

## Technik für Raumfahrtsysteme: HEMP – Mit Plasmaantrieb effektiver durchs Weltall

## General Technologies: HEMP – Travelling Effectively – Spacecraft Propulsion with a Plasma Thruster

Seite 6 / page 6

### Extraterrestrik: JUICE – Europa auf dem Weg zum Jupiter

Space Science: JUICE – Europe Goes for Jupiter

12

### Navigation: VaMEx – Den Mars im Schwarm erkunden

Navigation: VaMEx – Swarming Out to Investigate Mars

16

### Bemannte Raumfahrt: ISS-Raumfahrt- forschung zieht erstmals international Bilanz

Human Spaceflight: ISS Space Researchers Present their  
First International Review

20

### Bemannte Raumfahrt: Habitatsysteme fördernd Nachhaltigkeit auf der Erde

Human Spaceflight: Habitat Systems Spawn Sustainable  
Terrestrial Solutions

24

### Forschung unter Weltraumbedingungen: 40 Jahre deutsche Biowissenschaftliche Weltraumforschung – Teil 2

Microgravity Research: 40 Years of German Life Science  
in Space – Part 2

28

### Trägersysteme: STERN – Raketen-Nach- wuchsprogramm öffnet Tor zum Weltall

Launchers: STERN Programme Opens Door to Space for Students

32

### KMU: Wegbereiter der Raumfahrt

SMEs: Trailblazers in the Space Sector

36

### Deutsche Raumfahrtmissionen: Kopernikus

German Space Missions: Kopernikus

40

### Raumfahrtkalender

Space Calendar

46



**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,**

Vor fünf Jahren startete der deutsche Radarsatellit TerraSAR-X vom russischen Kosmodrom Baikonur ins All. Dieses Datum markiert den Beginn einer neuen Ära der deutschen Satelliten-Fernerkundung. Gemeinsam mit seinem Zwilling TanDEM-X vermisst das Duo seit 2011 die Erde und erstellt dreidimensionale Karten der Erdoberfläche in noch nie dagewesener Qualität. TerraSAR-X ist der erste deutsche Satellit, der im Rahmen einer sogenannten Public Private Partnership (PPP) zwischen dem DLR und Astrium umgesetzt wird – ein Meilenstein im nationalen Raumfahrtprogramm. Anfang des Monats Juni fand beim ESPI in Wien ein Symposium statt, auf dem ganz praktisch über die Erfahrungen mit diesem Modell diskutiert wurde.

Ein weiterer, auch politischer Meilenstein ist die Internationale Raumstation ISS. Nachdem Ost und West einen Jahrzehntelangen Wettkampf im All ausgetragen hatten, wurde 1998 als politisches Zeichen für Völkerverständigung mit dem Bau des anspruchsvollsten Technologieprojektes aller Zeiten begonnen. Auf dem ISS-Symposium in Berlin diskutierten vom 2. bis 4. Mai 2012 rund 300 Experten aus Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Raumfahrtagenturen über die politische Bedeutung der Raumstation und über die Forschungsergebnisse. In einem waren sich alle einig: Die friedliche und wissenschaftliche Zusammenarbeit im Weltall war bislang äußerst erfolgreich und muss weitergehen – auch nach dem Ende der Betriebszeit der ISS. Näheres zum ISS-Symposium erfahren Sie auf den Seiten 20 bis 23.

Grundlage für alle Weltraumaktivitäten ist der Zugang zum All. Raumtransport ist der Kristallsprung für die Attraktivität und die Herausforderungen der Raumfahrt. Daher genießen Trägersysteme wie die Ariane 5- und die Vega-Raketen in Deutschland höchste politische Bedeutung. Das DLR Raumfahrtmanagement lenkt das Interesse des Ingenieurnachwuchses verstärkt auf das Thema Raumtransport, um dieses wirtschaftlich und strategisch wichtige Tor zum Weltall offen zu halten. Eines unserer Angebote für diese Zielgruppe ist das Programm „Studentische Experimental-RaketeN“ (STERN). Damit können Studenten der Fachrichtung Luft- und Raumfahrttechnik praxisnah Raumtransportthemen vertiefen – ein deutscher Beitrag für die Zukunft auf dem Weg ins All. Mehr zu diesem Thema lesen Sie auf den Seiten 32 bis 35.

Im Weltraum angekommen, spielen energieeffiziente Antriebsmöglichkeiten in Zukunft eine große Rolle. Bei chemischen Triebwerken im Schubbereich zwischen 1 und 400 Newton besitzt die deutsche Industrie bereits einen festgestigten Marktanteil. Im Schubbereich unter 1 Newton ersetzen elektrische Antriebe zunehmend chemische Triebwerke. Sie können den verfügbaren Treibstoff wesentlich effektiver einsetzen. Bei der Entwicklung des hocheffizienten mehrstufigen Plasmtriebwerks High Efficiency Multi Stage Plasma (HEMP) wurden innerhalb kürzester Zeit beachtliche Leistungsdaten erreicht. Vier dieser Triebwerke sollen im Jahr 2014 erstmals auf dem SmallGEO-Satelliten ins All starten. Details zu HEMP erfahren Sie auf den Seiten 6 bis 11.

Sie sehen, wir setzen alles daran, die deutsche Raumfahrt zukunftsfähig zu machen. Deshalb greifen wir im Raumfahrtmanagement auch neue Themen auf. Derzeit stehen dabei Mikrosystemtechnik/Mikroelektronik und Innovationspotenziale der Raumfahrt im Mittelpunkt. Im Rahmen der Bonner Raumfahrtgespräche haben wir dazu intensive Diskussionsrunden geführt. Durch mikroelektronische und mikrosystemische Bauteile können Raumfahrtsysteme leichter und flexibler gebaut werden. Vermehrter Einsatz solcher Bauteile führt automatisch zur Frage der Zuverlässigkeit und wie die sichere Verfügbarkeit erhöht werden kann. Innovationspotenziale sollen neue Märkte erschließen. Eine stärkere Anwendungs- und Kundenorientierung der Raumfahrt wird den Raumfahrtmarkt weiter öffnen.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen viel Freude bei der Lektüre

Ihr Gerd Gruppe

I hope you will enjoy reading this issue.

Sincerely yours,

Gerd Gruppe



## Jubiläum im All

### Fünf Jahre TerraSAR-X

**Vor fünf Jahren, am 15. Juni 2007 um 04:14 Uhr MESZ, startete der deutsche Radarsatellit TerraSAR-X vom russischen Kosmodrom Baikonur ins All. Das Datum steht für den Beginn einer neuen Phase der Satelliten-Fernerkundung in Deutschland. Auf fünf Jahre ausgelegt, hat der Erdtrabant seine Soll-Lebenszeit jetzt erfüllt – doch sein hervorragender Zustand lässt weitere erfolgreiche Betriebsjahre erwarten. Der Betrieb von TerraSAR-X läuft seit fünf Jahren nahezu fehlerlos. Der Treibstoffverbrauch des Satelliten war gering, Solarbatterie sowie Radarinstrumente sind in gutem Zustand, und es sind noch alle Ersatzsysteme vorhanden.**

TerraSAR-X ist der erste deutsche Satellit, der im Rahmen einer sogenannten Public Private Partnership (PPP) zwischen dem DLR und Astrium realisiert wird: Die Nutzung von TerraSAR-X-Daten für wissenschaftliche Zwecke liegt in der Zuständigkeit des DLR, das auch die Konzeption und Durchführung der Mission sowie die Satellitensteuerung übernimmt. Astrium beteiligt sich an den Kosten für Entwicklung, Bau und Einsatz des Satelliten. Die Infoterra GmbH, eine eigens zu diesem Zweck gegründete Tochtergesellschaft von Astrium, übernimmt die kommerzielle Vermarktung der Daten. TerraSAR-X ist der erste Erdbeobachtungssatellit, der vollständig in Deutschland entwickelt wurde. Dank der Radarinstrumente an Bord kann die Erdoberfläche unabhängig von Wetterbedingungen, Wolkenbedeckung und Tageslicht vermessen werden. Mit einer Detailgenauigkeit von bis zu einem Meter liefert der Satellit seit Missionsbeginn dabei einmalige Datensätze. Damit hat TerraSAR-X seine Mission voll erfüllt: Die Bereitstellung von hochwertigen Synthetic Aperture Radar (SAR)-Daten im X-Band für Forschung und Entwicklung sowie für wissenschaftliche und kommerzielle Anwendungen. Der kommerzielle Vertrieb der Daten erfolgt seit Anfang 2008 über den deutschen Teil von Astrium GEO-Information Services, der Infoterra GmbH. Die hohe Genauigkeit und Verlässlichkeit der TerraSAR-X-Daten hat Wissenschaftlern aus unterschiedlichsten Forschungsrichtungen die Entwicklung ganz neuer Anwendungen und Verfahren ermöglicht. Besonders gefragt sind Aufnahmen in Zeitreihen, um Veränderungen einer bestimmten Region – wie zum Beispiel Gletscher in Grönland – anhand der hochauflösten Satellitenbilder exakt feststellen zu können. Für die bestmögliche Hilfe vor Ort benötigen Einsatzkräfte bei Naturkatastrophen, Großeinschlägen oder humanitären Hilfsaktionen umfassende Lageinformationen – unabhängig von Tageszeit, Wetterlagen, detailliert und aktuell. Im Rahmen der "International Charter Space and Major Disasters" liefert der Radarsatellit Daten zur Notfallkartierung beispielsweise bei dem schweren Erdbeben auf Haiti 2010, den Überschwemmungen in Pakistan 2011 oder der Erdbeben- und Tsunami-Katastrophe in Japan.

In den vergangenen fünf Jahren hat die deutsche Satellitenmission TerraSAR-X eine Vielzahl von Hilfseinsätzen und Projekten erfolgreich unterstützt oder überhaupt erst ermöglicht. Seit Juni 2010 befindet sich der Satellit in guter Gesellschaft. Mit seinem nahezu baugleichen Zwilling TanDEM-X fliegt TerraSAR-X in einer engen Formation um die Erde. Gemeinsam sollen sie ein hochgenaues dreidimensionales Höhenmodell des Planeten erstellen.

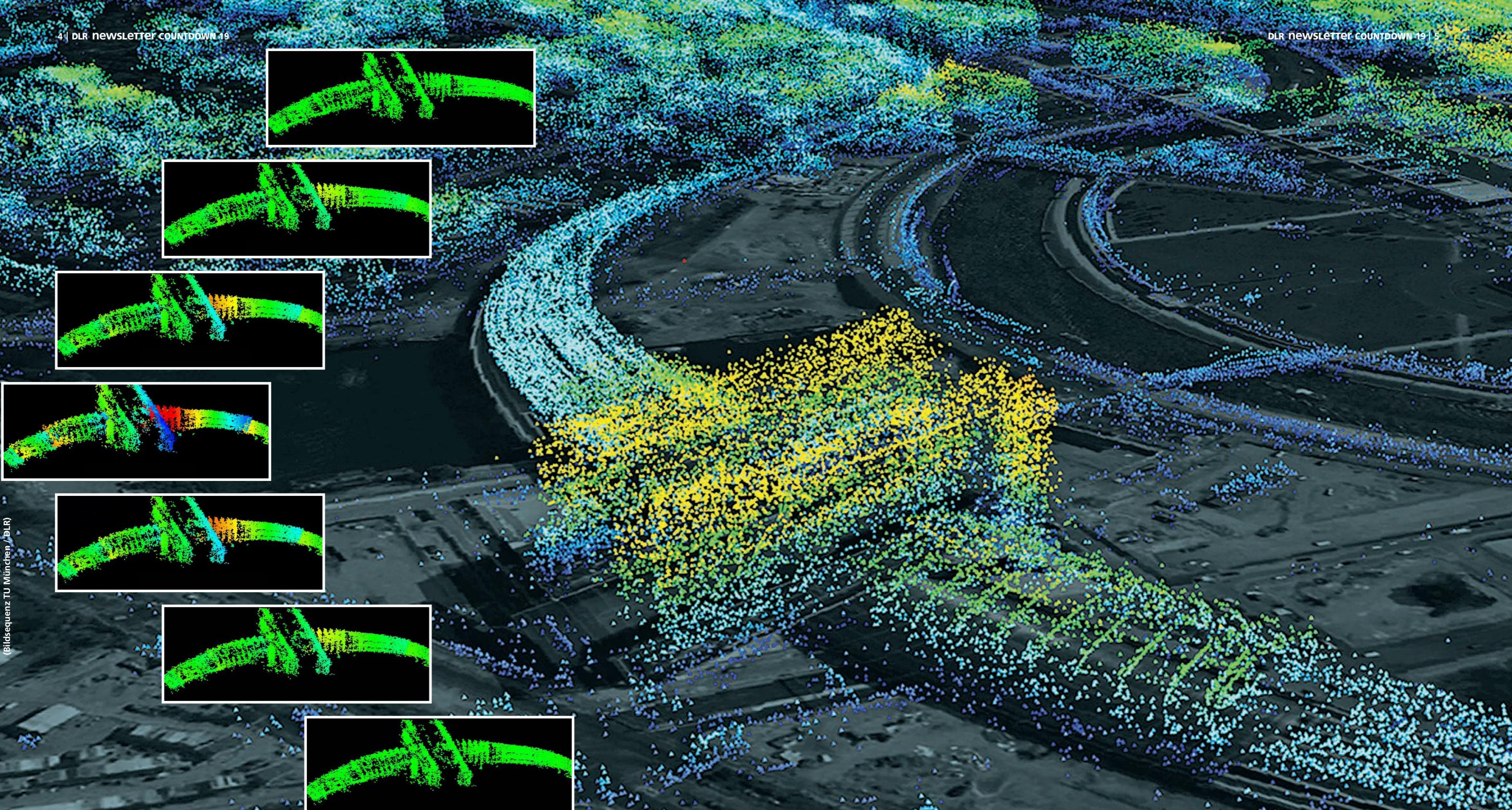
## Anniversary in Space

### Five Years of TerraSAR-X

**Five years ago, at 04:14 CEST on June 15, 2007, the German TerraSAR-X radar satellite was launched from Russia's Baikonur Cosmodrome in Kazakhstan. This marked the beginning of a new era in satellite remote sensing for Germany. Designed to operate for five years, the satellite has now completed its nominal service life but it remains in excellent condition; the spacecraft is expected to continue operating for several more years. TerraSAR-X has now been operating almost flawlessly for five years. The satellite's propellant consumption has been low, the solar arrays and radar instrument are in good condition, and all of the redundant systems are still available.**

TerraSAR-X is the first German satellite manufactured under what is known as a Public-Private Partnership DLR and Astrium. DLR is responsible for using TerraSAR-X data for scientific purposes; it is also responsible for planning and implementing the mission as well as controlling the satellite. Astrium built the satellite, shared the costs of developing it and is sharing the costs of operating it. Infoterra GmbH, a subsidiary company founded for this purpose by Astrium, is responsible for marketing the data commercially. TerraSAR-X is the first Earth observation satellite to be developed entirely in Germany. Thanks to the on-board radar instrument, Earth's surface can be surveyed regardless of weather conditions, cloud cover or availability of daylight. The satellite has been providing unique datasets with resolutions down to one metre since the beginning of the mission. By doing so, TerraSAR-X has completely fulfilled its mission objective – the provision of high-quality X band Synthetic Aperture Radar (SAR) data for research and development purposes as well as for scientific and commercial applications. From the beginning of 2008, commercial distribution of the data has been performed by the German division of Astrium Geo-Information Services, Infoterra GmbH. The high accuracy and dependability of TerraSAR-X data has enabled scientists from a wide variety of research fields to develop entirely new applications and processes. In particularly high demand are time-sequenced images, which enable changes in a specific region – for example in the case of glaciers in Greenland – to be precisely determined. To provide the best possible help in cases of natural catastrophes, major incidents and humanitarian relief efforts on site, emergency services need comprehensive, detailed, up-to-date geographical information – regardless of the time of day or weather conditions. Concerning the International Charter 'Space and Major Disasters', the radar satellite has supplied emergency cartography data for natural disasters such as the severe earthquake in Haiti in 2010, the floods in Pakistan in 2011 and the earthquake and tsunami in Japan.

Over the past five years, the German TerraSAR-X satellite mission has successfully supported or enabled a wide range of relief efforts and projects. Since June 2010, the satellite has been in good company; TerraSAR-X has been orbiting the Earth in close formation with its almost identical twin, TanDEM-X. Together, they are creating a highly accurate digital elevation model of Earth in the third dimension.

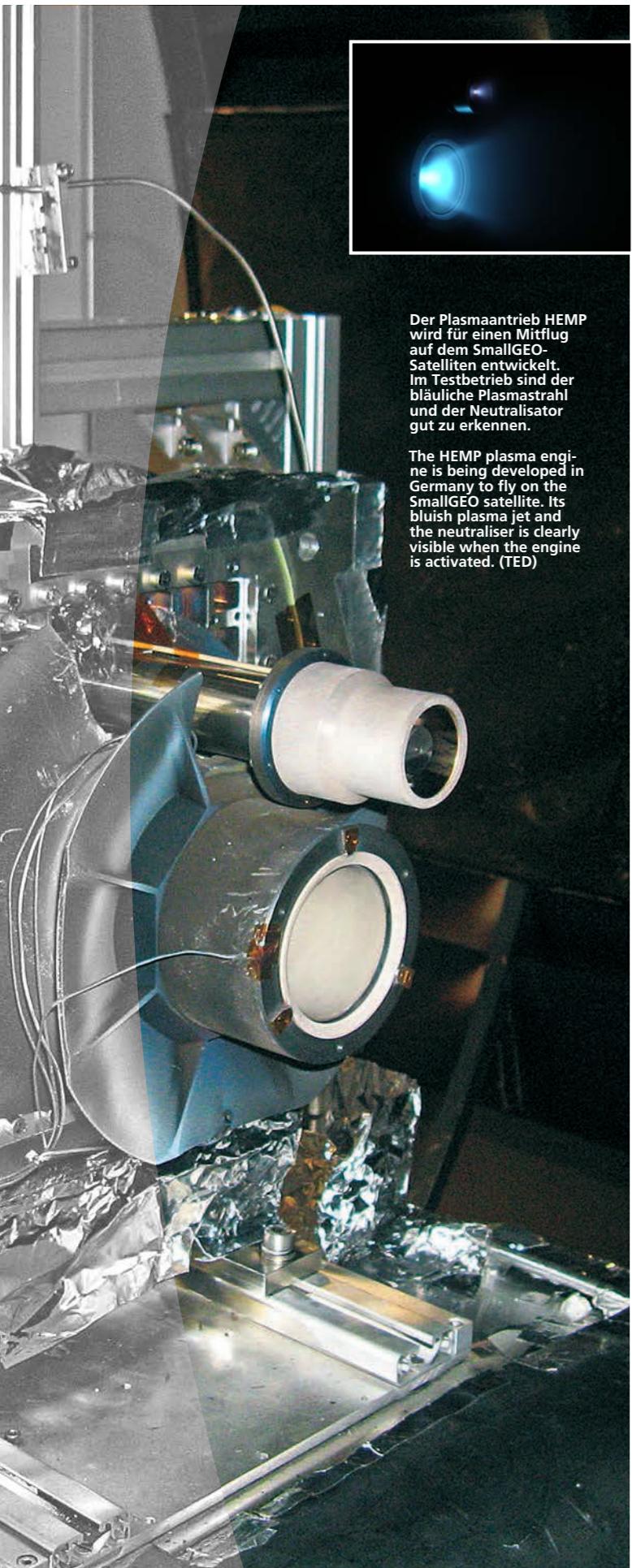


### Millimetergenau aus dem All vermessen

Im Laufe eines Jahres verformt sich der Stahlkomplex des Berliner Hauptbahnhofs vertikal um bis zu 1,8 Zentimeter und horizontal zwischen 1,5 und 3,5 Zentimeter. In den warmen Jahreszeiten dehnt sich die Stahlkonstruktion aus und erreicht zwischen Juni und September ihr Maximum. In der kühleren Jahreszeit zieht sich das Material zusammen und der Bahnhof "bewegt sich" wieder zurück. Die Aufnahmen des deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X zeigen die saisonalen Unterschiede millimetergenau. Mit dieser neuen Anwendung beobachtet das deutsche Radarauge aus dem Weltall vor allem kritische Infrastrukturen: zum Beispiel Brücken und insbesondere Sicherungsanlagen wie etwa Staudämme.

### Measured from space precisely to the millimetre

In the course of a year, the steel structure of Berlin's central railway station changes its dimensions by up to 1.8 centimetres in the vertical and between 1.5 and 3.5 centimetres in the horizontal direction. In the hot season, the steel construction expands, reaching its maximum between June and September. In the cold season, the material contracts, and the station 'moves back' again. The images taken by the German radar satellite TerraSAR-X show these seasonal differences down to the last millimetre. In this new application, Germany's radar eye in space observes critical infrastructures such as bridges and, more particular, security-relevant structures such as reservoir dams.



## HEMP

### Mit Plasmaantrieben effektiver durchs Weltall

Von Norbert Püttmann und Dr. Klaus Ruf

Damit Satelliten mit einer Trägerrakete ihre Umlaufbahn erreichen, müssen sie die Schwerkraft und den Luftwiderstand überwinden. Für die notwendige Beschleunigung werden chemische Triebwerke mit hoher Schubkraft eingesetzt. Sie tragen Rakete und Satellit in die geplante Umlaufbahn. Dort angekommen, können Orbit und Ausrichtung des Satelliten im Vakuum mit elektrischen Triebwerken wesentlich effektiver als mit chemischen gesteuert werden. Auch schnellere Reisen durch das Weltall werden mit elektrischen Antrieben möglich. Derzeit befinden sich circa 250 elektrisch angetriebene Satelliten im Weltraum, insbesondere Telekommunikationssatelliten. Diese Antriebe sind besonders wirkungsvoll, da sie einen höheren spezifischen Impuls erreichen als chemische. Das High Efficiency Multi Stage Plasma (HEMP)-Triebwerk hat einen fünfmal höheren Spezifischen Impuls als die besten chemischen Triebwerke. Zudem sind sie einfacher zu handhaben als andere elektrische Triebwerkstechnologien. Im Jahr 2014 sollen vier HEMP-Triebwerke erstmals mit dem SmallGEO (SGEO) Satelliten ins All starten.

## HEMP

### Travelling Effectively – Spacecraft Propulsion with a Plasma Thruster

By Norbert Püttmann and Dr Klaus Ruf

Having to overcome both gravity and air drag, satellites and their launchers need acceleration to reach their orbit. This is provided by high-thrust chemical engines which propel rockets and satellites into their designated orbit. Once the satellite has arrived, its orbit and orientation can be controlled much more efficiently with electric than with chemical propulsion units, given that the satellite is in a vacuum. Electrically powered spacecraft can also travel through space at higher velocities. Currently, 250 spacecraft are equipped with electric drives – especially telecommunication satellites. Electric drives are particularly efficient because their specific impulse is greater than that of chemical engines. The specific impulse of the high-efficiency multi-stage plasma (HEMP) engine is five times greater than what even the best chemical engines can realise. What is more, it is easier to handle than other electric propulsion technologies. In 2014, the first four HEMP engines will take off into space along with the SmallGEO (SGEO) satellite.

Dr. Markus Hellenthal von Thales Deutschland (l.) und Christoph Hohage, Programmdirektor Raumfahrt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) bei der HEMP-Vertragsunterzeichnung am 17. Juli 2008 in Bonn

Dr. Markus Hellenthal, CEO of Thales Germany (l.), and Christoph Hohage, Programme Director of DLR Space Administration during the signing of the HEMP contract on July 17, 2008 in Bonn



Autoren: **Norbert Püttmann** leitet in der Abteilung Technik für Raumfahrtsysteme und Robotik die Fachgruppe Satellitensubsysteme. Hier wird die Entwicklung neuer Technologien für elektrische Antriebe, Energieversorgungen, Lageregelungen und Datenverarbeitung für Satelliten koordiniert und international vertreten. **Dr. Klaus Ruf** leitet das Projekt für die Entwicklung und Qualifizierung der HEMP-Triebwerke. Dies beinhaltet auch die Koordinierung der Raumfahrtagenturen und des Satellitenherstellers.

Authors: **Norbert Püttmann** is head of the Systems for Satellites programme at the department of General Technologies and Robotics. His group coordinates, and represents internationally, the development of new technologies for electric propulsion, energy supply, attitude control, and on-board computing. **Dr Klaus Ruf** is managing the project for the development and qualification of the HEMP thrusters. This includes the coordination with the participating space agencies and the satellite manufacturer.

Im Raumtransport spielt das Gewicht der Nutzlast eine entscheidende Rolle. Je leichter der Satellit, Treibstoff und Subsysteme sind, desto günstiger fällt der Startpreis aus. Elektrische Antriebe können das Gewicht der Nutzlast senken und somit Kosten sparen oder den Treibstoffanteil und damit die Betriebsdauer erhöhen.

Chemische Triebwerke einer 780 Tonnen schweren Ariane 5-Rakete beschleunigen sie für 150 Sekunden mit einem Schub von 1.500 Tonnen auf acht Kilometer pro Sekunde und bringen eine Nutzlast mit acht Tonnen Masse in einen elliptischen GEO-Transferorbit (GTO). Von dort aus wird sie mit chemischen oder elektrischen Triebwerken in den kreisförmigen Zielorbit von 35.800 Kilometer über dem Äquator angehoben. Diese Orbitebene von Satelliten muss regelmäßig durch Triebwerke korrigiert werden, da sie sonst durch Gravitationskräfte der Sonne in die Umlaufbahn der Erde um die Sonne zu kippen droht (s. Abb. auf Seite 10). Durch einen Wechsel von chemischen auf elektrische Triebwerke kann die dafür notwendige Treibstoffmasse des Satelliten reduziert werden, allerdings wird zusätzlich eine Stromversorgung gebraucht.

Der HEMP-Plasmaantrieb funktioniert nur im Vakuum und erzeugt mit Xenon-Gas einen Schub von 4,5 Gramm, was dem Gewicht eines Zehn-Cent-Stücks entspricht – circa 340 Millionen Mal geringer als der Startschub der Ariane 5. Wegen des kleinen Schubs muss das Triebwerk für längere Zeiten eingeschaltet werden, um die gleiche Bewegungsänderung wie mit chemischen zu erreichen. Für die 15-jährige Lebensdauer des SGEO-Satelliten sind insgesamt 200 Tage Schub vorgesehen – gegenüber 150 Sekunden Betrieb der Startrakte. Die Xenon-Treibstoffmasse beträgt für die SGEO-Mission circa 130 Kilogramm.

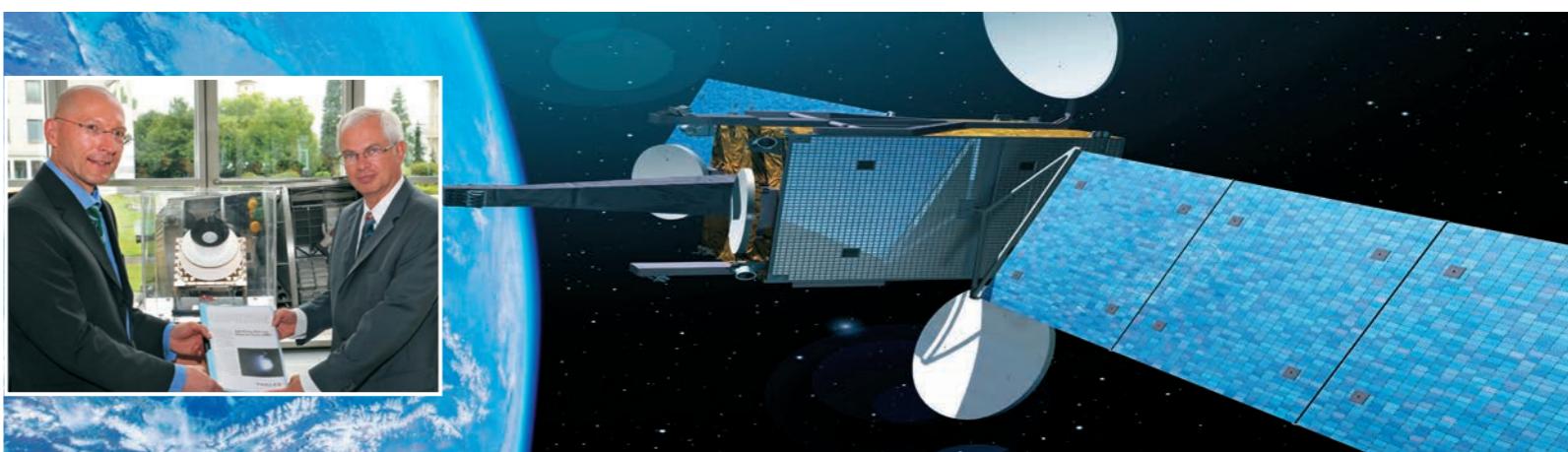
Der Spezifische Impuls bestimmt die Effizienz von Triebwerken als Maß für die Ausnutzung der Treibstoffmasse. Er ist proportional zur Austrittsgeschwindigkeit des Treibstoffs und bezogen auf die Erdbeschleunigung ergibt sich seine Maßeinheit in Sekunden. Chemische Triebwerke können höchstens 470 Sekunden erreichen, das HEMP-Prinzip erzielt derzeit 2.300 Sekunden. Mit HEMP, aber auch mit anderen Technologien für elektrische Triebwerke (Hall-Effekt, RIT, Radiofrequency Ion Thruster) sind je nach Auslegung sehr viel höhere Werte möglich, die – insbesondere bei interplanetaren Missionen – Satelliten auf Geschwindigkeiten beschleunigen können, die mit chemischen Antrieben unerreichbar sind.

In space transport, the weight of the payload plays a crucial part. The lighter the payload, the lower the cost of the launch. Electric drives may reduce the weight of the payload, so that expenses may be saved or, alternatively, more fuel may be carried along, which lengthens the life of the satellite.

The chemical engines of a 780-ton Ariane 5 rocket propel it for 150 seconds at a thrust of 1,500 tons, delivering a payload of eight tons into an elliptical geotransfer orbit (GTO) at a speed of eight kilometres per second. From that orbit, chemical or electric engines raise it to a circular orbit 35,800 kilometres above the equator. A satellite's orbital plane needs to be corrected at regular intervals because the gravitational forces of the Sun threaten to tilt it towards the plane of the Earth's orbit around the Sun (s. fig. at page 10). By switching from chemical to electric propulsion, the fuel mass which a satellite needs for this purpose may be reduced, although an additional power source is needed.

Working only in a vacuum, the HEMP plasma drive uses xenon gas to generate a thrust of 4.5 grams – the weight of a 10-cent coin and c. 340 million times lower than the initial thrust of an Ariane 5. Because its thrust is so low, the engine must be kept running for relatively long periods to effect the same change of motion as a chemical drive. For the 15-year life of the SGEO satellite, a total of 200 days of thrust have been envisaged – compared to the 150 seconds for which the launcher will operate. The mass of xenon fuel for the SGEO mission is no greater than about 130 kilograms.

The efficiency of an engine is determined by the specific impulse, a measure for the yield of the fuel mass. It is proportional to the exhaust velocity of the fuel, and related to gravitational acceleration, it is measured in seconds. Chemical drives can reach no more than 470 seconds, while the HEMP principle currently operates at 2,300 seconds. Depending on their design, other electric drive technologies besides HEMP (Hall effect, RIT [radio-frequency ion thruster]) may achieve even better results, accelerating spacecraft – particularly on interplanetary missions – to velocities which chemical drives could never reach.



## Die Rettung von ARTEMIS

Die elektrischen Antriebe machen nicht nur große Einsparpotenziale möglich. Sie haben auch schon Raumfahrtmissionen gerettet. Beim Start des europäischen ARTEMIS-Satelliten mit einer Ariane-5G-Rakete erreichte im Jahr 2001 die letzte Stufe der Trägerrakete nicht den nötigen Schub, um den Satelliten im GTO auszusetzen. Der Satellit strandete mit leeren Tanks in einer elliptischen Umlaufbahn in 31.000 Kilometern Höhe in einem zu niedrigen Apogäum (entferntester Punkt des Orbits). Die fehlenden fast 5.000 Kilometer zum Zielorbit bewältigte der in Deutschland entwickelte, elektrische Radiofrequency Ion Thruster (RIT)-Antrieb in einer spiralförmigen Bahn. Er wurde für 6.430 Stunden mit einem Schub von 1,5 tausendstel Gramm und 44 Kilogramm Xenon betrieben. Das RIT war ursprünglich nur für Bahnkorrekturen vorgesehen und funktioniert heute noch. Auch bei der japanischen Hayabusa-Mission konnten die Aufgaben ausgefallener Triebwerke durch elektrische Antriebe übernommen und die Mission so erfolgreich beendet werden.

## Elektrische Beschleunigung und Plasmaeinschluss

### im Magnetfeld

So arbeiten elektrische Antriebe: Ein Gas – im Fall von HEMP und RIT ist es Xenon – gibt pro Atom an einer Anode ein oder mehrere Elektronen ab und wird so ionisiert. Das positiv geladene Gas wird beim HEMP-Prinzip durch ein sehr starkes Magnetfeld in einem zylindrischen Entladungskanal um die Zylinderachse herum konzentriert. Das bis zu 1,2-Tesla-starke Magnetfeld wird durch Permanentmagnete erzeugt (12.000-mal so stark wie das Erdmagnetfeld). Am gegenüberliegenden Ende des Entladungskanals sammeln sich negativ geladene Elektronen. Durch den besonderen Aufbau des Magnetfeldes wird ein großes elektrisches Potenzial erzeugt, durch das die Xenon-Ionen beschleunigt werden und Schub erzeugen. Tritt das ionisierte Gas am Ende des Kanals aus, gibt ein Neutralisator jedem Atom seine Elektronen zurück. Ohne diese Neutralisierung würde sich der Satellit negativ aufladen und die positiv geladenen Xenon-Ionen sich an der Hardware des Satelliten anlagern. Die Hardware würde schnell unbrauchbar und die Betriebsdauer des Satelliten verkürzt.

## Gasfluss regelt den Schub präzise

Ein HEMP Thruster Modul (HTM) besteht aus dem Triebwerk, der Regelelektronik, der Flow Control Unit (FCU, Regelung des Xenon-Gasflusses) und der Verkabelung sowie den Gasleitungen (Harness). Vier Module werden zu einer HEMP Thruster Assembly (HTA) zusammengefasst und von einer gemeinsamen Steuereinheit – der sogenannten Power Supply and Control Unit (PSCU) – elektrisch versorgt und gesteuert. Die Triebwerke werden mit einer gemeinsamen Anodenleitung verbunden, womit anfällige Relaischaltungen nicht mehr notwendig sind. Durch einen geschlossenen Regelkreis wird der Schub im Triebwerk über die Gasmenge äußerst präzise geregelt.

## The rescue of ARTEMIS

Not only do electric drives offer great saving potential, they have even rescued space missions from failure. When the European ARTEMIS satellite was launched on an Ariane 5G rocket in 2001, the last stage of the launcher did not produce sufficient thrust to carry the satellite to its GTO. Thus, it was left stranded with empty tanks in an elliptical orbit at an altitude of 31,000 kilometres with an apogee (the point farthest away from Earth) that was too low. The satellite was able to cover the last 5,000 kilometres that were still lacking to the target altitude in a spiral orbit, powered by the electric radio-frequency ion thruster (RIT) developed in Germany. The drive remained in operation for 6,430 hours, delivering a thrust of 1.5 thousandths of a gram and consuming 44 kilogrammes of xenon. Originally installed only for flight path corrections, the RIT still functions today. During the Japanese Hayabusa mission, electric propulsion units similarly took over from failed engines so that the mission could be completed successfully.

## Electric acceleration and the inclusion of plasma in a magnetic field

This is how an electric drive works: the atoms of a gas – xenon in the case of both HEMP and RIT – shed one or more electrons at an anode, ionising the gas. In a HEMP drive, the gas, now positively charged, is concentrated along the axis of a cylindrical discharge channel by a very powerful magnetic field. In a HEMP drive, a magnetic field of up to 1.2 Tesla (12,000 times the strength of the Earth's magnetic field) is generated by powerful permanent magnets. At the opposite end of the discharge channel, negatively charged electrons accumulate. The magnetic field with its special configuration generates a powerful electric potential, accelerating the xenon ions and generating thrust. When the ionised gas emerges from the end of the channel, each atom receives its electrons back from a neutraliser. Without this neutralisation, the satellite would become negatively charged, and the positively charged ions settle on the satellite's hardware. This would quickly render the hardware unusable, and the satellite's life would be curtailed.

## Thrust control by gas flow regulation

One HEMP thruster module (HTM) comprises the thruster itself, the control electronics, the flow control unit (FCU) to regulate the flow of xenon gas, and a cable and gas-pipe harness. Four of the modules are configured into a HEMP thruster assembly (HTA), controlled and supplied with electricity by the so-called power supply and control unit (PSCU). Thrusters are connected by a common anode cable which eliminates the need for vulnerable relay connections. A closed control circuit regulates the engine's thrust extremely precisely by varying the gas flow.

## Hochspannungselektronik im Schuhkartonformat

Um diesen Antrieb zu betreiben und das elektrische Potenzial zu erzeugen, ist eine Spannung von 1.000 Volt notwendig, die von einem Hightech-Trafo bereitgestellt wird. Die umfangreiche Hochspannungselektronik ist auf engstem Raum untergebracht. Das Gehäuse in der Größe eines Schuhkartons beinhaltet Einstekplatten und Verbindungselemente. Die Elektronik wurde von EADS Astrium in Friedrichshafen entwickelt und soll im Oktober dieses Jahres in den SGEO-Satelliten eingebaut werden. Ihr Wirkungsgrad liegt mit 96 Prozent weltweit einmalig hoch, was wiederum ihre Abwärme auf vier Prozent reduziert. Die europäische Weltraumorganisation ESA hat 1,4 Kilowatt Leistungsaufnahme pro HEMP-Triebwerk als Maximum vorgegeben. Die PSCU könnte diese Vorgabe bei Parallelbetrieb zweifach überschreiten, obwohl die Antriebe nie alle gleichzeitig und nur beim Flug durch die Orbitalebene der Erde um die Sonne – den sogenannten Knotendurchgängen des Orbits – betrieben werden, um den auf der Äquatorialebene fliegenden Satelliten auf seiner vorgegebenen Bahnebene zu halten. So steht mehr Strom für den Betrieb der Nutzlast zur Verfügung.

## Von einer Wanderfeldröhre zum Plasmaantrieb

Die Entwicklungsgeschichte dieses speziellen Triebwerkstyps lässt sich mit der Entdeckung des Penicillins vergleichen. Alles begann im Jahr 1998 mit einer defekten Wanderfeldröhre. Diese Röhren, die von der Ulmer Firma Thales Electron Devices (TED) produziert werden, kommen in Kommunikationssatelliten als lineare und rauscharme Signalverstärker zum Einsatz: Die Impulse, die von der Erde zu den in 35.800 Kilometer Höhe kreisenden Satelliten geschickt werden, lassen sich auf das Millionenfache verstärken. Dadurch erhalten sie die Energie für ihren Rückweg zur Erde und gelangen so zum Beispiel zu den Fernsehzuschauern, welche die via Satellit übertragenen Bilder verfolgen. Eigentlich sollten diese Röhren luftleer sein. Bei der Produktion war aber eine Undicht. Dadurch wurde ihre Funktion gestört: Einige Elektronen trafen auf eingestromte Gasmoleküle und ionisierten sie. Als sie auf dem Kollektor landeten, hinterließen sie energetische Spuren. Der Physiker Dr. Günter Kornfeld erkannte das Potenzial dieser Entdeckung für elektrische Triebwerke und griff dieses Phänomen auf. 1998 sicherte sich TED in diesem Zusammenhang das erste Patent.

Gefördert durch die DLR Raumfahrt-Agentur (heute DLR Raumfahrtmanagement) konnte die Ulmer Firma im Jahr 2002 nachweisen, dass dieser Antrieb einen Schub von einem tausendstel Newton lieferte. Aus der ursprünglichen Beobachtung wurde bei TED das völlig neuartige HEMP-Prinzip entwickelt.

## Triebwerk im Wandel

Seit der Entdeckung des HEMP-Prinzips wurde das Triebwerk laufend optimiert und der Schub gesteigert. So zeigte ein Test, dass der Plas-

## High-voltage electronics the size of a shoe box

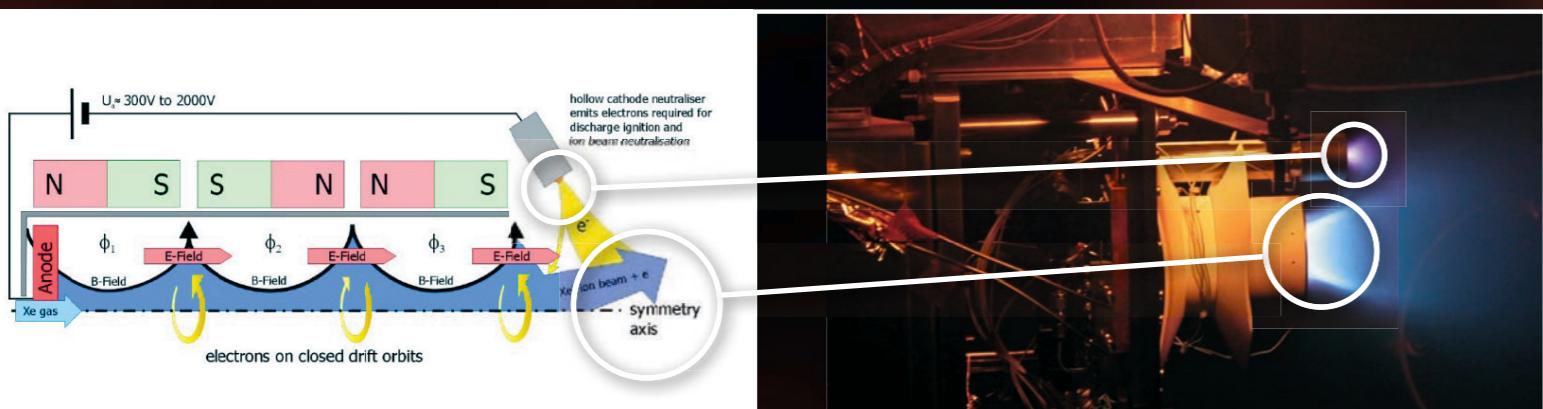
In order to operate the drive and generate the electric potential, the drive requires an electric power supply of 1,000 volts which is provided by a high-tech transformer. Though extensive and elaborate, the high-voltage electronic system is installed in an extremely confined space. Its casing, which is the size of a shoe box, contains plug-in boards and connecting elements. Developed by EADS Astrium of Friedrichshafen, the electronics will be integrated into the SGEO satellite in October of this year. At more than 96 per cent, its extremely high efficiency is unique worldwide, keeping the proportion of waste heat down to four per cent. The European Space Agency (ESA) has specified a maximum power consumption of 1.4 kilowatts for each HEMP thruster. In parallel operation, the PSCU might double this specification by a factor of two but the propulsion units will hardly ever operate all at once, being activated only when flying through the plane of the Earth's orbit around the Sun – an event called an orbital node passage – in order to keep the satellite on the specified plane of its equatorial orbit. Thus, more power becomes available for operating the payload.

## From travelling-wave tube to plasma drive

The evolutionary history of this particular type of engine can be compared to the discovery of penicillin. It all began in 1998 when a defect in a travelling-wave tube was detected. Produced by Thales Electron Devices (TED) of Ulm, these tubes are used in communications satellites as linear, low-noise signal amplifiers: impulses sent from Earth to the satellite in its 35,800-kilometre orbit can be amplified millions of times. This provides them with enough energy for their return to Earth, ultimately reaching, for example, TV audiences that watch images transmitted via satellite. The interior of these tubes is normally vacuous, but one of the tubes produced had a leak. This affected its function: some electrons collided with intruding gas molecules, ionising them. When they impacted the collector, they left energetic traces. Recognising the potential of this discovery for electric drives, Dr. Günter Kornfeld, a physicist, pursued the phenomenon further. In 1998, TED secured its first patent in this context. Sponsored by the DLR Space Administration, the Ulm company was able to prove in 2002 that this drive delivered a thrust of one thousandth of a Newton. The completely novel HEMP principle was developed from this original observation.

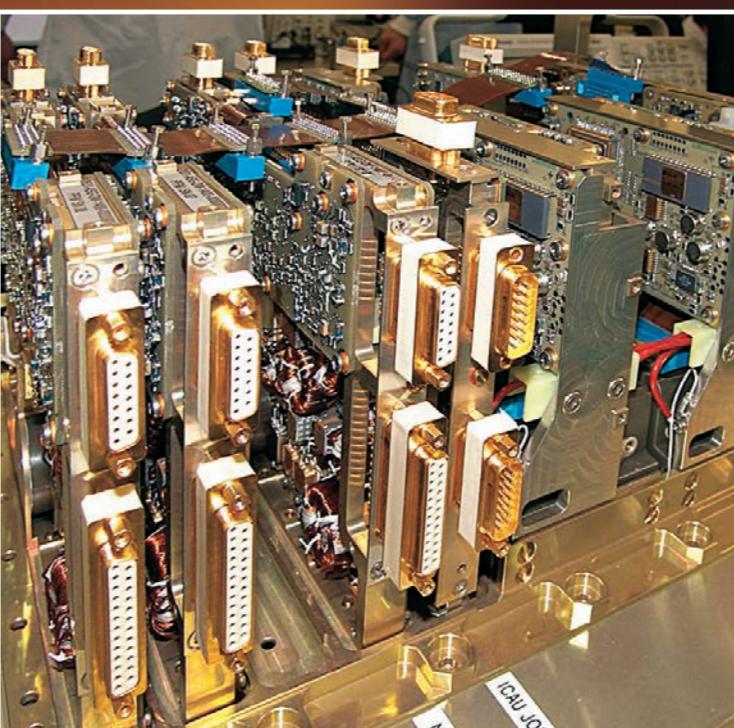
## The transformation of a propulsion system

Since the discovery of the HEMP principle, the engine has been optimised and its thrust increased on an on-going basis. One test, for example, showed that the plasma jet might damage the satellites' solar cells if its angle of emergence was too wide. By changing the configuration of the magnetic field, the plasma jet was made to



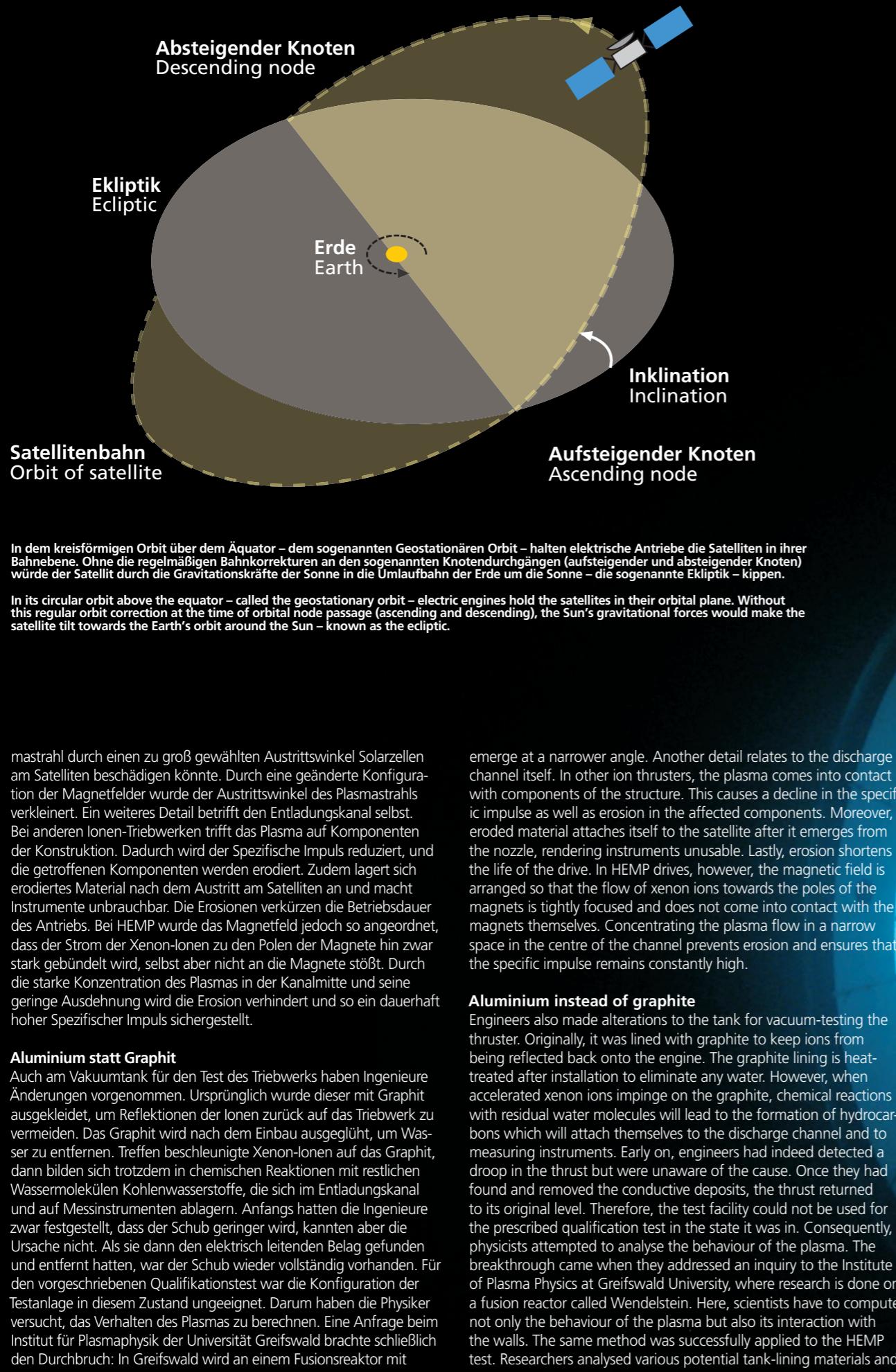
Das positiv geladene Xenon-Gas wird durch ein sehr starkes Magnetfeld in dem zylindrischen Entladungskanal konzentriert gehalten. Beim HEMP-Prinzip wird ein 1,2-Tesla-starke Magnetfeld durch Permanentmagnete erzeugt. Am gegenüberliegenden Ende des Kanals sammeln sich die negativ geladenen Elektronen durch die besondere Topologie des Magnetfeldes und erzeugen ein großes elektrisches Potential, in dem die Xenon-Ionen beschleunigt werden und Schub erzeugen. Tritt das ionisierte Gas am Ende des Kanals aus, gibt ein Neutralisator jedem Atom seine Elektronen zurück.

In a HEMP drive, the positively charged xenon gas is being concentrated along the axis of a cylindrical discharge channel by a very powerful magnetic field. The HEMP principle works with a magnetic field of 1.2 Tesla, generated by powerful permanent magnets. At the opposite end of the discharge channel, negatively charged electrons accumulate. Given the special topology of the magnetic field, an electric potential is generated, accelerating the xenon ions and generating thrust. When the ionised gas emerges from the end of the channel, each atom receives its electrons back from a neutraliser. (TED)



Die umfangreiche Hochspannungselektronik ist auf engstem Raum untergebracht. Das Gehäuse in Größe eines Schuhkartons beinhaltet Einstekplatten und Verbindungs-elemente.

The high-voltage electronic system is installed in an extremely confined space. Its casing, which is the size of a shoe box, contains plug-in boards and connecting elements. (EADS)



Namen „Wendelstein“ geforscht. Dort müssen die Wissenschaftler neben dem Plasmaverhalten auch die Wechselwirkungen mit den Wänden berechnen. Diese Methode wurde auch bei HEMP erfolgreich angewandt. Die Forscher berechneten verschiedene Materialien und Geometrien als Tankauskleidung und planten neue Tests für die Vakuumkammer. Rechnerisch ermittelt und experimentell nachgewiesen hat das Team zum Erstaunen der Fachwelt festgestellt, dass für diesen Fall Aluminium besser als Graphit geeignet ist. In einem Dauertest wurde ein HEMP-Triebwerk 800 Stunden mit einer Aluminiumtankauskleidung betrieben. Dieser Test hat die Berechnungen der Wissenschaftler bestätigt und gezeigt, dass Aluminiumablagerungen keinen Einfluss auf den Qualifikationstest haben werden.

#### Ein Triebwerk im Dauertest

In mehr als 9.000 Stunden Dauertest in Vakuumkammern haben HEMP-Triebwerke ihre Zuverlässigkeit bereits nachgewiesen – einen längeren Zeitraum als für die Qualifikation erforderlich. In weiteren Tests wurde untersucht, ob sich das Triebwerk unter Vakuumbedingungen problemlos an- und abschalten lässt. Seine Weltraumtauglichkeit wird es in einem Qualifizierungstest unter Beweis stellen müssen, ehe vier Triebwerke auf dem SGEO-Satelliten im Jahr 2014 ins All starten können. Dafür wird ein Triebwerk rund 7.200 Stunden in einem Vakuumtank betrieben, nur unterbrochen durch Wartungsarbeiten, bei denen auch Kühlflächen ausgewechselt werden, an denen das Xenon nach Austritt aus dem Triebwerk festfriert, um das Vakuum trotz des Gasflusses aufrecht zu erhalten. Der Test entspricht der 1,5-fachen Betriebsdauer des Triebwerks – also circa 300 Tagen. Ein zweites Triebwerk wird parallel 9.800-mal unter Weltraumbedingungen ein- und ausgeschaltet.

#### Status und Zukunft

Die Entwicklungen sowohl der Triebwerkstechnologien, des Neutralisators als auch der PSCU werden durch das DLR Raumfahrtmanagement gefördert. Sie haben einen weltweiten Technologievorsprung von mehreren Jahren gegenüber ähnlichen Entwicklungen erreicht. Die Triebwerke könnten modifiziert auch für Missionen mit erweiterten Anforderungsprofilen zum Beispiel schwereren Satelliten oder für interplanetare Missionen eingesetzt werden. Mit den Rechenmethoden der Universität Greifswald können Triebwerksgeometrien und das Verhalten des Plasmas vorausberechnet werden. Diese Methode findet ebenfalls internationales großes Interesse. Die Betreiber von Telekommunikations-Satelliten wollen künftig elektrische Antriebe höherer Leistung einsetzen, um – sie ähnlich wie beim ARTEMIS – Satelliten kostengünstig auf höhere Orbits zu befördern. Andere in Deutschland entwickelte, elektrische Triebwerke mit einem Schub von circa fünf millionst Gramm werden für hochgenaue Ausrichtung von Instrumenten auf wissenschaftlichen Missionen benötigt.

#### Zusammenhänge ARTES 11 und HEMP

Zwei Memoranda of Understanding (MOU) zwischen ESA und dem DLR Raumfahrtmanagement ermöglichen die Beistellung des deutschen Plasmaantriebs zum Advanced Research for Telecommunication Satellites (ARTES) 11-Programm der ESA. Das eine betrifft die Zusammenarbeit mit dem ARTES 11-Programm, das den SGEO-Satelliten einschließt. Das andere beinhaltet die Beistellung von vier HEMP-Triebwerken einschließlich seiner Subsysteme (HTA). Um dies erfüllen zu können, hat das Raumfahrtmanagement einen Vertrag mit der Firma Thales Electron Devices (TED) geschlossen: TED als Hauptauftragnehmer für die HTA hat wiederum fünf Unteraufträge vergeben. Hierzu zählen: Astrium GmbH (für die PSCU), Bradford Engineering/MOOG (für die FCU), Aerospazio Tecnologie s.r.l. (für die Qualifikationstests), The Aerospace Corporation (Tests für die elektromagnetische Verträglichkeit, bereits abgeschlossen) und OHB System GmbH (Harness, Integration). ESA hat einen Vertrag mit OHB System GmbH als Auftragnehmer für ARTES 11 und SGEO geschlossen. Um den Satelliten in seine Umlaufbahn zu bringen und kommerziell zu betreiben, wurde ein Vertrag zwischen der spanischen Firma HISPAKAT und OHB unterzeichnet.

geometries and created new tests for the vacuum chamber. To the astonishment of the expert community, the team determined mathematically and demonstrated experimentally that aluminium meets the case better than graphite. In an endurance test, a HEMP thruster was operated for 800 hours in a tank lined with aluminium. Confirming the scientists' calculations, the test showed that aluminium deposits would not influence the qualification test.

#### Endurance test for a thruster

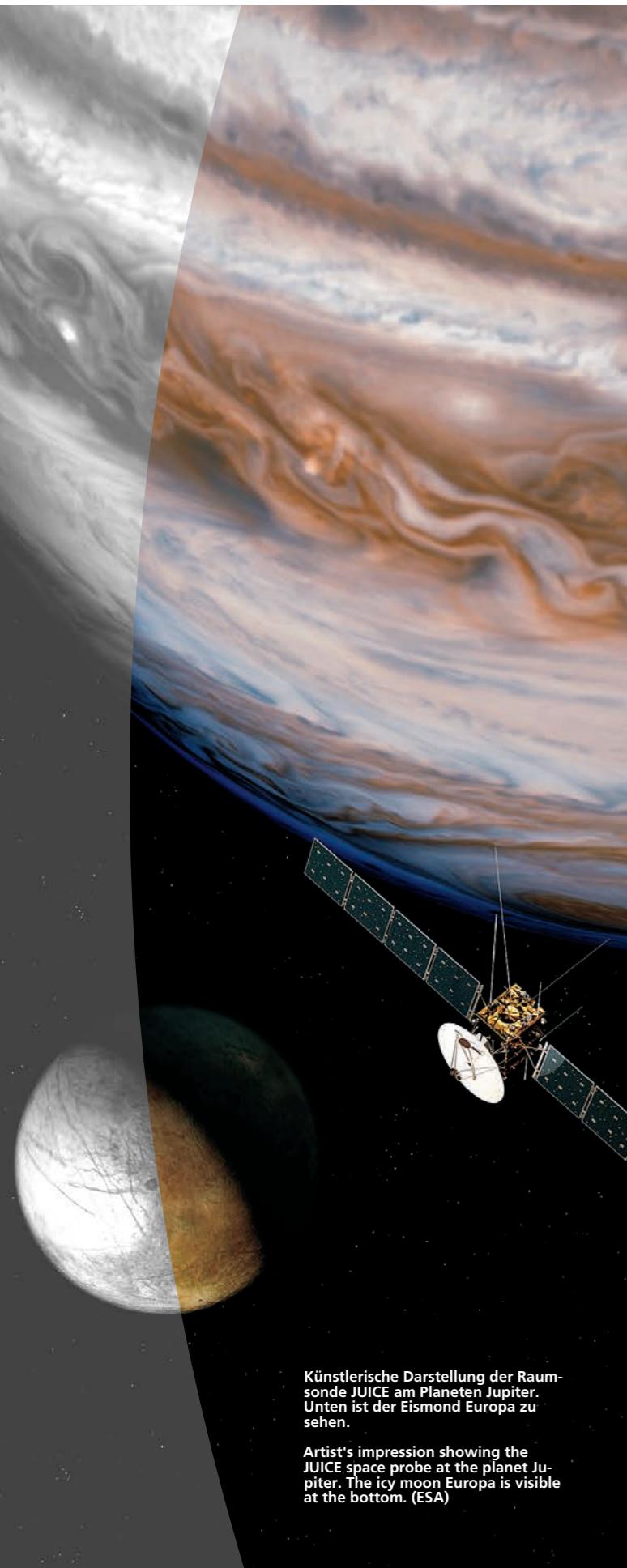
HEMP engines have already established their reliability in a vacuum-chamber endurance test that lasted for more than 9,000 hours – longer than required for qualification. Other tests were run to see whether the thruster could be switched on and off under vacuum conditions without running into trouble. It will have to establish its spaceworthiness in a qualification test before four of these thrusters can be launched into space on the SGEO satellite in 2014. In that test, a thruster will be kept running in a vacuum tank for around 7,200 hours, interrupted only by maintenance which includes the replacement of the refrigeration panels which serve to keep the interior in vacuum despite the flow of gas. The duration of the test corresponds to 1.5 times the life of the thruster – about 300 days, in other words. In a parallel test, another thruster will be switched on and off 9,800 times under space conditions.

#### Current status and outlook

Sponsored by the DLR Space Administration, the development of the drive technologies, the neutraliser, and the PSCU has given Germany a global technology lead of several years over other similar developments. Modified versions of these thrusters might also be used for missions with more complex requirement profiles such as, for example, heavier satellites or interplanetary missions. The mathematical methods developed by Greifswald University permit computing drive geometries and predicting the behaviour of plasma, a method that is attracting great international interest. In the future, operators of telecommunication satellites intend to employ electric drives with a higher power output to boost satellites cost-efficiently into higher orbits, as in the ARTEMIS case. Also developed in Germany, other electric drives with a thrust of five millionths of a gram are needed for scientific missions in which instruments must be aligned with extreme precision.

#### Relations between ARTES 11 and HEMP

Two memoranda of understanding (MOU) between ESA and the DLR Space Administration enabled Germany to contribute its plasma drive to ESA's ARTES-11 programme (Advanced Research for Telecommunication Satellites). One MOU is concerned with collaboration with the ARTES-11 programme, including the SGEO satellite. The other relates to the provision of four HEMP thrusters and their subsystems. To fulfil this obligation, the Space Administration has concluded a contract with Thales Electron Devices (TED), which, as prime contractor for HTA, has recruited five subcontractors, including Astrium GmbH (for the PSCU), Bradford Engineering/MOOG (for the FCU), Aerospazio Tecnologie s.r.l. (for the qualification tests), The Aerospace Corporation (tests for the electromagnetic compatibility, already concluded), and OHB System GmbH (harness, integration). ESA has signed up OHB System GmbH as contractor for ARTES 11 and SGEO. To transport the satellite into its orbit and operate it commercially, OHB has signed a contract with the Spanish HISPAKAT company.



# JUICE

## Europa auf dem Weg zum Jupiter

Von Dr.-Ing. Christian Gritzner

**Die Weichen in Richtung Jupiter sind gestellt:**  
Europa hat beschlossen, den größten Planeten unseres Sonnensystems und drei seiner größten Monde zu erkunden. Ganymed, Kallisto und Europa besitzen dicke Eispanzer, unter welchen Ozeane aus Wasser vermutet werden. Dort könnte auch Leben entstanden sein. Jetzt beginnen die Entwicklungsarbeiten für den europäischen Jupiter Icy Moons Explorer (JUICE), der neben diesen Ozeanen auch das Magnetfeld und die Atmosphäre des Jupiters unter die Lupe nehmen soll. Doch bis zum Riesenplaneten ist es noch ein langer Weg: Der Start soll im Jahre 2022 erfolgen. Die Ankunft am Jupiter ist für das Jahr 2030 geplant. Nach drei Jahren Beobachtungszeit endet JUICE voraussichtlich 2033 – eine wahre Langfrist-Mission.

## JUICE

### Europe Goes for Jupiter

By Dr.-Ing. Christian Gritzner

The path to Jupiter has been mapped out: Europe has decided to explore the largest planet in our solar system together with three of its biggest moons. Ganymede, Callisto, and Europa are all thickly armoured in ice. It is suspected that underneath that crust there are oceans of water, in which life might have evolved. A programme has recently been commissioned to develop a European Jupiter Icy Moons Explorer (JUICE) designed to scrutinise not only these oceans but also Jupiter's magnetic field and its atmosphere. But there is still a long way to go before the giant planet can be explored: JUICE is due for launch in 2022. Its arrival at Jupiter is scheduled for 2030. After three years of observation, JUICE will probably end in 2033 – a long-range mission indeed.

Künstlerische Darstellung der Raumsonde JUICE am Planeten Jupiter. Unten ist der Eismond Europa zu sehen.

Artist's impression showing the JUICE space probe at the planet Jupiter. The icy moon Europa is visible at the bottom. (ESA)



Autor: Dr.-Ing. Christian Gritzner ist Raumfahrtingenieur und in der Abteilung Extraterrestrik im DLR-Raumfahrtmanagement zuständig für die kürzlich begonnene JUICE-Mission. Ferner betreut er die deutschen Beteiligungen an den Forschungsmissionen Herschel und MarsExpress sowie ESA-Studien zu planetaren Missionen und Höhenforschungsprojekte zur Atmosphärenforschung.

Author: Dr.-Ing. Christian Gritzner is an aerospace engineer. Working at the Space Research department of the DLR Space Administration, he is responsible for the recently launched JUICE mission. Moreover, he oversees the German contributions to the Herschel and Mars Express research missions as well as a number of ESA studies on interplanetary missions and sounding rocket projects in atmospheric research.

### Mission selection – Europe's scientists opt for Jupiter

Early in April 2012, leading European scientists met in Paris to decide on their recommendation regarding the upcoming L1 (large) mission of the European Space Agency (ESA). The Space Science Advisory Committee (SSAC) based its recommendation on the evaluation of three proposals for a major European mission that had been developed and submitted by various consortiums from industry and science, with significant German participation.

The SSAC's recommendation in favour of JUICE was submitted to ESA's Science Programme Committee (SPC) for approval. The SPC, in which the member states of the European Space Agency are represented, unanimously adopted the SSAC's recommendation on May 2, 2012, empowering ESA to implement the mission.

### Objectives – exploration of magnetic fields, atmospheres, and oceans

The JUICE space probe is intended to orbit Jupiter and explore the giant planet and its system of moons. Scientists are keenly interested in this miniature planetary system within our solar system and its peculiar properties, one of them being Jupiter's enormous magnetic field which is 20 times as strong as that of Earth. It captures electrically charged particles, which expose space probes to a dangerously high level of radiation. The same effect occurs in Earth's Van Allen Belt, which is avoided by crewed as well as uncrewed missions for that reason. To enable JUICE to explore the scientifically intriguing magnetic field of the Jovian system, all electronic components on board will have to be specially designed and protected.

Scientists are also greatly interested in Jupiter's atmosphere. They expect that comparisons between older data and those yet to be gathered will enable them to predict its long-term development. Jupiter has its own ring system which, however, is smaller than that of Saturn. JUICE will investigate the dynamics of that system and its interaction with other moons.

One particular target of the European probe will be the so-called icy moons, Ganymede, Callisto, and Europa. All three are encased in differently-composed icy crusts under which water in liquid form is thought to exist. In these oceans, life might have developed. From its orbit, JUICE will conduct high-precision distance measurements with the aid of a laser altimeter to determine the extent to which these icy crusts are raised and lowered by the tidal forces of Jupiter. On that basis, the extent of the oceans may be computed. In addition, it is intended to use a radar instrument to see through the layers of ice. By combining data supplied by various instruments, it will be possible to examine in detail the interior of these moons that is otherwise invisible to us.

### Missionsauswahl – Europas Wissenschaftler entscheiden sich für Jupiter

Anfang April 2012 trafen sich führende europäische Wissenschaftler in Paris, um ihre Empfehlung zur kommenden L1 (Large) Mission der europäischen Weltraumorganisation ESA auszusprechen. Grundlage des sogenannten Space Science Advisory Committee (SSAC) waren Studienergebnisse zu drei Vorschlägen für eine große europäische Mission, die von verschiedenen Konsortien aus Industrie und Wissenschaft, mit starker deutscher Beteiligung, erarbeitet worden waren.

Die Empfehlung fiel zu Gunsten von JUICE aus und wurde an die ESA und von dieser an das Science Programme Committee (SPC) übermittelt. Das SPC, in welchem die Mitgliedstaaten der europäischen Weltraumagentur vertreten sind, nahm am 2. Mai 2012 die SSAC-Empfehlung einstimmig an und beauftragte die ESA mit der Missionsdurchführung.

### Ziele – Erforschung von Magnetfeld, Atmosphäre und Ozeanen

Die JUICE-Raumsonde soll den Jupiter umkreisen und dabei den Riesenplaneten und sein Trabantsystem erforschen. Dieses Mini-Planetensystem innerhalb des Sonnensystems und seine besonderen Eigenschaften sind für die Wissenschaftler von enormem Interesse. Charakteristisch ist Jupiters enormes Magnetfeld, welches 20-mal stärker als das Erdmagnetfeld ist. Darin werden elektrisch geladene Teilchen eingefangen, die zu einer gefährlich starken Strahlungsbelastung für Raumsonden führen. Dieser Effekt tritt auch im Van-Alen-Gürtel der Erde auf, der daher von bemannten wie unbemannten Missionen gemieden wird. Um das wissenschaftlich hochinteressante Magnetfeld des Jupitersystems erforschen zu können, müssen die elektronischen Bauteile an Bord von JUICE speziell ausgelegt und geschützt werden.

Auch die Atmosphäre des Jupiters ist von großem Interesse für die Wissenschaftler. Sie erwarten durch Vergleiche der neu zu gewinnenden mit früheren Daten, Aussagen über die langfristige Entwicklung der Atmosphäre treffen zu können. Jupiter verfügt über ein Ringsystem, allerdings kleiner als das des Saturns. Die Dynamik dieses Systems und das Zusammenspiel mit weiteren Monden wird von JUICE untersucht.

Ein besonderes Ziel der europäischen Sonde sind die sogenannten Eismonde Ganymed, Callisto und Europa. Diese drei Monde weisen unterschiedlich beschaffene Eispanzer auf, unter welchen Wasser in flüssiger Form vermutet wird. In diesen Ozeanen könnte sich Leben entwickelt haben. JUICE soll über hochgenaue Entfernungsmessungen mittels eines Laser-Altimeters aus seiner Umlaufbahn bestimmen, wie stark sich die Eispanzer durch die Gezeitenkräfte des Jupiters heben und senken. Daraus kann die Ausdehnung der Ozeane berechnet werden. Zusätzlich ist ein Radar-Instrument geplant, das die Eisschicht durchleuchten kann. Aus der Kombination von Daten verschiedener Instrumente lassen sich detaillierte Einblicke in das für uns unsichtbare Innere der Monde gewinnen.

**Aufbau der Sonde – Elf Instrumente auf dem Weg zum Jupiter**  
 Eine Ariane 5 ECA-Rakete soll die JUICE-Raumsonde mit einer maximalen Gesamtstartmasse von circa fünf Tonnen ins All bringen. Die Energieversorgung wird über Solarzellen erfolgen. Während in Erdnähe rund 1400 Watt pro Quadratmeter an Solarenergie verfügbar sind, reduziert sich dieser Wert auf nur noch 46 Watt pro Quadratmeter am Jupiter. Die Solarzellenflächen müssen daher mit bis zu 75 Quadratmetern relativ groß sein. Die genaue Auslegung der Raumsonde steht noch nicht fest – es wurden drei Studien verschiedener Konsortien erstellt, und ESA wird das beste Konzept auswählen.

Die wissenschaftliche Nutzlast ist ebenfalls noch nicht endgültig ausgewählt. Man arbeitete in den Vorstudien bislang mit einer Modellnutzlast. Weitere Untersuchungen sollen zu einer endgültigen Auswahl Anfang 2013 führen.

In der Modellnutzlast sind derzeit elf Instrumente vorgesehen: neben Laser-Altimeter und Radar-Instrument noch eine Weitwinkel- und eine Tele-Kamera, ein Ultraviolettspektrometer, ein Magnetometer, ein Submillimeter-Instrument, ein Radiowellen- und Plasma-Messgerät und eine Partikel-Messeinheit. Zur Bestimmung von Doppler-Frequenzverschiebungen nutzt man die an Bord vorhandenen Kommunikationsanlagen – damit lassen sich minimale Geschwindigkeitsänderungen der Sonde messen, die durch eine ungleichmäßige Verteilung der Masse in den Monden verursacht wird.

#### Zusammenarbeit – Auch die NASA will sich beteiligen

Ursprünglich war vorgesehen, eine Jupiter-Mission zusammen mit den USA durchzuführen. Diese Missionsstudie wurde Europa Jupiter System Mission (EJSM/Laplace) genannt, nach dem zentralen Zielobjekt, dem Jupiter-Mond Europa. ESA sollte die Sonde Jupiter Ganymede Orbiter (JGO) bereitstellen, die US-Raumfahrtagentur NASA die Schwestersonde Jupiter Europa Orbiter (JEO). Allerdings veröffentlichte die NASA Anfang 2011 ihre langfristigen Planungen und musste aus budgetären Gründen ihre JEO-Beteiligung an EJSM/Laplace zurücknehmen.

Daraufhin wurde von ESA in einer Reformierungsstudie untersucht, ob und wie man die Mission unter Wahrung der wichtigsten Missionssziele alleine umsetzen kann. Das Ergebnis war, dass dies durchaus möglich ist – der Missionsvorschlag JUICE war geboren. Mit der Raumsonde JUICE sollen nun im Alleingang die drei Eismonde und der Jupiter erforscht werden.

Generell ist bei Wissenschaftsmissionen die ESA für die Entwicklung der Raumsonde, den Start und den Betrieb der Mission zuständig. Hierzu werden auch Aufträge an die europäische Raumfahrtindustrie vergeben. Die wissenschaftlichen Instrumente werden in der Regel von den Mitgliedstaaten und Partnern beigestellt, welche auch die Datenauswertung durchführen. Inzwischen hat die NASA ihr Interesse angemeldet, sich an einigen der Instrumente der JUICE-Mission zu beteiligen. Eine Entscheidung hierzu wird bis Anfang 2013 erwartet.

#### The design of the probe – eleven instruments on their way to Jupiter

With a maximum take-off weight of about five tons, the JUICE probe will be carried into space by an Ariane 5 ECA rocket. Electrical power will be provided by solar cells. While the Sun delivers some 1,400 watts of solar energy per square metre at the Earth, that figure will shrink to no more than 46 watts per square metre at Jupiter. Consequently, the solar-cell panels need to be relatively large – up to 75 square metres. The final design of the space probe is yet to be determined; different consortiums have developed three studies, of which the best will be selected by ESA.

The scientific payload, too, has not been finally selected yet. In the preliminary studies conducted so far, a model payload was used. After further investigation, the final selection will be made early in 2013.

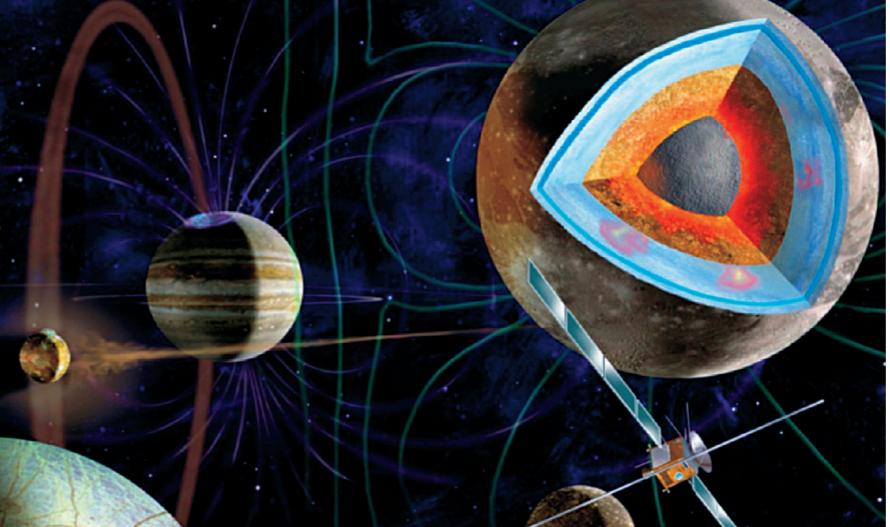
At present, the model payload comprises eleven instruments: besides a laser altimeter and a radar instrument, there is a wide-angle and a high resolution camera, an ultraviolet and an infrared spectrometer, a magnetometer, a sub-millimetre instrument, a radio-wave and plasma measuring device, and a particle measuring unit. Doppler frequency shifts will be measured with the aid of the communication equipment on board to determine the minuscule changes in the velocity of the probe that are caused by irregularities in the distribution of mass within the moons.

#### Collaboration – NASA wishes to participate

Originally, it was intended to carry out a mission to Jupiter together with the USA. This mission study bore the name of Europa Jupiter System Mission (EJSM/Laplace) after its key target, the Jovian moon Europa. ESA was to provide the Jupiter Ganymede Orbiter (JGO), while its sister, the Jupiter Europa Orbiter (JEO) probe, was to come from NASA, the US space agency. However, when NASA published its long-range plans early in 2011, it had cancelled its JEO part in EJSM/Laplace for budget reasons.

After that, ESA conducted a reformulation study to see whether and how the mission could be implemented alone without dropping any of its most important objectives. When it was found that this was indeed possible, the JUICE mission proposal was born. ESA now plans to launch a space probe to explore Jupiter and its three icy moons on its own.

Where scientific missions are concerned, ESA is normally responsible for the development of the space probe as well as for the launch and operation of the mission, activities for which contracts are awarded to the European space industry. Scientific instruments are generally provided by member states and partners who also analyse the data acquired. Meanwhile, NASA has let it be known that it is interested in contributing to some of the instruments of the JUICE mission. A decision in the matter is expected early in 2013.



JUICE mit Jupiter und den vier Galileischen Monden: Der Mond Ganymed ist hier im Schnitt gezeichnet, um den verdeckten inneren Aufbau zu zeigen. Man erkennt den dünnen blauen Wasserozean zwischen zwei Eispanzern, die den Kern aus Metall und Gestein umgeben. Der kleine Mond links im Bild ist Io, der keinen Eispanzer hat, dafür aber Schwefel-Geysire aufweist. Io wird von JUICE nicht angeflogen werden.

JUICE together with Jupiter and its four Galilean moons. Ganymede is shown in cross-section to display its supposed internal structure. You can see a thin blue line marking an ocean of water sandwiched between ice shells, surrounding a core of metal and rock. The small moon to the left is Io, which has no icy armour but does have sulphur geysers. JUICE will not fly to Io. (ESA)

#### Allocation of project costs

Any costs incurred by ESA under the science programme are shared out among member states according to their gross national product. Germany's current share amounts to around 21 per cent. Following ESA's principle of geographic return, Germany's industry will be awarded orders by ESA at approximately the same rate.

Instruments are financed by member and partner states. In Germany, they are financed by the DLR Space Administration from funds of the Federal Ministry of Economics and Technology allocated by the German Bundestag as well as by the participating research institutes and universities themselves.

ESA's costs are estimated to amount to some 830 million euros. About 200 million have been earmarked for the European instruments. NASA considers to contribute up to 100 million US dollars. In other words: around 1,000 people will be working on the project in Europe and the USA, not only scientists, engineers, and technicians directly involved in development activities, but also employees working for the numerous suppliers.

#### Outlook – the timetable for JUICE

The preliminary studies conducted so far were all based on a model payload. Now, various criteria will be applied to the selection of measuring instruments, including scientific benefit, technical maturity, costs, mass, and energy consumption. In June 2012, ESA officially issued an announcement of opportunity (AO) to submit bids for the scientific instruments of JUICE. Bids have to be submitted by October 15, 2012, and the final selection of instruments will be made early in 2013.

According to the current timetable, a two-year definition phase (A/B1) will begin at the end of 2012. This will be followed by an implementation, test, and manufacturing phase (B2/C/D). The mission is to be launched in July 2022 and will enter into orbit around Jupiter in January 2030. JUICE is supposed to explore the Jovian system for about three and a half years, although the mission may be extended if conditions permit.

#### Kosten – Aufteilung im Projekt

Die Beteiligung der Mitgliedstaaten an den ESA-Kosten erfolgt im Wissenschaftsprogramm nach dem Bruttosozialprodukt-Schlüssel. Deutschland ist derzeit mit rund 21 Prozent beteiligt. Aufgrund des ESA-Prinzips des geografischen Rückflusses erhält die deutsche Industrie auch wieder ESA-Aufträge etwa im gleichen Prozentsatz.

Die Instrumente werden durch die Mitgliedstaaten und Partnerstaaten finanziert. In Deutschland erfolgt die Förderung der Instrumente einerseits durch das DLR Raumfahrtmanagement aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages und andererseits durch die Eigenbeteiligung der jeweiligen Forschungsinstitute und Universitäten. Die ESA-Kosten werden mit circa 830 Millionen Euro angesetzt. Rund 200 Millionen Euro sind für die europäischen Instrumente vorgesehen. Die NASA hat eine Beteiligung von bis zu 100 Millionen US-Dollar in Aussicht gestellt. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass rund 1000 Personen in Europa und den USA an diesem Projekt arbeiten werden. Dies sind nicht nur die direkt an der Entwicklung beteiligten Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker, sondern zum Beispiel auch Mitarbeiter in zahlreichen Zulieferbetrieben.

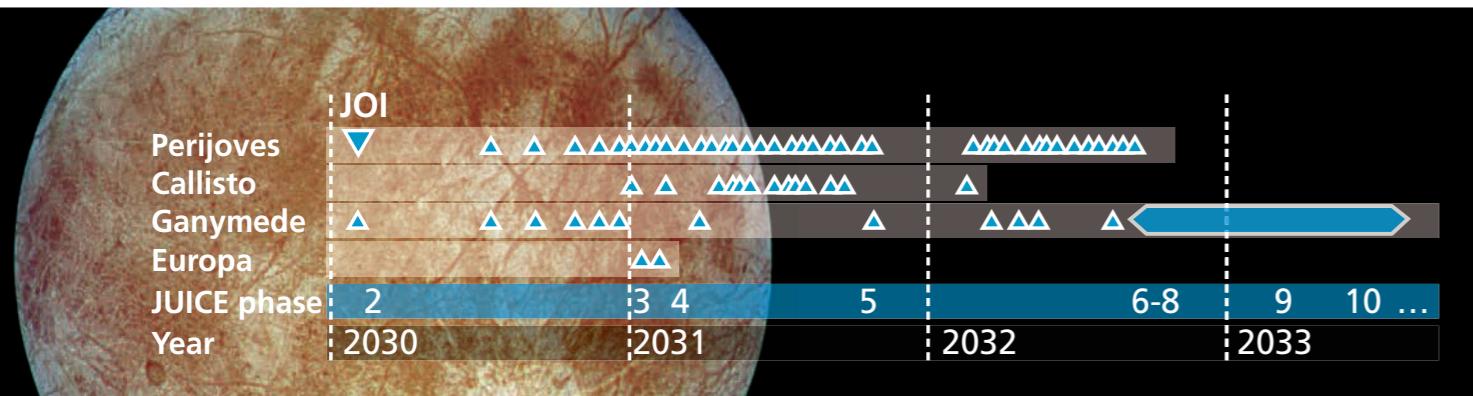
#### Aussicht – Zeitplan für JUICE

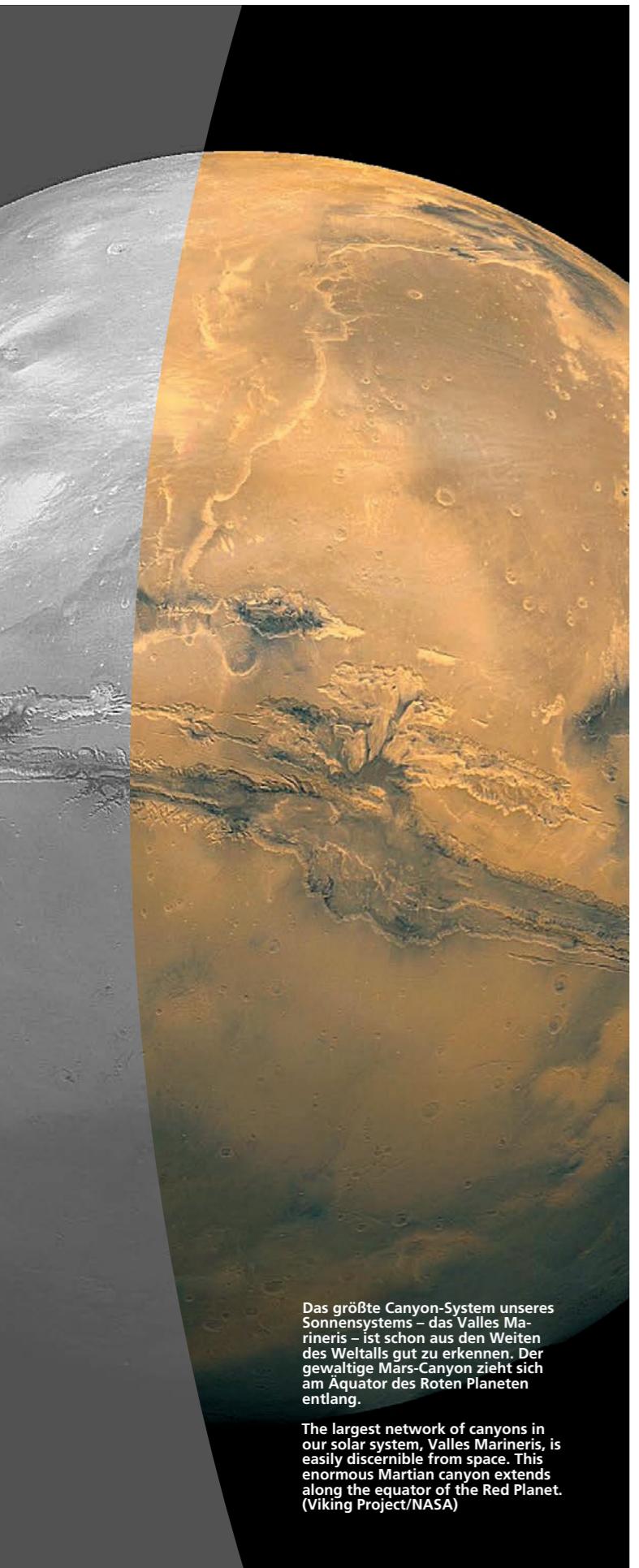
Die bisher erfolgten Vorstudien bezogen sich auf eine Modellnutzlast. Nun sollen die Messinstrumente nach verschiedenen Kriterien, wie zum Beispiel wissenschaftlicher Nutzen, technische Reife, Kosten, Masse und Energieverbrauch ausgewählt werden. Im Juni 2012 erfolgte die offizielle Aufforderung der ESA (AO – Announcement of Opportunity) zur Bewerbung um die wissenschaftlichen Instrumente für JUICE. Abgabetermin dafür ist der 15. Oktober 2012, und die Entscheidung über die Auswahl der Instrumente soll Anfang 2013 erfolgen.

Nach der gegenwärtigen Planung wird Ende 2012 eine zweijährige Definitionsphase (A/B1) beginnen. Daran schließt sich die Implementierungs-, Test- und Fertigungsphase (B2/C/D) an. Der Start der Mission soll im Juli 2022 erfolgen und der Einschuss in eine Jupiter-Umlaufbahn im Januar 2030 stattfinden. JUICE soll rund dreieinhalb Jahre im Jupitersystem forschen, wobei eine Missionsverlängerung möglich ist, wenn es die Randbedingungen zulassen.

Nach dem Einschuss von JUICE in eine Jupiter-Umlaufbahn (JOI – Jupiter Orbit Injection) im Januar 2030 soll das Jupitersystem über drei Jahre lang erkundet werden. JUICE wird sich auf seinen elliptischen Bahnen immer wieder Jupiter annähern („Perijoves“) und an den Monden Kalisto, Ganymede und Europa nah vorbeifliegen (Dreiecke). Im Jahre 2032 ist geplant, dass JUICE in eine Umlaufbahn um den Mond Ganymede einschwenken wird (blauer Balken). Nach dem Missionsende soll JUICE auf Ganymede abstürzen.

Once JUICE has entered an orbit around Jupiter (JOI – Jupiter Orbit Injection) in January 2030, it will explore the Jovian system for more than three years. Following its various elliptical orbits, JUICE will approximate Jupiter again and again (perijoves), flying closely by its moons Callisto, Ganymede, and Europa (triangles). There are plans for JUICE to enter an orbit around the moon Ganymede in 2032 (blue line). At the end of its mission, JUICE will crash on Ganymede. (ESA)





## VaMEx

### Den Mars im Schwarm erkunden

von Dr. Oliver Funke und Dr.-Ing. Ulf Bestmann

Längs des Marsäquators erstreckt sich mit einer Ausdehnung von etwa 4.000 Kilometern und einer Tiefe von 7.000 Metern das Valles Marineris – das größte Canyon-System des Sonnensystems und ein möglicher Halt extraterrestrischen Lebens. Dieses schwer zugängliche Terrain aus Bergen, Schluchten, Canyons und Höhlen kann mit Raumsonden nur eingeschränkt erkundet werden, da diese lediglich aus dem Orbit einsehbare Bereiche beobachten können. Für den Nachweis von möglicherweise noch heute im Valles Marineris existierendem Leben ist entweder eine kostspielige bemannte Mission oder der Einsatz von autonom operierenden Robotern erforderlich. Bisher auf dem Mars eingesetzte, halbautonome Rover konnten in der Vergangenheit zwar erfolgreich leicht zugängliche Gebiete ohne größere Hindernisse erkunden. Doch für die Umgebungsbedingungen des Valles Marineris sind sie unbrauchbar. Um dieses gigantische Schluchten-System kostengünstig, robotisch zu erkunden, ist eine immense Steigerung im Grad der Autonomie unabdingbar. Solche Explorationsaufgaben können am besten mit vielseitigen, intelligent navigierenden Schwärmen aus Fluggeräten und Bodenfahrzeugen erfüllt werden.

### VaMEx

#### Swarming Out to Investigate Mars

By Dr Oliver Funke and Dr.-Ing. Ulf Bestmann

4,000 kilometres in length and 7,000 metres in depth, Valles Marineris extends along the Martian equator, the largest canyon system in the solar system and a possible hiding-place of extra-terrestrial life. Difficult to access, this terrain of mountains, gorges, canyons, and caves can be explored by space probes only to a limited extent because they can observe only those areas that can be seen from orbit. Only an expensive crewed mission or, alternatively, autonomously operating robots would be able to establish whether Valles Marineris has harboured or is still harbouring life. While the semi-autonomous rovers so far deployed on Mars have indeed been successful in exploring accessible areas without major obstacles, they would be unfit to work in the topography of Valles Marineris. To explore this gigantic system of gorges cost-efficiently by robots, their degree of autonomy must be increased immensely. Versatile swarms of airborne and ground vehicles that are capable of intelligent navigation would be best for such exploratory tasks.



Autoren: **Dr. Oliver Funke** ist seitens des DLR Raumfahrtmanagements der Projektmanager von Valles Marineris Explorer. Er leitet das Verbundvorhaben für den Zuwendungsgesgeber. **Dr.-Ing. Ulf Bestmann** vom Institut für Flugführung der Technischen Universität Braunschweig obliegt die wissenschaftliche und administrative Leitung seitens der Zuwendungsempfänger.

Authors: **Dr Oliver Funke** represents the DLR Space Administration as project manager in the Valles Marineris Explorer programme. Within the joint research project, he represents the research funders. **Dr.-Ing. Ulf Bestmann** from the Institute of Flight Guidance at Technische Universität Braunschweig is responsible for scientific and administrative project management and represents the side of the beneficiaries.

Am 9. Mai 2012 startete die Abteilung Navigation des Raumfahrtmanagements im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam mit dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie offiziell das Vorhaben „Valles Marineris Explorer“ (VaMEx). Das Institut für Flugführung der TU Braunschweig leitet den aus dem Lehrstuhl für Flugsystemdynamik und dem Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation der TU München sowie dem Institut für Kommunikation und Navigation des DLR Oberpfaffenhofen bestehenden Dreier-Projektverbund. Das Team erforscht und simuliert in diesem Vorhaben den Einsatz von Schwärmen und die Orientierung der einzelnen Schwarmeinheiten untereinander. Die zu entwickelnden Schlüsseltechnologien sollen eine künftige Erforschung des Valles Marineris und eine gezielte Suche nach Leben in diesem schwer zugänglichen Gebiet ermöglichen. Die tiefen Einschnitte dieses Canyons in der Kruste des Mars bieten nicht nur neue Einblicke in die geologische Geschichte des Roten Planeten: Sie eröffnen auch bei der Suche nach Leben auf dem Mars neue und viel versprechende Möglichkeiten. Die tiefen und dunklen Täler bieten Schutz vor lebensfeindlichen Einflüssen, wie der solaren UV-Strahlung. Der umgebende atmosphärische Druck liegt dort oberhalb des Tripelpunktes des Wassers. Somit ist in diesen tiefen Tälern – im Gegensatz zur Oberfläche – die Voraussetzung dafür erfüllt, dass bei Temperaturen über 0° Grad Celsius Wasser neben den Aggregatzuständen fest (Eis) und gasförmig (Wasserdampf) auch in flüssiger Form existieren kann. Das Valles Marineris bietet daher die Möglichkeit, dort Tümpel flüssigen Wassers zu finden. Geschützt vor der solaren UV-Strahlung beherbergen sie womöglich vor Milliarden von Jahren auf dem Mars entstandene Mikroorganismen.

Damit solche zerklüfteten Orte wie das Valles Marineris jemals erkundet werden können, müssen geeignete Schlüsseltechnologien zu einer robusten, fehlertoleranten und infrastrukturlosabhängigen Ortung eines Schwärms von Fluggeräten und Bodenfahrzeugen zunächst auf der Erde erforscht und getestet werden. Es bieten sich auch spätere terrestrische Einsatzmöglichkeiten, wie die Navigation Untertage oder in durch Katastrophen verwüsteten Regionen (Search and Rescue, SAR) an.

#### Exploration im Schwarm

Getreu dem Motto „viele Augen sehen besser“ können unbekannte Gebiete mit extremem Terrain nur durch einen kompakten Verbund von Einheiten schnell und umfassend erkundet werden. Ein solcher Schwarm bietet den Vorteil einer hohen Redundanz und kann dabei nahezu beliebig Lagebeziehungen zwischen allen wichtigen Landmarken aufspannen. Kombiniert man fliegende und fahrende Schwarmelemente, bieten sich weitere Vorteile: Während die fliegenden Teilnehmer schnell weite Flächen aufklären und einen guten Überblick über das Terrain liefern, untersuchen die fahrenden Elemente die bekannte Umgebung sowie darin gefundene Objekte genau. Die Orientierung der Bodenfahrzeuge verbessert sich durch die gute Übersicht der fliegenden Schwarmteilnehmer entscheidend, während die Bodenfahrzeuge selbst auch als künstliche Landmarken dienen können.

Doch wie könnte ein entsprechendes Missionsszenario aussehen? Ein Schwarm wird von einer Basisstation zu einem noch unbekannten

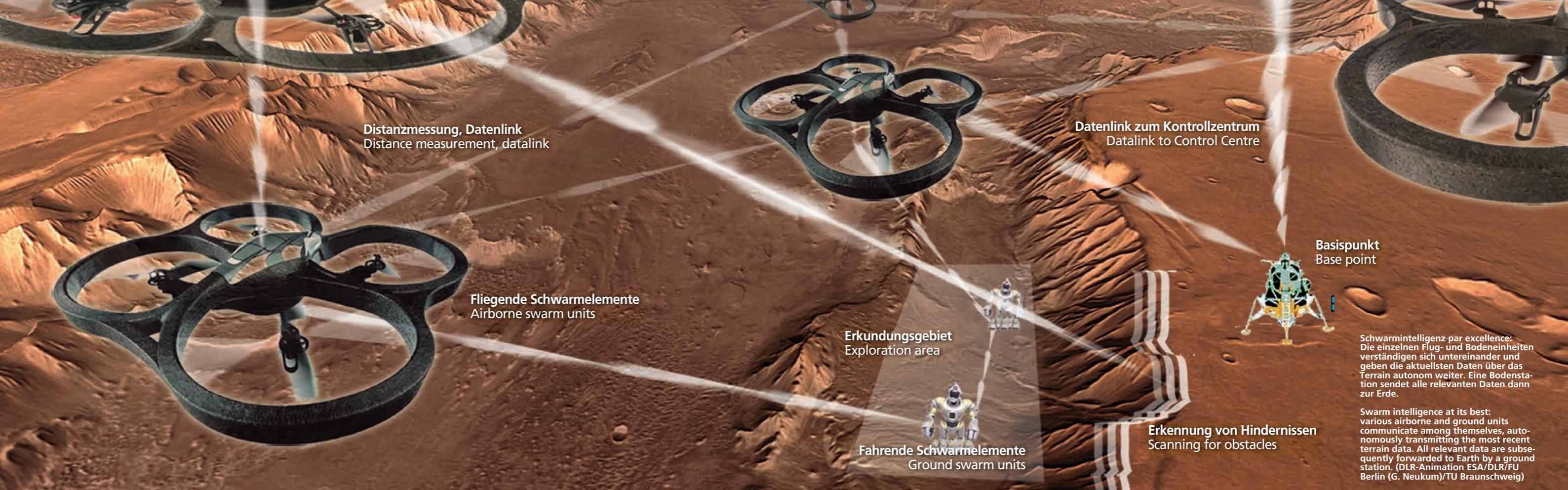
On May 9, 2012, the 'Valles Marineris Explorer' (VaMEx) project was officially launched by the navigation department of the DLR Space Administration in co-operation with the Bavarian Ministry of Economics, Infrastructure, Transport and Technology. The Institute of Flight Guidance at TU Braunschweig heads a tripartite project consortium comprising the Institutes of Flight System Dynamics and Communication/Navigation at TU Munich and the DLR Institute of Communication and Navigation at Oberpfaffenhofen. Under the project, a team will explore and simulate the deployment of robotic swarms and the mutual orientation of individual swarm units. It will develop enabling technologies that will permit exploring Valles Marineris and specifically searching for life in this impervious terrain. The deep cuts made by the canyon into the crust of Mars not only offer new insights into the geological history of the Red Planet, they also open up new, promising opportunities to search for life on Mars. Deep and dark, these valleys offer protection from influences that are hostile to life, such as the UV radiation of the Sun. At the bottom, the pressure of the surrounding atmosphere lies above the triple point of water. Unlike the surface, therefore, these deep valleys offer conditions in which water may exist not only in the solid (ice) and gaseous (water vapour) but also in the liquid state at temperatures above 0 degrees centigrade. Therefore, ponds of liquid water may well be found in Valles Marineris. Protected from the Sun's UV radiation, they may harbour microorganisms that originated on Mars billions of years ago.

If we ever want to explore a terrain as rugged as Valles Marineris, we must begin on Earth by sounding out and testing technologies that permit a swarm of airborne and ground vehicles to navigate, to find a method that is robust, fault-tolerant and independent of any infrastructure. Such a technology would also have its terrestrial uses, such as navigation underground or search-and-rescue (SAR) operations in regions devastated by disasters.

#### Exploration in a swarm

Following the precept that many pairs of eyes see more than one, only a compact system of interconnected units will be able to explore unknown regions of extreme terrain quickly and thoroughly. Offering the advantage of high redundancy, such swarms are capable of creating positional references between almost any number of important landmarks. If we combine airborne and wheeled swarm members, further advantages emerge: while flying units reconnoitre large areas quickly, providing a good overview of the terrain, wheeled robots can make close investigations of the known environment and any objects found in it. The overview obtained by the flying swarm members crucially improves the orientation of the ground vehicles, while these may themselves serve as artificial landmarks.

But what would the scenario of such a mission look like? A swarm is sent into an unknown area from a base station. For this issue, it needs to navigate autonomously, reliably, and precisely. Any obstacles must be identified and bypassed in the air or on the ground. To get their bearings in a new territory, the members of the swarm must first locate one another. Secondly, they must explore the target area with the aid of their on-board sensors, map it, and transmit the



**Schwarmintelligenz par excellence:**  
Die einzelnen Flug- und Bodeneinheiten verständigen sich untereinander und geben die aktuellsten Daten über das Terrain autonom weiter. Eine Bodenstation sendet alle relevanten Daten dann zur Erde.

**Swarm intelligence at its best:**  
various airborne and ground units communicate among themselves, autonomously transmitting the most recent terrain data. All relevant data are subsequently forwarded to Earth by a ground station. (DLR-Animation ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)/TU Braunschweig)

Gebiet entsandt. Dafür muss autonom, zuverlässig und präzise navigiert werden. Mögliche Hindernisse müssen erkannt und umfahren beziehungsweise umflogen werden. Um sich in diesem neuen Territorium zu orientieren, müssen sich zum einen die einzelnen Schwarmelemente gegenseitig orten. Zum anderen müssen sie das Zielgebiet mit Hilfe der mitgeführten Sensoren erkunden, kartographieren und die Nutzdaten zur Basis übertragen. Die Schwarmelemente werden kontinuierlich so angeordnet, dass ein Netzwerk zur Lokalisierung, Erkundung und zur Übertragung der Nutzdaten gebildet wird. Dieses Netzwerk bietet Redundanz für die Erkundung und die Datenübertragung sowie eine Toleranz gegenüber dem Ausfall einzelner Schwarmelemente.

**Schnelle, selbstständige Navigation in schwierigem Terrain**  
Für den Einsatz eines Fluggeräts auf dem Mars müssen eine Vielzahl technologischer Herausforderungen gelöst werden. Ein grundlegendes Problem ist die Eigenortung während der Mission: Da Systeme wie GPS oder GALILEO auf dem Mars nicht zur Verfügung stehen, kann ein Fluggerät nur das Gelände und eine beschränkte Menge an mitgebrachten Sensoren zur Navigation nutzen. Weil die eingesetzten Fluggeräte Teile der gewonnenen Informationen unmittelbar zur Flugregelung brauchen, muss die Navigation wesentlich autonomer als bei den NASA-Mars-Rovern „Spirit“ und „Opportunity“ ablaufen. Ein Funksignal von der Erde zum Mars und wieder zurück braucht 40 Minuten und ist damit für die Steuerung der Roboter unbrauchbar. Ferner werden die Fahrzeuge in dem bis zu 7.000 Meter tiefen Canyon nicht kontinuierlich über einen ausreichenden Zeitraum eine Funkverbindung zur Erde aufrecht erhalten können: Abschattungseffekte durch die umliegenden Felswände verhindern dies. Da an Fernsteuerung per Telemetrie also nicht zu denken ist, muss das Fluggerät in der Lage sein, alle wichtigen Entscheidungen sofort und alleine zu treffen. Interessante Objekte hingegen werden durch den Schwarm als eine zusammenhängende Intelligenz, die einzelne Schwarmmitglieder gemäß deren Spezialisierung gezielt einsetzt und zum Objekt dirigiert, erkundet. Auch den Ausfall einzelner Elemente muss der Schwarm als Ganzes kompensieren können, um die Mission erfolgreich fortzusetzen.

Doch wie kann ein solches Navigationssystem funktionieren? Eine sogenannte Inertial Measurement Unit (IMU) zur Regelung des Flug-

relevant data back to the base station. Swarm units are constantly arranged so that they form a network for localisation, reconnaissance, and data communication. This network offers redundancy in exploration and data communication as well as tolerance towards the failure of individual swarm members.

**Rapid autonomous navigation in difficult terrain**  
A multitude of technological challenges must be resolved before an airborne vehicle can be used on Mars. A fundamental problem encountered during the mission is self-positioning: as systems like GPS or GALILEO are not available on Mars, all that an airborne unit can use for navigation is the terrain itself and a limited quantity of on-board sensors. As part of the information extracted is immediately needed for flight control, airborne units must navigate much more autonomously than NASA's Mars rovers Spirit and Opportunity. The fact that radio signals take 40 minutes to run from Earth to Mars and back makes them useless for flying robot control purposes. And, obviously, vehicles operating in the canyon at a depth of up to 7,000 metres will not always be able to maintain radio contact with Earth for a sufficient length of time because of the shadowing effect of the surrounding rock walls. Therefore, since remote control by telemetry is out of the question, airborne vehicles must be capable of making any important decisions instantly and on their own. Any objects of interest, on the other hand, will be explored by the swarm with its coherent intelligence which deploys individual swarm members according to their speciality and directs them purposefully towards the object. At the same time, the swarm as a whole must be able to compensate for the failure of individual members so that the mission may be continued successfully.

How would such a navigation system work? Together with one or more cameras and laser scanners, a so-called inertial measurement unit (IMU) for flight status regulation creates a map of the area, while at the same time supporting navigation, a process called SLAM (simultaneous localisation and mapping). Starting off from a given point under autonomous control, an airborne unit begins mapping unknown terrain with the aid of its optical sensors. After a certain time, it will land in some suitable spot. Now, it will unhurriedly recharge its batteries with solar energy, fix its position at rest, and

zustandes erstellt in Kombination mit einer oder mehreren Kameras sowie Laserscannern eine Karte der Umgebung, die gleichzeitig die Navigation stützen soll – das sogenannte Simultaneous Localization and Mapping Verfahren (SLAM). Ein Fluggerät fliegt autonom von einem Punkt los und beginnt, das unbekannte Gelände mit seinen optischen Sensoren zu kartieren. Nach einer gewissen Missionszeit landet es an einer geeigneten Stelle. Nun können in Ruhe die Batterien durch Solarenergie geladen, eine Peilung in Ruhelage durchgeführt sowie die gesammelten Daten nachbearbeitet werden. Bei jeder Landung kann die Flugeinheit bei Bedarf auch einen solarbetriebenen Sender als Wegmarke zur Verbesserung der Navigation zurückzulassen, um mit fortschreitender Missionsdauer die Ortungsgenauigkeit weiter zu verbessern. Sind alle Systeme wieder aufgeladen, dann startet die Flugdrohne erneut mit erhöhter Präzision zur Erkundung eines nächsten unbekannten Teilstücks.

#### Navigation des „Springenden Frosches“

Möchte man keine Peilsender absetzen, dann bietet sich die Navigationsmethode „Springender Frosch“ (Leap Frog) an. Bei diesem Verfahren werden drei oder mehr Flugeinheiten eingesetzt. Jede führt einen Funkpeilsender oder einen Funkabstandsmesssystem mit sich. Während sich nur eine Flugeinheit bewegt, bleiben die anderen am Boden. Im Flug und nach der Landung kann das jeweilige Fluggerät seine Position relativ zu den anderen bestimmen. Nach der Landung kann ein anderes aus der Gruppe aufrücken. Die gegenseitige Navigation der Einheiten erfolgt mit Hilfe kooperativer Navigationsverfahren. Sie sorgt dafür, dass die Einheiten des Schwarmes optimale Abstände zueinander einhalten.

Damit der Schwarm oder einzelne Einheiten sicher zur Missionsbasis zurückfinden, kommen weitere Techniken zum Einsatz: Die Navigation relativ zur Basis kann beispielsweise durch die bordeigenen Sensoren ermöglicht werden. Für die robuste Navigation soll im Rahmen des Projekts ein Laufzeitmessverfahren entwickelt werden. Die relative Positionierung soll so noch einmal gesteigert werden. Bislang existieren große Lücken in den Fähigkeiten zur Erkundung fremder Planeten. Die beteiligten Projektpartner wollen diese Lücken mit dem Projekt Valles Marineris Explorer nun schließen.

post-process the data gathered. Whenever necessary, an airborne unit may leave a solar-powered transmitter behind at its landing site as a landmark to improve navigation, the objective being to further enhance the precision of localisation as the mission progresses. Once all systems have been recharged, the drone will take off again to explore the next unknown segment with even greater precision.

#### ‘Leap-frog’ navigation

If there is no intention to put down a permanent radio beacon, another method that suggests itself is known as ‘leap-frog’ navigation. The approach involves three or more robots, each carrying a radio beacon or a radio ranging system. While only one of the units moves, the others remain fixed on the ground. During its flight and after landing, the airborne unit determines its own position relative to the others. After it has reached its new position, another unit from the group moves up. The units navigate relative to each other with the aid of a co-operative navigation process, which ensures that the units of the swarm maintain optimum distances from each other.

Further technologies are employed to ensure that the swarm or individual members of it safely find their way back to the mission base: thus, for example, navigation relative to the base station could be handled by the on-board sensors. For robust navigation, a runtime measuring method is to be developed under the project in order to detect and compensate for navigation sensor faults. So far, our capability to explore alien planets still has large gaps. The partners participating in the project intend to close these gaps through the Valles Marineris Explorer project.



# ISS-Nutzung

Raumfahrtforschung zieht eine erste internationale Bilanz

Von Claudia Philpot

Bis Mitte der 1990er-Jahre fand im Weltall ein jahrzehntelanger öffentlich-politischer Wettkampf zwischen Ost und West statt. Der Bau der Internationalen Raumstation ISS 1998 setzte ein historisches Zeichen des politischen Aufbruchs. Ergebnis war das anspruchsvollste Technologieprojekt aller Zeiten und das weltweit größte Symbol für ein friedliches Miteinander. Seit Mitte 2009 ist die ISS permanent mit sechs Astronauten besetzt. Dies war der Beginn der vollen wissenschaftlichen Nutzung der Station, die im Juli 2011 mit dem letzten Shuttleflug fertiggestellt wurde. Dementsprechend hoch sind die politischen und wissenschaftlichen Erwartungen gerade auch in Zeiten der Finanzkrise. Die Ziele sind im All zum Nutzen der Menschheit zu forschen und gleichzeitig die Raumstation als Testplattform für Exploration zu betreiben. Rund 300 ISS-Experten aus Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Raumfahrtagenturen aus 25 Ländern setzen sich vom 2. bis 4. Mai 2012 auf dem ISS Symposium in Berlin deswegen auch mit kritischen Fragen auseinander: Wurden die gesteckten Ziele erreicht? Wie lange bleibt die ISS in Betrieb? Wie geht es danach weiter?

Sie ist das anspruchsvollste Technologieprojekt aller Zeiten: Die Internationale Raumstation ISS ist ein Hort der Völkerverständigung und ein Symbol für die friedliche Nutzung des Weltalls.

The most sophisticated technology project of all time, the International Space Station (ISS) is a stronghold of international understanding and a symbol of the peaceful exploitation of outer space. (NASA)

## ISS Utilisation

Space Researchers Present their First International Review

By Claudia Philpot

For several decades until the mid-1990s, space had been the scene of a political race between East and West. The historic decision of 1998 to build the ISS marked the beginning of a new political era. The result was one of the most ambitious technology projects of all time, and the greatest ever symbol for peaceful coexistence. Since the middle of 2009, when its scientific exploitation became fully operational, the ISS has been staffed by a permanent crew of six astronauts. Its assembly was complete after the last shuttle flight in July 2011. Political and scientific expectations are high, particularly at the time of the financial crisis: the aim is to conduct research in space to the benefit of humankind while at the same time operating the station as a test platform for space exploration. Against this background, some 300 ISS experts from science, politics, business, and space agencies from 25 countries met at the recent ISS symposium in Berlin from May 2 to 4, 2012, to discuss a number of critical questions: Have all set goals been achieved? How long will the ISS remain in operation? What will happen next?



Autorin: **Claudia Philpot** betreut in der Abteilung Bemannte Raumfahrt, ISS und Exploration des DLR Raumfahrtmanagements die Programmatik der ISS Nutzung. Sie ist Projektleiterin der privatwirtschaftlichen ISS Nutzung.  
Author: **Claudia Philpot** works in the Division of Human Spaceflight, ISS and Exploration at the DLR Space Administration. She is the project manager of the ISS utilisation with the emphasis on commercial ISS utilisation.

## Wurden die gesteckten Ziele erreicht?

„Bereits vor über 25 Jahren hat Europa bewiesen, dass es ein kompetenter und verlässlicher Partner in der Raumfahrt ist. Solange unser Handeln gut für die Wissenschaft, die Menschheit und unseren Planeten ist, stärkt uns die Kooperation. Die Gestaltung der nächsten 25 Jahre liegt ausschließlich in unseren Händen“, appellierte Prof. Heinz Riesenhuber, ehemaliger Bundesminister für Forschung und Technologie. Jetzt – wo die ISS weitestgehend fertiggestellt ist – ist es an der Zeit, die maximale Ernte für die Wissenschaft einzufahren. Sie hat nun die Chance, ihren Beitrag für Innovationen in unserer Gesellschaft zu leisten“, unterstrich auch Peter Hintze, Staatssekretär im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Daten und Ergebnisse aus den ersten zehn Forschungsjahren müssen ausgewertet und die weiteren zehn Betriebsjahre sinnvoll, effizient und mit Weitblick genutzt werden. Dazu zog die NASA ISS-Programm-Wissenschaftlerin Dr. Julie Robinson Bilanz: Über 1.300 international vernetzte Wissenschaftler aus 59 Ländern engagierten sich im Zeitraum von 2001 bis Ende 2011 in mehr als 1.200 ISS Experimenten. Allein aus Europa kamen 200 Experimente. In über der Hälfte steckt deutsches Know-How. Das Themenpektrum reicht von der physikalischen Forschung mit Materialwissenschaften, Fluid-, Quanten- und Astrophysik, Verbrennungsvorgängen über die Lebenswissenschaften mit Medizin, Biologie/Biotechnologie, Astrobiologie, Fernerkundung, Klimatologie, Technologieerprobungen bis hin zu vielfältigen Bildungsinitiativen. Deutsche Wissenschaftler haben Ihre Stellung in der Diagnose- und Therapiemethodik in der Medizin, der Biologie, der physikalischen Grundlagenforschung und der Werkstoffforschung behauptet.

Eine Entdeckung auf der ISS hat die Werkstoffforschung revolutioniert: In Krankenhäusern tötet kaltes Plasma Bakterien und Pilze ab – besonders wichtig in der Krankenhaushygiene. Selbst die



„Die Zukunft liegt in unseren Händen“: Ehrengast Prof. Heinz Riesenhuber appellierte in einer mitreißenden Rede an alle Nationen, die ISS bis zum Ende ihrer Betriebszeit zu nutzen und auch danach Forschung im Weltall zu betreiben. Riesenhuber war von 1982 bis 1993 Bundesminister für Forschung und Technologie und setzte sich in den Zeiten des Kalten Krieges mit Leidenschaft für die Raumfahrt ein. ESA-Generaldirektor Jean-Jacques Dordain, DLR-Vorstandsvorsitzender Prof. Jan Wörner und Bundeswirtschaftsminister Dr. Philipp Rösler spendeten Applaus.

‘The future lies in our hands’: in an inspiring talk, guest of honour Prof. Heinz Riesenhuber appealed to all nations to use the ISS to the end of its life and to go on researching in space afterwards. Mr Riesenhuber served as Federal Minister of Research and Technology from 1982 to 1993 and was an impassioned supporter of space flight in the time of the Cold War. He received applause from Jean-Jacques Dordain, ESA’s Director General, Professor Jan Wörner, Chairman of the DLR Board, and Dr Philipp Rösler, Federal Minister of Economics.

## Have all set goals been achieved?

‘Europe demonstrated 25 years ago that it is a competent and reliable partner in space. As long as our actions are good for science, humanity, and our planet, cooperation makes us stronger. What we make of it in the next 25 years is entirely in our own hands,’ said former Minister of Research and Technology, Professor Heinz Riesenhuber in an appeal to conference delegates. ‘Now that the ISS is largely complete, it is time for scientists to gather the biggest possible harvest. This is its chance to make its contribution towards innovation for our society,’ agreed Peter Hintze, under-secretary with the Federal Ministry of Economics and Technology. Data and knowledge gathered during the first ten years of research have to be evaluated, while the remaining ten years of operation must be used meaningfully, efficiently, and far-sightedly. NASA’s ISS programme scientist Dr Julie Robinson summarised the programme’s results so far: more than 1,300 internationally linked scientists from 59 countries have been involved in more than 1,200 experiments from 2001 until the end of 2011. 200 ISS-based experiments came from Europe alone. Over half of these involve German know-how. Subjects range from research in physics – materials science; fluid, quantum, and astrophysics; combustion processes – and the life sciences – medicine, biology/biotechnology – to astrobiology, remote sensing, climatology, technology demonstration and a wide variety of educational initiatives. German scientists have maintained their position in medical diagnostic and therapeutic methodology, biology, basic physical research, and materials research.

Research on the ISS led to a revolutionary discovery in materials research: cold plasma kills bacteria and fungi – a great benefit in hospital hygiene. Also, clinical tests successfully demonstrated its value in the treatment of chronic wounds which refuse to heal. This bilateral Russian-German plasma research project led by Professor Gregor Morfill, an astrophysicist at the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics in Garching, also has potential for commercial applications in the cosmetics industry.

New non-invasive therapeutic devices originally developed for astronauts have found their way into daily clinical practice. Visitors were able to inspect some specimens at an exhibition that was held in parallel to the conference. One example is the 3-D eye track-



Behandlung chronischer, nicht-heilender Wunden wurde in der klinischen Erprobung erfolgreich nachgewiesen. Diese bilaterale russisch-deutsche Plasmaforschung von Prof. Gregor Morfill, Astrophysiker am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching, hat auch kommerzielles Potenzial in der Kosmetikindustrie. Neue nicht-invasive, medizinische Behandlungsgeräte, die ursprünglich für die Astronauten entwickelt wurden, haben mittlerweile ihren Weg in den klinischen Alltag gefunden. Einige Beispiele konnten sich die Besucher in der begleitenden Ausstellung zur Konferenz ansehen. Ein Beispiel ist das von Prof. Andrew Clarke (Freie Universität Berlin) entwickelte 3D-Eye-Tracking Device zur Untersuchung von Anpassungsreaktionen des Gleichgewichtssystems sowie von Phänomenen der räumlichen Orientierung. Das Gerät wird seit einigen Jahren zum Beispiel in der Marktforschung oder in klinischen Anwendungen bei der Verlaufs-kontrolle von Augenlaseroperationen vermarktet. Der Vibrationstrainer Galileo, der das neuro-muskulo-skeletale System stimuliert und so Muskel- und Knochenabbau effektiv entgegenwirkt, ist ein weiteres Beispiel. Die Industrie nutzte die Bühne des ISS-Symposiums, um ihre aktuellen High-Tech Produkte und Technologien von der Raumstation vorzustellen wie zum Beispiel das von EADS Astrium gebaute automatische Gewächshaus EMCS (European Cultivation System). Das verbesserte Verständnis des Pflanzenwachstums findet Anwendungen in der Agrarwirtschaft sowie der Medikamentenherstellung.

Seit einigen Jahren sollen besondere Programme auch die Industrie motivieren, eigene Projekte durchzuführen und neue Technologien unter den besonderen Bedingungen des Weltraums zu erproben. Im nächsten logischen Schritt werde die industriegetriebene Forschung einen Großteil der Nutzung ausmachen, prognostizierte NASA ISS-Assistant-Associate-Administrator, Mark Uhran. In den USA wurde in Florida die Firma CASIS zur Promotion der Forschungsmöglichkeiten auf der ISS gegründet und auch in Deutschland gebe es laut Uhran Potenzial in diesem Sektor. Hier entstehen zum Beispiel neue, günstigere und kompaktere Systeme, die in Kooperation mit Nanoracks zur ISS fliegen. Zu einem dieser zeitnahen Industrieexperimente gehört auch die Untersuchung von Metallverarbeitungsprozessen von Prof. Robert Guntlin, Direktor der Access e.V. Er präsentierte seine Weltraumforschungsergebnisse, die einen Marktvoorteil in Europa bei der Entwicklung von ultraleichten Titan-Aluminid-Turbinschaufeln ermöglichen sollen, die fünfzig Prozent leichter sind als herkömmliche Turbinschaufeln. Die Grundlagenforschung auf der ISS habe die Herstellung dieser Antriebstechnologie erst instrumentalisiert, sagte ESA-Generaldirektor Jean-Jacques Dordain in Berlin. Wissenschaft und Industrie sind also auf einem guten Weg. Doch wie viel Zeit bleibt ihnen für die Forschung auf der ISS?

#### Wie lange bleibt die ISS in Betrieb?

Nur ein kontinuierlicher Betrieb „im Hintergrund“ stellt die erfolgreiche Nutzung der Raumstation sicher, betonten die Heads of Delegation der ISS Partneragenturen und der DLR Vorstandsvorsitzende Prof. Jan Wörner. Sie erinnern an die Chancen, die sich durch dieses heute gefestigte Kooperationsnetzwerk für neue gemeinsame Projekte bis mindestens 2020 auf der ISS und darüber hinaus ergeben können.

Im Hinblick auf die Ministerratskonferenz vom 20. bis 21. November 2012 schloss sich der Bundesminister für Wirtschaft und Technologie,

ing device developed by Professor Andrew Clarke (Free University of Berlin) to study adjustment reactions in the human balancing mechanisms and spatial orientation phenomena. For some years now, the device has been marketed for use in, for example, market research or clinical applications, such as controlling the progress of laser eye operations. Galileo, a vibration trainer which stimulates the neuro-musculo-skeletal system and thus effectively counteracts the degradation of muscles and bones, is another example. The industry used the ISS symposium as a stage for presenting its latest high-tech products and technologies from the space station including, for instance, the ‘automatic greenhouse’ built by EADS Astrium (EMCS – European Cultivation System). Its potential applications include improved fertiliser concepts for agriculture, and the production of pharmaceuticals.

Special programmes have been in place for several years, which intend to motivate the private sector to implement projects of its own and test new technologies under the special conditions prevailing in outer space. NASA's ISS assistant associate administrator, Mark Uhran, prophesied that the next logical step would be for industry-driven research to account for most of the exploitation of the ISS. In Florida, USA, the CASIS company was founded to promote research opportunities on the ISS, and according to Uhran, there is potential in this sector in Germany as well. The project involves the building of more cost-efficient and compact systems that will fly to the ISS in co-operation with Nanoracks. Another current industrial experiment is a study of metal-working processes by Professor Robert Guntlin, director of Access e. V. The results of his space-based research should give Europe a competitive edge in the development of ultra-lightweight titanium-aluminide turbine blades fifty per cent lighter than conventional turbine air foils. ESA's Director General, Jean-Jacques Dordain, said in Berlin that it was basic research on the ISS that had paved the way for perfecting this propulsion technology. So science and industry are well on their way. But how much time is left for them for research on the ISS?

#### How long will the ISS remain in operation?

The delegation heads of the ISS partner agencies and the chairman of the DLR executive board, Professor Jan Wörner, agreed that only continuous operation ‘in the background’ could safeguard the successful exploitation of the ISS. They underlined that as a network that was now soundly consolidated they could find research opportunities on the ISS at least until 2020 and beyond.

In view of the upcoming meeting of the ESA Ministerial Council on November 20 and 21, 2012, the Federal Minister of Economics and Technology, Dr Philipp Rösler, agreed that the ISS should be exploited until 2020 at least. In that context, he endorsed proposals to invite non-participating countries to share the use of the ISS as a laboratory. Rösler went on to say that, ‘in the future, all European states participating in the ISS should go on making their solidary contribution to the operation of the station so that no one will be forced to shoulder too much of an additional burden’. In the run-up to the Council meeting, preparatory committees are currently discussing funding proposals for the ISS operations programme to ensure that the station can continue to be utilised in the years ahead.

Dr. Philipp Rösler, der Meinung an, „die ISS bis mindestens 2020 zu nutzen“. Er unterstützte in diesem Zusammenhang die Vorschläge, auch bislang nicht beteiligte Länder einzuladen, das „Großraumlabor ISS“ zu nutzen. Rösler sagte weiter, dass „sich in Zukunft auch weiterhin alle europäischen ISS-Teilnehmerstaaten gemeinsam und solidarisch am Betrieb der ISS beteiligen“ müssten, „damit keiner künftig zusätzliche Lasten Schultern muss.“ In den Vorbereitungsgremien zur Ministerratskonferenz werden Bedingungen der finanziellen Ausstattung des ISS-Betriebsprogramms erarbeitet, um die ISS auch in den nächsten Jahren betreiben zu können. Im Jahr 2014 wird mit Alexander Gerst wieder ein Deutscher Astronaut zur ISS fliegen. Er soll für ein gutes halbes Jahr an Bord der ISS bleiben, um für Europa unter anderem in den Bereichen Materialwissenschaft, Strahlen-/ Biologie, Physik, Lebenswissenschaften und Astrophysik zu forschen.

#### Wie geht es danach weiter?

Auf absehbare Zeit ist die ISS der einzige permanent bemannte Außenposten der Menschheit im All. ESA Generaldirektor Jean-Jacques Dordain sagte, dass nach der ISS weiterhin Forschungsmöglichkeiten im niedrigen Erdorbit bestehen müssen. NASA-Administrator Charles Bolden ergänzte, dass die Internationale Raumstation nicht für alle Forschungsbereiche ideal geeignet sei. Eine „ISS II“ wird es in der bisherigen Größe und Konfiguration wohl nicht geben. Speziell im Bereich der Materialforschung müsste man über unbemannte freifliegende Labore parallel zu einer bemannten Station nachdenken. Hier könnte die Privatwirtschaft einsteigen, so Bolden. Die Weichen dazu müssen jetzt gestellt werden.

Bis dahin übernimmt die ISS als Testplattform eine wichtige Funktion: Zusätzliche Nutzungsfelder können zum Beispiel die Erprobung von Technologien für robotische und bemannte Exploration, neue Energiesysteme und Lebenserhaltungssysteme mit geschlossenen Kreisläufen und Experimente zum Klimawandel sein. In Russland überlegt man derzeit, ob die erfolgreiche Mars500 Studie in ähnlicher Form auf der ISS als nächster Schritt durchgeführt werden sollte. Die NASA forciert neben dem ISS-Programm den Aufbau neuer Infrastrukturen (ORION Kapsel, Schwerlastrakete bis 2017, neue Antriebe mit Ad Astra) für die Exploration.

Um die Zukunft zu sichern, muss man überzeugende Konzepte vorlegen. So lässt sich auch die junge Generation für die bemannte Raumfahrt, die Naturwissenschaften und die internationalen Netzwerke begeistern, betonte Berndt Feuerbacher, Präsident der International Astronautical Federation. Gerade das Beispiel der Raumstationen zeigt, dass die bemannte Raumfahrt ein aktives gesellschaftliches und generationsübergreifendes Projekt ist und keinem Selbstzweck dient. Die erreichten wissenschaftlichen Ergebnisse und ihre Vermarktung auf der Erde sorgen für eine positive und motivierende Bilanz der Konferenzteilnehmer: Die ISS ist eine wissenschaftliche und technologische Erfolgsgeschichte in friedlicher Kooperation an der auch die Öffentlichkeit verstärkt teilhaben muss. Der menschliche Entdeckerdrang und die Begeisterung für bemannte Raumfahrt lassen sich von kleiner werdenden Budgets nicht aufhalten. Darin sind sich alle bisherigen Partner und Interessierten einig: Nur mit gemeinsamer Anstrengung und dem ständigen Blick auf die nächsten Jahrzehnte wird es eine bemannte Raumfahrt im Erdorbit und darüber hinaus geben.

In 2014, another German astronaut, Alexander Gerst, will fly to the ISS. He is to stay on board for a good six months to conduct experiments for Europe. Research areas will include materials science, radiation biology, physics, life sciences and astrophysics.

#### What will happen afterwards?

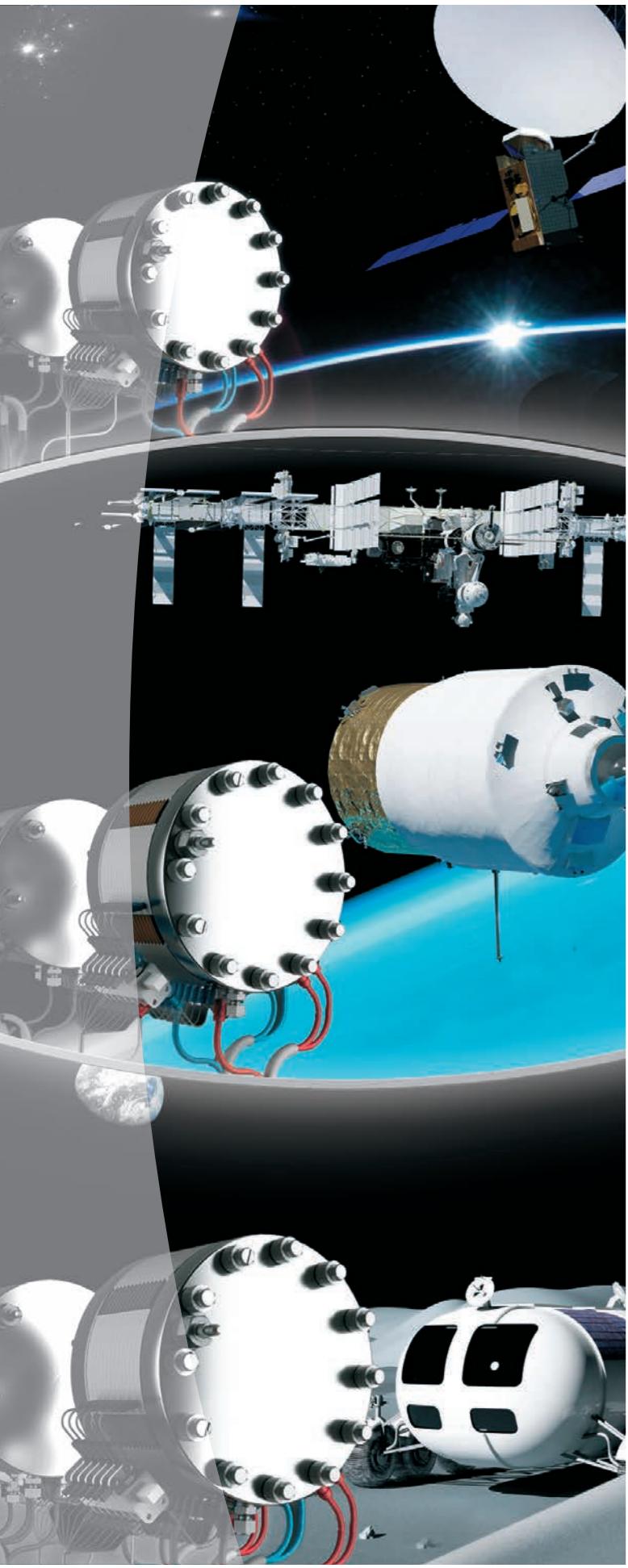
For the foreseeable future, the ISS will remain the only permanently crewed outpost of humankind in space. However, ESA's Director General Jean-Jacques Dordain said that the need for research platforms in a near-Earth orbit would continue well beyond the ISS. NASA administrator Charles Bolden added that the International Space Station was not equally well suited to all fields of research. He did not foresee an ‘ISS 2’ of the size and configuration similar to the present one. In addition to a manned station, uncrewed space laboratories would have to be considered particularly for purposes of materials research. This would be an opportunity for the private sector to take a hand, Bolden said. Strategic preparations would have to begin right now.

Until then, the ISS will go on fulfilling an important function as a test platform. Thus, for example, it might be used to test technologies for robotic and crewed exploration, new energy systems, closed-cycle life support systems, and climate change experiments. Russia is currently considering following up the successful Mars500 study with a similar experiment on the ISS as a next step. Besides the ISS programme, NASA is stepping up the development of new exploration infrastructures (ORION capsule, heavy-lift rocket by 2017, new propulsion systems under Ad Astra).

Bernd Feuerbacher, the president of the International Astronautical Federation, emphasised that in order to secure continuity in the sector it was necessary to offer convincing concepts. This is how the young generation could best be attracted to the fascinations of human space flight, studying science, and international networking. Space stations demonstrated particularly well that human space flight was not an end in itself but an active societal project extending across the generations. The scientific results achieved and their commercial exploitation on Earth made for a positive and motivating conclusion drawn by the conference delegates. The ISS is a success story of peaceful cooperation in science and technology. The human urge to discover will not be stopped by reduced budgets. This is why all present partners and interested parties agree: only a joint endeavour and a steady eye on the next decades can safeguard human space flight in the Earth's orbit and beyond.



- 1** Plasmen sind bis zu 100.000 Grad Celsius heiße Gase deren Moleküle in Ionen oder Elektronen aufgespalten sind. Im PlasmaLab werden sie auf der ISS untersucht. Plasmas are gases that may be as hot as 100,000 degrees Celsius, with their molecules split up into ions and electrons. They are being studied in the PlasmaLab on the ISS.
- 2** Bei einem sogenannten kalten Plasma sind wesentlich weniger Gasmoleküle ionisiert als bei heißen Plasmen. Die Forscher haben medizinische Geräte entwickelt, die mittels dieser Plasmen äußerst effektiv Bakterien töten können. A so-called cold plasma contains considerably fewer ionised gas molecules than a hot plasma. Researchers have developed medical devices which use such plasmas to kill bacteria extremely efficiently. (ESA)
- 3** Mit Hilfe der Experimentapparatur GeoFlow wollen Forscher im All Einblick in die Phänomene im Erdinneren gewinnen. Researchers intend to use the GeoFlow experimental apparatus to expand their knowledge about phenomena in the Earth's interior.
- 4** Mit Hilfe von schnellen mechanischen Vibrations-Schwingungen, die der menschlichen Schrittbewegung nachempfunden sind, trainiert Galileo die gesamte Körpermuskulatur auf sehr sanfte und natürliche Weise. Das Ergebnis ist eine Steigerung der Leistungsfähigkeit in den Bereichen Kraft, Koordination, Beweglichkeit und Ausdauer mit einem Minimum an Aufwand und Anstrengung. Galileo exercises the entire musculature of the body very gently and naturally with high-frequency mechanical vibrations that emulate the movements of a human step. Thus, a minimum of effort leads to improved performance in terms of strength, co-ordination, mobility, and endurance. (ESA)



# Habitatsysteme

**Ressourcenschonende Weltraumtechnik fördert Nachhaltigkeit auf der Erde**

Von Norbert Henn

**Im Zuge der Energiewende und steigenden Umwelteinflüssen gewinnt die Forderung, schonend mit den vorhandenen Rohstoffen umzugehen, an Bedeutung. Das Wissen um die Verknappung der Ressourcen auf der Erde bildet ein neues Bewusstsein heraus. Nachhaltigkeit ist das Gebot der Stunde. Hier kann der Mensch auf der Erde von Anwendungen für den Weltraum lernen. Da der Rohstoffnachschub im Weltall extrem begrenzt ist oder ganz entfällt, ist die Raumfahrt zur nachhaltigen Nutzung der Rohstoffe gezwungen. Bei geschlossenen Kreisläufen wie Raumfahrt-Habitat- und Energiesystemen steht Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit deshalb an erster Stelle. Diese ausgeklügelten Technologien, die im Weltall zuverlässig und effizient arbeiten, können auch auf der Erde genutzt werden, um unser Leben nachhaltiger zu gestalten.**

## Habitat Systems

**Resource-friendly Space Technology to Spawn Sustainable Terrestrial Solutions**

By Norbert Henn

The rapidly changing scene in terrestrial energy production and increased concerns about the environment demand that we use our resources more economically. Knowing that the Earth's raw materials are running out has sharpened the awareness of governments and the public. Sustainability is the order of the day. In this context, the Earth's population could benefit from space applications. Given that, on space missions, resources are extremely limited or even absent, it is vital for space crews to use all their supplies sustainably. Space missions, habitat systems and energy systems alike act as closed-loop systems in which sustainability and minimising the use of resources are a priority. Sophisticated technologies that have worked reliably and efficiently on space missions could therefore be adopted on Earth to make our way of living more sustainable.

Der Rohstoffnachschub im Weltall ist extrem begrenzt. Regenerative Systeme, auch regenerative Brennstoffzellensysteme können helfen, Ressourcen nachhaltiger zu nutzen. Hier kann der Mensch auf der Erde von Anwendungen für den Weltraum lernen.

Stocking up on raw materials in space has its limits. Regenerative systems, also regenerative fuel cell systems, can help use resources more sustainably – yet another instance where Earth dwellers can learn from space applications. (EADS Astrium)



Autor: **Norbert Henn** begleitete zuletzt innerhalb der Abteilung bemannte Raumfahrt, ISS und Exploration des DLR Raumfahrtmanagements die europäische Infrastrukturrentwicklung für die Internationale Raumstation. In der Exploration ist er für die von deutscher Seite unterstützten, vorbereitenden Aktivitäten einer ESA Lunar Lander Mission zuständig und national für Habitat- und regenerative Lebenserhaltungs- und Energiesysteme.

Author: **Norbert Henn**, who works at the Human Spaceflight, ISS and Exploration Department of the DLR Space Administration, has recently taken charge of the European infrastructure development programme for the International Space Station. In the area of space exploration he is responsible for the German side of some preparatory activities for an ESA lunar landing mission. On a national level, he is responsible for research on habitat, regenerative life support, and energy systems.

Die Geschwindigkeit des Ressourcenverbrauchs zwingt die moderne Gesellschaft zum Handeln. Bundeskanzlerin Angela Merkel bezeichnete auf dem Berliner Forum für Nachhaltigkeit Anfang Mai dieses Jahres „die Forschung als Schlüssel zum Gelingen der Energiewende“. Die Raumfahrtforschung kann hierzu als Innovationstreiber ihren Beitrag leisten: Im Weltall sind Astronauten extreme Bedingungen ausgesetzt. Sie können dort nur durch sogenannte Lebenserhaltungssysteme überleben. Diese Systeme müssen mitgeführt und nur begrenzt vorhandene Ressourcen wie zum Beispiel Wasser so geschickt nutzen, dass ein geschlossener Kreislauf entsteht, dessen Effizienz unter anderem von seinem Grad der Geschlossenheit abhängt. Systeme mit kombinierter Energiegewinnung zum Beispiel über Brennstoffzellensysteme sind ebenfalls umsetzbar.

## Wasserstoffsysteme – Schlüssel zu nachhaltiger Energiewirtschaft

Dieses Ziel kann durch eine Systemkombination aus Elektrolyseur und Brennstoffzelle erreicht werden. Der Elektrolyseur zerlegt mit Sonnenenergie Wasser in die Gase Sauerstoff ( $O_2$ ) und Wasserstoff ( $H_2$ ). Steht gerade keine Sonnenenergie zur Verfügung, dann wird aus diesen gespeicherten Gasen in der Brennstoffzelle Energie erzeugt – ein chemisch-physikalisches regeneratives Energiespeicher-System, das mit einer Sekundärbatterie vergleichbar ist. Durch diese Umkehrung von Brennstoffzelle zum Elektrolyseur kann etwa 65 Prozent der ursprünglich für die Elektrolyse aufgewandten Energie wieder zurückgewonnen werden. Dieser Kreislauf soll durch die Entwicklung der Hochdruckelektrolyse weiter verbessert werden. Hier werden neben einem verbesserten Gesamtwirkungsgrad die gewonnenen Gase mit dem aus der Elektrolyse resultierendem Druck von mindestens 100 bar – ohne zusätzliche Reingaskompressoren – gespeichert.

## Hybridsysteme – Paradebeispiel für geschlossene Kreisläufe

Der Grad der Geschlossenheit eines Lebenserhaltungssystems kann weiter gesteigert werden indem effektive Einzelsysteme zusammen-

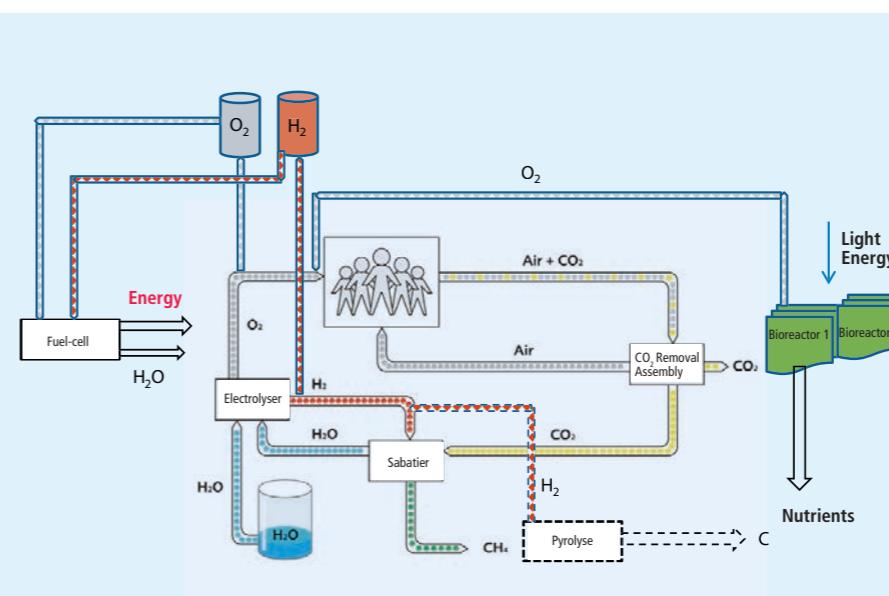
The rate at which natural resources are being depleted by modern society calls for urgent action. Speaking at the Berlin Sustainability Forum early in May this year, Federal Chancellor Angela Merkel said that 'research is the key to a successful energy policy change'. The contribution that space research can bring to the table is its established role as a driver of innovation. In space, astronauts are exposed to extreme conditions. They can only survive thanks to so-called life support systems. These systems must carefully manage all on-board resources such as water, which is available only in a limited supply, by 'continuous' recycling. The obvious answer is a recycling loop, the efficiency of which depends on the degree to which the loop is really closed. An additional option is to combine such a system with one that also generates power.

## Hydrogen-based systems – key to a sustainable use of energy

Such a combined solution can be obtained by coupling an electrolyser with a fuel cell system. The electrolyser uses solar energy to split water into its constituent gases, oxygen ( $O_2$ ) and hydrogen ( $H_2$ ). At times when solar energy is unavailable, the two stored gases can be used to generate energy in a fuel cell – a regenerative chemical-physical energy storage system comparable to a rechargeable battery. Reversibly using a fuel cell as an electrolyser makes it possible to reclaim about 65 per cent of the energy originally used for the electrolysis. Current work to develop high-pressure electrolysis is expected to improve this process even further. Besides increasing the overall system efficiency, the gases produced can be stored without any additional compressor, simply using the pressure resulting from the electrolysis, which could amount to at least 100 bars.

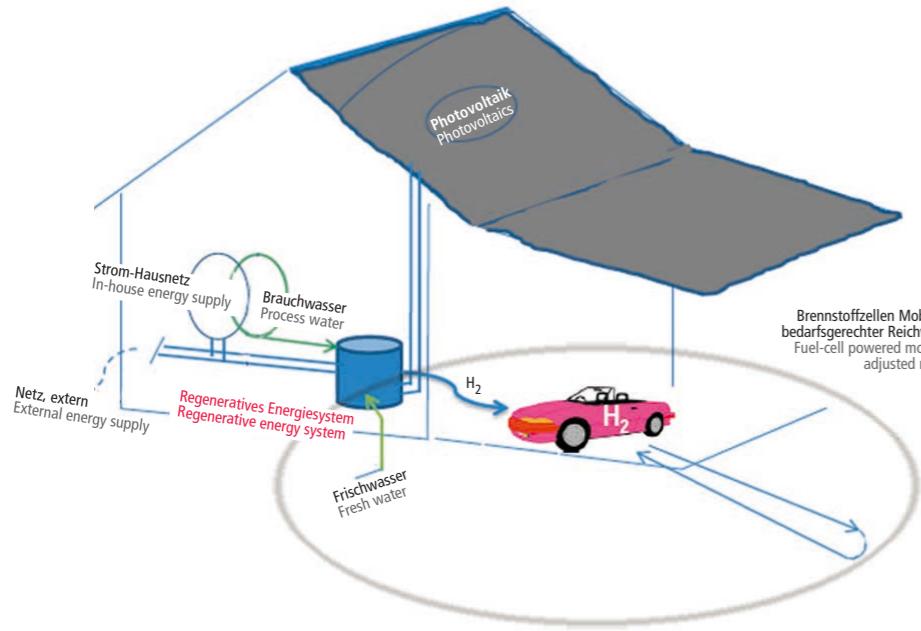
## Hybrid systems – prime example of a closed loop solution

The closed-loop character of a life support system can be further enhanced by combining individual systems effectively. Coupling chemi-



**Hybridsystem im Weltall:** Ziel dieser Systeme ist ein möglichst geschlossener Kreislauf. Zentrale Stoffe hierbei sind  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$  und  $H_2O$ .  $O_2$  kann auf mehrere Arten gewonnen werden: Zum einen durch Fotobiorektoren (Photosynthese), die außerdem noch Nahrungsmittel liefern können. Zum anderen kann über eine Elektrolyse-Prozess  $H_2O$  in  $H_2$  und  $O_2$  zerlegt werden. Der Vorteil: in beiden Fällen lassen sich die gewonnenen Stoffe in Brennstoffzellensysteme einspeisen, die daraus wiederum Energie gewinnen. Die verbrauchte Atemluft der Astronauten wird gefiltert, das  $CO_2$  konzentriert und zum einen in die "Gewächshäuser" geleitet, zum anderen über den Sabatier-Reaktor zusammen mit  $H_2$  in Wasser umgewandelt und wieder dem System zugeführt.

A hybrid system in space: the purpose of these systems is to close the system-loop as far as possible. The essential elements are  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$  and  $H_2O$ .  $O_2$  can be generated in several ways: One can produce it in a greenhouse by applying light to plants (bioreactors) which is at the same time a way of producing food. Or, split water in an electrolyser, converting  $H_2O$  into  $H_2$  and  $O_2$ . The benefit: both of these elements can then be fed into fuel-cells which, in turn, convert them into energy. The spent air from a space module is filtered,  $CO_2$  is partly concentrated piped into greenhouses and partly recombined with  $H_2$  in a Sabatier reactor to produce water, which is equally fed back into the system.



**Dezentrale Wassersstoffwirtschaft auf der Erde:** Privathaushalte könnten den Energiekreislauf mit „personal Mobility“ koppeln – zum Beispiel Solarenergie mit einem häuslichen regenerativen Wasserstoff- Energiesystem und angepasstem Aktionsradius eines "small" Brennstoffzellenautos-Elektromobils. So können alle Ressourcen schonend und sparsam eingesetzt werden.

A de-centralised hydrogen system on Earth: private homes might combine their energy cycle with personal mobility – using, for instance, solar panels and a regenerative hydrogen energy system in combination with a fuel-cell powered car with an adjusted radius of action. This is how all resources would be used sustainably and economically.

gesetzt werden. Kombiniert man chemisch-physikalische Lebenserhaltungssysteme mit biologischen Komponenten kann – zum Beispiel über Brennstoffzellen und den zusätzlich, biologisch gewonnen Sauerstoff – die Energiegewinnung systemseitig integriert werden. In solchen „Hybridsystemen“ werden biologische Ressourcen (Algen) „nachgezüchtet“. In einem Fotobioreaktor (PBR) kann dann durch Photosynthese Sauerstoff gewonnen und dem System zugeführt werden. Das DLR Raumfahrtmanagement lässt gerade untersuchen, wie der aus den Algen gewonnene Sauerstoff in einer O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>-Brennstoffzelle als Reaktionsgas genutzt werden kann. Gleichzeitig werden die Algen als Nahrung aufbereitet. So müssen auf Raumfahrtmissionen weniger Lebensmittel mitgeführt beziehungsweise nachgeliefert werden, was wiederum die Geschlossenheit, Nachhaltigkeit und Systemredundanz des Systems weiter erhöht.

#### Abfallstoffe verringern und Effizienz steigern

Astronauten verbrauchen Sauerstoff und setzen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) frei. Auf der Internationalen Raumstation ISS wird bislang Sauerstoff durch die Separation (Elektrolyse) von Wasser gewonnen. Für diese Lösung werden allerdings regelmäßig große Mengen an Wasser gebraucht, die erst einmal zur ISS transportiert werden müssen, da der Brauchwasseraufbereitungsprozess noch nicht vollständig umgesetzt ist. Wasser wird auf der Raumstation neben der Sauerstoffgenerierung auch für Verzehr und Hygiene gebraucht. Bei der Planung zukünftiger, längerer Missionen und zur Verringerung des Wasserbedarfs werden Alternativen zu dem bisherigen Konzept untersucht. Auf der ISS soll ein Lebenserhaltungssystem ab 2016 testweise in Ergänzung zu dem bestehenden russischen und amerikanischen System den Sauerstoffbedarf einer dreiköpfigen Crew decken. Im Advanced Closed Loop System (ACLS) wird über die Sabatier-Reaktion Wasser aus dem konzentrierten CO<sub>2</sub> der Atemluft und dem überschüssigen H<sub>2</sub> aus dem Elektrolyseprozess zurückgewonnen und in das System eingespeist. Das dabei entstehende Methan soll dabei derzeit noch ins All abge lassen werden. Auf diese Weise kann die nicht unerhebliche Menge von circa 500 Kilogramm Wassertransport zur ISS pro Jahr eingespart werden und der Kreislauf deutlich stärker geschlossen werden.

#### Dezentrale Nutzung – Wasserstoff als „flexibles Medium“ auch im Eigenheim

Solche Regenerativen Systeme, wie sie hier für die Raumfahrt vorgestellt wurden, können dabei in Zukunft auch auf der Erde eine Rolle spielen (siehe obere Abbildung). Sie haben einen guten Wirkungsgrad, Anwendungen inklusive terrestrischem Einsatz aufgezeigt, die Reife der raumfahrttauglichen Hochdruckelektrolyse nachgewiesen und Vorteile gegenüber Batteriesystemen gezeigt, denn ein vordringliches Problem einer zukünftigen Energiewirtschaft auf der Erde bleibt die Energiespeicherung. Um zum Beispiel Versorgungsgapse bei den Kraftwerks- und Netzbetreibern zu überbrücken, muss ein flexibles, universell anwendbares „Medium“ genutzt werden. Die Wasser-

cal-physical life support systems with biological components, combining, for example, fuel cells with biological oxygen production, energy generation becomes an integral part of the overall system. Such a hybrid system can be used to ‘breed’ a continuous supply of biological resources (algae). A photo-bioreactor (PBR) produces oxygen by photosynthesis, which can be fed into the system. The great potential of algae, which are highly efficient but have a low volume in comparison to higher-order plants, has not been sufficiently investigated to date. One of the questions currently explored by studies commissioned by the DLR Space Administration is how oxygen produced by algae could be used as a reaction gas in O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> fuel cells. At the same time, algae are a source of food, and can thus reduce the amount of food to be taken along or re-supplied to space missions. This would further increase the autonomy, sustainability, and system redundancy of the entire mission.

#### Reducing waste and raising efficiency

Astronauts use oxygen and emit carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). So far in the International Space Station (ISS), oxygen has been produced from water by electrolysis. However, this solution regularly requires large supplies of water delivered to the ISS since the station's water recycling system has not been fully implemented yet. Water on the space station, besides being needed for oxygen production, is also used for consumption and hygiene purposes. In view of future, long-range missions, alternatives to the current concept are currently being investigated. From 2016, the present Russian and American system is to be supported by a test version of a life support system which will generate enough oxygen for a crew of three. The system, called Advanced Closed Loop System (ACLS), will use the Sabatier process to reconstitute water from the concentrated exhaled CO<sub>2</sub> and the unused H<sub>2</sub> left over from the electrolysis process, and feed that water back into the loop. Methane, which results from the process as a by-product, will in the initial phase be discharged into space. The system could reduce the annual water supply to the ISS by about 500 kilograms, which is not a negligible amount. It will serve to give the mission considerably more of a closed loop quality.

#### Decentralised applications – hydrogen as a ‘flexible medium’ also for home use

Regenerative systems like the ones developed for spaceflight applications may at some point be ready for wider application in private homes (see figure above). They have proven to be efficient, suitable for terrestrial applications, helped develop high-pressure electrolysis for spaceflight applications to maturity, and have shown advantages versus battery systems, given that one of the most urgent problems remaining to be solved for terrestrial energy systems is that of storage. What is required to overcome power generation bottlenecks and to ensure efficient grid management is a resilient, universally applicable storage ‘medium’. Unlike batteries, a hydrogen-based system can

make flexible use of alternative forms of (electrical) energy: hydrogen may be used as a fuel gas for both heating and power generating purposes; excess hydrogen can be fed into the natural gas grid as ‘methane’; hydrogen can be used in fuel cells to provide electrical mobility, or as a power source to operate other appliances, or to generate electricity to be fed into the grid. Also, hydrogen can be produced from biomass or biogas and possibly in future also by microorganisms.

Hydrogen systems are highly flexible. Their subsystems should be skilfully combined to create workable solutions. In a de-centralised application, such as a private home, the potential of each possible configuration must be accurately evaluated. One day, when a range of fully developed systems is available and can be ideally configured, life in an autonomous, closed-loop habitat will become possible, in which energy can be generated, stored, connected with mobility applications, or fed into the grid. This requires flexibility and adapted patterns of use to meet the demand as well as protecting the environment. There are market opportunities even now to launch new, cutting-edge technology which may pave the way for the introduction of entire spaceflight systems for terrestrial applications.

#### Projekt Hybridkraftwerk – Wasserstoff als Energiespeicher

Die Umstellung von konventioneller auf ressourcenschonende, klimafreundliche Stromerzeugung scheitert bisher unter anderem an der naturgegebenen Verfügbarkeit der „regenerativen“ Energieformen Wind und Sonne sowie fehlender Speichermöglichkeiten. Regenerative Energiesysteme unter Nutzung des Mediums Wasserstoff können hier durch Erzeugung von Energie und deren Speicherung in dezentralen Einheiten wie Privathaushalten und Eigenheimen Abhilfe schaffen. Doch was im kleinen Stil funktioniert, kann auch als Großprojekt gelingen: In einem Pilot-Verbundprojekt wird das Hybridkraftwerk Prenzlau nördlich von Berlin von der Enertrag AG gebaut. Die Deutsche Bahn AG, die Vattenfall Europe Innovation GmbH und die Total Deutschland GmbH sind Partner des Projektes. Das Kraftwerk gleicht die Launen der Natur aus, indem es überschüssige Windenergie in Wasserstoff umwandelt, der wiederum in Tanks gespeichert werden kann. Neben Windkraft und Wasserstoff ist Biogas als ein dritter „Energieträger“ an der Stromerzeugung beteiligt. In Zeiten hohen Energiebedarfs kann aus dem mit Biogas ergänztem Wasserstoffvorrat in Blockheizkraftwerken Energie gewonnen werden. Das Hybridwerk liefert also auch in windarmen Zeiten grünen Strom und gleicht damit Versorgungslücken von Photovoltaik und Windenergie aus. Der grüne Wasserstoff dient auch hier zusätzlich auch als Treibstoff für PKW.

#### Zwischenbilanz – Entwicklungsergebnisse und terrestrischer Nutzen

Gemessen an den terrestrischen Potenzialen können die Entwicklungen der bemannten Raumfahrt als Innovationstreiber gesehen werden. Dabei ist es nicht unbedingt die Besonderheit der Technologie selbst sondern deren ausgeklügelte Anwendung, technische Ausgereiftheit und Zuverlässigkeit, Effizienz und gesteigerte Wirkungsgrade: Es sind die Herausforderungen der bemannten Raumfahrt, die die ausgeklügelten Lebenserhaltungssysteme „entworfen“ haben. Mit den Entwicklungen werden wir eines Tages in der Lage sein, in künstlichen Habitaten zu leben, Energie zu produzieren, zu speichern und mit Mobilität zu koppeln oder ins Netz einzuspeisen.

Die Raumfahrt muss die innovativen Lösungen im Sinne hybrider, biologisch chemisch-physikalischer Systeme weiter umsetzen, den Grad der Systemgeschlossenheit weiter steigern, um für zukünftige Missionen gewappnet zu sein. Gleches gilt für regenerative Energiesysteme, die gekoppelt an die Hochdruckelektrolyse, bei entsprechender „Reife“ für zukünftige Missionen – robotisch oder bemannt – zur Verfügung stehen werden. Weitere Entwicklungen und Tests, zum Beispiel mit dem im DLR Köln entstehenden Envihab – auch unter Berücksichtigung terrestrischer Aspekte –, sind angedacht. Konzepte zu geschlossenen Kreisläufen aus der Raumfahrt können aktiv dazu beitragen, die Umweltbilanz und die Nachhaltigkeit auf der Erde zu verbessern.

Hydrogen systems are highly flexible. Their subsystems should be skilfully combined to create workable solutions. In a de-centralised application, such as a private home, the potential of each possible configuration must be accurately evaluated. One day, when a range of fully developed systems is available and can be ideally configured, life in an autonomous, closed-loop habitat will become possible, in which energy can be generated, stored, connected with mobility applications, or fed into the grid. This requires flexibility and adapted patterns of use to meet the demand as well as protecting the environment. There are market opportunities even now to launch new, cutting-edge technology which may pave the way for the introduction of entire spaceflight systems for terrestrial applications.

#### Hybrid power generation project – hydrogen as an energy storage medium

One of the reasons why a transition from conventional to resource sparing and climate-friendly power generation has not succeeded so far has been the natural abundance of ‘regenerative’ energy sources, i.e. wind and solar, as well as the lack of proper storage. Regenerative energy systems that use hydrogen as a medium could address this situation, in that they could both generate and store energy in decentralised units such as private households. And, what works on a small scale can also be successful in a full-blown power station: in a joint-venture project, Enertrag AG in Prenzlau in the north of Berlin is currently building a pilot hybrid power plant. Companies participating in this project are Deutsche Bahn, Vattenfall Europe Innovation, and Total Germany. The power plant will compensate for the whims of nature by converting superfluous wind energy into hydrogen, which can be stored in tanks. As a third energy medium besides wind and hydrogen, the plant will also use biogas to generate electricity. During peak demand times, the CHP plant will be fuelled with the stored hydrogen and some additional biogas to produce energy. In this manner, the hybrid plant will keep supplying green electricity even in a lull, thus closing the supply gaps of regular PV and wind plants. The green hydrogen can also here additionally be used as a motor fuel.

#### Interim review – new technologies and their terrestrial benefits

Given their benefit of potential terrestrial applications, these developments initially intended for human spaceflight can be seen as true innovation drivers. What makes them special is not the sophisticated technology per se but their intelligent deployment, technical maturity and reliability, efficiency, and increased yield. Sophisticated life support systems have been designed to meet the specific challenges of human spaceflight. One day, these systems will enable us to live in man-made habitats, generate and store energy, and feed what is left of it into mobility applications or the grid.

To be equipped for future missions, space technology will have to continue implementing innovative solutions such as hybrid biological and chemical-physical systems to close further gaps in the loop. The same applies to regenerative energy systems, coupled with high-pressure electrolysis. Once they have reached a level of maturity, they will become available for future missions, manned or robotic. Further developments and trials are being planned, which also aim at terrestrial applications, such as DLR's 'Envihab', a research facility currently being constructed in Cologne. Closed-loop concepts from space applications can actively contribute to improving the environmental balance and sustainability of life on our planet.



# Biowissenschaften

## 40 Jahre deutsche Weltraumforschung Teil 2: TEXUS, die Spacelab-Ära und MIR-Missionen

Von Prof. Günter Ruyters

**Das Jahr 1972 markiert den Beginn der biowissenschaftlichen Forschung im Weltraum durch die Bundesrepublik Deutschland. BIOSTACK auf Apollo 16, ein Experiment des DLR Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin zur Messung der Weltraumstrahlung, war das erste Projekt, bei dem deutsche Wissenschaftler ihr Labor und ihre Messgeräte gewissermaßen in den Weltraum verlegten. Mit dem Erstflug des europäischen Spacelabs an Bord des amerikanischen Space Shuttle begann 1983 eine neue Qualität der Forschung unter Weltraumbedingungen. Zudem war 1977 das Raketenprogramm TEXUS zur Vorbereitung der Spacelab-Nutzung ins Leben gerufen worden. Die deutsch-russischen Missionen MIR'92 und MIR'97 brachten für die deutschen Wissenschaftler weitere attraktive Forschungsmöglichkeiten. Mit der ISS und seinem europäischen Labor Columbus wurde nun ein neues Kapitel aufgeschlagen – Zeit, einmal zurück zu schauen. Im zweiten Teil soll dabei auf die Spacelab-Ära und die MIR-Missionen näher eingegangen werden.**

## Life Sciences

### 40 Years of German Research in Space Part 2: TEXUS, the Spacelab Era, and the MIR Missions

By Prof. Günter Ruyters

**1972 marks the beginning of space-based life sciences research by the Federal Republic of Germany. Travelling on Apollo 16, BIOSTACK, an experiment devised by the DLR Institute of Aerospace Medicine to measure cosmic radiation, was the first project under which German scientists, in a manner of speaking, moved their laboratory and measuring equipment into space. When the European Spacelab flew for the first time on board an American space shuttle in 1983, microgravity research took on a new quality. The TEXUS rocket programme launched in 1977 had performed some important groundwork for the scientific use of Spacelab. The German-Russian MIR'92 and MIR'97 missions provided Germany's scientists with further attractive research opportunities. Now that a new chapter has been opened up with the European Columbus laboratory fully operational on the ISS, it is time to look back. The second part of this retrospective will deal with the Spacelab era and the MIR missions in greater detail.**



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

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

Mehr als 600 biowissenschaftliche Weltraumprojekte deutscher Wissenschaftler sind seit 1972 auf den verschiedensten Fluggelegenheiten durchgeführt worden; diese Vielfalt – heute vom Fallturm Bremen über Flugzeug-Parabelflüge, Höhenforschungsräkete, Satelliten bis zur Internationalen Raumstation ISS und der chinesischen Raumkapsel Shenzhou – ist eine besondere Stärke des nationalen Programms. Deutsche Wissenschaftler haben sich in diesen Jahren eine führende Rolle in der Gravitations- und Strahlen-/Astrobiologie sowie in bestimmten Teilgebieten der Raumfahrtmedizin aufgebaut. Vor allem die TEXUS-, Shuttle- und MIR-Missionen haben entscheidende Beiträge zur biowissenschaftlichen Forschung geleistet, brachten sie doch auch regelmäßige Forschungsmöglichkeiten.

### TEXUS – Vorbereitung der Spacelab-Nutzung

Als am 13. Dezember 1977 die erste TEXUS-Rakete vom Polarkreis aus Forschungsapparaturen in den Weltraum und wieder zurück trug, begann die deutsche Forschung in Schwerelosigkeit auf Raketen. Der Start vom nordschwedischen Kiruna aus bildete den Auftakt zu einem jahrzehntelang erfolgreichen Wissenschaftsprogramm. Im Frühjahr 2013 soll die Jubiläumsmission Tx-50 starten. Als Fluggelegenheit stützt TEXUS sowohl die eigenständige Forschung als auch die Vorbereitung von längerfristigen Weltraumexperimenten. Während die Höhenforschungsräkete anfangs die Nutzung des deutschen Welt Raumlabor Spacelab vorbereiteten, bahnen sie heute den Weg für Experimente auf der Internationalen Raumstation ISS.

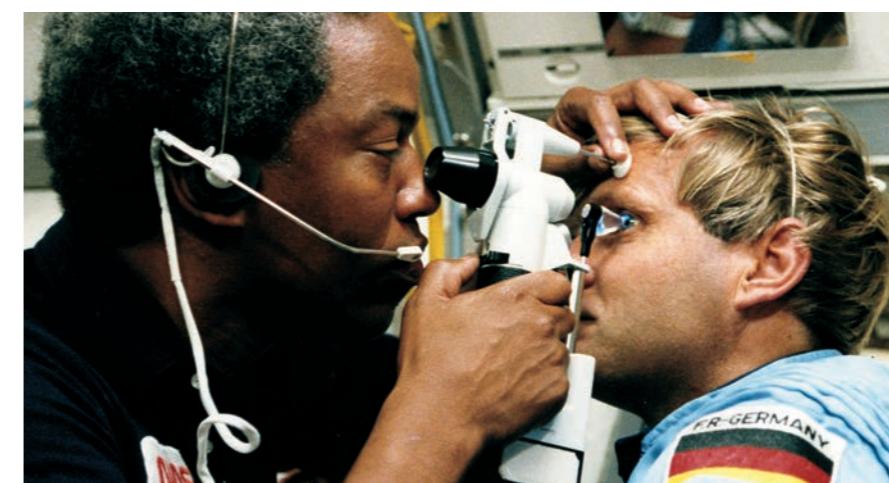
Neben dem DLR Raumfahrtmanagement stellt inzwischen auch die europäische Weltraumorganisation ESA diese Flüge für ausgewählte Experimente bereit. Die Programmverantwortung liegt seit 1987 federführend bei der Astrium GmbH in Bremen. Außerdem sind die Mobile Raketen-Basis (MORABA) des DLR sowie die Firma Kayser-Threde in München beteiligt. Auf ihrem ballistischen Flug erreicht die zweistufige, 13 Meter lange Feststoff-Rakete eine Gipfelhöhe von etwa 250 Kilometern. Dabei wird für sechs Minuten eine annähernde Schwerelosigkeit erreicht. Die Raketen spitze, in der Versuchsanordnungen sowie die Bergungs- und Datenübertragungssystemen untergebracht sind, landet anschließend an einem Fallschirm. Die Forscher können dabei vom Boden aus ihre Versuche durch Telekommunikation und Videoübertragung direkt steuern und überwachen. Die wissenschaftlichen Daten werden während des Fluges per Telemetrie übertragen oder nach der Bergung der Nutzlast gesichert.

Since 1972, German scientists have carried out more than 600 space-based life sciences projects using a great variety of flight opportunities. Ranging from the Bremen drop tower and parabolic flights to high-altitude sounding rockets to satellites, the ISS and the Chinese spacecraft Shenzhou space stations, the experience of diversity has become one of the particular strengths of the German national programme. Over the years, German scientists took on a leading role in gravitational, radiation, and astrobiology as well as in certain areas of space medicine. The TEXUS, shuttle, and MIR missions crucially contributed to life sciences research because they offered research opportunities more regularly.

### TEXUS – Preparations for Spacelab experiments

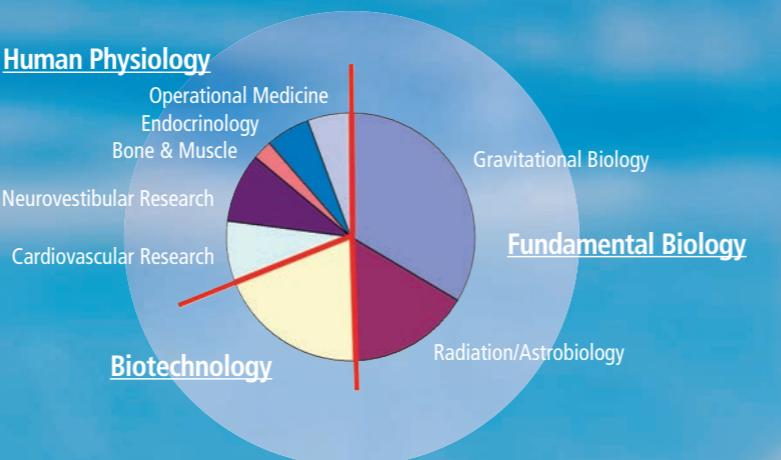
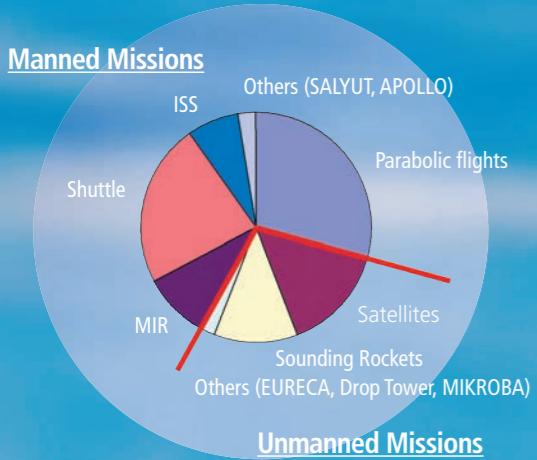
On December 13, 1977, the first TEXUS rocket took off from the polar circle to carry research apparatus to space and back. This is when German rocket-based research in weightlessness began. The rocket's launch from Kiruna in the north of Sweden was the curtain-raiser of a scientific programme that extended successfully over decades. The jubilee mission, Tx-50, is scheduled for launching in the spring of 2013. The flight opportunities offered by TEXUS support stand-alone research projects as well as preparations for longer-term experiments in space. Initially, these high-altitude sounding rockets served to prepare the exploitation of the German-built space laboratory, Spacelab. Today, they help pave the way for experiments on the International Space Station (ISS).

Meanwhile the European Space Agency (ESA) has joined the DLR Space Administration in providing such flights for selected experiments. Since 1987, Astraum GmbH of Bremen has been responsible for co-ordinating the programme. DLR's mobile rocket base (MORABA) and the Munich-based company Kayser-Threde are involved as well. On their ballistic flight, the two-stage 13-metre solid-fuel rockets reach a peak altitude of about 250 kilometres, providing approximate weightlessness for six minutes. The tip of the rocket, which houses the experiment modules as well as recovery and data transmission systems, then returns to Earth on a parachute. During the flight, researchers may control and monitor their experiments directly by remote control and video surveillance systems. Scientific data are either transmitted by telemetry during the flight or secured after payload recovery.



Während der D1-Mission sammelten die Astronauten vor allem Erkenntnisse, wie sich die Schwerelosigkeit auf ihren Körper auswirkt. Hier untersucht NASA-Astronaut Guion S. Bluford bei Ernst Messerschmid den Augennindruck.

During the D1 mission, astronauts focused on gathering knowledge about how weightlessness was affecting their bodies. The picture shows NASA astronaut Guion S. Bluford taking the intraocular pressure of Ernst Messerschmid. (NASA)



**Linke Graphik:** Verteilung der deutschen biowissenschaftlichen Experimente auf die verschiedenen bemannten und unbemannten Missionen  
**Rechte Graphik:** Verteilung der deutschen biowissenschaftlichen Experimente auf die Forschungsgebiete

Left figure: Breakdown of German bioscience experiments by crewed and uncrewed missions  
Right figure: Breakdown of German bioscience experiments by research disciplines

Der deutsche ESA-Astronaut Thomas Reiter hat während der Euromir 95-Mission an Bord der russischen Raumstation Mir an 40 wissenschaftlichen Experimenten teilgenommen. Hier führt er gerade ein biomedizinisches Experiment durch.

The German ESA astronaut Thomas Reiter carried out some 40 experiments during the Euromir 95 mission on board the Russian space station Mir. The picture shows him performing a biomedical experiment. (ESA)



### Spacelab – Deutscher Meilenstein für Schwerelosigkeitsforschung

Sehr schnell nach den ersten Experimenten auf Apollo fiel die Entscheidung zur Spacelab-Entwicklung. Das Spacelab war der europäische Beitrag zum Space Shuttle im Rahmen des Space Transportation System (STS) Programms der Amerikaner. Erst mit dem Spacelab wurde das Shuttle zu einem leistungsfähigen Träger für wissenschaftliche Untersuchungen im Weltraum. Im Auftrag der ESA wurde das Weltraumlabor unter Federführung von Entwicklungsring-Nord (ERNO, heute EADS-Astrium) in Bremen gebaut.

Das First Spacelab Project (FSLP) als Ersteinsatz des Weltraumlabs im Rahmen der SL-1-Mission in 1983 war auch in anderer Hinsicht eine Premiere: Zum ersten Mal in der Geschichte des US-amerikanischen Weltraumprogramms nahm die NASA mit dem deutschen ESA-Astronauten Ulf Merbold einen Nicht-Amerikaner mit in den Weltraum. Die Ergebnisse dieser Mission wurden von der Wissenschaft als so hochrangig bewertet, dass die Herausgeber der renommierten wissenschaftlichen Zeitschrift „Science“ den Ergebnissen die vollständige Juli-Ausgabe des Jahrgangs 1984 widmeten.

1985 folgte die erste deutsche Spacelab-Mission D-1 mit Reinhard Furrer und Ernst Messerschmid sowie dem ESA-Astronauten Wubbo Ockels, 1993 die D-2 Mission mit den deutschen Astronauten Ulrich Walter und Hans Schlegel. Rückten diese Missionen wegen der deutschen Astronauten besonders in den Blickpunkt der Öffentlichkeit, waren sie zugleich für die deutsche Schwerelosigkeitsforschung in den Materialwissenschaften, der Biologie und der Medizin Höhepunkte im Raumfahrtprogramm. Durch diese enge deutsch-amerikanische Zusammenarbeit entstanden gute Beziehungen zur NASA, die mit dazu beitragen, dass auch auf anderen Shuttle-Flügen deutsche biowissenschaftliche Experimente durchgeführt wurden – insbesondere bei den beiden International Microgravity Lab (IML)-Missionen 1991 und 1994. Die insgesamt 142 Spacelab-Experimente, davon die meisten im Bereich Gravitationsbiologie, brachten wichtige Erkenntnisse über die Rolle der Schwerkraft für das Leben. Insgesamt 25 Shuttle-Flüge mit dem deutschen Weltraumlabor konnten erfolgreich absolviert werden. Der letzte Spacelab-Einsatz war die ganz den Biowissenschaften, vor allem der Neurophysiologie, gewidmete Neurolab-Mission im Jahre 1998.

### MIR – Deutsche Forschung in der russischen Raumstation

Erschien eine Zusammenarbeit mit der Sowjetunion zu Beginn der 1980er-Jahre noch als völlig ausgeschlossen, änderte sich zum Ende dieses Jahrzehnts die politische Großwetterlage: Mit Glasnost, Perestroika, der deutschen Ostpolitik und vielleicht auch mitbedingt durch die Verschiebung der D-2 Mission war nun eine Kooperation mit der Sowjetunion möglich und auch attraktiv geworden. Schließlich konnten nur die Sowjetunion und die USA bemannte Raumfahrtmissionen starten. Im Oktober 1988 unterzeichnete Bundesforschungsminister Prof. Heinz Riesenhuber während eines Staatsbesuchs von Bundeskanzler Helmut Kohl beim sowjetischen Staatschef Michail Gorbatschow die Vereinbarung über den Mitflug eines deutschen Kosmonauten zur russischen Raumstation MIR. Noch in der Rückschau ist es fast unglaublich: Trotz aller dramatischen politischen Ereignisse in diesen Jahren wie dem Zusammenbruch der Sowjetunion, des kommuni-

### Spacelab – A milestone in German microgravity research

The decision to develop Spacelab came very soon after the first experiments on Apollo. Spacelab was Europe's contribution to the space shuttle under the American space transportation system (STS) programme. It was Spacelab that turned the shuttle into an efficient platform for scientific studies in space. Commissioned by ESA, the construction of the space laboratory was co-ordinated by the Bremen-based Northern Development Alliance (Entwicklungsring Nord, or ERNO, now EADS-Astrium).

The first Spacelab project (FSLP), Spacelab's first journey into space on the SL-1 mission in 1983, was a curtain-raiser in yet another respect: for the first time in the history of the American space programme, NASA took a passenger to space that was not an American: the German ESA astronaut Ulf Merbold. Scientists rated this mission so highly that the editors of the reputable Science journal devoted the entire July edition of 1984 to its results.

The first German Spacelab mission, D-1, followed in 1985, crewed by Reinhard Furrer and Ernst Messerschmid as well as ESA astronaut Wubbo Ockels. Next, in 1993, came D-2 with two German astronauts, Ulrich Walter and Hans Schlegel. While the public showed particular interest in these missions because of the German astronauts, they represented highlights in the space programme for German microgravity research in materials science, biology, and medicine. From this close German-American co-operation, good relations with NASA evolved which enabled German life sciences experiments to be run on other shuttle flights as well, particularly the two International Microgravity Lab (IML) missions of 1991 and 1994. A total of 142 Spacelab experiments, most of them concerned with gravitational biology, yielded important insights into the role played by gravity in the evolution of life. The German space laboratory successfully completed no fewer than 25 shuttle flights. Devoted entirely to the life sciences and particularly neurophysiology, the Neurolab mission of 1998 was Spacelab's last flight.

### MIR – German research on the Russian space station

While co-operation with the Soviet Union appeared completely impossible in the early 1980s, the global political scene had changed by the end of the decade: because of glasnost, perestroika, Germany's ostpolitik, and perhaps partially because the D-2 mission had been put off, co-operation with the Soviet Union now appeared possible and even attractive. After all, the Soviet Union and the USA were the only countries able to launch crewed space missions. During a state visit paid by federal chancellor Helmut Kohl to the Soviet head of state, Mikhail Gorbachev, in October 1988, federal minister of research Prof. Heinz Riesenhuber signed an agreement providing for the flight of a German cosmonaut to the Russian space station MIR. Even in retrospect, this appears almost incredible: despite all the dramatic political events of those years, including the collapse of the Soviet Union, the communist regime, and the eastern bloc as well as the re-unification of Germany, the bilateral MIR'92 mission that had been agreed with the Soviet Union took off punctually on March 17, 1992, from the Baikonur cosmodrome with the German cosmonaut Klaus Dietrich Flade on board. For nearly a decade after that, German scientists would go on using the Russian MIR station particularly for biomedical research.

nistischen Regimes und des Ostblocks sowie der Wiedervereinigung Deutschlands startete die mit der Sowjetunion vereinbarte bilaterale MIR'92-Mission mit dem deutschen Kosmonauten Klaus Dietrich Flade pünktlich am 17. März 1992 vom Weltraumbahnhof Baikonur. Sie leitete damit ein knappes Jahrzehnt deutscher Nutzung der russischen MIR-Station vor allem für biomedizinische Forschung ein.

Nach den beiden ESA-Missionen EUROMIR-94 und – 95 mit den deutschen Kosmonauten Ulf Merbold und Thomas Reiter wurde 1997 eine weitere deutsch-russische Mission durchgeführt: MIR 97 mit Reinhold Ewald. Auch russische Kosmonauten dienten zwischen den größeren Missionen als Versuchspersonen, um zu statistisch belastbaren Ergebnissen zu kommen.

Insgesamt 47 der 57 deutschen Projekte auf der MIR-Station befassen sich mit raumfahrtmedizinischen Fragestellungen – davon alleine 18 mit Veränderungen der Flüssigkeitsverteilung entlang der Körperachse und der Kreislauf-Regulation. Die MIR-Station mit der Möglichkeit zu Langzeitaufenthalten von Kosmonauten in Schwerelosigkeit eröffnete auch die Chance zur Forschung in Teilgebieten der Raumfahrtmedizin, die bei den eher kurzen Shuttle-Missionen nicht im Vordergrund standen. Dies gilt besonders für die Muskel- und Knochenforschung sowie für die Analyse psycho-physiologischer Auswirkungen längerer Weltraumaufenthalte. Schon seit den amerikanischen Skylab-Missionen war bekannt, dass länger andauernde Schwerelosigkeit zum Abbau von Muskeln und Knochen führt. Diese Probleme widmeten sich auch verschiedene Experimente deutscher Raumfahrtmediziner auf der MIR-Station – vor allem während der MIR 97 Mission.

Die Forschung zur psychischen und -physiologischen Leistungsfähigkeit der Kosmonauten auf der MIR-Station bildet heute die Grundlage für die Planung und Vorbereitung von ISS-Missionen und von zukünftigen exploratorischen Langzeitmissionen. Sowohl auf der ISS wie auch in speziellen Isolationsstudien am Boden (u.a. Antarktis, Mars500) wird diese Forschung heute fortgesetzt und liefert Ergebnisse, die auch für Menschen auf der Erde von Bedeutung sind, so z.B. zum Zusammenhang zwischen Salz in der Nahrung, Bluthochdruck und Knochenstoffwechsel.

Insgesamt legten die MIR-Missionen auch die Grundlage für die weitere erfolgreiche Kooperation mit den russischen Partnern – speziell mit dem Institut für Biomedizinische Probleme (IBMP) in Moskau – bei der Nutzung des russischen Labors der Internationalen Raumstation. Auf die ISS-Nutzung soll im dritten Teil des Beitrags eingegangen werden.

### Nutzung von Rückkehrsatelliten in Kooperation mit Russland

Seit vielen Jahren werden auch sog. Wiedereintrittssatelliten für biowissenschaftliche Experimente genutzt – hier vor allem FOTON und BION in Kooperation mit Russland. Insgesamt 91 Experimente vor allem zur Proteinkristallisation und zu Fragen der Schwerkraftwahrnehmung und – Verarbeitung wurden hier durchgeführt. Derzeit warten deutsche Wissenschaftler auf den Start von BION M-1 mit dem neu entwickelten künstlichen Ökosystem „OmegaHab“. Gravitationsbiologische Fragen sowie Aspekte der Systembiologie und biologischer Lebenserhaltungssysteme stehen diesmal im Mittelpunkt.

Following two ESA missions, EUROMIR 94 and 95, with Ulf Merbold and Thomas Reiter, two German cosmonauts, another German-Russian mission was mounted in 1997: MIR 97 with Reinhold Ewald on the crew. Russian cosmonauts served as additional test subjects between these major missions to make the results statistically robust.

47 of the 57 German projects run on the MIR station dealt with questions relating to space medicine, such as changes in the distribution of fluids along the body axis and the regulation of the cardiovascular system, with which as many as 18 experiments were concerned. Because it offered cosmonauts a chance to remain in weightlessness for prolonged periods, the MIR station opened up opportunities for research in some areas of space medicine that had not been in the focus of the rather brief shuttle missions. Specifically, these included muscle and bone research and analyses of the psycho-physiological effects of prolonged stays in space. From the time of the American Skylab missions, it had been known that sustained weightlessness causes muscles and bones to degenerate. These same problems were addressed by various experiments run by German space medicine researchers on the MIR station, particularly during the MIR'97 mission.

To this day, this research into the mental and physiological capacity of the cosmonauts on the MIR station has formed the basis for planning and preparing ISS missions and future long-range exploratory missions. The work is being continued on the ground (e.g. Antarctic, Mars500), yielding results that are equally important for people on Earth concerning, for example, the links between salt intake, hypertension, and the bone metabolism.

All in all, the MIR missions laid the foundations for further successful co-operation on the use of the Russian laboratory on the International Space Station together with Russian partners, specifically the Institute of Biomedical Problems (IBMP) in Moscow. The exploitation of the ISS will be discussed in the third part of this article.

### Use of re-entry satellites in co-operation with Russia

For many years, so-called re-entry satellites have been used for life sciences experiments, particularly FOTON and BION in co-operation with Russia. A total of 91 experiments were run, most of them dealing with protein crystallisation and questions relating to the perception and transduction of gravity. At present, German scientists are waiting for the take-off of BION M-1 with the newly developed artificial ecosystem 'OmegaHab' on board. This mission will focus on questions of gravitational biology as well as aspects of system biology and biological life-support systems.



## STERN

**Raketen-Nachwuchsprogramm öffnet Studenten das Tor zum Weltall**

von Karsten Lappöhn

**Trägersysteme wie die Ariane 5- und die Vega-Raketen sichern Europa einen eigenen Zugang zum Weltraum. Um dieses wirtschaftlich und strategisch wichtige Tor zum Weltall offen zu halten, müssen neue Fachkräfte möglichst praxisnah ausgebildet werden. Damit Deutschland auch langfristig bei der Entwicklung neuer Trägersysteme eine entscheidende Rolle spielt, lenkt das DLR Raumfahrtmanagement studentisches Interesse verstärkt auf das Thema Raumtransport. Mit dem STudentische Experimental-RaketeN (STERN)-Programm haben Hochschulen der Fachrichtung Luft- und Raumfahrttechnik die Möglichkeit, Studenten praxisnah an Raumtransportthemen heranzuführen. Diese potenziellen Nachwuchingenieure werden eigene Raketen entwickeln und starten, um den deutschen Beitrag auch in Zukunft sicherzustellen.**

### STERN

**Rocket Programme Opens Door to Space for Students**

By Karsten Lappöhn

Launcher systems like Ariane 5 and Vega provide Europe with its own access to space. To ensure that this economically and strategically important gateway remains open, we need to train young professionals under conditions that are as realistic as possible. The DLR Space Administration is stepping up its efforts to interest students in the subject of space transport so that Germany can hold on to its pivotal role in the development of new launcher systems in the future. STERN, an experimental rocket programme for students, offers students at university faculties of aerospace engineering a practical introduction to space transport. Under the programme, up-and-coming engineers will develop and launch their own rockets to help secure Germany's future contributions to the space sector.

Wenn die Studenten des STERN-Programms auf dem 68. nördlichen Breitengrad nahe der norwegisch-, finnischen Grenze im schwedischen Kiruna angekommen sind, haben sie nicht nur geografisch einen weiten Weg zurückgelegt: Viele technische Analysen, Diskussionen und Entscheidungen haben sie hinter sich gelassen. Die letzte Etappe einer langjährigen Arbeit liegt nun direkt vor ihnen und damit auch die Frage, ob der Start ihrer Rakete wirklich ein Erfolg wird. Denn schließlich kann nur ein winziger Fehler das Scheitern des Fluges bedeuten.

Damit sind die STERN-Studenten mit den Herausforderungen eines Berufs konfrontiert, in dem sie sich schon bald wiederfinden könnten. Um diesen Arbeitsalltag von der Entwicklung der ersten Systemkonzepte über den Bau bis hin zum Erstflug einer neuen Trägerrakete Wirklichkeit werden zu lassen, ist eine gute Ausbildung notwendig. Idealerweise wird dabei bereits auf der Hochschule die Theorie mit berufsnahen Aktivitäten verknüpft. Denn die technische Komplexität unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit bei der Entwicklung von Trägersystemen erfordert Praxisbezug, interdisziplinäres Denken und Teamfähigkeit.

Trägersysteme müssen sowohl auf die angestrebten Missionsprofile (Zielorbit, Satellitenmasse, et cetera) als auch hinsichtlich Produktions-, Infrastruktur-, und Betriebskosten optimiert werden. Weitere Designtreiber sind Zuverlässigkeit und – insbesondere bei der Vermarktung von Satellitenträgern – auch deren schnelle Verfügbarkeit.

Um eine möglichst große Nutzmasse in einem angestrebten Zielorbit auszusetzen, ist die optimale Abstimmung zwischen den einzelnen Komponenten beziehungsweise Untersystemen einer Rakete entscheidend. Anzahl der Stufen, Treibstoffkombination sowie Anzahl und Leistung der Triebwerke sind nur einige Parameter, welche die Leistung eines Trägersystems bestimmen.

### Nachwuchsmangel im Bereich Trägersysteme

Die Sicherung des europäischen Weltraumzugangs mit Hilfe eigener Trägersysteme ist sowohl von wirtschaftlicher als auch strategischer Bedeutung für Europa. Ein erfolgreiches Beispiel ist das Ariane-Programm. Hierfür liefert Deutschland mit Flüssigkeitstriebwerk-Schubkammern, Tankstrukturen und der Ariane 5-Oberstufe wichtige Komponenten bzw. Subsysteme. Hinzukommen das DLR-Testgelände für Raketentriebwerke in Lampoldshausen und die vielen Forschungseinrichtungen mit denen Deutschland im Ariane-Programm ein unverzichtbarer Partner geworden ist. Damit Deutschland auch langfristig bei der Entwicklung neuer Trägersysteme eine entscheidende Rolle spielt und um einen möglichen Verlust von Entwicklungskompetenz vorzubeugen, müssen bereits jetzt zukünftige Fachkräfte möglichst praxisnah ausgebildet werden.

Das DLR Raumfahrtmanagement hat sich zur Aufgabe gemacht, das Interesse der Studenten verstärkt auf das Thema Raumtransport zu lenken. Mit dem STERN-Programm haben Hochschulen der Fachrichtung Luft- und Raumfahrttechnik nun die Möglichkeit, mit Fördermitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) die Studenten praxisnah an Raumtransportthemen heranzuführen.



Autor: **Karsten Lappöhn** leitet das STudentische Experimental-RaketeN (STERN)-Programm in der Abteilung Trägersysteme des DLR Raumfahrtmanagements. Er betreut die STERN-Studenten und -Hochschulen auf ihrem Weg von der Idee einer leistungsfähigen Rakete bis hin zum Start.

Author: **Karsten Lappöhn** coordinates the experimental student rocket programme (STudentische Experimental-RaketeN, or STERN) in the Launch Systems department of the DLR Space Administration. He acts as a mentor for STERN students and their universities, offering guidance all the way from the original idea for a rocket until its actual launch.

Students arriving at the Swedish town of Kiruna on the 68th parallel north close to the border between Norway and Finland have come a long way, not only in geographical terms: they have worked their way through a host of technical analyses, discussions, and decisions. They are about to enter the last lap in many years of work and now have to face the question whether the launch of their rocket will really be a success. Even a minute error may cause the flight to fail.

Thus, the STERN students are confronted by the challenges of a profession they might soon be members of themselves. To manage the broad range of tasks from the initial development of a system concept to the construction and maiden flight of a new launcher, good training is indispensable. Ideally, academic curricula should combine theoretical studies with hands-on activities early on. The development of launcher systems involves both technical complexity and the need to consider economic efficiency, and thus requires a sense of practical relevance, interdisciplinary thinking, and teamwork.

A launcher must be optimised for a specific mission profile (target orbit, satellite mass, et cetera) as well as for cost of production, infrastructure, and operation. Further design drivers include reliability and – particularly where satellite launchers are concerned – rapid availability.

Optimum harmonisation between the various components and/or sub-systems of a rocket is essential for putting the maximum possible payload into a specific target orbit. Number of stages, fuel combination, and the number and power of the engines – these are only a few of the parameters that determine the performance of a launcher system.

### Lack of young talents in the field of launcher systems

It is strategically as well as economically important for Europe to secure its access to space through launchers of its own. One successful case in point is the Ariane programme, for which Germany supplies important components and/or sub-systems such as thrust chambers for liquid-fuel engines, tankage structures, and the upper stage of Ariane 5. Further contributions come from DLR's test bed for rocket engines at Lampoldshausen and the many research facilities that have made Germany an indispensable partner in the Ariane programme. To make sure that Germany will go on playing a crucial part in the development of new launcher systems in the long run, and to prevent any loss of development competence, now is the time to begin training young professionals as realistically as possible.

The DLR Space Administration has assumed the task of getting students interested in the subject of space transport. Supported by funds from the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), the STERN programme provides aerospace engineering faculties at universities with opportunities to introduce students realistically to subjects related to space transport.

## STERN-Partner

Das DLR Testzentrum Lampoldshausen besitzt jahrzehntelange Erfahrung beim Test von Raketentriebwerken insbesondere für das schon seit den 70'er Jahre laufende, europäische Ariane-Programm. Darüber hinaus werden im Forschungsbereich anwendungsorientierte und auch grundlagennahe Arbeiten auf dem Gebiet der Raketenantriebe durchgeführt.  
Mit den vielen Starts von Höhenforschungsraketen besitzt die DLR MORABA umfangreiche Gesamtsystemkompetenz wenn es darum geht, die Rakete hinsichtlich der strukturellen Integrität, des Flugverhaltens beziehungsweise der Flugleistung zu beurteilen.

## Zu den Aufgaben zählen:

- Durchführung von Reviews
- Durchführung von Motorentests auf dem Testfeld 11.5 in Lampoldshausen
- Zugang zu Esrange
- Durchführung von dreitägigen Veranstaltungen „STERN-Stunden“ zu Themen wie Flugdynamik, Telemetrie, TÜV, etc.
- Durchführung von dreitägigen Veranstaltungen „Workshop Raumfahrtantriebe“ die den Studenten eine aktive Auseinandersetzung mit systemrelevanten Arbeiten an Antrieben und Prüfständen bieten

## Aufgabe Nachwuchsförderung

Damit die Studenten überhaupt „angeworben“ werden können, bedarf es eines attraktiven Programmes, Lehrveranstaltungen die auf das Thema zugeschnitten sind und die praktische Begleitung durch kompetente Partner. Mit der Mobilen Raketenbasis des DLR (MORABA) sowie dem DLR-Institut für Raumfahrtantriebe stehen den Hochschulen zwei Einrichtungen mit langjähriger Raumfahrt erfahrung zur Seite.

Außerdem können die Hochschulen auf dem Testfeld 11.5 in Lampoldshausen ihre Antriebe unter fachkundiger Begleitung testen. Darüber hinaus eröffnet DLR MORABA aufgrund seiner langjährigen Zusammenarbeit mit dem Esrange-Personal in Kiruna den Hochschulen die Möglichkeit, ihre Raketen auf dem dortigen Gelände zu starten.

Doch zuvor müssen die einzelnen STERN-Teilnehmer eine eigene Rakete entwerfen und bauen. Bezuglich der Flughöhe und des verwendeten Antriebs (Feststoff, Flüssig- oder Hybridantrieb) gibt es keine Beschränkungen. Als Mindestvoraussetzung müssen eine Flughöhe von drei Kilometern und die Schallgeschwindigkeit erreicht werden. Eine Telemetrie-Einheit, mit der die wichtigsten Bahndaten wie Beschleunigung, Geschwindigkeit und Flughöhe zur Erde gefunkt werden sowie die sichere Bergung der Rakete beispielsweise an einem Fallschirm ist ebenso Pflicht. Aufgrund der zu erwartenden Flughöhen von zehn bis 20 Kilometern werden die Starts in der Regel auf dem Startplatz Esrange bei Kiruna in Nordschweden erfolgen. Die Aussicht, eine Startkampagne in Kiruna durchzuführen, ist ein zusätzlicher Anreiz für die Studenten und wird die Attraktivität des STERN-Programms erhöhen.

## Verknüpfung von Theorie und Praxis

Die Komplexität der Raketenprojekte zwingt die Studenten, in Gruppen zu arbeiten und die einzelnen Fachgebiete wie Bahnberechnung, Flugstabilität, Struktur, Triebwerk, Tests, Telemetrie, et cetera untereinander aufzuteilen. Hierbei bestehen viele Möglichkeiten die einzelnen Themen auch zu einem festen Bestandteil von Lehrveranstaltungen zu machen. So kann beispielsweise die Flugstabilität mit Hilfe moderner Computational Fluid Dynamics (CFD)-Verfahren am Computer ermittelt und durch Windkanaltests überprüft werden. Ähnliche Möglichkeiten bieten auch die Auslegung von Druckbehältern (Tanks, Motorgehäuse), der Düse oder die Festigkeitsberechnung (Finite Elemente Methode) von einzelnen Elementen der Rakete. Auch Betankung, Druckversorgung, Zündung des Triebwerks, Trennung von Stufen, Auslösung des Bergungssystems, Empfang der Telemetrie-Daten unter Berücksichtigung von Reichweite und Kompatibilität sowie Redundanz (Dopplung von Systemen bei Ausfällen) müssen betrachtet werden. Insbesondere bei druckbeaufschlagten Teilen (zum Beispiel Tank, Brennkammer) ist auch die Zusammenarbeit mit dem TÜV vorgesehen.

## STERN partners

The DLR test centre Lampoldshausen has decades of experience in testing rocket engines, especially those belonging to the European Ariane programme that was launched in the 1970s. In addition, the centre conducts both applied and fundamental research in the field of rocket propulsion systems. Having launched a large number of high-altitude research rockets, DLR's MORABA has acquired total system competence when it comes to assessing the structural integrity, flight behaviour, or flight performance of a rocket.

## Its tasks include:

- implementing reviews,
- carrying out engine tests on test bed 11.5 at Lampoldshausen,
- access to Esrange,
- hosting three-day STERN events on subjects like flight dynamics, telemetry, technical surveillance et cetera, and
- hosting three-day space propulsion system workshops, where students are given a chance to do some hands-on, system-relevant work on engines and at test stands.

## The task of promoting young professionals

What is needed so that students can be 'recruited' in the first place is an attractive programme, teaching content that is tailored to the subject, and practical support by competent partners. To assist universities, DLR has two facilities with many years of space sector experience, its Mobile Rocket Base (MORABA) and the Institute of Space Propulsion.

Furthermore, universities may test their own drives with the support of experts on test bed 11.5 at the Institute of Space Propulsion in Lampoldshausen. Moreover, the collaboration of DLR MORABA with the Esrange staff at Kiruna for many years puts MORABA in a position to offer universities the option of launching their rockets from that site.

Before this can happen, however, STERN participants have to design and build their own rocket. There are no limits regarding peak altitude or the propulsion system used (solid fuel, liquid fuel, or hybrid). As a minimum, rockets must reach an altitude of three kilometres and the speed of sound. Further mandatory requirements include a telemetry unit to radio the most important trajectory data, such as acceleration, velocity, and flight altitude back to Earth, and a parachute or similar equipment to ensure that the rocket can be recovered safely. At present, rockets are expected to reach altitudes of ten to 20 kilometres, and will normally be launched from the Esrange site near Kiruna in the north of Sweden. The prospect of a launch campaign at Kiruna will be an additional incentive for the students and enhance the attractiveness of the STERN programme.

## Interweaving theory and practice

Because rocket projects are very complex, students will have no option but to work in groups and share out among themselves any special tasks such as trajectory calculation, flight stability, structure, propulsion system, tests, telemetry, et cetera. There are many possibilities for each of these exercises to become a regular part of classroom activities. Thus, for example, flight stability may be determined with the aid of modern computational fluid dynamics (CFD) and subsequently verified in wind-tunnel tests. Similar options are available when designing pressure vessels (tanks, engine casings) and nozzles or calculating the strength of individual rocket elements (finite element method). Further items to be taken into consideration include fuelling, pressurising, engine ignition, stage separation, the initiation of the recovery system, the reception of telemetry data allowing for range and compatibility, and redundancy (installing two systems in case one fails). Where pressure-boundary parts are concerned (e.g. tanks, combustion chambers) it is planned to have student work assisted and monitored by the TUV (German Technical Surveillance Association). Lastly, students will have to develop



(TU Berlin)

Ferner müssen die Studenten Verfahrensanweisungen in Form von Checklisten erarbeiten, damit bei den Vorbereitungen von Motoren- tests oder beim Start der Rakete alle Arbeitsschritte genau eingehalten werden. Nur so lassen sich Bedienfehler vermeiden, die sowohl die Sicherheit als auch den Missionserfolg gefährden können.

Wie bei einem „echten“ Entwicklungsprogramm müssen die Studenten mehrere Reviews zu unterschiedlichen Projektphasen durchlaufen. Das sogenannte Review-Board besteht aus unabhängigen Experten der Hochschule, einem Vertreter von DLR MORABA, dem DLR Institut für Raumfahrtantriebe und einem Vertreter des DLR Raumfahrtmanagements. Weitere Experten aus der Industrie können hinzugezogen werden. Die Studenten müssen ihr Raketendesign gegenüber dem Review-Board präsentieren und verteidigen. Dessen Empfehlungen werden sowohl die Sicherheit als auch die Wahrscheinlichkeit eines Missionserfolges erhöhen. Ein letzter Review findet unmittelbar am Startplatz statt, bei dem die aktuelle Konfiguration der Rakete einschließlich der benötigten Startinfrastruktur sowie durchgeführter Tests und der erwarteten Flugleistung betrachtet werden. Erst wenn auch dieser Review erfolgreich abgeschlossen wurde, kann grünes Licht für den Start gegeben werden.

## Zwei Projekte haben bereits begonnen

Im April startete das STERN-Programm mit der TU-Berlin und dem Bremer Zentrum für angewandte Raumfahrttechnik und Mikrogravitation (ZARM) mit den Projekten Deutsche CanSat-Höhenrakete (DECAN) und ZARM Experimental Hybrid Rocket (ZEPhyR).

ZEPhyR ist eine circa drei Meter lange und rund 40 Kilogramm schwere Rakete, deren Hybrideinheit von Studenten entwickelt wurde. Im Gegensatz zu reinen Flüssig- oder Feststoffantrieben wird der Hybrideinheit mit einer Treibstoffkombination betrieben, bei der einer der beiden Treibstoffe fest und der andere entweder flüssig oder gasförmig ist. Er soll ZEPHYR auf circa 20 Kilometer Höhe bringen und mit bis zu 2500 Stundenkilometern mehr als die doppelte Schallgeschwindigkeit erreichen.

DECAN sieht den Bau einer zweistufigen Rakete vor. Die erste Stufe soll aus einem Heißwasserantrieb bestehen, bei dem das Wasser unter hohem Druck auf eine Temperatur von 330 Grad Celsius gebracht wird. Der dabei entstehende Wasserdampf treibt die Rakete ebenfalls mit Überschallgeschwindigkeit an. Bei der zweiten Stufe wird entweder ein Feststoff- oder ein Hybrideinheit zum Einsatz kommen. Eine Entscheidung darüber wird erst zu einem späteren Zeitpunkt getroffen und ist Teil einer technischen Bewertung, die die Studenten während des Projektes durchführen müssen.

Die Startmasse der etwa 4,5 Meter langen Rakete wird zwischen 100 und 150 Kilogramm betragen. Sie soll eine Flughöhe von rund zehn Kilometern erreichen. Wie bei ZEPHYR werden die wichtigsten Bahndaten der Rakete über eine Telemetrie-Einheit zur Bodenstation gefunkt, wo die Studenten das Geschehen live mitverfolgen können. Der Start von DECAN und ZEPHYR ist für 2015 geplant. Bis Ende dieses Jahres werden rund acht Hochschulen an dem STERN-Programm teilnehmen werden.

procedure specifications in the form of checklists so that all steps in preparing engine tests or the launch of a rocket are followed in their exact sequence, to avoid errors that might threaten their safety or the success of a mission.

As in any 'real' development programme, students have to pass several reviews at various stages of the project. The review board consists of non-partisan experts from the university and one representative each of DLR MORABA, the DLR Space Propulsion Institute, and the DLR Space Administration. Additional experts from the industry may be consulted. Students have to present and defend their rocket design before the review board, whose recommendations will serve to enhance the safety of the mission as well as the probability of its success. A last review covering the current configuration of the rocket, the launch infrastructure needed, all tests previously completed, and the flight performance expected will take place at the launch site itself. The launch will be given the go-ahead only after this review has been successfully completed.

## Two projects have already begun

In April, the STERN programme took off with two projects managed by TU Berlin and the Bremen Centre for Applied Space Technology and Microgravity (ZARM): the German CanSat high-altitude rocket (DECAN) and the ZARM Experimental Hybrid Rocket (ZEPhyR).

ZEPhyR is a rocket that is about three metres long and weighs around 40 kilograms. Its hybrid engine is being developed by students. Unlike engines that are powered by liquid or solid fuel only, the hybrid uses a combination of two fuels, one solid and the other either liquid or gaseous. It is designed to propel ZEPHYR to an altitude of c. 20 kilometres and reach a velocity of up to 2,500 kilometres per hour, more than twice the speed of sound.

DECAN will be a two-stage rocket. The first stage will be a hot-water rocket powered by water at high pressure at a temperature of 330 degrees centigrade. Driven by the steam thus generated, this rocket, too, will reach a velocity greater than the speed of sound. The second stage will be powered either by a solid-fuel or a hybrid engine. This decision will be made at a later date as part of a technical evaluation to be performed by the students in the course of the project.

About 4.5 metres tall, the rocket will have a take-off weight of between 100 and 150 kilograms. It is expected to reach a peak altitude of around 10 kilometres. As in the ZEPHYR project, a telemetry unit will radio a stream of key data down to the ground station where students will be able to watch what is happening in real time. DECAN and ZEPHYR are scheduled for launching in 2015. By the end of this year, some eight universities will be participating in the STERN programme.



## KMU

### Wegbereiter der Raumfahrt Teil 2: HE Space und STT SystemTechnik GmbH

Von Claudia Kessler und Peter Taubenreuther

**Viele große Unternehmen behaupten sich am Raumfahrthimmel. Bei Vorzeigeprojekten, wie zum Beispiel dem Columbus-Labor der Internationalen Raumstation oder den Satellitenmissionen TerraSAR-X, TanDEM-X und Galileo, erscheinen sofort die Namen EADS Astrium GmbH und OHB AG am Horizont. 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 am Standort Bonn 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. Das DLR Raumfahrtmanagement vertritt dabei den Grundsatz: Hilfe zur Selbsthilfe. Diese Artikelserie stellt die 30 KMU und ihre Zusammenarbeit mit dem DLR vor. In dieser Ausgabe lesen Sie mehr über die Firmen HE Space und STT-SystemTechnik GmbH.**

### SMEs

### Trailblazers in the Space Sector Part 2: HE Space and STT-SystemTechnik GmbH

By Claudia Kessler and Peter Taubenreuther

**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. DLR Space Administration operates under the principle 'aid for self-help'. This series of articles will present 30 SMEs and the part they play in DLR projects. In this issue you can read more about HE Space and STT-SystemTechnik GmbH.**



Autoren: **Claudia Kessler** ist Chief Executive Officer der Firma HE Space. Sie leitet als Luft- und Raumfahrtingenieurin ein internationales Team von Raumfahrt ingenieuren. **Peter Taubenreuther** ist Geschäftsführer der STT-SystemTechnik GmbH. Seit 17 Jahren leitet er den Betrieb mit aktuell 13 Mitarbeitern/-innen, der sich auf die Entwicklung und Fertigung von Datenfunk- und Telemetriesystemen insbesondere für die Raumfahrt spezialisiert hat.

Authors: **Claudia Kessler** is the Chief Executive Officer of HE Space. An aerospace engineer herself, she coordinates an international team of space engineers. **Peter Taubenreuther** is the Managing Director of STT-SystemTechnik GmbH. He has been running the firm, which currently employs a staff of 13, for 17 years. The company specialises in the development and manufacture of radio frequency communications and telemetry systems, particularly for the aerospace sector.

### Personaldienstleister für die Luft- und Raumfahrt

HE Space ist ein international operierendes Unternehmen mit Standorten in Deutschland, den Niederlanden und den USA. Geschäftsführerin Claudia Kessler leitet diese in gleich zweifacher Hinsicht einzigartige Personalvermittlung: Sie arbeitet exklusiv in der Männerdomäne Raumfahrt mit einem reinen Frauenteam. Im Juni 2012 feiert das Unternehmen 30-jähriges Jubiläum und kann auf eine intensive und erfolgreiche Zusammenarbeit mit wichtigen Unternehmen und Institutionen im internationalen Raumfahrtgeschäft zurückblicken.

Das internationale Team vermittelt Raumfahrtexperten an das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) – speziell an das German Space Operations Center und das Galileo Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen – ebenso wie an die Europäische Weltraumorganisation ESA und der europäischen Organisation zur Nutzung meteorologischer Satelliten EUMETSAT sowie die wichtigsten Player der europäischen und deutschen Raumfahrtindustrie – insbesondere EADS Astrium und Kayser-Threde.

Die Bandbreite der Jobs, die das Unternehmen den Raumfahrt spezialisten vom Techniker über den Ingenieur bis zum Wissenschaftler und gar künftigen Astronauten anbietet, deckt alle professionellen Gebiete der Branche und damit die komplette Wertschöpfungskette ab: Vom Design, der Produktion, der Qualitätssicherung bis hin zur Integration, dem Start und Betrieb werden Leistungen aller Projektphasen von den Mitarbeitern vor Ort beim Kunden erbracht. Dies gilt auch für die Bereiche Verwaltung, Marketing, Recht sowie Public Relations. Heiß begehrte sind derzeit unter anderem Ingenieure für das europäische Kontrollzentrum in Darmstadt, Galileo Datenbank Analysten für den Standort Oberpfaffenhofen oder Qualitätssicherungsmanager in Bremen.

Dabei kommt es nicht nur auf die Mitarbeiterqualifikationen an. Das Unternehmen legt auch Wert auf die sozialen Kompetenzen der Bewerber, die diese in die Teams bei HE Space wie beim Kunden einbringen sollen. Ein besonderes Anliegen des Unternehmens ist die Förderung von Frauen in der Raumfahrtindustrie. Auf Initiative von CEO Claudia Kessler, selbst übrigens eine der noch wenigen Luft- und Raumfahrt ingenieurinnen, wurde im Jahre 2009 der Verband Woman in Space Europe (WIA) ins Leben gerufen. Qualifizierte Frauen sollen auch durch Vernetzungsmöglichkeiten wie diese verstärkt die Möglichkeit erhalten, Führungspositionen in der Raumfahrtindustrie zu besetzen und somit auch etwas kulturelle Vielfalt in die Männerdomäne zu bringen.

Mit dreißig Jahren Erfahrung in der Raumfahrtindustrie kennen die Spezialisten bei HE Space den Bedarf der Kunden und den Status am Fachmarkt der Arbeitskräfte wie kein anderes Unternehmen, um anspruchsvolle Positionen mit Fachkräften zu besetzen und so den

### An engineering services company for the aerospace sector

HE Space is an internationally operating personnel recruitment agency with offices in Germany, the Netherlands, and the USA. In Germany, the firm is run by CEO Claudia Kessler in a way that is unique in two respects: in the male-dominated space sector, she is the only one to work with a team composed exclusively of women. And, having had its 30th anniversary in June 2012, her enterprise can look back on a history of intensive and successful co-operation with important enterprises and institutions in the international space business.

The firm's international team recruits space experts for the German Aerospace Center (DLR), specifically for the German Space Operations Centre and the Galileo Control Centre at Oberpfaffenhofen, as well as for the European Space Agency (ESA), the European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), and major players in the European and German space industry, notably EADS Astrium and Kayser-Threde.

The bandwidth of jobs on offer to space specialists, from technicians and engineers to scientists and even future astronauts, covers all professional disciplines in the sector and, by the same token, the entire output chain: from design, production, and quality assurance to integration, launch, and operation, the services performed by employees on the ground cover all project phases. The same holds true for administration, marketing, law, and public relations. At present, there is a very urgent demand for spacecraft operations engineers in Darmstadt, Galileo database analysts in Oberpfaffenhofen, and quality assurance managers in Bremen.

What counts is not only a candidate's qualification. The company attributes equal importance to social skills, which are needed both for working with team members at HE Space and with customers. One of the company's major concerns is to promote the careers of women in the space industry. At the initiative of CEO Kessler, herself one of the still small number of female aerospace engineers, an organisation called Women in Aerospace Europe (WIA) was founded in 2009. Networks of this kind intend to improve women's chances to enter leading positions in the space industry, thus adding a little cultural diversity to this male domain.

Based on thirty years of experience in the space industry, the specialists of HE Space know more about their clients' needs and the status of the space industry recruitment market than any other enterprise, which enables them to recruit experts for highly demanding jobs and to meet client demands quickly. Moreover, the fact that the management has profound and detailed knowledge about the sector's technical requirements, working environments, and project structures



**30 Jahre Raumfahrt erfahrung:  
Das Frauenteam von HE Space hat sich  
in der Männerdomäne behauptet.**

**30 years of space experience:**  
The all-female team at HE Space has  
been holding its own in the  
male-dominated sector. (HE Space)



**Für die Herstellung von Raumfahrtprodukten dürfen keine Partikel den Fertigungsprozess stören.**  
In einem Reinraum wird die Anzahl lüftgetragener Teilchen auf ein Minimum reduziert. Andere Parameter wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden ebenfalls konstant gehalten, um jederzeit vergleichbare Bedingungen zu schaffen.

No particles must be allowed to contaminate the production process when manufacturing products for the space industry. In a cleanroom, the airborne particle count is reduced to a minimum. Other parameters such as temperature and air humidity are also kept constant to create reproducible ambient conditions. (STT)

Kundenbedarf schnell zu decken. Auch kommen hier die profunden und detaillierten Kenntnisse des Firmenmanagements über die technischen Anforderungen sowie der Arbeitsumgebung und des Projektaufbaus zum Tragen. Bei aktuellen und zukünftigen Raumfahrtprojekten ist das Team immer auf dem neuesten Stand und kann frühzeitig auf Nachfragen reagieren. Die eigenen Mitarbeiter werden dabei stetig weitergebildet: Beratung bei Fragen der Karriereplanung, Unterstützung der professionellen Weiterbildung durch Schulungen und Mentoring-Programme sind Teil des Fortbildungsprogramms.

Mitarbeiter von HE Space sind in viele Raumfahrtprogramme involviert: An internationalen Projekten wie MetOp mit seinen zuverlässigen Satelliten, die EUMESAT zur Wetterüberwachung und -vorhersage betreibt, dem europäischen „Leuchtturmprojekt“ Galileo, der Nachschubversorgung der Internationalen Raumstation ISS durch das Automated Transfer Vehicle (ATV) oder dem Startprogramm der europäischen Ariane-5 Trägerrakete sind Mitarbeiter des Unternehmens beschäftigt.

HE Space gelang es, nicht nur ein komplexes Netzwerk aufzubauen sondern auch eine Zusammenarbeit mit dem DLR Raumfahrtmanagement zu bewirken. Das Raumfahrtmanagement unterstützte das Unternehmen bei Verhandlungen mit der ESA und konnte somit eine Beteiligung an den deutschen ESA-Beiträgen ermöglichen. Des Weiteren hat diese Kooperation zu Verhandlungen mit EUMETSAT geführt. In diesem Sinne steuert das Unternehmen einen kleinen Beitrag zu der Förderung und Unterstützung der strategischen deutschen Ziele in den europäischen ESA- und EU-Programmen bei. Auch in Zukunft will das Team Fachkräfte für alle Raumfahrtbereiche zur Verfügung stellen, um einen Beitrag zu leisten, Deutschlands Spitzenstellung in der Raumfahrt zu sichern.

#### Zuverlässige Datenfunksysteme für die Luft- und Raumfahrt „Made in Bavaria“

Die STT-SystemTechnik GmbH mit Sitz in München hat sich auf die Bereiche Fernmessen (Telemetrie), Fernwirken (Telekommando) und drahtlose Datenkommunikation für Industrie, Militär, Luftfahrt und insbesondere für die Raumfahrt spezialisiert. Ausgerüstet mit großzügigen Fertigungs- und Laborräumen, modernen Messgeräten, Umwelttestsystemen, motivierten Mitarbeitern und einem Klassenzimmer 100.000 Reinraum ist das Unternehmen für die Anforderungen von morgen gut gerüstet.

Seit 17 Jahren berät, konzeptioniert, entwickelt, fertigt und liefert die STT-SystemTechnik GmbH zuverlässige Datenfunksysteme, Antennen und Telemetriegeräte für unterschiedlichste Anwendungen in Industrie, Militär, Luft- und Raumfahrt „Made in Bayern“. Die Produkte werden national und international in vielen anspruchsvollen Projekten erfolgreich eingesetzt. ROKVISS/CUP, GRACE, TerraSAR-X, TanDEM-X, SAR-Lupe, PROBA-2/V, METEOR, BRIMSTONE, IRIS-T, Trigat-LR, Tornado, Eurofighter, und Barracuda, to name just a few.

Die Geräte und Systeme des Unternehmens sind für extreme Umweltbedingungen, wie Temperatur, Vibration, Schock, Vakuum oder kosmische Strahlung ausgelegt. Bereits im Anfangsstadium der Designphase werden Maßnahmen getroffen, welche die geforderte Funkti-

on ist of great benefit. The company's recruitment team follows all current and future space projects closely so that it can respond quickly to any demand. Team members engage in continuous further training. Career planning guidance and support with further professional qualification through training courses and mentoring all form part of the company's development programme.

HE Space employees work in a great variety of space programmes, including international projects such as MetOp with its reliable satellites operated by EUMETSAT to monitor and forecast the weather, the European 'lighthouse project' Galileo, the provision of supplies to the International Space Station (ISS) by the Automated Transfer Vehicle (ATV), and the launch programme of the European Ariane-5 launcher.

HE Space has succeeded not only in setting up a complex network but also in joining forces with DLR Space Administration, who, by supporting the company in its negotiations with ESA, opened the door for HE Space to participate in Germany's ESA contributions. Another result of this co-operation was the opening of negotiations with EUMETSAT. So in a small way, the company has done its bit in promoting and supporting Germany's strategic objectives within the European ESA and EU programmes. The team will continue to provide specialists for all segments of the space industry and thus to help secure Germany's position as one of the top players in space.

#### Reliable radio frequency communication systems for airborne and spaceborne applications 'Made in Bavaria'

The Munich-based STT-SystemTechnik GmbH specialises in telemetry, tele-commanding, and wireless data communication technologies for applications in industry, the military, and particularly in the aerospace and space sectors. Featuring spacious production and laboratory facilities, modern measuring equipment, special environmental test systems, motivated employees, and a class 100,000 clean room, the company is well equipped to face the challenges of tomorrow.

For 17 years now, STT-SystemTechnik has been designing, developing, manufacturing, delivering, and providing advice on reliable radio frequency communication systems, antennas, and telemetry equipment 'made in Bavaria' for many applications in industry, the military, and the aerospace sector. At a national and international level, its products are applied successfully in numerous demanding projects, including ROKVISS/CUP, GRACE, TerraSAR-X, TanDEM-X, SAR-Lupe, PROBA-2/V, METEOR, BRIMSTONE, IRIS-T, Trigat-LR, Tornado, Eurofighter, and Barracuda, to name just a few.

The company's equipment and systems are designed to withstand extreme environmental conditions – temperature, vibration, shock, vacuum, and cosmic radiation. At the very beginning of the design stage, the engineers ensure that the systems will have the requisite functionality even under such tough conditions. Based on a special qualification model, compliance with functional

onalität auch unter diesen harten Bedingungen sicherstellen. Anhand eines speziellen Qualifikationsmodells wird die korrekte Funktion unter all diesen Umweltbedingungen in zahllosen Testläufen verifiziert. In vielen der erfolgreich realisierten Projekte war auch das Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) beteiligt, beziehungsweise hat manche Projekte erst möglich gemacht:

#### Communication Unit for Payloads (CUP)

Mit Hilfe dieses an der Außenseite der Internationalen Raumstation ISS montierten Funksystems von STT war es zum ersten Mal möglich von der Satelliten-Bodenstation in Weilheim direkt und in Echtzeit, unter Verwendung eines „Force-Feedback-Controllers“, einen Roboterarm (ROKVISS) auf der Internationalen Raumstation ISS zu steuern. Gleichzeitig wurde ein Video von der auf dem Kopf des Armes installierten Kamera an die Bodenstation zurückübertragen.

#### TerraSAR-X und TanDEM-X

Mit den beiden Erdbeobachtungssatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X ist es möglich ein dreidimensionales Höhenmodell der gesamten Erde in einer bis dato unerreichten Qualität aufzunehmen. STT hat beide Satelliten mit S-Band TMTC-Einheiten und einer Inter-Satellitenkommunikationseinheit für die Kommunikation der Satelliten mit der Bodenstation und auch untereinander ausgerüstet.

#### TET-OOV

Im Rahmen des Programms On-Orbit Verification (OOV), einem Vorhaben des deutschen nationalen Raumfahrtprogramms, wird der Satellitenbus TET (Technologie-Erprobungs-Träger) zur Verifikation von neuen Technologien im Weltraum entwickelt. STT hat diesen Satelliten mit dem kompletten S-Band Kommunikationssystem, bestehend aus Sender, Empfänger, Diplexer, RF-Verkabelung und Antennen ausgerüstet. Hierzu musste das bestehende Funksystem an die besonderen Platzverhältnisse auf dem TET-Satelliten angepasst werden.

#### Keramis-GEO

Hier sollen keramische Mikrowellenschaltkreise für die Satellitenkommunikation (KERAMIS), wie diese zukünftig im Bereich der Multimedia-Satellitendienste zum Einsatz kommen könnten, in einer realen Umgebung auf dem Heinrich-Hertz Satelliten im Geostationären Orbit getestet und qualifiziert werden. STT entwickelt im Rahmen dieses Projektes das Netzteil welches die unregulierte Versorgungsspannung des Satellitenbusses in die geregelten Betriebsspannungen umsetzt, sowie die Interface- und Steuerungslogik, welche die Schnittstelle zum onboard-Computer bildet.

Die STT-SystemTechnik GmbH hat auch an der Entwicklung der Funksysteme für die Orbiter und Lander der Missionen Mars Express und EXOMARS mitgewirkt. Auf Mars Express installiert, kreist MELACOM seit nunmehr mehreren Jahren um den Roten Planeten und kommuniziert regelmäßig mit den NASA-Rovern „Spirit“ und „Opportunity“. Zur drahtlosen Übertragung von Messdaten, die während der Erprobung von Flugzeugen, Raketen und anderen Flugobjekten anfallen, wurden bei der STT-SystemTechnik GmbH kleine, aber sehr robuste und leistungsfähige Funksender und speziell geformte Flugantennen entwickelt. Mit diesen Sendern können Daten und Videobilder über große Entfernen übertragen werden.

R&D (Research & Development) ist bei STT sehr groß geschrieben. In diesem technologisch anspruchsvollen Umfeld ist es wichtig, immer auf dem aktuellen Stand der Technik zu sein. Bestehende Produkte sind neuen Anforderungen anzupassen und innovative Geräte müssen für neue Aufgabenstellungen entwickelt werden. Um diese zukunftsorientierten Aufgaben neben dem laufenden Tagesgeschäft zeitnah und in hoher Qualität durchführen zu können, ist das Unternehmen immer auf der Suche nach erfahrenen Fachkräften, wie auch interessierten und engagierten Absolventen. Aktuelle Stellenausschreibungen können auf den Internetseiten des Unternehmens eingesehen werden. Die Systeme der STT-SystemTechnik GmbH bewähren sich täglich neu in den unterschiedlichsten Applikationen weltweit – und in den Weiten des Weltalls.

requirements under all these environmental conditions is verified in numerous test runs. The Space Administration of the German Aerospace Center (DLR) was involved in many of STT's successful projects, and some of them would not have been possible without its assistance:

#### Communication unit for payloads (CUP)

Mounted at the outside of the International Space Station (ISS), this radio system of STT enabled the satellite ground station at Weilheim to control a robotic arm (ROKVISS) installed on the ISS for the first time directly and in real time, using a force feedback controller, with video images taken by a camera installed at the head of the arm transmitted to the ground station at the same time.

#### TerraSAR-X and TanDEM-X

The two Earth observation satellites TerraSAR-X and TanDEM-X fly in close formation to generate a three-dimensional elevation model of the entire Earth at a level of quality never achieved so far. STT equipped both satellites with S-band TMTC units and an inter-satellite communication unit so that the satellites can communicate with the ground station and also with each other.

#### TET-OOV

As part of the on-orbit verification (OOV) programme, one of the projects of the German national space programme, the TET (technology verification platform) satellite bus is being developed to verify new technologies in space. STT has equipped this satellite with a complete S-band communication system comprising transmitters, receivers, diplexers, the RF cable harness, and antennas. To make this possible, the existing radio system had to be adapted to match the specific assembly conditions on the TET satellite.

#### Keramis-GEO

In the framework of this project, ceramic microwave circuits for satellite communication (Keramis) such as might be used for future multi-media satellite services will be tested and qualified in a real-life environment on the Heinrich Hertz satellite in a geostationary orbit. In this context, STT is developing a power supply to transform the unregulated power supplied by the satellite bus into regulated operating voltages as well as the interface and control logic which forms the interface with the on-board computer.

STT-SystemTechnik GmbH has also been involved in the development of the radio systems for the orbiter and lander of the Mars Express and EXOMARS missions. Installed on Mars Express, MELACOM has been orbiting the red planet for years, occasionally communicating with NASA's Spirit and Opportunity rovers. For the wireless transmission of measurement data obtained during testing of airplanes, missiles, and other aircraft, STT-SystemTechnik GmbH has developed small but very robust and efficient radio transmitters as well as antennas specially shaped for flight environments. Using these transmitters, data and video images may be transmitted over large distances.

R&D (Research and Development) is taken very seriously at STT. Working in a technologically demanding environment, it is important to always be up-to-date with the latest technologies on the market. Existing products must be adapted to new requirements, and innovative equipment must be developed for new applications. To perform these forward-looking tasks promptly and at a high level of quality in addition to handling its day-to-day business, the company is constantly searching for experienced specialists as well as inspired graduates. Current job advertisements are displayed on the company's website. Every day, systems made by STT-SystemTechnik GmbH are proving their excellence in the most diverse applications worldwide – and in the vastness of the universe.

In der Ausgabe 18 des DLR Newsletter COUNTDOWN ist der Redaktion ein Fehler in der englischen Bildunterschrift und Quellenangabe des Artikels "KMU – Entwicklung der Industriekultur in der Raumfahrt" unterlaufen: „A light exposure test on a thin-film solar panel made by Hoch Technologie Systeme GmbH (HTS GmbH)“ lautet die richtige Bildunterschrift. Für den Fehler bitten wir um Entschuldigung.

As a result of an editing error, the article 'SMEs – Structural Evolution of the Space Industry' in issue 18 of the DLR newsletter COUNTDOWN contained an incorrect caption and source. The correct caption should read: 'A light exposure test on a thin-film solar panel made by Hoch Technologie Systeme GmbH (HTS GmbH)'. We apologise for the error.



# Deutsche Raumfahrt-Missionen

## Teil 8: DFS-Kopernikus

Von Dr. Niklas Reinke

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

## German Space Missions

### Part 8: DFS-Kopernikus

By Dr Niklas Reinke

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

**Das deutsche Fernmeldesatellitensystem "Kopernikus" revolutionierte das Fernsehen nicht nur in Deutschland sondern in ganz Europa und den europäischen Teilen der ehemaligen Sowjetunion (1989).**

The German telecommunications satellite system Kopernikus revolutionised television not only in Germany but all over Europe as well as in the European parts of the former Soviet Union (1989). (Bildcollage DLR/dpa)



Autor: **Dr. Niklas Reinke** ist Politikwissenschaftler und Historiker. Von 2004 bis 2009 leitete er die Öffentlichkeitsarbeit des DLR Raumfahrtmanagements. Seit 2010 ist er in der Abteilung Raumfahrt-Strategie und Programmatik zuständig für astronautische Raumfahrt/ISS, Trägersysteme und Infrastrukturen. 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. Responsible for astronautics/ISS, launch systems, and infrastructure, he has been working in the Space Strategy and Programme department since 2010. Furthermore, he represents DLR at the IAA Committee on History.

Nikolaus Kopernikus war ein Mann mit vielen Talenten. Das 1473 im preußischen Thorn geborene Universalgenie war Frauenburger Domherr, Jurist, Administrator und Arzt. In seiner Freizeit beschäftigte er sich mit Mathematik und Astronomie und revolutionierte, quasi als Hobby, unser Weltbild: In seinem Werk „De Revolutionibus Orbium Coelestium“ beschrieb er die heliozentrische Himmelsmechanik so bestechend, dass auch die Katholische Kirche dem nicht mehr viel entgegenzusetzen vermochte. Nikolaus Kopernikus war mit seinen Studien einer der historischen Persönlichkeiten, die den Wechsel Europas vom Mittelalter in die Neuzeit begründeten.

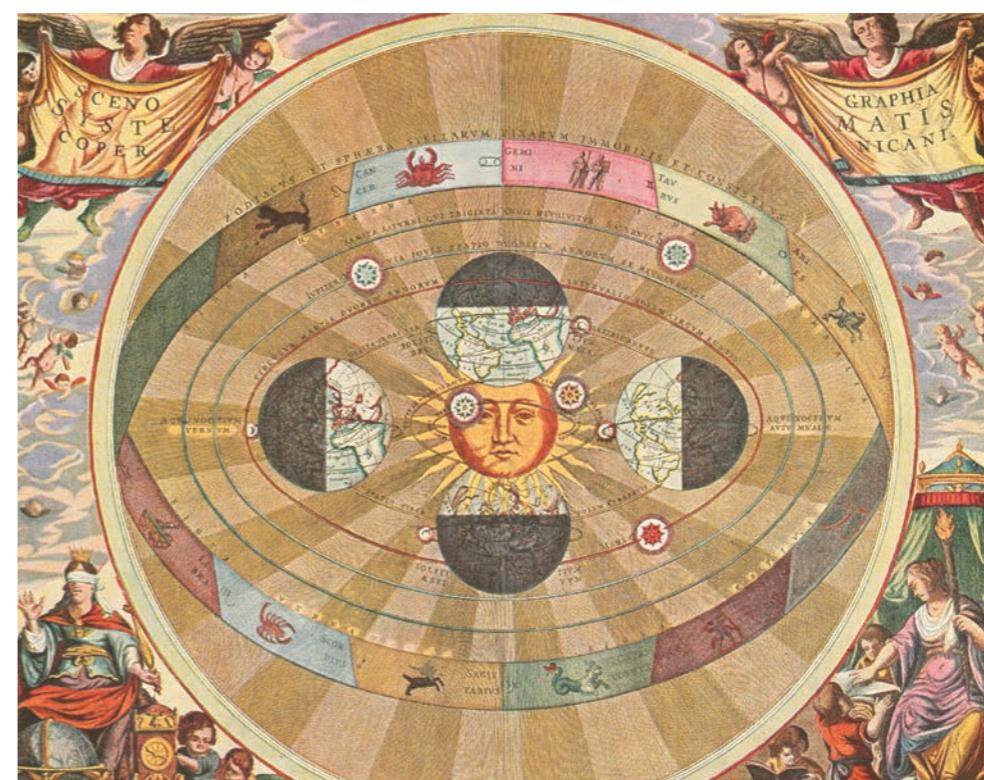
Heute ist eine fragwürdige Debatte darüber entfacht, ob jener Begründer der modernen Astronomie mit „c“ oder „k“ zu schreiben ist, ob er ergo Pole oder Deutscher war. Unter anderem weil man sich hierüber zu Beginn des 21. Jahrhunderts nicht einigen konnte, musste die EU die Namensgebung für ihr Programm Global Monitoring for Environment and Security (GMES) zurückziehen. Das Satellitenprojekt bleibt ein unpersönliches Akronym.

Ähnliche Bedenken hatte man dreißig Jahre zuvor nicht, weshalb Nicolaus K/Copernik/cus bereits seinen Weg in den Erdorbit gefunden hat – dank der Deutschen Bundespost. 1982 beschloss diese, ein nationales Fernmeldesatelliten-System zu errichten. Noch bevor der erste TV-Sat (siehe COUNTDOWN 18) gestartet war, gab die Post 1983 die Entwicklung der nächsten Generation von Fernmeldesatelliten in Auftrag. Sie erhielten zunächst den schlichten Namen „Deutsches Fernmeldesatellitensystem“ (DFS). Besser bekannt wurden sie später unter dem Namen „Kopernikus“.

Nicolaus Copernicus was a man of many talents. Born in 1473 in the Prussian town of Thorn, the polymath was canon of Frauenburg Cathedral, jurist, administrator, and physician. In his spare time, he busied himself with mathematics and astronomy, revolutionising our conception of the world as a hobby, so to speak: in his work 'De Revolutionibus Orbium Coelestium', he described the heliocentric model of celestial mechanics so brilliantly that not even the Catholic Church had much to say in reply. His studies make Nicolaus Copernicus one of those historic personages who paved the way for Europe's transition from the Middle Ages to the modern era.

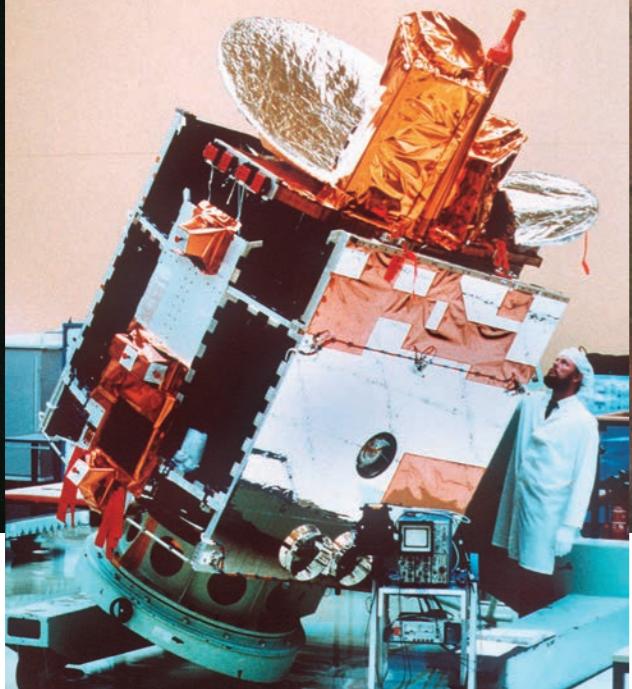
Today, a questionable debate is raging about whether this founder of modern astronomy should be spelled with cs or ks and, consequently, whether he was Polish or German. The fact that no agreement could be reached on this point at the beginning of the 21st century was one of the reasons why the EU had to withdraw the name for its global monitoring for environment and security (GMES) programme. The name of the satellite project remained a neutral acronym.

Thirty years before, people had no such misgivings, which is why Nicolaus K/Copernik/cus has already found his way into an orbit around Earth, thanks to the Deutsche Bundespost (Federal Mail). In 1982, it decided to create a national system of telecommunication satellites. In 1983, even before the first TV-Sat (see COUNTDOWN 18) had been launched, the Federal Mail ordered the development of the next generation of telecommunication satellites. At first, it was given the unpretentious name 'German telecommunication satellite system' (DFS). Later on, it became more popular under the name of 'Kopernikus'.



**"Scenographica Systematica Copernicana": Nachkolorierter Kupferstich des heliozentrischen Planetensystems des Nikolaus Kopernikus um 1510 mit Weltkarten nach Cellarius. Der Kupferstich stammt aus dem Werk Harmonia Macrocosmica des Christoph Cellarius und wurde 1660 veröffentlicht.**

'Scenographica Systematica Copernicana': hand-coloured engraving from around 1510 showing Nikolaus Kopernikus' heliocentric planetary system together with world maps by Cellarius. Contained in Christoph Cellarius' *Harmonia Macrocosmica*, the engraving was published in 1660. (akg-images/dpa)



**Wissenschaftler im DLR-Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen verfolgen am 12. Oktober 1992 den Start des dritten Kopernikus-Satelliten auf seinem Weg in seine geostationären Umlaufbahn. Der Start vom Weltraumbahnhof Cape Canaveral in Florida (USA) erfolgte pünktlich um 10:47 Uhr MEZ. Der Satellit wurde so gesteuert, dass er neben Deutschland auch den europäischen Teil der ehemaligen Sowjetunion und ihrer Bruderländer mit Bildern und Daten versorgen konnte.**

**Scientists at the DLR control centre in Oberpfaffenhofen observing the launch of the third Kopernikus satellite on its way to its geostationary orbit on October 12, 1992. The take-off from the Cape Canaveral spaceport in Florida (USA) took place punctually at 10:45 a.m. CET. The satellite was positioned to transmit images and data not only to Germany but also to the European part of the former Soviet Union and its brother countries. (Frank Mächler/dpa)**



#### **Der erste Satellit des deutschen Fernmeldesatellitensystems „Kopernikus“ wird 1989 in der Integrationshalle der Firma MBB-ERNO montiert.**

The first satellite of the German telecommunications satellite system Kopernikus being assembled at MBB-ERNO's integration hall in 1989. (MBB-ERNO/dpa)

#### **Deutsch-französische Kooperation**

Die Satelliten wurden - wie bereits Symphonie und TV-Sat - erneut in deutsch-französischer Kooperation entwickelt. Der deutsche Anteil lag bei 900 Millionen DM. Hiervon entfielen 600 Millionen DM auf die Entwicklung der drei Satelliten, der Rest auf die Bodeninfrastruktur. Industrieller Auftragnehmer war ein deutsches Industriekonsortium, das aus den Firmen AEG-Telefunken Nachrichtentechnik (ANT) und Messerschmidt-Bölkow-Blohm Entwicklungsring Nord (MBB-ERNO) bestand. Ebenfalls involviert waren Siemens, SEL und Dornier. Die Firmen stützten sich maßgeblich auf erprobte Systeme, die sich bereits bei Symphonie (siehe COUNTDOWN 15), Intelsat V und VI sowie der Satellitenfamilie TV-Sat/TDF bewährt hatten. Dazu gehörten unter anderem die Dreiaachsen-Stabilisierung für die Feinausrichtung und Positionierung, das Antriebssystem für die Apogäumsmanöver bis zum Erreichen der geostationären Umlaufbahn und die Solargeneratoren.

Die Satelliten hatten eine Startmasse von circa 1400 bis 1415 Kilogramm und am Beginn ihrer Lebenszeit auf der geostationären Umlaufbahn eine Masse von 850 Kilogramm. Ihre Solarpaneelen lieferten bei einer Spannweite von 15,5 Metern bis zu 1550 Watt elektrische Leistung. Für die Telekommunikation waren Kopernikus-Satelliten mit zehn 14/11–12-Gigahertz-Transpondern (plus fünf als Reserve) sowie einem experimentellen 30/20-Gigahertz-Transponder ausgestattet. Die drei 11-Gigahertz-Band (FSS-Band)-Transponder hatten eine Bandbreite von je 72 Megahertz, die sieben Transponder für das 12-Gigahertz-Band (SMS-Band) eine Bandbreite von je 36 Megahertz. Die Ausleuchtzonen der baugleichen Satelliten wurden für das Gebiet der damaligen Bundesrepublik sowie der DDR bestimmt.

#### **Satellitenkommunikation der nächsten Generation**

Für die neuen Satelliten waren zwei Zielen definiert worden: Das erste Ziel war die Erweiterung der Telekommunikationsverbindungen innerhalb der Bundesrepublik Deutschland und nach West-Berlin. Neben Telefon und Fax betraf das damals Dienste, die heute kaum noch bekannt sind: Telex (TELeprinter Exchange) und Datex (Data Exchange). Telex war ein Vorgänger von Fax und E-Mail und diente im 20. Jahrhundert insbesondere Firmen und Behörden für die Übermittlung von Textnachrichten. Hierfür wurde ein eigenständiges Telekommunikationsnetz verwendet, bei dem Fernschreiber zum Einsatz kamen. Datex wiederum war so etwas wie eine frühe Form des Internets. 1980 eingeführt, diente es der Kommunikation zwischen Rechnern entweder via Akustikkoppler oder Modem. Datex-P (Data Exchange paketorientiert) bot in den späten 1980er-Jahren in Deutschland den ersten allgemein verfügbaren Zugang in ein globales Datennetz. Die zweite Aufgabe der Kopernikus-Satelliten war es, Fernsehbilder von mobilen Übertragungsstationen in die Sendeantennen zu übermitteln. Sie sollten zudem Fernsehprogramme für die sich in Planung befindlichen Kabelnetze, bereitstellen. Wie so oft, sollte es etwas anderes kommen.

#### **Franco-German co-operation**

Like Symphonie and TV-Sat before them, the satellites were developed in co-operation by France and Germany. Germany's share amounted to 900 million DM, of which 600 million were spent on developing the three satellites and the remainder on the ground infrastructure. The contractor was a German industrial consortium consisting of AEG-Telefunken Nachrichtentechnik (ANT) and Messerschmidt-Bölkow-Blohm Entwicklungsring Nord (MBB-ERNO). Siemens, SEL, and Dornier were also involved. To a large extent, the consortium used proven systems that had done well in Symphonie (see COUNTDOWN 15), Intelsat V and VI, and the TV-Sat/TDF satellite family. Among others, these included the tri-axial stabiliser for precision alignment and positioning, the propulsion system for the apogee manoeuvres needed to reach the geostationary orbit, and the solar generators.

At launch time, the satellites had a mass of between 1,400 and 1,415 kilograms, and at the beginning of their life in a geostationary orbit they weighed 850 kilograms. With a span of 15.5 metres, their solar panels supplied up to 1,550 watts of power. For telecommunication purposes, the Kopernikus satellites were equipped with ten 14/11-12-gigahertz transponders (plus five in reserve) and an experimental 30/20-gigahertz transponder. The three 11-gigahertz transponders (FSS band) had a bandwidth of 72 megahertz each, while the seven transponders for the 12-gigahertz band (SMS band) had a bandwidth of 36 megahertz each. The footprints of the structurally identical satellites covered the territory of the former Federal Republic and the GDR.

#### **The next generation of communication satellites**

Two objectives had been defined for the new satellites: the first was to augment telecommunication links within the Federal Republic of Germany and with West Berlin. At the time, this included, next to phone and fax, services which hardly anyone knows these days: telex (teleprinter exchange) and datex (data exchange). In the 20th century, telex, a predecessor of fax and e-mail, was mainly used by companies and government authorities to transmit text messages. It involved an independent telecommunications network that used teleprinters as terminals. Datex, on the other hand, was something like an early form of the Internet. Introduced in 1980, it facilitated communication between computers either through acoustic couplers or modems. In the late 1980s, datex-p (package-oriented data exchange) offered the first generally available access to a global data network in Germany. The second function of the Kopernikus satellites was to forward television images from mobile outside broadcasting units to television stations. In addition, they were to supply television programmes to the cable networks that were then under construction. As it happens so often, things did not quite develop according to plan.

#### **Kopernikus Kerndaten**

<b>Beschluss</b>	1983
<b>Start DFS-Kopernikus 1</b>	5. Juni 1989
<b>Start DFS-Kopernikus 2</b>	24. Juli 1990
<b>Start DFS-Kopernikus 3</b>	12. Oktober 1992
<b>Startbasis DFS 1 u. 2</b>	Kourou
<b>Startbasis DFS 3</b>	Cape Canaveral
<b>Träger DFS 1 u. 2</b>	Ariane-4
<b>Träger DFS 3</b>	Delta II
<b>Masse</b>	1.422 Kilogramm
<b>Kapazität</b>	Zehn und zwölf Fernsehkanäle
<b>Missionsende DFS 1</b>	November 1995
<b>Missionsende DFS 2</b>	September 2001
<b>Missionsende DFS 3</b>	Juni 2003
<b>Kosten</b>	circa 900 Millionen DM (deutscher Anteil)

#### **Kopernikus core data**

<b>Approved</b>	1983
<b>DFS-Kopernikus 1 launch</b>	5 June 1989
<b>DFS-Kopernikus 2 launch</b>	24 July 1990
<b>DFS-Kopernikus 3 launch</b>	12 October 1992
<b>DFS 1 and 2 launch base</b>	Kourou
<b>DFS 3 launch base</b>	Cape Canaveral
<b>DFS 1 and 2 launcher</b>	Ariane 4
<b>DFS 3 launcher</b>	Delta II
<b>Mass</b>	1,422 kilogrammes
<b>Capacity</b>	ten and twelve TV channels
<b>End of DFS 1 mission</b>	November 1995
<b>End of DFS 2 mission</b>	September 2001
<b>End of DFS 3 mission</b>	June 2003
<b>Cost</b>	c. 900 million DM (Germany's share)

#### **Erfolgreiche Mission**

Der Start von DFS-Kopernikus erfolgte am 5. Juni 1989. Doch der neue deutsche Trabant wurde zunächst weniger als Fernmeldesatellit sondern vielmehr als Fernsehsatellit genutzt. Die Deutsche Bundespost wollte so die Verzögerungen im Satellitenfernsehen, die durch Bau- und Startverschiebungen, durch politische Streitigkeiten sowie den Verlust des TV-SAT 1 entstanden waren, egalisieren und das Eindringen der privatwirtschaftlichen Astra-Satelliten in den deutschen Fernsehmarkt verhindern. Zur Einspeisung in die bundesdeutschen Kabelnetze wurden die Programme PRO 7, West 3, Tele 5, Bayerisches Fernsehen, Eins Plus und RTL Plus auf den Satelliten geschaltet. Nach dem Start von DFS-Kopernikus 2 am 24. Juli 1990 übernahm dieser alle noch auf Kopernikus 1 verbliebenen Fernmeldedienste, so dass alle Transponder auf Kopernikus 1 mit Fernsehprogrammen belegt wurden. Kopernikus 2 wurde nach dem Fall der Berliner Mauer zwischenzeitlich auch als Telefonsatellit genutzt, da der gestiegerte innerdeutsche Telefonverkehr die bestehenden Netze überforderte und die Kabelverbindungen nicht schnell genug ausgebaut werden konnten. Kopernikus 3 wurde am 12. Oktober 1992 gestartet und löste Kopernikus 1 als Fernsehsatellit ab, der fortan als reiner Fernmelde-satellit arbeitete.

#### **Post verliert Kampf am Fernseh-Himmel**

Doch der Plan der Bundespost ging nicht auf. Die neu zu installierenden Kopernikus-Empfangsanlagen setzten sich nicht gegen die auch über Baumärkte vertriebenen, wesentlich billigeren Astra-Parabolantennen durch. Die Post erreichte lediglich einen Marktanteil von 20 Prozent. Den Kampf um den deutschsprachigen Satellitenhimmel verlor die Post endgültig am 12. Mai 1993: Über den frisch gestarteten Astra 1C konnten auch die öffentlich-rechtlichen Fernsehsender ARD und ZDF empfangen werden. Erstmals bot ein kommerzieller Anbieter mit 48 Fernsehkanälen über eine Antenne mehr deutschsprachige Programme an, als der Staat. Die Post verlor in der Folge das Interesse an eigenen Kommunikationssatelliten. Dementsprechend wurde Kopernikus 3 seiner ursprünglichen Bestimmung als Fernmeldesatellit zugeführt. Für sein letztes Lebensjahr wechselte er noch einmal seinen Namen. Nachdem ihm die Deutsche Telekom als Rechtsnachfolger der Deutschen Bundespost 2002 an die griechische Hellas Sat vermietet hatte, zog der deutsche Satellit als HellasSat 1 seine Bahnen um die Erde.

#### **Successful mission**

DFS-Kopernikus was launched on June 5, 1989. At first, however, the new German satellite was used less for telecommunications and more for television. In this way, the German Federal Mail intended to make up for the delays in the introduction of satellite TV that had been caused by construction and launch postponements, political quarrels, and the loss of TV-Sat 1. At the same time, it intended to keep the private-sector Astra satellites from penetrating the German television market. The channels transmitted by satellite for distribution by the German cable networks included PRO 7, West 3, Tele 5, Bavarian Television, Eins Plus, and RTL Plus. After its launch on July 24, 1990, DFS-Kopernikus 2 took over all telecommunication services still being handled by Kopernikus 1 so that all the latter's transponders were now occupied by television programmes. After the fall of the Berlin Wall, Kopernikus 2 was briefly used as a telephone satellite because the existing networks could not handle the growing number of telephone calls within Germany and additional cable links could not be built quickly enough. Launched on October 12, 1992, Kopernikus 3 took over the television satellite functions of Kopernikus 1, which served only as a telecommunications satellite from then on.

#### **Mail loses battle in the TV sky**

But the Federal Mail's plans did not come out as intended. The equipment that had to be installed to receive Kopernikus could not hold its own against Astra's considerably cheaper dish antennas that were also sold in home-improvement stores. On May 12, 1993, Deutsche Bundespost lost the German-language satellite sky once and for all. It was now possible to receive even the public-service channels ARD and ZDF from the Astra 1C satellite that had just been launched. For the first time, a commercial provider offered 48 TV channels for reception with a single antenna, which meant more German-language programmes than the state services. Subsequently, Deutsche Bundespost lost interest in having communication satellites of its own. Accordingly, Kopernikus 3 was returned to the purpose to which it had originally been dedicated: telecommunications. In the last year of its life, it changed names once again. After it had been leased to the Greek Hellas Sat company by Deutsche Telekom, the successor of Deutsche Bundespost, in 2002, the German satellite pursued its orbit around Earth under the name of HellasSat 1.

## Business Launch

Der NASA-Administrator Charles Bolden (r.) besuchte am 7. Mai 2012 den DLR-Standort Oberpfaffenhofen. Der DLR-Vorstand zuständig für das Raumfahrtmanagement, Dr. Gerd Gruppe, begrüßte ihn auf der Brücke des Columbus-Kontrollzentrums.

NASA Administrator Charles Bolden (r.) came to visit DLR's Oberpfaffenhofen site on May 7, 2012. He was welcomed by DLR Executive Board member in charge of Space Administration, Dr Gerd Gruppe, on the bridge of the Columbus control centre.



Auf der Dinner-Gala anlässlich des ISS-Symposiums im Berliner Museum für Kommunikation trafen sich Politik und Wissenschaft, um sich über Gegenwart und Zukunft der Internationalen Raumstation auszutauschen.<sup>1</sup>

At a dinner party held on the occasion of the ISS Symposium at Berlin's Museum für Kommunikation, political and business leaders met to exchange views on the current situation and the future of the International Space Station.



Der Projektdirektor des DLR Raumfahrtmanagements, Christoph Hohage (r.), im Gespräch mit dem Standortleiter Bremen bei dem Unternehmen EADS Astrium, Dr.-Ing. Michael Menking, am 19. Juni 2012 anlässlich des Porzer Picknicks

The 'Porzer Picknick' event on June 19, 2012: Christoph Hohage, project director at DLR Space Administration (r.) in a conversation with Dr.-Ing. Michael Menking, the site manager of EADS Astrium in Bremen.

# Raumfahrtkalender

Termin Ereignis

2012

5. Juli	Start Ariane 5ECA mit Wettersatellit MSG-3 (METEOSAT-10) und Echostar 17/Jupiter von Kourou (Französisch-Guiana)
15. Juli	Start Sojus 31S von Baikonur (Kasachstan/Expedition)
21. Juli	Start Raumtransporter HTV-3 "Kounotori-3" vom japanischen Raumfahrtzentrum Tanegashima
22. Juli	Start Sojus mit deutschem Kleinsatellit TET-1 (OOV-Programm) von Baikonur
31. Juli	Start Progress 48P von Baikonur (Versorgung ISS)
2. August	Start Ariane 5ECA von Kourou mit den Kommunikationssatelliten Intelsat-20 und Hylas-2
6. August	Landung der NASA-Mission Mars Science Laboratory (MSL)
9. August	Erstflug Antares von Wallops Island (Virginia/USA)
September	Beginn des ersten Beobachtungszyklus mit dem Stratosphären-Observatorium SOFIA
3.–16. September	20. DLR-Parabelflug (3.–14. September in Bordeaux, Frankreich; 15.–16. September auf der ILA in Berlin, Deutschland)
10. September	Start Experimentanlage Omegahab auf russischem Rückkehr-Satelliten Bion-M1 von Baikonur
11.–16. September	Internationale Luft- und Raumfahrtausstellung (ILA) in Berlin
19. September	Start Wettersatellit METOP-B mit Sojus 2-1a von Baikonur
28. September	Start Falcon 9 von Cape Canaveral (Florida/USA), erster ISS-Versorgungsflug
Oktober	Start Sojus 2-1b Fregat von Kourou mit zwei Galileo IOV-Satelliten
Oktober	Studenten-Ballonkampagne BEXUS 14/15 auf Esrange (Nordschweden)
Oktober	Studenten-Raketenkampagne REXUS 11 von Esrange
Oktober–November	Erste Startkampagne des Projektes WADIS (IAP) von Andoya Rocket Range (Norwegen), Start einer Nike-Improved-Orion Höhenforschungsrakete und zwölf kleiner Loki-Datasonden
15. Oktober	Start Sojus 32S von Baikonur (Expedition)
November	Start Antares mit Cygnus-Transporter (COTS-Demo 1) von Wallops Island
November/Dezember	Start der ESA Earth-Explorer-Mission SWARM mit Rockot von Plesetsk (Russland)
November/Dezember	3. CCF-Experimentkampagne von DLR und NASA auf der ISS
1. November	Start Progress 49P von Baikonur (Versorgung ISS)
Dezember	Start des Picosatelliten First-MOVE (TU München) mit dem russischen Träger Dnepr
5. Dezember	Start Sojus 33S von Baikonur (Expedition)
21. Dezember	Start Falcon 9 von Cape Canaveral, 2. ISS-Versorgungsflug (Dragon C4)
26. Dezember	Start Progress 50P von Baikonur (Versorgung ISS)

# Space Calendar

Date Event

2012

July 5	Launch of Ariane 5ECA; carrying the weather satellite MSG-3 (METEOSAT-10) and Echostar 17/Jupiter from Kourou (French-Guiana)
July 15	Launch of Soyuz 31S from Baikonur (Kazakhstan/Expedition)
July 21	Launch of space transport vehicle HTV-3 'Kounotori-3' from Japanese spaceport Tanegashima
July 22	Launch of Soyuz; carrying the German small satellite TET-1 (OOV Programme) from Baikonur
July 31	Launch of Progress 48P from Baikonur (ISS logistics)
August 2	Launch of Ariane 5ECA; carrying the communication satellite Intelsat-20 and Hylas-2 from Kourou
August 6	Landing of the NASA Mission Mars Science Laboratory (MSL)
August 9	First launch of Antares from Wallops Island (Virginia/USA)
September	Launch of the first observation cycle with the Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy SOFIA
September 3–16	20th DLR parabolic flight campaign (September 3–14 in Bordeaux/France, September 15–16 at the ILA in Berlin, Germany)
September 10	Launch of the experimental device Omegahab with the Russian reusable satellite Bion-M1 from Baikonur
September 11–16	ILA 2012 – International Aerospace Exhibition in Berlin
September 19	Launch of Soyuz 2-1a; carrying the weather satellite METOP-B from Baikonur
September 28	Launch of Falcon 9 from Cape Canaveral (Florida/USA), first ISS logistics flight
October	Start Soyuz 2-1b Fregat; carrying two Galileo IOV satellites from Kourou
October	Student balloon campaign BEXUS 14/15 from Esrange (North of Sweden)
October	Student rocket campaign REXUS 11 from Esrange
October–November	First campaign of WADIS (IAP) from Andoya Rocket Range (Norway), on a Nike-Improved-Orion sounding rocket; carrying twelve small Loki-data probes
October 15	Launch of Soyuz 32S from Baikonur (Expedition)
November	Launch of Antares; carrying the Cygnus-Transporter (COTS-Demo 1) from Wallops Island
November/December	Launch of the ESA Earth Explorer Mission SWARM with Rockot from Plesetsk (Russia)
November/December	3rd CCF experimental campaign of DLR and NASA at the ISS
November 1	Launch of Progress 49P from Baikonur (ISS logistics)
December	Launch of Dnepr; carrying the Pico satellite First-MOVE (TU Munich)
December 5	Launch of Soyuz 33S from Baikonur (Expedition)
December 21	Launch of Falcon 9 from Cape Canaveral, 2nd ISS logistics flight (Dragon C4)
December 26	Launch of Progress 50P from Baikonur (ISS logistics)

## 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 Projekträger.

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

## Impressum

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

Sabine Göge  
(ViSdP)

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

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.

## DLR at a glance

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

Approximately 6,900 people are employed at 15 locations in Germany: Cologne (headquarters), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also operates offices in Brussels, Paris and Washington D.C.

## Imprint

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

Sabine Göge  
(responsible according to the press law)

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

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.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Supported by:



on the basis of a decision  
by the German Bundestag