umfangreichste Programm in der Geschichte der europäischen Raumfahrt. Es umfasste das neue Wissenschaftsprogramm „Horizont 2000“ sowie die großen Infrastrukturprogramme Ariane-5 (Schwerträger) und Columbus (Beteiligung an der zunächst westlichen Raumstation). Ihr Ziel war es, Europa auch in der bemannten Raumfahrt autonom zu machen. Das Columbus-Programm sollte hierfür aus einem fest mit der Kernstation verbundenen Modul, einem zeitweilig bemannten, freifliegenden Labor, einem Datenrelaisatelliten sowie mindestens einer polaren, unbemannten Forschungsplattform bestehen. Zudem beschlossen die Minister, die Machbarkeit des von Frankreich vorgeschlagenen bemannten Raumgleiters Hermes, eine Art Mini Space Shuttle, zu untersuchen.

Besonders dramatisch stand es Anfang der 1980er-Jahre um das wissenschaftliche Programm der ESA. Seit einigen Jahren war offenkundig geworden, dass sich die Organisation hier nicht länger einen Schrumpfkurs würde leisten dürfen, wenn sie den Zusammenhalt der kleineren Staaten mit den großen gewährleisten wollte. Hierzu gelang es Lüst in Rom, eine jährliche Erhöhung des Wissenschaftsprogramms um real fünf Prozent durchzusetzen – die erste Erhöhung des Wissenschaftsbudgets seit 15 Jahren. „Horizont 2000“ stärkte die ESA sowohl gegenüber der europäischen Wissenschaftsgemeinschaft als auch gegenüber den USA, da sie nun mit einem langfristigen, umfassenden und selbständigen Wissenschaftsprogramm aufwarten konnte.

Am 9. und 10. November 1987 bestätigte der Ministerrat in Den Haag die Beschlüsse von Rom. Frankreich hatte es verstanden, die Entscheidungen für die Fortsetzungen der Programme Columbus und Hermes, von dem zwei Stück gebaut werden sollten, miteinander zu verknüpfen. Auch in Deutschland wurde dies aus übergeordneten politischen Gründen nun ebenfalls favorisiert: Bundesaußenminister Hans-Dietrich Genscher war daran gelegen, seine Ostpolitik der Entspannung fortzusetzen. Dafür brauchte er wohlgesonnene Partner im Westen – insbesondere die USA und Frankreich. Er betrachtete Weltraumpolitik selbst als wichtiges Element einer Annäherung von Ost und West, weshalb sich Europa hier breiter aufstellen sollte. Aufgrund der sich seit Rom verdoppelten Kosten für Ariane-5, Columbus und Hermes, Großbritanniens Rückzug aus den Infrastrukturprogrammen der ESA sowie das durch die Challenger-Katastrophe von 1986 ohnehin in Verzug geratene amerikanische Raumfahrtprogramm streckte der ESA-Ministerrat jedoch den Zeitrahmen für die europäischen Großvorhaben.

#### Die 1990er-Jahre: Neuausrichtung der internationalen Raumfahrt

Nach dem Fall der Berliner Mauer hieß das neue wirtschaftspolitische Credo „Globalisierung“. Hierfür war die Raumfahrt ein technologischer Wegbereiter, doch erst nach der Überwindung des ideologischen Systemwettstreits ließ sie sich auch in der Raumfahrt selbst verwirklichen. Hierfür bedurfte es konzeptionelle Neuausrichtungen aller beteiligten Staaten.

It was these deliberations that, in 1975, led to the merger of ESRO, ELDO, and the European Telecommunications Conference, CETS, to form the European Space Agency, ESA. Its supreme decision-making body was to be the ESA Ministerial Council, a body that, as it appeared for a long time, the new organisation could well do without. It convened only once, in February 1977 in Paris, to discuss amongst other topics the funding of the spaceport in Kourou, of a European communications satellite, and the further development of Meteosat, the weather satellite, after which there were no further meetings for eight years. European spaceflight in terms of contents and structures had come into being. In the 1980s, however, decision-making processes in Europe began to be re-nationalised. The cause for this was the emergence of industrial-policy-motivated disagreements between the large member states. As a reaction, the then ESA Secretary-General Professor Reimar Lüst proposed to include the ESA Ministerial Council more often in future decisions. It was in this context that, in Rome on January 3 and 31, 1985, some of the most important programmatic decisions were taken that set the course for European space activities for the following 30 years.

#### Rome 1985: Ariane 5, a space station, and a new science programme

In Rome, the ESA Ministerial Council adopted the most extensive programme in the history of European spaceflight. It included the new science programme, ‘Horizon 2000’ as well as the big infrastructure programmes relating to Ariane-5 (heavy launcher) and Columbus (Europe’s contribution to what started off as a purely ‘Western’ space station). The aim of these programmes was to put Europe on its own feet also in terms of human spaceflight. The Columbus programme was to consist of a permanently-docked module, a free-floating research laboratory, which was to be manned part of the time, and at least one polar, unmanned platform. Ministers also adopted a plan to study the feasibility of the space plane proposed by France, Hermes, a kind of miniature space shuttle.

ESA’s science programme in the early 1980s went through a particularly dramatic situation. It had been known for a number of years that the organisation could no longer afford to pursue a policy of minimalism if it wanted to ensure coherence between the smaller and larger member states. Addressing this issue in Rome, Lüst managed to have the funding for the science programme increased by 5 per cent in real terms – the first budget increase in 15 years. ‘Horizon 2000’ strengthened ESA’s position in the eyes of the European science community as well as vis-à-vis the United States, given that it now had its own long-term, fully-fledged, independent science programme to show to the world.

On November 9 and 10, 1987, the Ministerial Council at The Hague confirmed the resolutions adopted in Rome. France had managed to combine the decisions on a continuation of the two programmes, Columbus and Hermes, under which two units were to be built, into one. For a number of reasons of overriding political importance, this approach was favoured by Germany, too. Foreign Secretary Hans-Dietrich Genscher was intent on continuing with his Ostpolitik as part of the German government’s détente policy. He therefore needed benevolent partners in the West – the USA and France in particular. To him, space policy constituted an important element of a rapprochement between East and West, which is why it was felt that Europe should take a broader stance. However, given that the costs for Ariane-5 and Hermes had virtually doubled since the Rome conference, and that the UK had decided to opt out of ESA’s infrastructure programme, and that the US space programme had received a severe setback in the wake of the 1986 Challenger disaster, the ESA Ministerial Council decided that the timeframe for the large-scale project needed to be extended.

#### The 1990s: Re-orientation of international spaceflight

The new economic-policy credo that emerged after the fall of the Berlin wall was ‘globalisation’. Space was at the forefront of this development, but it was not until the ideological competition of systems had finally been overcome that it could be properly pursued by the space industry. The change demanded a conceptual re-orientation of all countries involved.



Links: Prof. Reimar Lüst (\* 25. März 1923 in Barmen) ist ein deutscher Astrophysiker und übte von 1984 bis 1990 das Amt des dritten ESA Generaldirektors aus. Rechts: Bundeskanzler Dr. Helmut Kohl informiert sich zusammen mit Bundesforschungsminister Dr. Jürgen Rüttgers (m.) am 1. Juli 1996 bei einem DLR-Besuch in Köln bei dem damaligen DLR-Vorstandsvorsitzenden Prof. Walter Kröll (r.) über Forschungsprojekte in der Raumfahrt.

Left: Prof. Reimar Lüst (\*March 25, 1923 in Barmen) is a German astrophysicist and science manager. From 1984 until 1990, he was ESA’s third Director-General. Right: Federal Chancellor Dr Helmut Kohl together with Research Minister Dr Jürgen Rüttgers (centre). On the occasion of a visit to DLR Cologne, they spoke with the former Director of DLR, Prof. Walter Kröll (right) on July 1, 1996, to inform themselves about ongoing space research projects.



Vom 18. bis 20. November 1991 trafen sich die ESA-Minister in München. Hermes hatte den Kostenrahmen um 41 Prozent überschritten und war auf bestem Wege, nur noch Nutzlasten unbemannt befördern zu können. Deutschland hätte das Programm gern beendet, doch borgte man sich 100 Millionen D-Mark von der Industrie, um weitere Studienphasen von Hermes, Columbus sowie des Datenrelaisystems zu finanzieren. Jetzt sollte allerdings nur noch ein Raumgleiter gebaut werden. Neben den Infrastrukturprogrammen, die meist den Schwerpunkt im ESA-Ministerrat bildeten, wurde mit der Erdbeobachtung und Umweltforschung ein neuer wissenschaftlicher Schwerpunkt vereinbart. Auf diesen Kurs hatten sich Bundeskanzler Dr. Helmut Kohl, der das „hohe politische Gut der europäischen Weltraumzusammenarbeit“ zur Chef-Sache gemacht hatte und der französische Staatspräsident François Mitterrand vor der Konferenz verständigt. Kurz vor dem bedeutenden Gipfel der Europäischen Gemeinschaft (EG) in Maastricht, der am 9. Dezember 1991 stattfand, demonstrierten beide Geschlossenheit.

Mit der Ankündigung, verstärkt internationale Kooperationen zu suchen, bereiteten die Minister in den 1990er-Jahren eine Kehrtwende von dem Ziel einer europäischen Autonomie auch in der bemannten Raumfahrt vor. Bundesforschungsminister Dr. Heinz Riesenhuber betonte: „Heute muss es das Ziel sein, eine gesamteuropäische Raumfahrt unter Einschluss des Raumfahrtpotentials der Staaten der GUS [„Gemeinschaft Unabhängiger Staaten“ der ehemaligen Sowjetunion] zu erreichen. Dies nicht nur, um das Raumfahrtprogramm der ESA auf mehr Schultern zu verteilen, sondern weil wir vor der Aufgabe stehen, die Länder Mittel- und Osteuropas schrittweise in ein Gesamteuropa einzubeziehen.“

Vollzogen wurde diese Kehrtwende auf der ESA-Ministerratskonferenz in Granada. Am 9. und 10. November 1992 beschlossen die Ressortchefs eine weitreichende Rückbesinnung auf die in Rom beschlossenen Vorhaben: Das Wissenschaftsprogramm „Horizont 2000“ wurde fortgeschrieben und mit ihr zunächst auch die jährliche Budgetsteigerung um fünf Prozent, bevor sie auf null reduziert wurde. Die Erdbeobachtung sollte mit den Missionen MetOp und Envisat, basierend auf der Polaren Plattform, gestärkt werden. Das freifliegende Labor wurde aus dem Columbus-Programm gestrichen, zwischen 1993 und 1995 sollten aber Studien für ein mögliches zweites Stationsmodul sowie deren Nutzung durchgeführt werden. Die Entwicklung des Datenrelaisatellit DRS-1 wurde hingegen beschlossen. Für den bemannten Weltraumtransport wurde eine dreijährige Rückbesinnungsphase eingeleitet, denn die Hermes-Technologie hatte sich als nicht beherrschbar erwiesen.

From November 18 to 20, 1991, ESA ministers met in Munich. Hermes had exceeded its projected cost by 41 per cent by that time and it looked as though it would end up transporting only payloads on unmanned missions. Germany would have liked to terminate the programme, but borrowed 100 million Deutschmarks from industry creditors in order to fund further studies on Hermes, Columbus, and the data relay system. The plan at this stage, however, had been trimmed back to building only one space plane. Next to infrastructure programmes, usually a priority with the ESA Council of Ministers, Earth observation and environmental research were agreed to be two new key research areas. This was what Federal Chancellor Helmut Kohl (who had made European space cooperation a matter of highest political priority) and France’s president François Mitterrand had agreed on in the run-up to the conference. The two leaders stood visibly united on this course of action before the important summit of the European Community (EC), which began on December 9, 1991, in Maastricht.

Announcing their intention to seek more international cooperation, ministers in the 1990s got ready for a U-turn in space policy, moving away from their original objective of achieving autonomy in European spaceflight, manned and unmanned. As Dr Heinz Riesenhuber, Germany’s minister of research at the time, emphasised: ‘Today we must aim for pan-European space activities, which embrace the spaceflight potential of the CIS states [‘Commonwealth of Independent States’ of the former Soviet Union]. This is not only because we are looking for a way to distribute ESA’s space programme on more shoulders, but because we are confronted with the task of integrating, step-by-step, the central and eastern European countries into a wider Europe.’

The U-turn was completed at the Granada meeting of the ESA Ministerial Council. On November 9 and 10, 2002, ministers adopted what largely boiled down to a return to the Rome position: The science programme ‘Horizon 2000’ was to be continued, and so was, for the moment, the annual budget increase of 5 per cent, before it was later reduced to zero. Earth observation was to receive a boost from the MetOp and Envisat missions, based on the polar platform. The free-floating research lab under the Columbus programme was cancelled. However, between 1993 and 1995 studies were to be carried out concerning a second space station module and its possible utilisation. It was also decided that the development of DRS-1, the data relay satellite, was to go forward. Concerning manned space transport, ministers decreed a three-year re-think period since the Hermes technology had not proven to be controllable.

## Business Launch

DLR-Vorstandsmitglied Dr. Gerd Gruppe im Gespräch mit dem Senior Vice President der Space Foundation, Steve Eisenhart. Das DLR und die Space Foundation unterzeichneten während des 29. National Space Symposiums in Colorado Springs (USA) am 9. April 2013 ein Abkommen zur verbesserten Zusammenarbeit in Raumfahrtangelegenheiten.

Member of the DLR Executive Board Dr Gerd Gruppe in a discussion with the Senior Vice President of the Space Foundation, Steve Eisenhart. On April 9, 2013, at the 29<sup>th</sup> National Space Symposium, DLR and Space Foundation signed an agreement for collaboration in space affairs.



Christoph Becker/© DLR



Christoph Becker/© DLR



Startschuss zum ersten deutschen Weltraumrobotik-Wettbewerb: Am 15. März 2013 stellten die Teilnehmer des DLR SpaceBot Cups 2013 ihre Robotik-Konzepte im Eichensaal des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie vor.

First German space robotics competition successfully kicked off: on March 15, 2013, the participants of the DLR SpaceBot Cup 2013 presented their robotics concepts in the Oak Hall of the building of the Federal Ministry of Economics and Technology.

Der Vorstandsvorsitzende des DLR, Prof. Dr.-Ing. Jan Wörner, und der Geschäftsführer der Space Foundation, Elliot Holokauahi Pulham, beschließen auf dem 29. National Space Symposium in Colorado Springs (USA) eine Intensivierung in der deutsch-amerikanischen Raumfahrt. Mit dem Abkommen wird unter anderem eine deutsch-amerikanische Dialogplattform zur Stärkung der industriellen und wissenschaftlichen Beziehungen geschaffen.

At the 29<sup>th</sup> National Space Symposium in Colorado Springs, Prof. Dr.-Ing. Jan Wörner, Chairman of the DLR Executive Board, and Elliot Holokauahi Pulham, CEO of the Space Foundation, desire for a closer German-US-American relationship in space activities. This contract enables a joint dialogue platform to strengthen the industrial and scientific collaboration..



Sabine Echternach/© DLR

Der Vorsitzende der Parlamentsgruppe Luft- und Raumfahrt, Klaus-Peter Willsch, trifft auf dem 29. National Space Symposium in Colorado Springs (USA) – einem Magneten der Raumfahrtcommunity, speziell der Raumfahrtindustrie – den Geschäftsführer der Jena-Optronik GmbH, Dietmar Ratzsch..

At the 29<sup>th</sup> National Space Symposium in Colorado Springs (USA) – an important meeting of the space community, especially the space industry, Klaus-Peter Willsch, head of the parliamentary commission for aviation and space affairs, met Dietmar Ratzsch, CEO of Jena-Optronik GmbH..

# Raumfahrtkalender

Termin Ereignis

2013

29. April – 12. Mai	Studenten-Raketenkampagne REXUS 13/14 in Esrange (Nordschweden)
28. Mai	Start Sojus 35S von Baikonur (Kasachstan/ISS Expedition)
Juni	3. CCF-Experimentkampagne von DLR und NASA auf der ISS
5. Juni	Start ATV-4 "Albert Einstein" mit Ariane 5ES von Kourou (Französisch-Guyana)
17. – 23. Juni	50. International Paris Air Show (Le Bourget/Frankreich)
25. Juni	Erste Startkampagne des Projektes WADIS (IAP) von Andoya Rocket Range (Norwegen), Start einer Nike-Improved-Orion Höhenforschungsrakete und zwölf kleiner Loki-Datasonden
3. Quartal	Start einer Ariane 5ECA von Kourou mit dem Kommunikationssatelliten Inmarsat-XL (Alphasat)
Juli	Stratosphären-Observatorium SOFIA: erste Beobachtungskampagne auf der Südhalbkugel (drei Wochen Neuseeland mit dem deutschen Instrument GREAT)
24. Juli	Start Progress 52P von Baikonur (Versorgung ISS)
4. August	Start Raumtransporter HTV-4 "Kounotori-4" vom japanischen Raumfahrtzentrum Tanegashima
13. – 18. August	MAKS 2013, Moscow Air Show (Russland)
September	Start Sojus STB von Kourou mit den ersten beiden OHB Galileo-Satelliten
2. – 14. September	23. DLR-Parabelflug in Bordeaux
22. September	Tag der Luft- und Raumfahrt des DLR in Köln-Porz
23. – 27. September	64. International Astronautical Congress in Beijing (China)
25. September	Start Sojus 36S von Baikonur (Versorgung ISS)
29. September	Start Satellitenmission Gaia mit Sojus STB von Kourou
4. Quartal	Start der ESA Earth-Explorer-Mission SWARM mit Rockot von Plesetsk (Russland)
Oktober	Studenten-Ballonkampagne BEXUS 16/17 in Esrange
16. Oktober	Start Progress 53P von Baikonur (Versorgung ISS)
Anfang November	Start TEXUS 51 (DLR) von Esrange mit vier deutschen Experimenten
11. November	Start Falcon 9 von Cape Canaveral (Florida/USA), 3. ISS-Versorgungsflug (Dragon CRS-3)
18. November	Start Mars Science Orbiters (MAVEN) mit Atlas V von Cape Canaveral
25. November	Start Sojus 37S von Baikonur (ISS Expedition)
Dezember	Start EU/ESA-Copernicus-Mission Sentinel-1A mit Sojus von Kourou
Dezember	Start Progress 54P von Baikonur (Versorgung ISS)
11. Dezember	Start Proton 3R mit MPLM und Roboterarm ERA von Baikonur zur ISS

# Space Calendar

Date Event

2013

April 29 – May 12	Student rocket campaign REXUS 13/14 in Esrange (North of Sweden)
May 28	Launch of Soyuz 35S from Baikonur (Kazakhstan/ISS Expedition)
June	3rd CCF experimental campaign of DLR and NASA at the ISS
June 5	Launch of Ariane 5ES from Kourou (French-Guiana); carrying the space transport vehicle ATV-4 "Albert Einstein"
June 17 – 23	50th International Paris Air Show (Le Bourget/France)
June 25	First campaign of WADIS (IAP) from Andoya Rocket Range (Norway), on a Nike-Improved-Orion sounding rocket; carrying twelve small Loki data probes
3rd Quarter	Launch of Ariane 5ECA from Kourou; carrying the communication satellite Inmarsat-XL (Alphasat)
July	Launch of the first observation cycle with the Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy SOFIA over the southern hemisphere (three weeks New Zealand with the German Instrument GREAT)
July 24	Launch of Progress 52P from Baikonur (ISS logistics)
August 4	Launch of the space transport vehicle HTV-4 'Kounotori-4' from the Japanese spaceport Tanegashima
August 13 – 18	MAKS 2013, Moscow Air Show (Russia)
September	Launch of Soyuz STB from Kourou; carrying the first two OHB Galileo satellites
September 2 – 14	23rd DLR parabolic flight campaign in Bordeaux (France)
September 22	German Aerospace Day 2013 of DLR in Köln-Porz (Germany)
September 23 – 27	64th International Astronautical Congress in Beijing (China)
September 25	Launch of Soyuz 36S from Baikonur (ISS Expedition)
September 29	Launch of Soyuz STB from Kourou; carrying the European satellite Gaia
4th Quarter	Launch of the ESA Earth Explorer Mission SWARM with Rockot from Plesetsk (Russia)
October	Student balloon campaign BEXUS 16/17 in Esrange
October 16	Launch of Progress 53P from Baikonur (ISS logistics)
Early November	Launch of TEXUS 51 (DLR) from Esrange; carrying four German experiments
November 11	Launch of Falcon 9 from Cape Canaveral (Florida/USA), 3rd ISS logistics flight (Dragon CRS-3)
November 18	Launch of Atlas V from Cape Canaveral; carrying the Mars Science Orbiters (MAVEN)
November 25	Launch of Sojus 37S from Baikonur (ISS Expedition)
December	Launch of Soyuz from Kourou; carrying the EU/ESA Copernicus Mission satellite Sentinel-1A
December	Launch of Progress 54P from Baikonur (ISS logistics)
December 11	Launch of Proton 3R from Baikonur; carrying the MPLM with the roboter arm ERA to the ISS

## 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)  
[www.DLR.de/rd](http://www.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)  
[www.DLR.de/rd](http://www.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