Aktuelles aus der DLR Raumfahrt-Agentur I Topics from DLR Space Agency I Heft 2/2010 September 2010 I Issue 2/2010 September 2010 I **Nr.13**

DLR newsLETTER COUNTDOWN

Extraterrestrik

Fliegende Sternenwarte – SOFIA beobachtet Jupiter und Galaxie M82

Extraterrestrics

The Flying Observatory – SOFIA observes Jupiter and the M82 Galaxy

Seite 6 / page 6

Erdbeobachtung: MERLIN
Earth Remote Sensing: MERLIN 12

Erdbeobachtung: Ozon im Fokus
Earth Remote Sensing: Focussing Ozone 16

Navigation: Projekt Gemini
Navigation: Gemini Project 20

Forschung unter Weltraumbedingungen: Mars500, Phase 2
Research under Space Conditions: Mars500, Phase 2 24

Astronautentraining: Interview mit Dr. Alexander Gerst
Astronaut training: Interview with Dr. Alexander Gerst 28

Ausstellung: ILA 2010
Exhibition: ILA 2010, Air Show Berlin 32

Normung: Standards in der Raumfahrt
Standardisation: Standards in space flight 36

Deutsche Raumfahrt-Missionen: Helios
German Space Missions: Helios 40

Raumfahrtkalender
Space Calendar 44

Dr. Rolf Densing,
Programmdirektor der
DLR Raumfahrt-Agentur

Dr. Rolf Densing,
DLR Space Agency´s
Programme Director

Christoph Hohage,
Projektdirektor der
DLR Raumfahrt-Agentur

Christoph Hohage,
DLR Space Agency´s Project
Director

Liebe Leserinnen und Leser

am 21. Juni 2010 fand die deutsche Erfolgsgeschichte in der Erdbeobachtung ihre Fortsetzung: Vom kasachischen Baikonur aus startete der deutsche Erdbeobachtungssatellit TanDEM-X. In Rekordzeit lieferte er nach nur drei Tagen und 14 Stunden Aufnahmen vom Norden Madagaskars, der Ukraine und Moskaus zur Erde. Am 22. Juli – knapp eine Woche früher als geplant – konnten Wissenschaftler erste 3D-Bilder von der Oktoberrevolutionsinsel im russischen Nordpolarmeer erstellen. In dieser Ausgabe finden Sie das erste aus TanDEM-X- und TerraSAR-X-Daten erstellte Höhenmodell (Seiten 4 und 5).

Ab Herbst werden beide Satelliten in enger Formation die gesamte Erde vermessen. Aus diesen Daten wird dann ein dreidimensionales Höhenmodell der gesamten kontinentalen Erdoberfläche in noch nie dagewesener Qualität erstellt. Deutschland leistet mit den beiden Erdfernerkundungssatelliten einen wichtigen Beitrag zum weltweiten Krisenmanagement, zum Beispiel bei der Jahrhundertflut in Pakistan. Mit Hilfe der vom DLR Earth Observation Center (EOC) in Oberpfaffenhofen ausgewerteten Daten können die Helfer vor Ort die Lage genau einschätzen. So kann Hilfe schnell und zielgerichtet dort geleistet werden, wo sie am dringendsten benötigt wird.

Der Bedarf an verlässlicher Lageinformation steigt und mit ihm die politische Bedeutung der Erdfernerkundung. Für Deutschland trägt das DLR auch durch die Umsetzung des Nationalen Raumfahrtprogramms dazu bei, die steigende Nachfrage nach aktueller, umfassender und flächendeckender Erdfernerkundungsinformation in Krisensituationen zu decken.

Das jüngste bilaterale Satellitenprojekt MERLIN ist ein weiteres Beispiel für die anerkannten deutschen Kompetenzen im Bereich Erdbeobachtung. Zu Beginn dieses Jahres hatten Bundeskanzlerin Angela Merkel und der französische Staatspräsident Nicolas Sarkozy anlässlich des deutsch-französischen Ministerrates eine gemeinsame Klimamission vereinbart. Sie soll der Messung des neben Kohlendioxid relevantesten Treibhausgases Methan dienen und erforschen, welchen Einfluss Methan auf das Weltklima ausübt. Genaueres erfahren Sie auf den Seiten 12 bis 15 in dieser Ausgabe.

Um Wettervorhersagen bis ins Jahr 2030 sichern und optimieren zu können, hat die ESA Ministerkonferenz im Jahr 2008 das europäische Wetterbeobachtungs-Satellitensystem Meteosat Third Generation (MTG) beschlossen. Der erste von sechs Satelliten soll im Jahr 2016 starten. Von Beginn an hat das DLR eine zeitgerechte Bereitstellung von MTG gefordert und sich gemeinsam mit der Bundesregierung im Vorfeld sowie während des laufenden Verfahrens der Europäischen Raumfahrtorganisation ESA hochrangig und sichtbar für deutsche Projektinteressen eingesetzt. Auf der Ministerkonferenz hatte sich Deutschland nach zähem Ringen insbesondere mit Frankreich im Interesse der Steuerzahler und der deutschen Industriestandorte für einen Wettbewerb auf 2+2 Basis (jeweils zwei Hauptarbeitspakete für Deutschland und Frankreich) ausgesprochen.

Durch die intensiven Bemühungen der deutschen Delegation ist nun über Jahre hinweg eine starke deutsche Programmbeteiligung, ein entsprechender Mittelrückfluss und die Einbindung der deutschen Industriekompetenz in das Satellitensystem sichergestellt. Im Interesse der deutschen Industriestandorte war das DLR maßgeblich an der Akquisition der MTG-Projektmittel beteiligt und steht jetzt mit in der Verantwortung, das europäische Projekt zum Erfolg zu führen.

Durch den Vertrag von Lissabon haben die Raumfahrtaktivitäten der EU eine Rechtsgrundlage erhalten. Die Grundlagen für die zukünftigen EU-Raumfahrtaktivitäten wurden in dem ESA/EU Rahmenabkommen und in Beschlüssen des Weltraumrates schon vor Jahren gelegt . Diese müssen jetzt angewandt werden, um die neue Kompetenz der EU zügig mit Leben zu erfüllen. Der Erfolg europäischer Raumfahrt-Projekte ist maßgeblich mit der ESA verknüpft. Jetzt ist auch die EU eingeladen – ähnlich wie es viele ESA Mitgliedstaaten seit Jahrzehnten praktizieren – die ESA als Dienstleistungseinrichtung zur Durchführung ihrer Raumfahrtaktivitäten zu nutzen. Es ist wichtig, dass die EU als neuer Mitspieler keine bestehenden Aufgaben von den Mitgliedstaaten oder der ESA übernimmt, sondern sich komplementär dazu aufstellt. Dabei haben für Deutschland das europäische Satellitennavigationsprojekt Galileo und die Initiative für weltweite Fernerkundung in Umwelt- und Sicherheitsfragen GMES (Global Monitoring for Environment and Security) einschließlich der dauerhaften Finanzierung des GMES-Betriebs oberste Priorität. Die ESA muss als eigenständige zwischenstaatliche Organisation ihre institutionelle Unabhängigkeit von der EU erhalten. Sie verfügt nicht nur über die nötige Kompetenz, sondern auch über bewährte Mechanismen, um eine erfolgreiche und unabhängige europäische Raumfahrt sicherzustellen. Die ESA ist und bleibt für die Zukunft der europäischen Raumfahrt unverzichtbar.

Wir wünschen Ihnen viel Freude bei der Lektüre und empfehlen allen, die sich für die kommende Generation deutscher Raumfahrer interessieren, das Interview mit dem ESA-Astronauten Alexander Gerst auf den Seiten 28 bis 31 in dieser Ausgabe.

Dear readers,

A page was turned in the continuing success story of German Earth observation on June 21, 2010, when Germany's Earth observation satellite, TanDEM-X, was launched from Baikonur in Kazakhstan. Within a record three days and 14 hours, it radioed back to Earth images of Northern Madagascar, the Ukraine and Moscow. On 22 July – nearly one week before schedule – scientists were able to compose their fist 3-D images of the October Revolution Island in the Russian Arctic Ocean. In this issue we present the first elevation model made from TanDEM-X and TerraSAR-X data (on pages 4 and 5).

Flying in close formation, the two satellites will start in autumn to survey the Earth. With this data, a three-dimensional elevation model of the Earth's entire land mass will be generated in an unprecedented quality. With its two remote sensing satellites, Germany is making a significant contribution to the management of crises worldwide, such as this year's devastating floods in Pakistan. Based on data evaluated at the DLR Earth Observation Center (EOC) at Oberpfaffenhofen, relief workers on site can be provided with an exact picture of the situation on the ground. Operations can thus be speeded up, and help can be targeted to the places where it is most urgently needed.

There is a growing need for reliable information, and consequently, a greater political significance of Earth remote sensing. Being in charge of implementing Germany's national space programme, DLR is pulling its weight to meet the growing demand for up-to-date, exhaustive and extensive remote sensing information in crisis situations.

The bilateral satellite project MERLIN is another prove for German expertise in Earth observation. At the beginning of 2010, Federal Chancellor Angela Merkel and France's President Nicolas Sarkozy had agreed on a joint climate mission at the Franco-German Council of Ministers. The mission's purpose will be to measure concentrations of the second most important greenhouse gas next to carbon dioxide, methane, and explore how it affects the world climate. For further details please read pages 12 to 15 of this issue.

To ensure the delivery and optimise the quality of weather forecast data until the year 2030, the 2008 ESA council of European space ministers had adopted a plan to launch a system of European weather satellites called Meteosat Third Generation (MTG). The first of six satellites is to be launched in 2016. DLR has always demanded a speedy implementation of MTG.

From the very beginning DLR claimed a prompt funding for MTG. In collaboration with the Federal German Government, DLR committed itself – on a high-ranking level and in a visible manner – to German interests in this project, as well in the run-up as during the ESA routine procedure. After tough proceedings especially with France, Germany was speaking in the interest of the German taxpayer and German firms at the 2008 ministerial conference, suggesting a competitive approach on a 2+2 basis (meaning 2 major work packages each for Germany and France).

Thanks to its delegation's intensive efforts, Germany will now be given a substantial share in the programme for many years to come, thus ensuring an adequate return flow of funds and enabling German industry to feed its competence into the satellite system. Thus, acting in the interest of German industry, DLR played a significant part in acquiring MTG project funding and consequently now has part of the responsibility to lead the European project towards success.

Due to the Treaty of Lisbon, the EU space activities got a proper legal framework. Its main elements had been laid down years before in an ESA/EU framework agreement and in a number of resolutions of the European Space Council. These provisions must now be applied to ensure that the new EU policy field is soon filled with life. The success of European space projects is crucially linked with ESA. Now, the EU, too, is invited to do what many ESA member states have done for decades – use ESA as a service institution to carry out its spaceflight activities. In view of the new parallel responsibility for spaceflight, it is important that EU as the new player does not to take over any of the existing functions from Member States or from ESA and acts in a complementary way. This would primarily include the European navigation satellite project Galileo and the initiative Global Monitoring for Environment and Security (GMES), including the permanent funding of GMES, as top priorities. ESA should retain its independence from the EU and continue to be an inter-state institution in its own right. Not only does it have the required expertise but it also has tried and tested mechanisms in place to support a successful and independent European spaceflight sector. ESA is and will remain indispensable for the future of European spaceflight.

We hope you will enjoy this edition of COUNTDOWN, and to all those with a special interest in the new generation of German astronauts we recommend reading the interview with ESA astronaut Alexander Gerst on pages 28 to 31 of this issue.

Die Vermessung der Welt beginnt

Wellen branden an die Küste. An den Strand schmiegt sich ein Grüngürtel an, bevor steile Felsen emporragen, auf deren Hochebene eine ausgedehnte Eiskappe thront. Die Oktoberrevolutionsinsel erscheint realitätsnah im neuen dreidimensionalen Höhenmodell, das Wissenschaftler des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen aus den Ergebnissen der Satellitenmission TanDEM-X veröffentlichten. Nie zuvor konnten Details wie die Höhe der Gletscher und einzelner treibender Eisschollen mit einer Präzision von wenigen Zentimetern vermessen werden. Von dieser bizarren Welt gab es bisher keine Daten dieser Qualität – auch die internationale Shuttle Radar Topography Mission von NASA, DLR und anderen Raumfahrtagenturen im Jahre 2000 konnte nicht in diese für die Klimaforschung so wichtigen Polargebiete vordringen.

The survey of the world starts

Waves surge on the coast. A green nestles on the beach. Behind there, the rocks start to end up in an expanding ice cap at their tops. The October Revolution Island appears realistic in the new elevation model. Scientists of the German Aerospace Center facility in Oberpfaffenhofen presented the new data of the satellite mission TanDEM-X. Never before details like the elevation of glaciers and ice floes could be measured from space with a precision of a few centimetres. For the first time, high-quality data of this bizarre world could be send to Earth – even the international Shuttle Radar Topography Mission of NASA, DLR and other space agencies in 2000 could not reach this pole area which seems to be very important for climatic research.

Blickfang: Unbeschichteter Hauptspiegel der fliegenden Sternenwarte SOFIA (Schott)

Eye-catcher: Uncoated primary mirror of the flying observatory SOFIA (Schott)

Fliegende Sternenwarte

SOFIA beobachtet Jupiter und Galaxie M82

Von Alois Himmes

Am 26. Mai um 6:45 Uhr Mitteleuropäischer Zeit (21:45 Ortszeit in Kalifornien) war es erstmals so weit: Die stark modifizierte, zum Stratosphären-Observatorium Für Infrarot-Astronomie (SOFIA) umgerüstete Boeing 747 SP hob von der Dryden Aircraft Operations Facility (DAOF) in Palmdale (Kalifornien) ab, um das lange erwartete „First Light" – die ersten Aufnahmen – mit dem neuen Teleskop einzufangen. Zu den ersten Bildern des deutsch-amerikanischen Gemeinschaftsprojekts gehörten unter anderem Infrarotaufnahmen des Jupiter und der Galaxie Messier 82.

The Flying Observatory

SOFIA observes Jupiter and the M82 Galaxy

By Alois Himmes

The curtain-raiser took place on May 26 at 6.45 am CET (9.45 pm in California): a Boeing 747 SP aircraft, extensively modified to carry the Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy (SOFIA), took off from the Dryden Aircraft Operations Facility (DAOF) in Palmdale, California, to catch the long-expected first light in its new telescope. The first pictures taken by the joint German-American project included infrared images of Jupiter and the Messier 82 galaxy.

Die 18-köpfige Crew aus Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern prüfte auf dem achtstündigen Flug ausgiebig die Leistungsfähigkeit des Teleskops und nahm das US-amerikanischen Instrument FORCAST (Faint Object InfraRed-CAmera for the SOFIA Telescope)-Kamera in Betrieb. Ab Herbst 2010 soll mit den „Initiation of Science-Flügen" der wissenschaftliche Betrieb aufgenommen werden.

Dem fliegenden Observatorium ist dabei ähnlich wie bei Satellitenteleskopen nahezu der vollständige Infrarot- und Submillimeter-Wellenlängenbereich zugänglich: Die umgerüstete Boeing 747 SP lässt in zwölf Kilometern Höhe rund 99 Prozent des Infrarot-störenden Wasserdampfs der Troposphäre unter sich. Selbst Bodenteleskopen in einer Höhe von 5.000 Metern bleibt dieser Wellenlängenbereich bis auf wenige schmale Bereiche verschlossen. Ein weiterer Vorteil: SOFIA kehrt nach jedem Beobachtungsflug „nach Hause" zurück und kann wie erdgebundene Teleskope gewartet, und wenn nötig direkt repariert werden. Zudem lassen sich die Beobachtungsinstrumente innerhalb eines Tages auswechseln.

During the 8-hour flight, the crew of 18 scientists, engineers, and technicians thoroughly tested the telescope's performance, launching the American Faint Object infraRed-CAmera for the SOFIA Telescope (FORCAST). The first flights of the 'initiation of science' phase marking the begin of the science operation are scheduled for the autumn of 2010.

Like a satellite-based telescope, the flying observatory has access to most of the infrared and sub-millimetre wavebands. At an altitude of twelve kilometres, the converted Boeing 747 SP cruises above circa 99 percent of the water vapour in the troposphere which otherwise absorbs infrared radiation. Save for a few narrow bands, this range of wavelengths is not accessible to ground-based telescopes, even to those installed at an altitude of 5,000 metres. Another advantage: as SOFIA 'returns home' after each flight, it can be serviced and, if necessary, repaired like any ground-based telescope. Moreover, its science instruments can be replaced within a day.

Deutsche SOFIA-Instrumente

Instrumenten-Name	Frequenz-/ Spektralbereich	Beteiligte Institute
GREAT – German Receiver at Terahertz Frequencies (Hochauflösendes Heterodyn-Spektrometer)	**Kanal 1:** 1,25-1,50 Terahertz (240-200 Mikrometer) **Kanal 2:** 1,82-1,92 Terahertz (165-156 Mikrometer) **Kanal 3:** 2,40-2,70 Terahertz (125-111 Mikrometer) **Kanal 4:** 4,70 Terahertz (63 Mikrometer)	Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn 1. Physikalisches Institut der Universität zu Köln Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau Institut für Planetenforschung, DLR Berlin
FIFI LS – Far-Infrared Field-Imaging Line Spectrometer (Abbildendes Linienspektrometer)	**Kanal 1:** 1,43-2,72 Terahertz (210-110 Mikrometer) **Kanal 2:** 2,72-7,15 Terahertz (110-42 Mikrometer)	Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg Institut für Raumfahrtsysteme, Universität Stuttgart

German SOFIA instruments

Instrument name	Frequency/ spectral range	Participating institutes
GREAT – German receiver at terahertz frequencies (high-resolution heterodyne spectrometer)	**Channel 1:** 1.25-1,50 terahertz (240-200 micrometres) **Channel 2:** 1.82-1.92 terahertz (165-156 micrometres) **Channel 3:** 2.40-2.70 terahertz (125-111 micrometres) **Channel 4:** 4.70 terahertz (63 micrometres)	Max Planck Institute for Radio Astronomy, Bonn 1st Physical Institute of Cologne University Max Planck Institute for Solar System Research, Katlenburg-Lindau Institute of Planetary Research, DLR Berlin
FIFI LS – far-infrared field imaging line spectrometer	**Channel 1:** 1.43-2.72 terahertz (210-110 micrometres) **Channel 2:** 2.72-7.15 terahertz (110-42 micrometres)	Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching Max Planck Institute for Astronomy, Heidelberg Institute of Space Systems, Stuttgart University

1. Eingebautes Teleskopsystem (Tony Landis/NASA);
2. SOFIAs frisch beschichteter Hauptspiegel hängt am Kran (Tony Landis/NASA);
3. SOFIA vor dem Hangar in Palmdale (Tom Tschida/NASA);
4. Mit geöffneter Teleskoptür fliegt SOFIA über die schneebedeckten Berge der Southern Sierras in Kalifornien (Jim Ross/NASA)

1. Mounted telescope system (Tony Landis/NASA);
2. The new coated primary mirror of SOFIA lift-off by crane (Tony Landis/NASA);
3. SOFIA in front of the hangar in Palmdale (Tom Tschida/NASA);
4. With open telescope hatch, SOFIA soars over California's snow-covered Southern Sierras on a test flight (Jim Ross/NASA)

Jupiter im Visier: optisches Bild (l) und Infrarotbild von SOFIA mit FORCAST (19.7, 31.5,und 37.1 Mikrometer) (NASA)

Focussing Jupiter: optical picture (l) and SOFIA infrared image with FORCAST (19.7, 31.5, and 37.1 micrometers) (NASA)

Deutsches Know-How mit an Bord
Zusammen mit FORCAST wird voraussichtlich ab Anfang 2011 das Submillimeter Heterodyn-Spektrometer GREAT des Max Planck Instituts für Radioastronomie in Bonn (mit Beteiligung der Universität zu Köln, des Instituts für Planetenforschung des DLR in Berlin und des Max Planck Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau) eingesetzt. Beide Instrumente werden bis Mitte 2011 in dieser „Early Science"-Phase sowohl erste astronomische Beobachtungen als auch weitere Charakterisierungen des Teleskops durchführen. Ab 2012 wird dann auch das zweite deutsche Instrument, das Fern-Infrarot-Spektrometer FIFI-LS des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik in Garching und des Instituts für Raumfahrtsysteme der Universität Stuttgart zum Einsatz kommen.

Die Finanzierung dieser Instrumente erfolgte bis Ende 2007 ausschließlich durch die Forschungsinstitute und die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Nachdem aufgrund des erheblichen Zeitverzugs in den USA die DFG die Förderung beendete, hat das DLR mit Zuwendungen an die beteiligten Institute die Fertigstellung der Instrumente sichergestellt.

In der zweiten Hälfte 2011 werden Upgrades SOFIA optimieren: zum Beispiel eine moderne Avionik, die dann auch Interkontinental-Flüge (unter anderem nach Deutschland) erlaubt, und eine Einrichtung zur Vorkühlung des Teleskops am Boden. Gleichzeitig werden auch die Parameter der Teleskop-Kontrollsoftware angepasst, um eine die Ausrichtstabilität weiter zu verbessern. Mit Beginn des Jahres 2012 wird dann die Flugrate allmählich auf die anvisierten circa 160 Flüge pro Jahr erhöht. Neben den bereits erwähnten Instrumenten werden vier bis fünf weitere US-Instrumente eingesetzt. Ab 2014 wird der volle Routinebetrieb angestrebt.

Bewährte Kooperation wird fortgesetzt
Die an dem Projekt beteiligten Wissenschaftler können mit SOFIA im infraroten und Submillimeter-Wellenlängenbereich (ein Mikrometer bis ein Millimeter) die Milchstraßensysteme sowie die Entstehung und Entwicklung von Sternen und Sonnensystemen aus interstellaren Molekül- und Staubwolken beobachten. Durch die DLR-Beteiligung mit dem Teleskop und einer 20prozentigen Beteiligung am Betrieb wird ein routinemäßiger kontinuierlicher Zugang für deutsche Wissenschaftler gesichert. Bis ins Jahr 2030 können Forscher deutscher Institute jährlich 20 Prozent der SOFIA-Flüge nutzen, ohne selbst kostenintensive Infrastrukturen schaffen zu müssen.

Dabei können die vorhandenen Instrumente ständig modernisiert werden beziehungsweise regelmäßig gegen neuartige ausgetauscht. Neben den wissenschaftlichen Ergebnissen dienen diese quasi auch als Prototypen für künftige Weltrauminstrumente: Die praktische Erprobung nahezu unter Weltraumbedingungen mit wesentlich geringeren Kosten dafür aber in hohen Massen (bis 600 Kilogramm) und elektrischer Leistung (mehrere

German know-how on board
Early in 2011, GREAT, a sub-millimetre heterodyne spectrometer developed by the Max Planck Institute for Radio Astronomy in Bonn in cooperation with the University of Cologne, the DLR Institute of Planetary Research in Berlin, and the Max Planck Institute for Solar System Research in Katlenburg-Lindau will be installed together with FORCAST. Until the middle of 2011, the two instruments will be used for initial astronomical observations as well as for the further characterisation of the telescope in this early science phase. The second German instrument will be added in 2012, a far-infrared spectrometer called FIFI-LS designed by the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics in Garching and the Institute of Space Systems of Stuttgart University.

Until the end of 2007, these instruments were financed exclusively by the research institutes involved together with the German Research Foundation (DFG). When the DFG terminated its support because of the considerable delays in the USA, DLR provided grants to the participating institutes to secure the completion of the instruments.

In the second half of 2011, SOFIA will be further improved by upgrades including, for example, a modern avionics system that permits intercontinental flights (e.g. to Germany) and an installation to pre-cool the telescope on the ground. At the same time, the parameters of the telescope's control software will be adapted in order to further stabilise its pointing. From the beginning of 2012, the number of flights will be gradually increased until they reach the envisaged number of circa 160 flights per year. Four to five additional US instruments will be flown in addition to those mentioned above. Full-scale routine operations are expected to begin in 2014.

Continuing a well established cooperation
SOFIA permits participating scientists to observe galactic systems as well as the formation and evolution of stars and solar systems from interstellar clouds of molecules and dust in the infrared and sub-millimetre waveband (one micrometre to one millimetre). Providing the telescope and a 20 percent participation in the SOFIA operation, DLR's contribution ensures that German scientists will have regular and continuous access to the observatory. Until 2030, researchers from German institutes will be able to use 20 percent of SOFIA's flights without needing to set up any expensive infrastructures on their own.

Besides, existing instruments may be modernised and new instruments added on an ongoing basis. Next to their scientific results, these instruments may also serve as quasi-prototypes for future space-based versions. Compared to space-based instruments, those on SOFIA may be field-tested under near-space conditions at much lower costs and with a much wider scope in terms of mass (up to 600 kilogrammes) and electrical power (several kilowatts). This is why SOFIA not only comple-

Kilowatt) kann im Vergleich zu Weltrauminstrumenten wesentlich umfangreicher ausfallen. Gerade deswegen erlaubt SOFIA neben der wissenschaftliche Ergänzung zu den vergleichsweise kurzen Satelliten-Missionen ISO, Spitzer und Herschel die technologische Vorbereitung zukünftiger Infrarot-Missionen. Bedingt durch kurze Durchlaufzeiten von der Instrumententwicklung bis zur Datenauswertung eignet sich SOFIA auch hervorragend zur Ausbildung von Wissenschaftlern. Zudem profitieren andere Gebiete wie der Umweltsektor und auch der Sicherheitsbereich (Stichwort „Körperscanner") von den technischen Entwicklungen der Terahertz-Wellenlängen.

Von der Idee bis zum First Light
Schon lange vor SOFIA nutzte die NASA seit den Siebzigerjahren die Tatsache, dass sich der Infrarot-Strahlung blockierende Wasserdampf in einer Höhe zwischen zehn und 14 Kilometern zu 99 Prozent ausschalten lässt. Darum integrierte die NASA ein 91 Zentimeter-Teleskop in eine Lockheed C-141. Mit diesem Kuiper Airborne Observatory (KAO) wurden zwischen 1973 und 1995 jährlich etwa 50 Beobachtungsflüge absolviert. Die Entwicklung von Infrarotinstrumenten und der offensichtliche Bedarf nach einem leistungsfähigeren fliegenden Observatorium beschwor geradezu die Entwicklung von SOFIA herauf.

Nach einer Reihe von Voruntersuchungen ab 1986 verständigten sich Ende 1996 NASA und DLR darauf, gemeinsam dieses leistungsfähigere fliegende Observatorium zu entwickeln und betreiben. Um die gesetzten Ziele umsetzen zu können, unterzeichneten beide Partner ein Memorandum of Understanding (MoU), welches 2006 um zunächst weitere zehn Jahre bis 2016 verlängert wurde. Darin wurde festgelegt, dass das DLR das Infrarot-Teleskop mit einem Hauptspiegel von 2,7 Metern Durchmesser liefert, während die NASA eine Boeing 747 SP umrüstet und das Teleskop integriert. Geplant wurden 160 Beobachtungsflüge pro Jahr von jeweils sechs bis acht Stunden Dauer. Das DLR beteiligt sich mit 20 Prozent am Betrieb des Observatoriums in den USA. Zur umsetzung schloss das DLR im Jahr 2004 mit der Universität Stuttgart einen entsprechenden Vertrag. Unter Einsatz zusätzlicher Mittel des Landes Baden-Württemberg wurde an der Universität Stuttgart das Deutsche SOFIA Institut (DSI) gegründet, das kontinuierlich circa 17 Mitarbeiter an die Betriebszentren in Kalifornien entsendet.

Teleskop „made in Germany"
Unmittelbar nach Unterzeichnung des Memorandums beauftragte das DLR die Firmen MT-Mechatronics (damals MAN) und Kayser-Threde mit Entwicklung und Bau eines mit 17 Tonnen Gewicht vergleichbar leichten Teleskops. Aus einem vier Meter großen und vier Tonnen schweren Zerodur-Block der Firma Schott wurde der 2,7 Meter große Durchmesser des Hauptspiegels ausgefräst, der mit seiner innovativen Wabenstruktur nur noch 800 Kilogramm wiegt. Die Tragestruktur aller vier Spiegel wurde aus einem hochfestem Kohlefaserverbund-Werkstoff (CFRP) gefertigt. Ein zentrales Rohr, der sogenannte Nasmyth-Tubus – ebenfalls aus CFRP – mit der seinerzeit dicksten Wandstärke von 30 Millimetern verbindet die Spiegelelemente im zur Stratosphäre offenen Teleskopschacht mit dem jeweiligen Instrument in der Flugzeugkabine.

Durch diesen Nasmyth-Tubus gelangen die Photonen in die Instrumente. Ein hydrostatisches Kugellager mit einem Durchmesser von 1,2 Metern verbindet in der Mitte des Tubus den rotierenden Teil des Teleskops über ein Feder- und Dämpfungssystem mit dem neu in das Flugzeug eingezogenen Druckschott. Das auf einem Ölspalt von nur 0,02 Millimetern unter 80 bar gleitende Teleskop kann so nahezu reibungsfrei in alle drei Richtungen um bis plus/minus drei Grad rotieren. So wird das Teleskop von den Rotationsbewegungen und Vibrationen des Flugzeugs entkoppelt. Eine stabile Ausrichtung auf die zu untersuchenden astronomischen Quellen ist somit gegeben. Das Teleskop registriert mit einem faseroptischen Kreiselpaket sehr

ments comparatively short-lived cryosatellite missions such as ISO, Spitzer, and Herschel but also serves to prepare future infrared missions technologically. Because the period between the development of an instrument and the evaluation of its data is comparatively short, SOFIA offers excellent opportunities to train scientists. Lastly, technical developments in the terahertz band are useful in other fields as well, including the environmental and security sectors (body scanners).

From an idea to First Light
Since the 1970s, long before SOFIA, NASA had been taking advantage of the fact that 99 percent of the infrared interference caused by water vapour can be eliminated by taking images at altitudes between ten and 14 kilometres. Thus, NASA had a 91-centimetre telescope integrated in a Lockheed C-141. This Kuiper Airborne Observatory (KAO) went on some 50 observation flights every year between 1973 and 1995. However, further developments in infrared instrument technology and the obvious demand for a more efficient flying observatory literally cried out for the development of SOFIA.

After a series of feasibility studies which began in 1986, NASA and DLR agreed late in 1996 to develop and operate a more efficient flying observatory. To implement the objectives they were envisaging, the partners signed a Memorandum of Understanding (MoU) whose life was extended in 2006 by another ten-year period, terminating in 2016. According to the memorandum, DLR will supply the infrared telescope with a primary mirror measuring 2.7 metres in diameter, while NASA will modify a Boeing 747 SP and integrate the telescope. 160 observation flights of six to eight hours are to be performed every year. DLR is to contribute 20 percent of the cost of operating the observatory in the USA. To realise this contribution, DLR placed a contract with the University of Stuttgart in November 2004. With additional funds from the federal state of Baden-Württemberg, the German SOFIA Institute (DSI) was established at Stuttgart University which continuously keeps circa 17 employees working at the operating centres in California.

Telescope 'made in Germany'
Immediately after the memorandum had been signed, DLR contracted MT-Mechatronics (formerly MAN) and Kayser-Threde to develop and build a comparatively lightweight telescope of 17 tonnes. The 2.7-metres primary mirror was machined from a four-metres, four-tonnes block of Zerodur made by Schott. It weighs no more than 800 kilogrammes after light weighting thanks to its innovative honeycomb structure. The structure that supports the four mirrors is made of carbon fibre reinforced plastics (CFRP). Similarly made of CFRP, a central tube called a Nasmyth tube, whose wall thickness of 30 millimetres was unheard-of until then, connects the mirror elements in the telescope cavity, which is open to the stratosphere, to the instruments in the aircraft cabin.

The infrared photons are routed through this Nasmyth tube to be gathered at the instrument's detectors. Installed around the centre of the tube, a hydrostatic ball bearing measuring 1.2 metres in diameter connects the rotating section of the telescope to the newly-installed pressure bulkhead via a system of springs and dampers. Cushioned by a gap of no more than 0.02 millimetres filled with a hydraulic fluid at 80 bars, the telescope may rotate by as much as plus/minus three degrees in all three directions almost frictionless. This arrangement uncouples the telescope from the rotation movements and vibrations of the aircraft, guaranteeing that it steadily points at the astronomical objects to be observed. Informed very precisely about any deviation from its target orientation by a fibre-optical gyro package, the telescope uses brushless electromagnetic torque motors for correction. The attitude control system is designed to keep the telescope's orientation stable down to 0.2 arc seconds. Early in 2002, the telescope was integrated in a 1:1 'dummy bulkhead' at MAN in Augsburg. After extensive testing, three large subsystems and many smaller components and spare parts were flown to the L3 company in Waco, Texas, in September 2002.

Kerndaten des SOFIA-Flugzeugs	
Start der Entwicklungsphase	Januar 1997
Beginn der Testflüge	26. April 2006
Start Wissenschaftsbetrieb	2010
Geplante Betriebsdauer	20 Jahre
Zahl der Beobachtungsflüge pro Jahr	circa 160
Teleskop-Plattform	Boeing 747SP-Flugzeug, Rolltür auf der Backbordseite des hinteren Rumpfes
Flughöhe für astronomische Beobachtungen	zwölf bis 14 Kilometer
Beobachtungszeit in zwölf Kilometer Höhe oder höher	mehr als acht Stunden
Gesamtbeobachtungszeit pro Jahr	mehr als 960 Stunden
Umgebungstemperatur im Teleskopraum während der Beobachtungen	circa -30 Grad Celsius
Betriebsmannschaft im Flug	Dreier-Crew im Cockpit, zehn bis 15 Operatoren, Wissenschaftler, Ausbilder, Gäste
Heimatflughafen	NASA Dryden Flight Research Center, Palmdale, Kalifornien. Regelmäßige Einsätze an der südlichen Hemisphäre

Technical data of the SOFIA aircraft	
Start of the development phase	January 1997
First test flight	April 26, 2006
Start of scientific operations	2010
Scheduled service life	20 years
Number of observation flights per year	circa 160
Telescope platform	Boeing 747 SP aircraft, tambour door on the port side of the rear fuselage
Cruising altitude for astronomical observations	twelve to 14 kilometres
Observation time at twelve kilometres or higher	eight hours plus
Total observation time per year	960 hours plus
Ambient temperature in the telescope compartment during observations	circa -30 degrees Centigrade
Flight crew	cockpit crew of three, ten to 15 operators, scientists, trainees, guests
Base	NASA Dryden Flight Research Center, Palmdale, California, regular missions to the southern hemisphere

Kerndaten des SOFIA-Teleskops	
Gewicht des Teleskops	17 Tonnen plus drei Tonnen Ausrüstung im Laderaum
Teleskopkonfiguration	Cassegrain-Konfiguration mit Nasmyth-Fokus, angeschlossene Instrumente in der Kabine
Struktureller Aufbau	Kohlefaser, Spiegeltubus in Gitterbauweise
Rotations-Isolationssystem	Hydrostatisches Öllager mit Lagekugel und zwei Ringsegmenten, 1200 Millimeter Durchmesser, 20 bis 30 Mikrometer Spalthöhe, zehn bis 30 bar Versorgungsdruck
Antriebssystem für Rotation	Zahnkranztrieb für Grob-Elevation, bürstenlose, gekrümmte Gleichstrom-Linearmotoren für Feinelevation, Cross-Elevation und "line-of-sight" (L.O.S.)
Vibrations-Isolationssystem	je zwölf Luftfedern in Längs- und Tangentialrichtung rings um das hydrostatische Lager und drei Dämpferlemente
Primärspiegel (PM)	Durchmesser: 2,70 Meter, freie Öffnung: 2,50 Meter, leichtgewichtete ZERODUR-Struktur auf 18-Punkt-„Whiffle-Tree"-Lagerung, aluminiumbeschichtet, PM-Blendenzahl: f/1,28
Sekundärspiegel (SM)	Silizium-Carbid (SiC)-Material, Durchmesser: 352 Millimeter, aluminiumbeschichtet
SM-Funktionen	Fokussierung, Justage, Chopping (2-Achsen alle Richtungen, Offset, 3-Punkt, stationär)
Tertiärspiegel (TM)	Zwei ebene Spiegel, teildurchlässig (goldbeschichtet) und reflektierend (aluminiumbeschichtet)
Blendenzahl Gesamtsystem	f/19,6
Spektralbereich	0,3 bis 1600 Mikrometer
Unvignettiertes Gesichtsfeld	acht Bogenminuten
Bewegungsbereiche	Elevation 15° bis 70° (unvignettiert 23 bis 58°), Cross-Elevation und L.O.S. +/- 3°
Bildqualität	80 Prozent Energie in einem Kreis mit 1,5 Bogensekunden Durchmesser bei 0,6 Mikrometer Wellenlänge
Bildstabilität	0,8 Bogensekunden zu Beginn des Betriebs und 0,2 Bogensekunden nach einem Optimierungsprogramm

Technical data of the SOFIA telescope	
Telescope weight	17 tonnes plus three tonnes of equipment in the hold
Telescope configuration	cassegrain configuration with Nasmyth focussing, connected instruments in the cabin
Structural configuration	carbon-fibre, truss mirror tube
Rotation insulating system	hydrostatic oil-cup bearing with attitude ball and two ring segments, diameter 1,200 millimetres, gap width 20 to 30 micrometres, inlet pressure ten to 30 bar
Rotation drive system	gear rim drive for rough elevation, brushless, curved direct-current linear motors for fine elevation, cross elevation, and 'line of sight' (LOS)
Vibration insulating system	twelve longitudinal and twelve tangential pneumatic springs around the hydrostatic bearing, plus three absorber elements
Primary mirror (PM)	diameter: 2.70 metres, clear aperture: 2.50 metres, lightweight ZERODUR structure on an 18-point 'whiffle-tree' bearing, aluminium-coated, PM aperture: f/1.28
Secondary mirror (SM)	made of silicon carbide (SiC), diameter: 352 millimetres, aluminium-coated
SM functions	focussing, adjusting, chopping (biaxial in any direction, offset, 3-point, stationary)
Tertiary mirror (TM)	two plane mirrors, partially transparent (gold-coated) and reflectant (aluminium-coated)
Overall system aperture	f/19.6
Spectral range	0.3 to 1,600 micrometres
Unvignetted field of vision	eight minutes of arc
Mobility	elevation 15° to 70° (unvignetted 23 to 58°), cross elevation and LOS +/- 3°
Image quality	80 percent energy within a circle measuring 1.5 seconds of arc in diameter at a wavelength of 0.6 micrometres
Image stability	0.8 seconds of arc at the start of operations and 0.2 seconds of arc after and optimisation programme

exakt jede Abweichung von seiner Solllage und korrigiert diese mit berührungslosen elektromagnetischen Antriebsmotoren. Das Lageregelungs- und Kontrollsystem ist für eine Ausrichtstabilität von nur 0,2 Bogensekunden ausgelegt. Mit Beginn des Jahres 2002 wurde das Teleskop bei MAN in Augsburg in einem 1:1 „Dummy Bulkhead" integriert. Im Anschluss an ausgiebige Tests wurden drei große und viele kleine Baugruppen und Ersatzteile im September 2002 zur Firma L3 ins texanische Waco geflogen.

Boeing mit Loch im Rumpf

Ab 1997 baute L3 die 1977 in Dienst gestellte und von der NASA gekaufte Boeing 747 SP „Clipper Lindberg" um. Hierzu wurde eine mehr als vier mal sechs Meter große Öffnung in den hinteren Rumpfteil geschnitten und entsprechende Verstärkungen angebracht. Außerdem wurde ein 50 Zentimeter dickes Druckschott eingesetzt. Der Schott dichtet zum einen den Teleskopschacht gegen die Kabine ab und trägt zum anderen das Teleskop. Mit einem zweiten, nicht druckdichten und daher wesentlich dünneren Schott wurde der Teleskopraum nach hinten abgegrenzt. Zudem machte es die Größe des Teleskops erforderlich, den Kabinenfußboden im Teleskopbereich zu öffnen sowie die gesamten Steuerleitungen des Flugzeugs zu verlegen.

Doch wie sollte die vier mal sechs Meter große Öffnung im hinteren Rumpfteil des Flugzeugs verschlossen werden? Dafür entwickelten Wissenschaftler der NASA die größte je in ein Flugzeug eingebaute Tür, die Anfang 2007 eingesetzt wurde. Sie muss sich in großer Höhe problemlos öffnen und schließen lassen sowie den Bewegungen des Teleskops im Schwenkbereich von 20 bis 60 Grad folgen, um die jeweilige Öffnung möglichst klein zu halten. Deshalb entwickelte die NASA dieses komplexe System aus einer äußeren, festen Tür, einem unteren, rollladenähnlichen flexiblen Türelement und einem Apertur-Spoiler-System. So sollen aero-akustische Turbulenzen im Teleskopschacht minimiert werden.

Überführung in die Mojave Wüste

Nach dem Einbau der Teleskoptür erfolgte im April 2007 der erste Flug seit 1997. Zuvor hatte das DLR die Aufrüstung der 747 SP mit schuberhöhten, grundüberholten Triebwerken finanziert. Mit dem dritten Flug erfolgte die Überführung zum Dryden Flight Research Center (DFRC) der NASA auf der Edwards Airforce Base, wo insgesamt neun weitere Testflüge, alle noch mit geschlossener Tür, durchgeführt wurden. Der zwölfte Flug war gleichzeitig die Überführung vom DFRC zur Dryden Aircraft Operation Facility (DAOF) nach Palmdale im Januar 2008. Es folgten weitere Umbauten am Flugzeug, intensive Tests des Teleskoptür-Controllers, die Beschichtung des Primärspiegels mit einer reflektierenden Aluminiumschicht sowie mehrere nächtliche Testbeobachtungs-Sequenzen am Boden. Im Dezember 2009 wurde der Flugbetrieb mit vier weiteren Flügen wiederaufgenommen. Dabei wurde erstmals im Flug die Teleskoptür einen kleinen Spalt (circa 60 Zentimeter weit) und dann voll geöffnet.

Bei Testflug Nummer 15 wurde das Teleskop erstmals im Flug voll betrieben und konnte, inertial stabilisiert, seine Leistungsparameter nachweisen, allerdings zunächst mit geschlossener Tür. Weitere zehn Testflüge waren notwendig, bevor mit Flug Nummer 25 der erste SOFIA-Volltest und der mit Spannung erwartete First Light-Flug erfolgten. Bereits diese Aufnahmen mit einem noch nicht vollständig kalibrierten Instrument zeigen eindrücklich das wissenschaftliche Potenzial von SOFIA. Nach vielen Windkanalmessungen und endlosen Computersimulationen hat nun auch das Teleskop erstmals echte Flugdaten als Basis für die weitere Optimierung seiner Leistungsfähigkeit zur Verfügung.

Alois Himmes ist SOFIA-Projektleiter in der Abteilung Extraterrestrik der DLR Raumfahrt-Agentur.

Skizze des SOFIA-Teleskops: Instrumentenflansch (blau), Schottwand (grün), Halterung für Primär-, Sekundär- und Tertiärspiegel (schwarz), Primärspiegel (gold) (MAN Technologie, DSI)

Drawing of the SOFIA telescope: instrument flange(blue), pressure bulkhead (green), buck of the primary, secondary and tertiary mirror (black), primary mirror (golden) (MAN Technologie, DSI)

A Boeing with a hole in its fuselage

Since 1997, the L3 company of Waco has been converting a Boeing 747 SP named 'Clipper Lindbergh' which was commissioned in 1977 and acquired by NASA. This involved cutting an aperture greater than four by six metres in the rear part of the fuselage and adding the necessary reinforcements to the structure. A pressure bulkhead measuring 50 centimetres in thickness was installed as well. The bulkhead not only seals the cabin off from the telescope cavity but also supports the telescope. Another bulkhead, not designed to withstand pressure and therefore much thinner, separates the telescope cavity from the tail section of the plane. To accommodate the telescope, moreover, the cabin floor had to be cut open below the telescope, and all the aircraft's control lines had to be re-routed.

But how to close this four-by-six-metre aperture in the rear part of the fuselage? For this purpose, NASA scientists developed the largest door ever installed in an aircraft, which was put in early in 2007. It had to be capable of opening and closing smoothly at high altitudes and following the movements of the telescope throughout its elevation range of 20 to 60 degrees in order to keep the actual aperture as small as possible. Accordingly, NASA developed a complex system comprising an upper rigid door, a lower flexible door element resembling a roller shutter, and an aperture spoiler system to minimise aero-acoustic turbulences acting on the telescope.

Transfer to the Mojave desert

In April 2007, after the telescope door had been installed, the 747 SP took off for the first time since 1997. Before that, it had been equipped with thoroughly overhauled high-thrust engines at the expense of DLR. On its third flight, the plane was transferred to NASA's Dryden Flight Research Center (DFRC) at the Edwards Air Force Base from which another nine test flights were made, all with the door closed. On its twelfth flight in January 2008, the plane was transferred from the DFRC to the Dryden Aircraft Operation Facility (DAOF) in Palmdale. Subsequently, further conversion work was done on the aircraft, the telescope door controller was tested exhaustively, the primary mirror received its reflective aluminium coating, and several test observation sequences were run at night on the ground. In December 2009, flight operations recommenced with another four flights on which the telescope door was opened first to a narrow gap of circa 60 centimetres and finally all the way.

On the 15th test flight, the telescope was operated fully for the first time to validate its performance parameters under inertial stabilisation, albeit with the door closed. Another ten test flights were needed until SOFIA's first full-scale test including the eagerly-awaited First Light could take place on flight number 25. The images that were then taken by a still imperfectly calibrated instrument impressively demonstrate SOFIA's scientific potential. After many wind-tunnel tests and endless computer simulations, the telescope has finally gathered genuine in-flight data as a basis for further optimising its capabilities.

Alois Himmes heads the SOFIA project of the DLR Space Agency's space science programme.

MERLIN

Dem Methangehalt auf der Spur

Von Peter Schaadt und Dr. Gerhard Ehret

Der deutsch-französische Ministerrat hat im Februar 2010 grünes Licht für eine Kleinsatellitenmission zur Beobachtung des Treibhausgases Methan in der Atmosphäre gegeben: MERLIN (Methane Remote Sensing LIDAR Mission) wurde sie getauft. Mit diesem Schritt leisten die beiden größten Raumfahrtnationen Europas durch ihre Raumfahrtagenturen CNES und DLR einen sichtbaren Beitrag zur Bewältigung des Klimawandels und zur Überwachung der Vereinbarungen des Kyoto-Protokolls.

MERLIN

Being Hot on Methane

By Peter Schaadt and Dr. Gerhard Ehret

Back in February 2010, the Franco-German Council of Ministers gave the green light to a microsatellite mission to monitor concentrations of the greenhouse gas methane in the atmosphere. The mission was baptised MERLIN (Methane Remote Sensing LIDAR Mission). This step marks the decision of the top two space nations in Europe and their space agencies, CNES und DLR, to make a visible contribution towards coping with climate change and monitoring compliance with the agreements made under the Kyoto Protocol.

Trügerisches weiß: Unter den Permafrostböden Kanadas und Russlands schlummern die größten Methanreservoire überhaupt. Tauen sie im Zuge des Klimawandels auf, wird sich die Situation weiter verschlimmern – eine der größten Unbekannten in den Modellen für die zukünftige Entwicklung des Weltklimas. (Ton Koene/dpa)

Deceiving white: beneath Russia's and Canada's permafrost soils there are still covered large reservoirs of methane frozen in water-bound deposits. If these soils continue to thaw as a result of further global warming, the climate situation will get worse – one of the big unknowns in all models simulating the world's future climate development. (Ton Koene/dpa)

Der französische Staatspräsident Nicolas Sarkozy und Bundeskanzlerin Angela Merkel hielten am 4. Februar eine Pressekonferenz im Pariser Elyseepalast. Merkel besuchte zusammen mit zahlreichen Ministern Paris, um im Zuge des 12. Französisch-Deutschen Ministerrates unter anderem eine bilaterale Methanmission zu beschließen. (Lucas Dolega/dpa/EPA)

French President Nicolas Sarkozy and German chancellor Angela Merkel held a press conference at Elysee Palace, Paris, France, on February 4. Merkel came to Paris accompanied by several ministers to claim a bilateral methanemission in the 12th Franco-German Ministers Council. (Lucas Dolega/dpa/EPA)

MERLIN ist das erste bilaterale Projekt beider Staaten im Bereich Erdbeobachtung seit 1994. Bereits damals widmete man sich dem Klima: Das Cross-Track-Scanning-Radiometer SCARAB zur Messung des Strahlungshaushalts wurde auf einem russischen Meteor-Satelliten in den Orbit gebracht und lieferte bis März 1995 wertvolle Daten für die Klimamodellierung.

Nun wird eine bilaterale Methanmission umgesetzt, die auf bewährter deutscher Technik beruht. Seit mehreren Jahren spürt ein vom DLR entwickeltes LIDAR (Light Detection and Ranging)-Messinstrument von einem Hubschrauber aus Methanlecks an Erdgaspipelines auf. CHARM (CH_4 Airborne Remote Monitoring) nennt sich das von der EON-Ruhrgas AG eingesetzte Gerät. Um Methan weltweit auf die Spur zu kommen, soll die Messgenauigkeit des LIDAR verbessert werden, so dass das Instrument ab 2014 in einer Höhe von maximal 650 Kilometern aus dem Orbit das Treibhausgas überwachen kann.

Die Mission MERLIN wurde von beiden Nationen vergleichsweise kurzfristig beschlossen: Bei einem Treffen von Peter Hintze, Parlamentarischer Staatssekretär beim Bundesminister für Wirtschaft und Technologie (BMWi), und Bernard de Montferrand, dem französischen Botschafter, nahm die Kooperation im Juni 2009 konkrete Züge an. Die beiden Raumfahrtagenturen DLR und CNES erhielten den Auftrag, in einer gemeinsamen Arbeitsgruppe einen Vorschlag zu erstellen. Ziel war es, innerhalb von fünf Jahren eine Klimamission zu starten, deren Kosten 120 Millionen Euro nicht übersteigen sollte. Beide Partner beteiligen sich finanziell mit je 50 Prozent an den Gesamtkosten.

Am 4. Februar erreichte das Projekt die höchste politische Ebene, als Kanzlerin Angela Merkel und Präsident Nicolas Sarkozy sich bei einem Gipfeltreffen zur Realisierung von MERLIN bekannten. Daraufhin vereinbarten die Raumfahrtagenturen CNES und DLR, in den Jahren 2010 und 2011 eine gemeinsame wissenschaftliche Vorstudie und eine Machbarkeitsstudie durchzuführen (Phase 0/A). Frankreich wird mit dem Gesamtsystem und der Satellitenplattform – einer sogenannten MYRIADE-Plattform – sowie dem Betrieb des Satelliten und mit dem Start betraut. Deutschland soll das modifizierte LIDAR-Instrument an Bord des Satelliten entwickeln. Beide Nationen bauen gemeinsam das Nutzlastbodensegment auf.

Methan – die große Unbekannte

Die politische Entscheidung für eine Methanmission und deren schnelle Umsetzung ist gut begründet: Das Treibhausgas ist nach Kohlendioxid (CO_2) die zweitgrößte anthropogene (von Menschen verursachte) Komponente der Klimaerwärmung. Das Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) bescheinigte Methan ein 25-fach höheres Potenzial zur globalen Erwärmung als CO_2. Der Methangehalt stieg seit Beginn der Industrialisierung

MERLIN will be the two countries' first bilateral mission in the field of Earth remote sensing since 1994. The last one, too, was about the climate: The Cross-TrackScanningRadiometer SCARAB was launched into orbit on a Russian Meteor satellite to measure the Earth's radiation budget, delivering valuable data for climate models until March 1995.

The new scheme is a bilateral methane mission based on well-established German technology. For several years, a DLR-developed, helicopter-borne LIDAR (Light Detection and Ranging) instrument has been sniffing out methane leaks along gas pipelines. CHARM (CH_4 Airborne Remote Monitoring) is the name of the instrument. It is operated by EON Ruhrgas on regular patrol duty. Current improvements to the LIDAR's measuring precision will make the instrument ready to detect methane on a global scale. From 2014, the device will monitor the greenhouse gas from an orbital height of up to 650 kilometres.

The two countries' decision to develop MERLIN was taken on rather short notice. It began to take shape at a meeting between Peter Hinze, Parliamentary Undersecretary at the Ministry of Economics and Technology (BMWi) and the French ambassador Bernard Montferrand. The two space agencies, DLR and CNES, were requested to set up a joint working party and develop a proposal. The target set was to launch a climate mission within five years whose costs should not exceed 120 million euros. Each of the two partners is to fund 50 percent of the total cost.

On February 4, the project received its blessing at the top policy level when chancellor Angela Merkel and President Nicolas Sarkozy made a joint commitment to go ahead with MERLIN. Following this meeting, the two space agencies, CNES und DLR, decided to carry out a joint scientific preliminary study as well as a feasibility study in the course of 2010 and 2011 (Phase 0/A). France will be taking charge of the overall system and the satellite platform – known as the MYRIADE platform – as well as operating the satellite and the launcher rocket. Germany is to develop a modified version of its LIDAR instrument to be carried on the satellite. Both countries together will take care of the payload ground segment.

Methane – the great unknown

The political decision to support and speedily implement a methane mission is well-founded. Besides carbon dioxide (CO_2), methane is the second major anthropogenic (man-made) factor in climate change. The Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) confirmed that methane has 25 times the potential of CO_2 to cause global warming. Since the beginning of industrialisation, the atmospheric methane concentration has

1. Wie gelangt Methan in unsere Atmosphäre? Eine mögliche Antwort auf diese Frage könnten große Methanblasen sein, die explosionsartig vom Meeresboden zur Wasseroberfläche aufsteigen. (Claus Fritzmann/dpa) 2. Forscher fanden Methanhydrate am Meeresboden. (MARUM/Universität Bremen/dpa)

1. How does methane reach our atmosphere? One possible answer to this question could be large methane bubbles rising from the sea bottom, causing explosion-like methane discharges at sea level. (Claus Fritzmann/dpa) 2. Scientists find methane hydrate on the sea bottom. (MARUM/University of Bremen/dpa)

aufgrund anthropogener Emissionen auf die doppelte atmosphärische Konzentration an – der Gehalt von Kohlendioxid „lediglich" um 30 Prozent. Von Menschen verursachte Methan-Emissionen (etwa aus Lecks in Gaspipelines) beispielsweise sind jedoch nicht so bekannt wie CO_2-Emissionen. Zusätzlich droht eine weitere – in seinem Ausmaß nicht abschätzbare – Gefahr: In den Permafrostböden Russlands und Kanadas sind zurzeit die größten Reservoire von Methan gebunden. Tauen die Böden bei einer weiter voranschreitenden globalen Erwärmung auf, könnte dieses Methan zusätzlich in die Atmosphäre entweichen und die Klimasituation weiter verschlimmern – eine der größten Unbekannten in den Modellen für die zukünftige Entwicklung des Weltklimas.

Die Daten aus der jüngsten Vergangenheit sind beunruhigend: 2007 und 2008 stieg die Wachstumsrate der atmosphärischen Methankonzentration wieder deutlich an, nachdem sie mehr als zehn Jahre in etwa konstant war. Anthropogene Quellen, brennende Vegetation, Emissionen von Feuchtgebieten oder gar explosionsartig vom Meeresboden zur Wasseroberfläche aufsteigende große Methanblasen kommen als Auslöser in Frage. Die tatsächlichen Ursachen für dieses Phänomen sind indes unbekannt. Hier soll MERLIN Licht ins Dunkel bringen.

CO_2-Beobachtung weiterhin im Blick

Auch mit der Entscheidung für die Methanmission verliert die europäische Raumfahrt das Treibhausgas Kohlendioxid nicht aus dem Blick. Der Aufwand für präzise Messungen des CO_2-Gehalts der Atmosphäre ist jedoch erheblich größer, da die Variabilität von CO_2 in der Atmosphäre sehr gering ist. Man benötigt somit ein äußerst präzises Messinstrument. Dieses ist mit den Vorgaben der Politik im Hinblick auf Kosten und Zeitplan in bilateraler Kooperation derzeit nicht darstellbar.

Momentan liefert das deutsch-niederländische Instrument SCIAMACHY auf ENVISAT Messungen des CO_2-Gehalts, wird jedoch voraussichtlich 2013/2014 seinen Dienst einstellen. Vergleichbare Daten werden vom japanischen GOSAT seit Februar 2009 gemessen. Die NASA plant für 2013 einen Nachbau des Orbiting Carbon Observatory OCO, nachdem der erste Startversuch im vergangenen Frühjahr fehlschlug. Durch diese Missionen könnten sich interessante Optionen für Synergien mit der deutsch-französischen Initiative ergeben: Die Möglichkeiten reichen von der Datenmodellierung bis hin zu einem gemeinsamen Formationsflug.

doubled as a result of anthropogenic emissions – whereas that of carbon dioxide has increased by 'a mere' 30 percent. However, there is far less of a public awareness of man-made methane emissions (such as the ones coming from pipeline leaks) as there is of carbon emissions. And there is yet another danger looming, the impact of which is hard to estimate: large reservoirs of methane are frozen in water-bound deposits in Russia's and Canada's permafrost soils. If these soils continue to thaw as a result of further global warming, this additional methane would evaporate into the atmosphere, causing the climate situation to get worse – one of the big unknowns in all models simulating the world's future climate development.

The most recent data are alarming: in 2007 and 2008, the growth rate of atmospheric methane concentrations took an upward turn again, following a period of ten years where they had remained largely constant. Man-made sources, vegetation fires, emissions from wetland areas or even large methane bubbles rising from the sea bottom, causing explosion-like methane discharges at sea level are considered to be the causes. What exactly has caused this phenomenon is still unclear. MERLIN is hoped to shed some light into the dark.

CO_2 monitoring stays in focus

Notwithstanding the decision to go ahead with the methane mission, European space scientists are not losing sight of the other greenhouse gas, carbon dioxide. However, the accurate measurement of the atmospheric concentration of CO_2 is a major undertaking in that the variability of CO_2 within the atmosphere is very low, and would consequently require extremely precise measuring equipment. Given current policy directives with regard to costs and duration of the bilateral scheme, such a mission would be difficult to justify.

SCIAMACHY, the Dutch-German instrument flying on ENVISAT, is currently supplying data on atmospheric CO_2, but will probably cease to operate in 2013/2014. Similar data have been measured since February 2009 by Japan's GOSAT. For 2013, NASA is planning to build a duplicate of its Orbiting Carbon Observatory OCO following a failed first attempt last spring. These missions might open up interesting options for synergies with the French-German initiative, ranging from joint data modelling to an actual joint formation flight.

Eine Chance für deutsche Forschung und Industrie

Die bisher zur Erdbeobachtung eingesetzten Instrumente SCIAMACHY, GOSAT und OCO auf dem europäischen Umweltsatelliten ENVISAT arbeiten mit passiven Instrumenten. Sie nutzen das vom Erdboden zurück gestreute Sonnenlicht, um unter anderem den CO_2-Gehalt in der Atmosphäre zu messen. Sie sind auf Tageslicht angewiesen und liefern nur bei klarem Himmel optimale Messwerte.

Ein LIDAR hingegen verfügt als aktives Instrument über eine eigene Lichtquelle (den Laser) und kann somit auch bei Nacht oder durch dünne Zirruswolken hindurch messen. Lichtpulse werden in zwei nah beieinander liegenden Wellenlängen ausgesandt. Die eine Wellenlänge wird von dem gesuchten Spurengas absorbiert (Lambda-on), die andere nicht (Lambda-off). Durch die Differenz der beiden zurückgesandten Signale kann die Methankonzentration sehr genau bestimmt werden. Wissenschaftler sprechen bei der Gaskonzentration auch vom „Gehalt der atmosphärischen Säule" auf dem gesamten Messpfad.

Die Messwerte, die der Satellit aufzeichnet, können von Fachleuten verschiedener Forschungsinstitute mit Hilfe von Daten über Windgeschwindigkeiten und -richtungen in globale Methanverteilungskarten umgerechnet werden. Diese Methode der inversen Modellierung führt zu Darstellungen, aus denen die tatsächlichen regionalen Methanflüsse abgeleitet werden können.

In Deutschland beschäftigen sich verschiedene Max-Planck-Institute (Hamburg, Jena, Mainz) mit der Auswertung von Messungen von Atmosphärensensoren. Hierzu zählen auch die Universität Jena, die Interaktionen zwischen Atmosphäre und Biosphäre untersucht. Permafrostböden stehen im Fokus des Alfred-Wegener-Institutes. Das IfM-GEOMAR in Kiel widmet sich der Untersuchung von Gashydraten.

Das DLR Institut für Methoden der Fernerkundung plant aus den Satellitendaten das Wachstum von Biomasse abzuleiten, das DLR Institut für Physik der Atmosphäre die Wolkenbedeckung und deren Rückwirkung auf die Globalstrahlung. Darüber hinaus betreibt das DLR in Oberpfaffenhofen ein Weltdatenzentrum für Fernerkundung der Atmosphäre, das in das neue Earth Observation Center (EOC) eingegliedert ist.

Die Technologien für das MERLIN-Instrument liefern deutsche Industrie und Forschungsinstitute. Die LIDAR-Abteilung des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen nimmt in diesem Bereich eine Vorreiterrolle ein. Sie entwickelt und betreibt LIDAR-Systeme, die sich ähnlich dem Prinzip des Radars die Laufzeitmessung eines ausgesandten Signals zu Nutze machen. Als Lichtquelle wird ein Hochleistungslaser eingesetzt. Ein LIDAR-System misst beispielsweise den Wind, ein anderes den Wasserdampf- und CHARM-F den Methan-/Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre von DLR-Flugzeugen aus.

In verschiedenen von der DLR Raumfahrt-Agentur und von der ESA geförderten Projekten haben unter anderem die Firmen Astrium (Ottobrunn), Kayser-Threde (München) und JenaOptronik (Jena), die Fraunhofer-Instituten für Lasertechnik (Aachen) und optische Feinmechanik (Jena) Technologien für zukünftige LIDAR-Instrumente entwickelt und getestet.

Peter Schaadt ist verantwortlich für die Planung des nationalen Erdbeobachtungsprogramms in der DLR Raumfahrt-Agentur, Abteilung Erdbeobachtung.

Dr. Gerhard Ehret leitet die Abteilung LIDAR des DLR Instituts für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen.

An opportunity for German science and industry

SCIAMACHY, GOSAT und OCO, the instruments on board Europe's environmental satellite ENVISAT used for Earth observation so far are based on 'passive' technology. They use the sunlight scattered back from the Earth to measure, amongst other things, CO_2 concentrations in the atmosphere. They rely on daylight, and produce their best data only when the skies are clear.

By contrast, a LIDAR device is an active instrument which has its own lighting (i.e. its laser beam) and is thus capable of performing its measurements at night or through a thin layer of cirrus cloud. Light pulses are emitted in two neighbouring wavelengths. The one wavelength is absorbed by the trace gas (Lambda-on), the other is not (Lambda-off). The difference in the backscatter of the two signals is used to figure out methane concentrations with a high level of accuracy. Scientists also refer to gas concentration in the 'atmospheric column' along the entire measuring path.

Experts in a number of research institutes can convert the readings recorded on the satellite and combine it with additional information, such as wind directions and velocities, to make global methane distribution maps. This method, called inverse modelling, allows actual regional methane flows to be derived.

In Germany, several Max Planck Institutes (Hamburg, Jena, Mainz) evaluate data recorded by atmospheric sensors. Jena University studies the field of atmosphere-biosphere interactions. Permafrost soils are in the focus of the Alfred Wegener Institute. IfM-GEOMAR investigates gas hydrates.

DLR's Remote Sensing Technology Institute is planning to derive data on biomass growth from satellite measurements; the DLR Institute for Atmospheric Physics studies the Earth's cloud cover and its influence on global radiation. Moreover, DLR in Oberpfaffenhofen is keeping a global atmospheric remote sensing database as part of its new Earth Observation Centre (EOC).

The technology for the MERLIN instrument is supplied by German firms and research institutes, the pioneering role being played by the LIDAR department of the DLR Institute of Atmospheric Physics at Oberpfaffenhofen. It develops and operates LIDAR systems which, much like radar, measure the runtime of an emitted signal. The light source used is a high power laser. Carried on a DLR research aircraft, one LIDAR system typically measures the wind, another the water vapour, and CHARM-F records the atmospheric concentrations of methane and carbon dioxide.

Technologies for future LIDAR instruments were developed and tested in a number of DLR and ESA sponsored projects, conducted by firms such as Astrium (Ottobrunn), Kayser-Threde (Munich) und JenaOptronik (Jena), as well as the Fraunhofer Institutes for Laser Technology (Aachen) and Applied Optics and Precision Engineering (Jena).

Peter Schaadt is responsible for planning the DLR Space Agency's national Earth remote sensing programme.

Dr. Gerhard Ehret heads the LIDAR programme of the DLR Institute for Atmospheric Physics at Oberpfaffenhofen.

Das Montreal-Protokoll und seine Auswirkungen: Kühlschränke, deren Isolierung mit FCKW aufgeschäumt wurde, mussten fachgerecht verschrottet werden. (Bernd Settnik/dpa)

The Montreal Protocol and its consequences: Fridges isolated by foaming CFC had to be scrapped in a professional way. (Bernd Settnik/dpa)

Das Ozonloch

Wie die Wissenschaft eine Katastrophe verhinderte

Von Dr. Achim Friker

Am 1. Januar 1989 trat das Montreal-Protokoll in Kraft: 195 Staaten verpflichteten sich zum Schutz der Ozonschicht. Schon damals warnten Wissenschaftler, dass es lange dauern werde, bis sich die Erdatmosphäre von schädlichen Chlor- und Bromverbindungen erholt. Diese wurden durch das Montreal-Protokoll verboten, zuvor hatte man sie jahrzehntelang bedenkenlos in Sprays und Kunststoffe gemischt und in Kühlanlagen gefüllt. Lässt sich nun, mehr als 20 Jahren nach „Montreal", ein Erfolg erkennen? Auf diese Frage sollen europäische Umweltsatelliten eine Antwort geben – bis mindestens 2013 wurde kürzlich die Betriebsdauer von ENVISAT verlängert. Anschließend sollen seine Aufgaben von den sogenannten „Sentinel"-Satelliten übernommen werden.

The Ozone Hole

How Science averted a Disaster

By Dr. Achim Friker

On January 1, 1989 the Montreal Protocol came into force: hence, 195 states undertook to protect the ozone layer. Scientists were warning even then that it would take the Earth's atmosphere a long time to recover from the damage done by chlorine and bromine compounds. Banned by the Montreal Protocol, these substances had been heedlessly used for decades in sprays and plastic materials as well as in refrigeration systems. Can we see any sign of success now, more than 20 years after the protocol came into force? Europe's environmental satellites are searching for an answer to this question; thus, the life of ENVISAT was recently extended until 2013 at least, after which its tasks will be assumed by the 'Sentinel' satellites.

Im Jahr 1987 wurde das Montreal-Protokoll unterzeichnet. Zwanzig Jahre später, am 21. September 2007, trafen sich die Umweltminister von 191 Nationen in Montreal, um das Jubiläum des Protokolls zu feiern und um ein Abkommen über die weitere Reduzierung von ozonschädigenden Substanzen zu vereinbaren. (Andre Prichette/dpa/EPA)

In 1987, the Montreal Protocol was signed. Twenty years later, on September 21, 2007, environmental ministers from 191 nations met in Montreal to celebrate the anniversary of the protocol and to reach a deal on a crucial environmental agreement to further reduce the use of ozone-damaging chemicals. (Andre Prichette/dpa/EPA)

Die Ozonschicht – schützende Hülle der Erde

Das Engagement der europäischen Staaten zur Umweltüberwachung ist verständlich. Besondere Aufmerksamkeit wird der schützenden Hülle unserer Atmosphäre – der Ozonschicht – zuteil. Vor Jahrmillionen gab es diese noch nicht und somit auch zunächst außerhalb der Meere kein Leben. Ein Grund war die intensive ultraviolette Sonnenstrahlung, die den Erdboden ungefiltert erreichte. Diese „harte" UV-Stahlung zerstört organische Moleküle, aus denen Pflanzen und Tiere bestehen.

Doch dann bildeten sich Algen in den Meeren, die Kohlendioxid (CO_2) aufspalteten und Sauerstoff (O_2) als Abfallprodukt zurückließen – die ersten Photosyntheseprozesse. Aus den Meeren gelangte der Sauerstoff nach und nach in die Atmosphäre, wo sein Anteil heute 21 Prozent ausmacht. Der Anteil an UV-Strahlung, der den Erdboden erreicht, sank mit steigendem Sauerstoffgehalt. Das zweiatomige Sauerstoffmolekül wird durch UV-Bestrahlung in zwei einzelne energetisch angeregte Sauerstoffatome (O_1) aufgespalten. Jedes dieser Atome kann, wenn es auf ein O_2-Molekül trifft, sich mit diesem zu einem Ozonmolekül (O_3) verbinden. Aus Gründen der physikalischen Energieerhaltung braucht es dazu einen dritten Reaktionspartner. Treffen alle Partner gleichzeitig aufeinander, spricht man von einer Dreierstoß-Reaktion.

Wie viel Ozon die Atmosphäre in welcher Höhe enthält, ist im wesentlichen dadurch bestimmt, wie viele dieser Prozesse stattfinden und wie lange es jedem einzelnen Ozonmolekül gelingt, nicht mit einem chemisch reaktiven Partner zusammenzustoßen und sich dabei wieder aufzulösen. In den oberen Atmosphärenschichten ist die Luft so dünn, dass Dreierstoß-Reaktionen extrem selten werden. Das wenige Ozon, das sich dort bildet, wird durch UV-Strahlung sofort wieder zerstört. Ganz unten in der Atmosphäre ist die Luft so dicht, dass Ozonmoleküle sofort mit Reaktionspartnern kollidieren und daher keine lange Lebensdauer haben. Dazwischen liegt die Stratosphäre (15 bis 50 Kilometer Höhe), in der sich Ozon anreichern und zum dominanten Spurengas werden kann. Diese Ozonschicht fängt große Mengen kurzwelliger UV-Strahlung ein. Anders ist es beim langwelligen UV-Licht. Hier beginnt Ozon durchlässig wie getöntes Glas zu werden: je dünner, desto transparenter.

Im Ergebnis verschiebt sich mit einer Ausdünnung der Ozonschicht die kurzwellige Grenze, ab der die Atmosphäre für Sonnenlicht durchlässig ist – eine Grenze, die über Jahrmillionen konstant war und auf die sich die Pflanzen- und Tierwelt in erdgeschichtlichen Zeiträumen eingestellt haben. Wie gefährlich die Ausdünnung der Ozonschicht für den Menschen wirklich ist, lässt sich gut in Australien und Neuseeland beobachten: Dort haben sich die Hautkrebsraten zwischen 1980 und 2000 nahezu verdoppelt.

CFCs – zerstörerische Gase in der Atmosphäre

Gerade der vom Abbau der Ozonschicht betroffene Mensch

The ozone layer – Earth's protective wrap

It is easy to understand why the European states are committed to monitoring the environment, paying particular attention to the ozone layer, which forms a cover that protects our atmosphere. Millions of years ago, that cover did not exist; consequently, there was at first no life on Earth outside the oceans. One reason for this was the intensity of the Sun's ultraviolet rays which reached the ground unfiltered. Called 'hard' UV radiation, theses rays destroy the organic molecules of which plants and animals are made.

Later on, however, algae developed in the oceans, breaking up carbon dioxide (CO_2) and releasing oxygen as a waste product – the first photosynthesis ever. Slowly, oxygen emerged from the sea into the atmosphere, which today contains 21 percent oxygen. As the oxygen content of the air increased, the proportion of UV in the radiation that reached the ground declined. UV rays break down O_2, a diatomic molecule, into two energetically stimulated oxygen atoms (O_1). Each of these atoms may combine with any O_2 molecule it encounters to form an ozone molecule (O_3). However, the physical law of energy conservation demands the presence of a third reaction partner in this case. This kind of reaction is called a triple collision: all three reaction partners must meet simultaneously.

How much ozone is contained in the atmosphere at any given altitude essentially depends on the number of such processes taking place and the length of time for which individual ozone molecules 'succeed' in avoiding a collision with a chemically reactive partner, which would destroy them. In the upper layers of the atmosphere, the air is so thin that triple collision reactions are extremely rare. What little ozone forms there is immediately destroyed again by UV rays. At the bottom of the atmosphere, the air is so dense that ozone molecules cannot survive for long because they immediately collide with reaction partners. In between, there is the stratosphere (15 to 50 kilometres) where ozone may accumulate to become the dominant trace gas. This ozone layer traps large amounts of the energy arriving from the Sun in the form of shortwave UV radiation. Long-wave UV light is a different matter, however. To this, ozone is as permeable as tinted glass: the thinner, the more transparent.

As a result, the threshold from which the atmosphere becomes permeable to short-wave sunlight shifts as the ozone layer grows thinner – a threshold which has remained constant for millions of years and the fauna and flora have adjusted to. For mankind the growing permeability of the ozone layer is quite dangerous. For example, in Australia and New Zealand the skin-cancer rates have nearly doubled between 1980 and 2000.

CFCs – destructive gases in the atmosphere

It was man, the victim of the degradation of the ozone layer, whose own affluent lifestyle has caused ozone depletion to accelerate markedly in the past: spray cans, refrigerators, and

hat durch sein Wohlstandsverhalten dafür gesorgt, dass sich der Rückgang in der Vergangenheit stark beschleunigte: Sprayflaschen, Kühlschränke und Klimaanlagen waren und sind unverzichtbare Konsumgüter. Eines haben sie gemeinsam: Man benötigt für sie Flüssiggase mit entsprechendem Siedeverhalten. Auch Schaumkunststoff kann mit Flüssiggas-Lösungsmitteln hergestellt werden.

Deshalb galt das Patent des amerikanischen Maschinenbauingenieurs Thomas Midgley von 1929 als besonderer Fortschritt. Er ersetzte die bisher in Kühlschränken verwendeten, feuergefährlichen Substanzen durch unbrennbare Chlor-Fluor-Kohlenstoff-Verbindungen (CFCs) – im deutschen vielfach als Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) bezeichnet, auch wenn kein Wasserstoff enthalten ist. Damit löste er ein Sicherheitsproblem, um ungeahnt ein größeres Umweltproblem zu schaffen.

CFC-Verbindungen sind unter den atmosphärischen Bedingungen, die am Erdboden herrschen, chemisch völlig stabil, lösen sich nach ihrem Aufsteigen in die Atmosphäre unter harter UV-Strahlung auf. Dabei spaltet sich Atomares Chlor (Cl) ab, reagiert mit den chemisch instabilen Ozonmolekülen und löst diese in Chlormonoxid (ClO) und „normalen" Sauerstoff auf. Das entstehende Chlormonoxid setzt wiederum in Verbindung mit energetisch angeregtem Sauerstoff (O_1) erneut atomares Chlor frei und der Zerstörungsprozess beginnt erneut: Die Ozonschicht schwindet. Nichtsdestotrotz hat die Forschung CFC-Verbindungen noch bis 1973 in ihrer ozonzerstörenden Wirkung unterschätzt. Zwar hatten Wissenschaftler schon länger den Anstieg ihrer Konzentration beobachtet. Nennenswerte Wirkungen auf die Ozonhülle waren zu diesem Zeitpunkt aber noch nicht entdeckt worden. Auch die Tatsache, dass der größte Abbau der Ozonschicht über dem Südpol stattfinden werde, so dass ein „Ozonloch" entsteht, war damals noch nicht absehbar.

Schließt sich das Ozonloch?
Nach dem weltweiten Verbot von CFC-Verbindungen geht es heute primär darum, den Trend der Ozonentwicklung zu bestimmen: Erholt sich die Ozonschicht wie vorhergesagt oder nicht? Eine Antwort auf diese Frage können nur global beobachtende Satellitenmissionen wie die europäischen Projekte ERS-2, ENVISAT, MetOp sowie die zukünftigen Sentinel-Satelliten liefern. An Bord des 2002 gestarteten Umweltsatelliten ENVISAT befindet sich das weltweit am höchsten entwickelte Instrumentarium zur Beobachtung der Erdatmosphäre.

Der ESA-Umweltsatellit trägt drei Atmosphärenspektrometer, darunter die beiden unter maßgeblicher deutscher Beteiligung entwickelten Instrumente MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding) und SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography). MIPAS wurde von der ESA gebaut. Wesentliche Ideengeber und wissenschaftliche Begleiter waren deutsche Forscher am Karlsruher Institut für Technologie (vormals Forschungszentrum Karlsruhe). SCIAMACHY dagegen entstand in deutsch-niederländisch-belgischer Zusammenarbeit und wurde der ESA zum Mitflug auf ENVISAT beigestellt. Deutscher Projektwissenschaftler ist Professor Burrows von der Universität Bremen. Das dritte Atmosphärenspektrometer ist GOMOS (Global Ozone Monitoring by

air conditioners have become as indispensable as ever to the consumer. They all have one thing in common: they need liquid gases with the appropriate boiling characteristics. Even foamed plastics can be made with liquid-gas solvents.

This is why the patent taken out in 1929 by the American mechanical engineer Thomas Midgley was regarded as an important step ahead: he substituted non-combustible chlorinated fluorocarbons (CFCs) – in German often subscribed as fluorine chlorine carbon hydrides (FCKW) – for the inflammable substances previously used in refrigerators. By solving a safety problem, he unsuspectingly created a much larger environmental problem.

Under the atmospheric conditions that prevail on the ground, CFCs are chemically completely stable. On their rising to atmosphere, they resolve under hard UV radiation. In the process, they release atomic chlorine (Cl) which reacts with the chemically unstable molecules of ozone, dissolving them into chlorine monoxide (ClO) and 'normal' oxygen. At this stage, the chlorine monoxide thus produced once again combines with energetically excited oxygen (O_1), releasing atomic chlorine, and the cycle of destruction starts afresh: the ozone layer dwindles. Scientists persistently underestimated the destructive effect of CFCs on ozone until 1973. While they had been observing growing concentrations for some time, they had not discovered any major impact on the ozone layer. Moreover, it was impossible to foresee at the time that the most extensive degradation of the ozone layer would take place above the South Pole, creating an 'ozone hole'.

Is the ozone hole closing?
Now that CFCs have been banned worldwide, our primary concern is to identify a trend in ozone development: is the ozone layer recovering as predicted, or is it not? An answer to this question can be provided only by global observation satellites like the European ERS-2, ENVISAT, and MetOp projects, or the future Sentinel satellites. Launched in 2002, ENVISAT has on board the most advanced atmospheric observation equipment ever developed worldwide.

ESA's environmental satellite carries three atmospheric spectrometers including two instruments in whose development Germany played a key role, MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding) and SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography). MIPAS was built by ESA, with essential ideas and scientific support being furnished by German researchers at the Karlsruhe Institute of Technology (formerly Karlsruhe Research Centre). SCIAMACHY, on the other hand, was developed by a German-Dutch-Belgian cooperative and supplied to ESA to fly on ENVISAT. The German project scientist is professor Burrows of Bremen University. The third atmospheric spectrometer is called GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars). Together, the three instruments measure not only ozone but also a multitude of other substances that play a part in ozone degradation.

ENVISAT is supposed to supply data until 2013 and possibly beyond. Other missions will follow to observe long-term developments. Under the GMES initiative (Global Monitoring for

Das Instrument GOME misst den Ozongehalt in der Stratosphäre und liefert somit wichtige Daten über den Zustand der Ozonschicht. Die Weltkugeln zeigen die Ozonwerte der Region um den Südpol im Herbst. Die Werte werden in sogenannten Dobson Einheiten (Dobson Units DU) angegeben. 2,69 x 10^{16} Ozon-Moleküle pro Quadratzentimeter entsprechen einer DU. (iUP Bremen)

The GOME instrument measures the concentration of ozone in the stratosphere and gains important data about the situation of the ozone layer. The globes show the ozone data in the south pole area in autumn. The results are indicated in Dobson Units (DU). One DU is 2.69×1,0^{16} ozone molecules per square centimetre. (iUP Bremen)

Start eines Validationsballons am 24. Januar 2010. Die Ballongondel trägt ein MIPAS-B Instrument zur Messung von Spurengasen unter anderem der für den Ozon-Abbau bedeutsamen Chlor-Oxide. (Karlsruhe-Institut für Technologie)

Start of a validation balloon on 24 January 2010. The basket carried a MIPAS-B-instrument for measuring trace gases including chlorine oxides which are responsible for reducing ozone. (Karlsruhe-Institute of Technology)

Occultation of Stars). Zusammen messen die drei Instrumente nicht nur Ozon, sondern auch eine Vielzahl der Substanzen, die beim Ozonabbau eine Rolle spielen. ENVISAT soll noch bis mindestens 2013 Daten liefern. Die Beobachtung der längerfristigen Entwicklung bleibt den Nachfolgemissionen vorbehalten. Im Rahmen der GMES-Initiative (Globale Überwachung für Umwelt und Sicherheit) der Europäischen Union in Zusammenarbeit mit der ESA entstehen die sogenannten Sentinels. GMES beinhaltet unter anderem einen „Atmosphären-Dienst", der kontinuierlich Informationen zum Zustand und zur Zusammensetzung der irdischen Lufthülle liefern soll. Zwei der geplanten fünf Sentinel-Missionen sind der Überwachung der Ozonschicht und der Bereitstellung essentieller Klima-Parameter gewidmet. Die vorgesehenen Startzeitpunkte sind so gestaffelt, dass nach dem Ende der ENVISAT-Mission möglichst keine große Lücke entsteht. Das gesamte Programm ist der EU und der ESA rund 2,3 Milliarden Euro wert. Der deutsche Anteil beträgt circa 580 Millionen Euro.

Die bisher gesammelte Ozonmessdaten bilden eine Zeitreihe. Je länger sie wird, desto besser ermöglicht sie einen Vergleich mit Modellvorhersagen. Eindeutig zu erkennen ist bereits jetzt, dass die Ozonschicht sich auch nach dem Verbot, wie vorhergesagt, zunächst weiter ausdünnte, während gleichzeitig die Chlor-Konzentration stieg. Eindeutig zu erkennen ist aber auch, dass dieser Trend mittlerweile zur Ruhe gekommen ist. Eine Erholung zeichnet sich bisher noch nicht sicher ab und wird sich auch in Zukunft wenn überhaupt nur sehr langsam vollziehen.

Nichtsdestotrotz belegen die Ergebnisse eindeutig die Wirksamkeit der Beschlüsse von Montreal. Das Protokoll geht als erstes globales Abkommen in die Geschichte ein, das den kritischen Zustand unserer Umwelt nicht nur in Augenschein sondern wirklich in Angriff genommen hat. Damit legen die Daten nahe, dass der Vertrag von Montreal tatsächlich eine globale Katastrophe verhindert hat. Beunruhigend bleibt weiterhin, wie spät die Entwicklung erkannt wurde.

Dr. Achim Friker ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Erdbeobachtung der DLR Raumfahrt-Agentur.

Environment and Security) established by the European Union in collaboration with ESA, scientists are currently developing the so-called Sentinel satellites. Among other things, GMES includes an 'atmosphere service' that is intended to provide information about the condition and composition of the terrestrial atmosphere on an ongoing basis. Two of the five Sentinel missions now being planned will be devoted to monitoring the ozone layer and supplying essential climate parameters. Scheduled launch dates are staggered to ensure that, if possible, no major gap intervenes after the end of the ENVISAT mission. The EU and ESA are willing to pay around 2.3 billion euros for the programme. Germany will contribute about 580 million euros.

The data provided by ENVISAT's instruments and some of their precursors form a continuously growing time series. The longer it gets, the better it can be compared to model forecasts. What can be seen clearly even now is that, as predicted, the ozone layer continued to thin out after the ban while the concentration of chlorine increased at the same time. However, it is also clearly discernible that this trend has levelled off by now, although there are no robust indications of recovery as yet. For the future, models predict recovery at a very slow rate.

Nevertheless, results clearly confirm that the Montreal decisions are effective. The protocol will enter history as the first global agreement which not merely took note of the critical state of our environment but did something about it. The data we have suggest that the Montreal agreement actually did prevent a global disaster, although it is still alarming that the development should have been recognized so late.

Dr. Achim Friker is a scientific assistant with the Earth observation department of the DLR Space Agency.

Das Projekt Gemini der TU Braunschweig testet die Genauigkeit und Zuverlässigkeit von GNSS-Empfängern auf Straße und Schiene. (TU Braunschweig)

The Gemini project of the TU Braunschweig controls accuracy and reliability of GNSS receivers on road and rail transport. (TU Braunschweig)

Projekt Gemini

Satellitenbasierte Ortung im Bodenverkehr auf dem Prüfstand

Von Marco Wegener, Daniel Beisel, Uwe Becker und Prof. Eckehard Schnieder

Satellitenbasierte Ortungssysteme sind bereits heute fester Bestandteil des Alltags und aus diesem nicht mehr wegzudenken. Zukünftige GNSS (Global Navigation Satellite System) wie Galileo werden für kommende Anwendungsszenarien, wie den automatisierten Straßen- und Schienenverkehr, zusätzliche Dienste mit hohen Anforderungen in punkto Genauigkeit, Integrität, Kontinuität, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit anbieten. Doch wie gut erfüllen heutige GNSS-Empfänger diese Anforderungen? Mit dieser Frage beschäftigt sich Gemini (Zwilling) – ein vom Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der Technische Universität (TU) Braunschweig bearbeitetes Vorhaben. Das Projekt wurde von der DLR Raumfahrt-Agentur im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

The Gemini Project

Testing Satellite-based Positioning in Ground Transport

By Marco Wegener, Daniel Beisel, Uwe Becker and Prof. Eckehard Schnieder

Today, satellite-based positioning systems are so much part and parcel of our daily life that we cannot imagine how we ever got along without them. For application in newly emerging scenarios, such as automated road and rail transport, future Global Navigation Satellite Systems (GNSS) like Galileo will feature additional services to comply with stringent requirements regarding accuracy, integrity, continuity, availability, and reliability. But to what extent do today's GNSS receivers meet these requirements? This is the question addressed by Gemini (Twins), a project managed by the Institute of Traffic Safety and Automation Engineering at Technische Universität (TU) Braunschweig. The project was supported by DLR Space Agency on sub-order of the Federal Ministry of Education and Research (BMBF).

Gemini überprüft die Genauigkeit und die Eignung satellitengestützter Ortungseinrichtungen anhand eines sogenannten Referenzmesssystems. Wissenschaftler des Instituts für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik (iVA) der Technischen Universität Braunschweig arbeiten seit 2007 an dieser Aufgabenstellung und haben hierfür eine Lösung erarbeitet: Sie verwenden georeferenzierte Permanentmagnete und RFID-Transponder (siehe Kasten auf Seite 22), wodurch die Bewegungen von Fahrzeugen nachvollzogen und mit der vom GNSS-Empfänger berechneten Satellitenposition verglichen werden können.

Gemini auf der Straße

Für den GNSS-Eignungstest am PKW haben die Braunschweiger Wissenschaftler einen von Bäumen flankierten Straßenabschnitt auf dem Gelände der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig mit Magneten präpariert. Die Magnete wurden so in den Straßenbelag eingelassen, dass eine genaue Spurführung ermöglicht wird. Jeder vierzigste Magnet dient hier als Referenzpunkt. Auf der Streckelänge von circa 860 Meter wurden insgesamt 44 dieser Referenzpunkte im ortsfesten Koordinatensystem WGS-84 (World Geodetic System 1984) georeferenziert. Dieses Koordinatensystem wird bei GPS bereits verwendet und soll auch bei der Galileo-Satellitennavigation zum Einsatz kommen.

Auf der Versuchsstrecke der PTB soll mit Hilfe des am iVA entwickelten Versuchsfahrzeugs „Carla" (Computer assisted road laboratory), einem mit Mess- und Computertechnik ausgestatteten Volkswagen-T4-Caravelle, die Strecke autonom und reproduzierbar abgefahren werden. Die Überfahrt der Referenzpunkte wird durch einen optischen Sensor erfasst. In der Nachbearbeitung der Messdaten wird aus diesem Signal und einer digitalen Karte die Referenzposition berechnet, so dass diese anschließend mit der GNSS-Position verglichen werden kann.

Zu den Messeinrichtungen in „Carla" zählt auch ein CORREVIT-Sensorsystem der Firma CORRSYS-DATRON Sensorsysteme. Mit diesem Sensorsystem kann die durch Beschleunigungsmanöver ausgelöste Nick- oder Wankbewegung des Fahrzeugs gemessen und die Referenzposition der GNSS-Antenne entsprechend korrigiert werden. Bei diesem Sensorsystem handelt es sich um eine optische Messeinrichtung zur berührungslosen und schlupffreien Bestimmung verschiedener fahrdynamischer Größen. Das Sensorsystem erfasst für ausgewählte Messpunkte am Versuchsträger die Entfernung zur Fahrbahnoberfläche sowie Längs- und Quergeschwindigkeit. Hierfür werden drei Sensoren zu einem Verbund gekoppelt. Mit den gewonnenen Höhenwerten wird auf die Nick- und Wankwinkel des Fahrzeugs geschlossen.

Gemini uses a so-called reference measuring system to verify the accuracy and suitability of satellite-based positioning facilities. Having investigated the problem since 2007, scientists of the Institute of Traffic Safety and Automation Engineering (iVA) at the TU Braunschweig have now developed a solution: they use geo-referenced permanent magnets and RFID transponders (compare textbox on page 22) to track the movements of vehicles and compare the results to positions computed by a GNSS receiver from satellite signals.

Gemini in road transport

To test the efficiency of the GNSS in a car, the scientists from Braunschweig inserted magnets in a road section flanked by trees, located on the premises of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig. The magnets were embedded in the surface of the road so as to keep vehicles precisely on track, with one in forty serving as a reference point. Along circa 860 metres of road, a total of 44 of these reference points were geo-referenced in WGS-84 (World Geodetic System 1984), a fixed coordinate system. Already used by the GPS, this coordinate system will also be employed in Galileo.

An experimental vehicle developed at the iVA called 'Carla' (computer-assisted road laboratory), a Volkswagen T4 Caravelle equipped with measuring and computer technology, will run along the PTB test track autonomously and reproducibly. Optical sensors will register the vehicle whenever it runs across a reference point. When the data are post-processed, reference positions will be computed from these signals and a digital map. These data will be compared with the GNSS positions.

The measuring equipment installed in 'Carla' includes a CORREVIT sensor system made by CORRSYS-DATRON. This sensor system measures the pitching and rolling movements caused by the acceleration of the vehicle so that the reference position of the GNSS antenna can be corrected. This optical sensor system serves to obtain contact- and slip-free measurements of various dynamic driving parameters. A network of three sensors placed in selected locations on the experimental vehicle will measure the distance to the road surface as well as longitudinal and transversal velocities. The vehicle's pitch and roll angles can then be derived from the distances measured.

Aufbau der Instrumente im Versuchsfahrzeug „Carla" (TU Braunschweig)

Assembly of the instruments in the testing vehicle 'Carla' (TU Braunschweig)

Gemini auf der Schiene
Die Braunschweiger Wissenschaftler überprüfen aber nicht nur die Genauigkeit von GNSS-Empfängern auf der Straße, sondern auch im Schienenverkehr. Hierzu wurden von den Partnern im Gemini-Projekt, dem Verein Braunschweiger Verkehrsfreunde (VBV) und der Warnetalbahn in Salzgitter (WTB), zwei Areale zu Versuchsstrecken ausgerüstet. Brücken, parallele Gleise, Bahnübergänge und Bebauung machen beide zu eisenbahntypischen Trassen, wobei der Abschnitt der Warnetalbahn mit einer Gesamtlänge von zwölf Kilometern gegenüber der Strecke in Braunschweig mit knapp zwei Kilometern die längere ist.

Zum Vergleich der Empfangsgeräte wurden an der Versuchsstrecke sogenannte RFID-Tags (Radio Frequency Identification, siehe Kasten) verlegt. Jeder dieser Tags dient als Referenzpunkt. So können die Positionen des Zuges mit den empfangenen GNSS-Positionen verglichen werden. Auf der Schiene kommt ein umgerüsteter Eisenbahnwaggon zum Einsatz, den der VBV zur Verfügung gestellt hat. Auch er wurde mit Mess- und Computertechnik ausgestattet.

Gemini in rail transport
The Braunschweig scientists will verify the accuracy of GNSS receivers not only in road but also in rail transport. To this end, two partners in the Gemini project, the Verein Braunschweiger Verkehrsfreunde (VBV) and the Warnetalbahn in Salzgitter (WTB), turned two areas into test tracks with all the typical features, such as bridges, parallel tracks, level crossings, and buildings. At a total length of twelve kilometres, the Warnetal railway section is longer than that in Braunschweig, which measures somewhat less than two kilometres.

To compare the receivers, so-called RFID tags (radio frequency identification, see box) were laid out along the track. Serving as reference points. This arrangement permits comparing a train's reference positions to those received from the GNSS. A railway car supplied by the VBV was converted and equipped with measuring and computer technology for use on the track.

Radio Frequency Identification (RFID)
Ein RFID-Tag (Transponder) interagiert mit einem RFID-Lesegerät, indem letzteres erzeugt ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld, das die Antenne eines naheliegenden RFID-Tags bestrahlt. Sobald die Antennenspule in das elektromagnetische Feld eintritt, entsteht Induktionsstrom, der den Mikrochip im RFID-Tag aktiviert. Die vom Lesegerät gesendeten Befehle decodiert das RFID-Tag und wirft sie zurück. Die Feldstärke variiert je nach Entfernung zwischen Transponder und Lesegerät. Durch Zu- beziehungsweise Abnahme der Feldstärke lässt sich die Position des Lesegerätes zum RFID-Tag genau bestimmen.

Radio frequency identification (RFID)
RFID tags (transponders) interact with an RFID reader which generates an alternating high-frequency electromagnetic field that can be received by the antenna of any RFID tag in the vicinity. As soon as an antenna coil enters this electromagnetic field, it generates an induction current which activates the microchip in the RFID tag. The tag decodes the commands sent by the reader and returns them. As the strength of the field varies with the distance between the RFID tag and the reader, the latter's position relative to the RFID tag can be determined precisely from the extent to which field strength increases or decreases.

Qualität messbar machen
Bei der Umsetzung dieser Testvorhaben stößt man in Braunschweig auf mehrere Herausforderungen: In der Satellitenkommunikation im Straßen- und Schienenverkehr gelten zurzeit jeweils andere Anforderungen an ein Ortungssystem. Demgegenüber steht das „Signal in Space", das auf Basis der physikalisch geprägten Terminologie der Raumfahrt entwickelt wurde. Ein Abgleich der Spezifikationen aus dem Straßen- und Schienenverkehr mit denen eines GNSS-Ortungssystems ist nicht ohne Weiteres möglich.

Rendering quality measurable
In implementing these test projects, the Braunschweig scientists were confronted with several challenges: the requirements applying to the satellite communication of positioning systems are currently not the same in road and rail traffic. On the other hand, there is the 'signal-in-space' that was developed on the basis of the largely physical terminology of astronautics. Harmonising the specifications applying in road and rail transport with those of a GNSS positioning system is no easy task.

Aufbau der Instrumente im Schienenversuchsfahrzeug (TU Braunschweig)

Assembly of the instruments in the rail testing vehicle (TU Braunschweig)

Ziel der Forschung: Eine einzige Schnittstelle für alle Verkehrsdomänen. (TU Braunschweig)

One interface for all traffic domains is one of the research objectives. (TU Braunschweig)

Die Vielfalt der möglichen Anwendungen, wie zum Beispiel automatisches Rangieren oder kooperative Fahrmanöver auf Autobahnen, machen Methoden für eine Sicherheitsüberprüfung notwendig, die auf den gesamten Straßen- und Schienenverkehr übertragbar sein muss. Dementsprechend ist der technische Aufwand zu reduzieren, um möglichst nah an dem betrachteten Anwendungsfall zu liegen.

Aus dieser Problemstellung heraus wurde das Projekt Gemini geboren: ein universell übertragbarer Nachweis für die Qualität von GNSS-Empfängern im Straßen- und Schienenverkehr. Die im Rahmen dieses Projekts entwickelten Referenzmesssysteme werden in Zukunft den Herstellern für die Sicherheitsnachweisführung von GNSS-Empfängern zu Verfügung stehen. Dieser ist im Augenblick Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten. Derzeit werden erste Versuchsszenarien entworfen und durchgeführt. Nur wenn hohe Genauigkeit und flächendeckende Verfügbarkeit von satellitenbasierten Ortungseinrichtungen gegeben sind, können zukünftige Anwendungsgebiete wie zum Beispiel der automatisierten Straßen- und Schienenverkehr verwirklicht werden.

Dipl.-Ing. Marco Wegener ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der TU Braunschweig im Bereich Ortung von Straßenfahrzeugen.

Dipl.-Ing. Daniel Beisel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der TU Braunschweig im Bereich Ortung von Schienenfahrzeugen.

Dr.-Ing. Uwe Becker ist Oberingenieur am Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der TU Braunschweig und Leiter des Gemini-Projekts.

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Eckehard Schnieder ist Leiter des Instituts für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der TU Braunschweig.

The sheer diversity of optional applications, such as automatic shunting or cooperative driving on motorways, calls for a safety check methodology that is applicable to road and rail transport as a whole. Accordingly, technical overheads must be reduced so as to approximate the application under consideration as closely as possible.

This is the problem that gave birth to the Gemini project: a universal method of verifying the quality of GNSS receivers in road and rail transport. The reference measuring systems developed under the project will be made available to manufacturers of GNSS receivers to demonstrate their safety. This is the current focus of research work. Tentative test scenarios are being designed and implemented at the moment. Future applications, such as automated road and rail traffic, can be realised only if the high precision and universal availability of satellite-based positioning systems can be assured.

Dip,-Ing. Marco Wegener is a research associate with the road-vehicle positioning section of the Institute of Traffic Safety and Automation Engineering at TU Braunschweig.

Dipl.-Ing. Daniel Beisel is a research associate with the road-vehicle positioning section of the Institute of Traffic Safety and Automation Engineering at TU Braunschweig.

Managing the Gemini project, Dr.-Ing. Uwe Becker is employed as a senior engineer by the Institute of Traffic Safety and Automation Engineering at TU Braunschweig.

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Eckehard Schnieder heads the Institute of Traffic Safety and Automation Engineering at TU Braunschweig.

Beim „Außeneinsatz“: Kommandant Aleksey Sergevich Sitev betritt in einem Testlauf schon vor der simulierten Marslandung die Oberfläche des künstlichen Roten Planeten. (Oleg Voloshin /IBMP)

On 'Extra Vehicular activity': During a test, commander Aleksey Sergevich Sitev sets a food on the artificial Red Planet already before the simulated landing on Mars. (Oleg Voloshin/IBMP)

„Unser Zuhause, unser Arbeitsplatz, unser Leben“

Mars500-Studie geht in die zweite Runde

Von Dr. Peter Gräf und Michael Müller

Blick in die Zukunft: Am 8. Februar 2011 öffnet sich die Ausstiegsluke des russischen Marslandemoduls. Gestalten in weißen Raumanzügen betreten erstmals die Oberfläche des Roten Planeten. Ihr Auftrag: die nähere Umgebung erkunden und Gesteinsproben sammeln. Doch etwas an diesem Bild stimmt nicht: Statt beschwingt über den Marsboden zu hüpfen, wie es die geringe Mars-Schwerkraft ermöglichen würde, bewegen sich die Kosmonauten wie normale Menschen auf der Erde. Es handelt sich um „Mars500“, die bisher längste und umfassendste Isolationsstudie in der Raumfahrt. Am 3. Juni startete sie in Moskau in ihre zweite Phase. Das DLR beteiligt sich neben der ESA mit einer Reihe von Experimenten an der Studie des Institutes für biomedizinische Probleme (IBMP) der Russischen Akademie der Wissenschaften.

“Our Home, our Job, our Life”

Mars500 Study enters its Second Round

By Dr. Peter Gräf and Michael Müller

A sneak preview: On January 27, 2011 the airlock of the Russian Mars lander opens. Figures in white spacesuits set foot on the surface of the Red Planet for the first time in history. Their mission: to explore their close surroundings and collect rock samples. Yet something in this picture is odd. Instead of skipping up and down on the Martian soil as light as feathers due to the Martian gravitation force, the cosmonauts move around rather like ordinary people on Earth. This scene is part of a simulation exercise called ‘Mars500’, the longest and most detailed isolation study in the history of spaceflight so far. Its second leg began in Moscow on June 3, 2010. Conducted by the Russian Academy of Science’s Institute of Biomedical Problems (IBMP), the study is hosting several experiments contributed by DLR and ESA.

Nach einer 105-tägigen Isolation von sechs Probanden im vergangenen Jahr (Phase 1) stellen sich nun an gleicher Stelle sechs neu ausgewählte Crewmitglieder der 520 Tage dauernden Herausforderung. Wissenschaftliche Experimente und gezieltes Training während der Simulation sollen einer zukünftigen bemannten Marsmission, vielleicht schon innerhalb der nächsten dreißig Jahre, den Weg ebnen. Das Unternehmen ist aber nicht nur die Simulation einer Reise zum Mars. Es ist auch die reale Isolation von sechs Versuchspersonen unter genau definierten konstanten Bedingungen, die erstmals eine äußerst genaue Untersuchung psychologischer und physiologischer Vorgänge ermöglicht.

Die DLR Raumfahrt-Agentur fördert im Rahmen von Mars500 Experimente im europäischen ELIPS (European Programme for Life and Physical Sciences)-Programm, aber auch – wie im Fall des Salzhaushalt-Experimentes der Universität Erlangen und der Untersuchung der Charité zu zirkadianen Rhythmen – in direkter Kooperation mit dem IBMP. Hinzu kommen fünf Experimente aus der DLR-Forschung und Entwicklung. (Details siehe Tabelle nächste Seite).

Mars500 Phase 2: Zeitplan	
3. Juni 2010	Start der Isolationsstudie, simulierter Flug von sechs Kosmonauten zum Mars
18. Dezember 2010	Eintritt in die Mars Umlaufbahn
27. Januar 2011	Landung einer dreiköpfigen Crew auf dem Mars
8. März 2011	Rückkehr der drei Kosmonauten zum Mutterschiff
17. April 2011	Antritt des Rückfluges zur Erde
6. November 2011	Ankunft auf der Erde; Ende der Isolationsstudie

Mehr Herausforderung kaum vorstellbar

Astronauten müssen sorgfältig ausgewählt und umfassend auf eine Langzeitmission vorbereitet werden. Im Kern geht es um die Aufrechterhaltung ihrer körperlichen und geistigen Fitness, wobei die Wechselwirkungen berücksichtigt werden müssen. Im Fall einer Marsmission ist die Crew für knapp anderthalb Jahre auf engstem Raum isoliert und auf sich selbst gestellt. „Dies ist nun unser Zuhause, unser Arbeitsplatz und unser Leben“ stellte einer der europäischen Probanden in seinem ersten Tagebucheintrag nach dem Start fest. Bald schon verliert man die Welt um einen herum aus dem Blick. Die Kommunikation mit der Bodenstation gestaltet sich aufgrund der wachsenden Funkspruch-Laufzeit immer schwieriger.

Während das Mutterschiff auf Kurs gehalten werden muss, werden auch Routinen zur Steuerung der Landekapsel geprobt. Die Durchführung von Experimenten, Berechnung des Essensvorrates und die Aufrechterhaltung der körperlichen Fitness, kommen hinzu. Nebenher müssen unvorhersehbare technische und medizinische Probleme rechtzeitig erkannt und allein mit Bordmitteln gelöst werden. Im Fall einer realen Marsmission wäre noch zu ergänzen: hohe Raten kosmischer Strahlung, Knochen- und Muskelabbau in Folge

Following an isolation period of 105 days last year (phase 1) six newly chosen crew members are now facing the challenge of spending 520 days in a similar exercise. Scientific experiments and specific training during the simulation should prepare the ground for a future human Mars mission – possibly in the upcoming thirty years. For sure, ‘Mars500’ is not only a simulation of a trip to the Red Planet. This mission is a real isolation in terms of specified and constant conditions of six probands which makes first an accurate examination of psychological and physiological procedures possible.

On ‘Mars500’, the DLR Space Agency is funding a number of experiments as a contributor of the European ELIPS (European Programme for Life and Physical Sciences) programme but also by cooperating with IBMP directly, such as Erlangen University’s study on the human body’s salt regulation, and the Berlin Charité Hospital’s investigation of the human circadian rhythm. Another five experiments have come from the DLR research and development portfolio (see table on next page for details).

Mars500 Phase 2: Time schedule	
June 3,2010	Launch of isolation study, simulating flight of six cosmonauts to Mars
December 18, 2010	Entry in the Martian orbit
January 27, 2011	Three crew members landing on Mars
March 8, 2011	Three cosmonauts returning to mother ship
April 17, 2011	Beginning of return trip to Earth
November 6, 2011	Arrival on Earth; end of isolation study

A greater challenge is hard to imagine

Astronauts must be carefully picked and extensively instructed for their long-term mission. In essence, the experiment is about sustaining each subject’s bodily and mental fitness, bearing in mind the interaction between the two. During a Mars mission the crew will be isolated in a very confined space for the better part of eighteen months, and completely left to its own devices. “This is now going to be our home, our job, our life”, as one of the European participants said in his first diary entry after mission launch. Soon enough you lose sight of the world around you. Communication with ground control becomes ever more difficult as radio signal delay times get longer.

Besides keeping the mother ship on its course, the crew’s daily routine includes regular landing vehicle manoeuvre rehearsals. Carrying out experiments, computing food supplies, and workouts to maintain their personal fitness are further activities. While doing all this, crew members must be ready to recognise and respond to any unforeseen technical and medical problems, strictly using only on-board resources. Additional factors to cope with on a genuine Mars mission would be high doses of cosmic radiation, bone and muscle decay caused by weightlessness,

Module des Mars500-Simulators

1. **Simulator der Marsoberfläche**
2. **Versorgungsmodul** Fitnessraum, Treibhaus, Lager, Kühlschränke, Thermokammer, Waschraum
3. **Medizinmodul** Aufenthaltsraum, Esszimmer, Arbeitsplatz mit medizinischer Ausrüstung, Waschraum
4. **Wohnmodul** 6 Kojen, Gemeinschaftsraum, Leitstand, Küche, Waschraum
5. **Simulator des Marslanders**

Module des Mars500-Simulators

1. **Simulator of the Martian surface**
2. **Utility module** gym, greenhouse, storage for resources, fridge, thermal chamber, lavatory
3. **Medical module** habitable compartment, kitchen-dining-room, working places with medical equipment, lavatory
4. **Habitable module** 6 individual compartments, community room, main console, kitchen, lavatory
5. **Simulator of the Mars lander**

der Schwerelosigkeit, Gewöhnung an die Mars-Schwerkraft (0,38g im Vergleich zu 1g auf der Erde) und eine kurze Phase drastisch erhöhter Schwerkraft bei der Landung (bis zu 7g).

Unterschiedliche Fähigkeiten ergänzen sich
Getreu dem Motto, dass Raumfahrt-Großprojekte dieser Art unmöglich von einer Nation alleine durchgeführt werden können, wurde bei der Auswahl der Crew nicht zuletzt auf interkulturelle und fremdsprachliche Fähigkeiten gesteigerten Wert gelegt. So zogen Anfang Juni neben drei Russen ein Chinese und zwei Europäer – der Italo-Kolumbianer Diego Urbina und der Franzose Romain Charles – in das Mars-Habitat ein.

Während der 27-jährige Urbina den „Raumfahrt-Stallgeruch" unter anderem durch das Studium und eine Tätigkeit am Europäischen Astronautenzentrum in Köln bereits mitbringt, war Charles (31) bislang als Ingenieur im Automobilbau tätig. Kommandant Aleksey Sergevich Sitev (38) erhielt eine Ausbildung an der russischen Seekriegsakademie in Sankt Petersburg und war zuletzt im Moskauer Sternenstädtchen als Leiter des Tauchtrainings für Kosmonautenanwärter tätig.

Komplettiert wird die Mannschaft durch Sukhrob Kalamov (37, Chirurg, aus Moskau), Alexandr Smoleevskiy (32, Militärarzt, aus Moskau) und Yue Wang (27, Taikonauten-Assistenztainer, aus Beijing/Volksrepublik China).

getting accustomed to Martian gravity (0.38g acompared to 1g on Earth), and sustaining a brief period of dramatically increased gravity (up to 7g) during landing.

All skills add up
Knowing that no single nation would be in a position to accomplish an experiment this large on its own, great importance was attached to crew members' intercultural and foreign-language skills. Thus, in early June, three Russians and one Chinese as well as two European crew members – the Italian-Columbian Diego Urbina and Romain Charles from France – moved into their Martian habitat.

27-year-old Urbina has already had more than a sniff at space flight, holding a degree in the discipline and having worked at the Cologne-based European Astronautics Centre, whereas Charles (31) has a background as an engineer in the automotive industry. Commander Aleksey Sergevich Sitev (38) was trained at the Russian Naval Academy in St. Petersburg. His last job was head of diver's training for prospective cosmonauts in Moscow's Star City.

To complete the crew, there are Sukhrob Kalamov (37, surgeon, from Moscow), Alexandr Smoleevskiy (32, military surgeon, from Moscow) and Yue Wang (27, assistant taikonaut trainer from Beijing, People's Republic of China).

Thema	**1) Langzeit Salz- und Flüssigkeitshaushalt**	**2) Blutdruckregulation**	**3) Knochenstoffwechsel**	**4) Zirkadiane Rhythmen des Menschen bei Langzeitisolation**	**5) Immunsystem**
Kurzbeschreibung	Untersuchung des Salz- und Wasserhaushaltes der Probanden sowie dessen Einfluss auf die Blutdruckregulation. Der Ernährungsplan der Mannschaft mit hauptsächlich deutschen Zulieferern ist Basis für dieses Experiment.	Untersuchung der äußeren Einflüsse (Essgewohnheiten, Tagesaktivität, Training, psychische und soziale Belastungsfaktoren) auf den Blutdruck einzelner Mitglieder kleiner isolierter Gruppen.	Messung des Knochenstoffwechsels und der Knochenmasse unter eingeschränkter Bewegungsaktivität. Typische Begleiterscheinung bei Langzeit-Raumfahrtmissionen: Verlust an Knochenmasse.	Untersuchung, ob und inwieweit bei Langzeitflügen ins All die Synchronisation der zirkadianen Rhythmen (innerer Rhythmus, Taktung von circa 24 Stunden) der Crewmitglieder beeinträchtigt werden.	Erforschung der Zusammenhänge zwischen Stress und Immunsystem. Ziel: besseres Verständnis dieser Wechselwirkung sowie neue präventive und therapeutische Strategien.
durchführende Organisation, wissenschaftliche Leitung; DLR-Experiment bzw. Förderung durch DLR	Erlangen University, Prof. Titze; gefördert durch DLR Raumfahrt-Agentur	DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Dr. Beck	DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin und Universität Bonn, Dr. Bäcker; letztere gefördert durch DLR Raumfahrt-Agentur	Charité Berlin, Zentrum für Weltraummedizin, Prof. Gunga; gefördert durch DLR Raumfahrt-Agentur	LMU Universität München, Prof. Choukér; gefördert durch DLR Raumfahrt-Agentur

Subject	**1) Long-term salt and fluid balance**	**2) Blood pressure regulation**	**3) Bone metabolism**	**4) The human circadian rhythm under conditions of long-term isolation**	**5) Immune system**
Description	Study of test subjects' salt and fluid balance and its influence on blood pressure regulation. Experiment based on crew diet mainly from German suppliers.	Understand how external factors (dietary habits, these factors include daily activity, physical exercise, psychological and social stress factors) bear on individual members of a small isolated group of subjects.	Measuring bone metabolism and bone mass under conditions of restricted physical movement. Bone loss is a typical side effect of long-term space missions.	The purpose of the study is to see if and to what extent the crew's circadian rhythms (human internal clock, follows roughly a 24-hour cycle) get 'out of synch' on long-term space missions	Understand correlations between stress and the immune system. Target: Get the crucial factor of health maintenance. Get new strategies in prevention and treatment.
Organisation, scientific director; DLR in-house or DLR-funded experiment	Erlangen University, Prof. Titze; funded by DLR Space Agency	DLR Institute of Aerospace Medicine, Dr. Beck	DLR Institute of Aerospace Medicine and Bonn University, Dr. Bäcker; the latter with funding from the DLR Space Agency	Charité Hospital, Berlin, Centre for Space Medicine, Prof. Gunga; funded by DLR Space Agency	LMU University, Munich, Prof. Choukér; funded by DLR Space Agency

Ein großer Schritt für einen Teil der Crew
Ist die Mars-Umlaufbahn erreicht, werden drei Mitglieder der Crew das Landemodul aktivieren und die Trennung vom Mutterschiff sowie die Landung auf dem Mars simulieren. In der 6,3 mal 6,1 Meter engen Landefähre, die im Wesentlichen mit drei Stockbetten, zwei Arbeitsplätzen und einer Kontrollstation ausgerüstet ist, wird die Besatzung für einen Monat Isolation innerhalb der Isolation erleben. Der Kontakt zum Mutterschiff erfolgt dann nur über Funk.

Nach der Landung auf dem Mars sind insgesamt drei Außenbord-Einsätze geplant. Zwei Kosmonauten werden ihre Raumanzüge anziehen und sich in einer Luftschleuse zum Erkundungsgang bereitmachen. Wenn sich die Luke öffnet, geht es Schritt für Schritt über den sandigen Marsboden in die Dunkelheit, die lediglich von LED-Sternbildern erleuchtet wird. Per Funk erfahren dann erst der Pilot des Landemoduls und die Besatzung des Mutterschiffs sowie zwanzig Minuten später auch die Bodenstation von diesem Ereignis.

Dr. Peter Gräf ist Projektleiter für Mars500 in der Abteilung Forschung unter Weltraumbedingungen der DLR Raumfahrt-Agentur.

Michael Müller ist Öffentlichkeitsbeauftragter der DLR-Raumfahrt-Agentur.

A big step for part of the crew
Reaching the orbit of Mars three crew members will simulate the divide of the mother ship concerning the activation of the Mars lander. Penned up in the 6.3 by 6.1 meter cabin of the lander featuring little more than three bunk beds, two workplaces and one control panel, this part of the team will experience one month of "isolation within the isolation". During this period of time the contact between lander and mother ship is only possible by radio communication.

Three outboard missions are planned after the landing on Mars. Two crew members will don their spacesuits and enter the airlock to get ready for an exploration walk. Once the hatch opens they will, step by step, venture out into the dark, walking the sandy soil of Mars with only a few LED stars lighting their path. The rest of the lander crew, the mother ship, and, twenty minutes later, ground control will share this moment by radio.

Dr. Peter Gräf works as the Mars500 project manager in the DLR Space Agency's programme on Research Under Space Conditions.

Michael Müller heads the communications unit at DLR Space Agency .

6) Psychophysiologische Leistungsfähigkeit	**7) Körperliche Fitness durch Vibrationstraining**	**8) Autonome notfallmedizinische Patientenversorgung**	**9) Computerbasiertes Training komplexer Steuerungsaufgaben**	**10) Mikrobiologie und Gesundheit in geschlossenen Systemen**	**11) Gruppendynamische Prozesse**
Auswirkungen sportlicher Aktivität unter Berücksichtigung des Zusammenspiels physiologischer und psychologischer Faktoren. Hypothese: Regelmäßige Ausdauerbelastung verbessert Hirnleistungsfähigkeit und Befindlichkeit.	Dieses Trainingsprogramm testet die Effektivität des Vibrationstrainings für die körperliche Fitness. Der Schwerpunkt der Analyse liegt auf der Untersuchung von Knochen- und Muskelfunktionalität.	Die Mars500-Crew muss autark überleben. Das Team der Universität Mainz testet eine speziell für Langzeitmissionen geeignete Astronauten-Ausbildung für die notfallmedizinische Patientenversorgung.	Dieses Experiment überprüft einen neuen Ansatz zur Vermittlung von Kenntnissen zur manuellen Raumschiffsteuerung. Die Computersoftware „6df" übernimmt die Rolle des Instrukteurs zur Fehleranalyse.	Erfassung mikrobieller Population an Oberflächen und in der Luft der Isolationskammer sowie am Menschen. Ziel: Spezifische Weiterentwicklung von Reinigungs- und Sterilisationsverfahren für Raumfahrzeuge.	Untersuchung psychosozialer Gegebenheiten in gruppendynamischen Prozessen gerade bei Entscheidungsfindung. Messsystem der Firmen Koralewski oHG und SpaceBit GmbH misst Dauer und Distanz des Kontaktes zwischen zwei Crewmitgliedern.
Deutsche Sporthochschule Köln, Dr. Schneider; gefördert durch DLR Raumfahrt-Agentur	Charité Berlin, Zentrum für Weltraummedizin, Dr. Gast; gefördert durch DLR Raumfahrt-Agentur	Universität Mainz, Prof. Mann; gefördert durch DLR Raumfahrt-Agentur	DLR Institut für Weltraumpsychologie, Dr. Johannes	DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Dr. Rettberg	DLR Institut für Weltraumpsychologie, Dr. Johannes

6) Psychophysiological fitness	**7) Physical fitness through vibration exercise**	**8) Autonomous emergency medical care**	**9) E-learning for complex control functions**	**10) Microorganisms and human health in closed systems**	**11) Group-dynamical processes**
Study the effect of physical exercise on the interaction between key physical and psychological factors. Hypothesis: regular endurance exercise of the cardiovascular system helps improve brain performance and emotional state.	A new physical fitness programme testing the effectiveness of vibration exercise. The test is focused on bone and muscle functionality.	The crew of Mars500 must learn to survive self-sufficiently. A research team from Mainz University is testing an astronaut training pattern in emergency patient care specially geared to long-term space missions.	Testing a new approach to learning manual spaceship control, based on a computer software package ('6df') taking over the function of a human instructor, performing fault analysis.	Recording germ counts on surfaces and in the air inside the isolation chamber as well as on human subjects. Target: Supporting the development of specific cleansing and sterilisation methods for space vehicles.	Study psychosocial factors in group-dynamical processes especially with regard to decision-making processes. Measuring system by Koralewski oHG and SpaceBit GmbH should measure the duration and distance of contacts between two crew members.
Deutsche Sporthochschule Köln, Dr. Schneider; funded by DLR Space Agency	Charité Hospital, Berlin, Centre for Space Medicine, Dr. Gast; funded by DLR Space Agency	Mainz University, Prof. Mann; funded by DLR Space Agency	DLR Institute of Space Psychology, Dr. Johannes	DLR Institute of Aerospace Medicine, Dr. Rettberg	DLR Institut of Space Psychology, Dr. Johannes

Botschafter für die Menschheit

Interview mit Dr. Alexander Gerst

1976 ist nicht nur das Jahr, in dem Sigmund Jähn als erster deutscher Astronaut ausgewählt wurde, sondern es ist auch das Geburtsjahr von Dr. Alexander Gerst. Heute ist es für Gerst selbst nur noch ein kleiner Schritt bis ins Weltall: Im Mai 2009 wurde er in das Astronautenkorps der Europäischen Weltraumorganisation ESA in Köln berufen. In unserem Interview spricht der Vulkanologe über Erwartungen an seine erste Mission, die Faszination des Mondes und über seinen Alltag bei der ESA.

Ambassador of Mankind

Interview with Dr. Alexander Gerst

1976 was a year distinguished not only by the selection of Sigmund Jähn as the first German astronaut but also by the birth of Dr. Alexander Gerst. Today, Mr Gerst finds himself only a small step away from space: in May 2009, he was called to the Cologne-based astronaut corps of the European Space Agency (ESA). In our interview, the volcanologist talks about what he expects of his first mission, the fascination of the Moon, and his daily life at ESA.

Dr. Alexander Gerst (r.) besuchte am 2. September 2010 die DLR Raumfahrt-Agentur in Bonn. Programmdirektor Dr. Rolf Densing begrüßte den Astronautenanwärter und bot ihm die volle Unterstützung der Agentur an, 2014 an einer ISS-Mission teilzunehmen.

Alexander Gerst (r.) visited the DLR German Space Agency in Bonn on September 2, 2010. The Space Agency´s programme director Dr. Rolf Densing welcomed the astronaut recruit and offered him support of the agency for the participation on an ISS mission in 2014.

Alexander Gerst nahezu schwerelos auf einem neuartigen Laufband während eines Parabelfluges. (ESA)

During a parabolic flight, Alexander Gerst on a novel treadmill. (ESA)

Herr Dr. Gerst, Sie sind Geophysiker. Warum haben Sie sich für dieses Studium entschieden?
Gerst: Ich war schon immer sehr neugierig, wie vermutlich alle Naturwissenschaftler. Schon als Kind war ich an meiner Umwelt interessiert und wollte wissen, wie Blitze entstehen und was Sterne sind. Diese Neugier hat einfach nie nachgelassen. Endgültig habe ich mich zum Studium der Geophysik in Neuseeland entschlossen, wo ich nach dem Zivildienst als Backpacker unterwegs war: Ich stand allein auf dem Gipfel des Vulkans Ngauruhoe, unter mir waren die Wolken und ich war fasziniert von der Kraft, die hinter diesem Vulkan steckt, der ein paar Jahre zuvor ausgebrochen war. Da habe ich mich entschieden, etwas zu studieren, das damit in Zusammenhang steht. Ich wollte herausfinden, wie so ein Vulkan funktioniert. Die Wahl fiel auf Geophysik, da dies ein breit aufgestelltes Fach ist, in dem unter anderem auch erforscht wird, wie Vulkane entstehen und wie ein Ausbruch frühzeitig vorhergesagt werden kann.

Wie kam es zu Ihrer Bewerbung als Astronaut?
Gerst: Ich kann mich nicht mehr genau erinnern, wann ich zum ersten Mal diesen Wunsch verspürt habe. Es muss wohl zu der Zeit gewesen sein, als ich realisiert habe, dass die Sterne entfernte Welten sind, auf denen noch niemand war. Manche Wissenschaftler denken, dass es mehr Sterne im Universum gibt als Sandkörner auf der Erde. Wenn ich am Strand eine Hand voll Sand nehme, dann habe ich bereits Millionen Sandkörner in der Hand. Wir kennen nur eines davon: unsere Erde, unser Sonnensystem. Ich möchte einen kleinen Teil dazu beitragen, mehr Licht in die Dunkelheit zu bringen. Natürlich wusste ich, dass die statistische Wahrscheinlichkeit, Astronaut zu werden, ziemlich niedrig ist. Deswegen habe ich anfangs nicht wirklich damit gerechnet, dass meine Bewerbung Erfolg haben würde. Was mir aber immer wichtig war, ist, meinen Träumen eine Chance zu geben.

Auf einer meiner Expeditionen in die Antarktis habe ich zufällig die Astronautin Catherine Coleman getroffen. Wir haben uns unterhalten und sie hat mir geraten, mich doch einfach beim Europäischen Astronautenzentrum EAC zu bewerben. Daraufhin habe ich eine Mail mit meiner Bewerbung an das EAC geschickt und die Antwort bekommen, dass im Moment leider keine Bewerbungen für eine spezielle Auswahl laufen. Mir wurde aber mitgeteilt, dass es, wenn das europäische Raumlabor Columbus 2008 an die Internationale Raumstation ISS angedockt ist, wieder Arbeit für Astronauten geben würde. Letztes Jahr war es dann soweit; es gab eine Ausschreibung.

You are a geophysicist: what prompted you to study this subject?
Gerst: I have always been very curious, just the same as any other scientist, I suppose. Since childhood, I have been interested in my surroundings, wanting to know what makes a lightning flash and what the stars are. That curiosity simply stayed with me without abating. I finally decided to study geophysics when I was in New Zealand, where I travelled as a backpacker after my alternative civilian service: standing alone on the summit of the volcano Ngauruhoe, with the clouds below me, I was fascinated by the force powering this volcano which had erupted a few years before. It was then that I decided to study a related subject. I wanted to find out how these volcanoes work. I finally opted for geophysics because it is a far-ranging discipline that includes, among other things, research into how volcanoes originate and how eruptions can be predicted early.

How did you come to apply for the astronaut corps?
Gerst: I do not remember exactly when I found myself wishing that for the first time. It must have been when I realised that the stars are faraway worlds that have not yet been visited by anybody. Some scientists think that there are more stars in the universe than there are grains of sand on Earth. When I scoop up a handful of sand on a beach, I am holding millions of grains. We only know one of these grains: our Earth, our solar system. I like to make a modest contribution towards shedding some more light in this darkness. Of course, I was aware that the statistical probability of becoming an astronaut is quite low. Initially, therefore, I did not really expect my application to be successful. But it has always been important to me to give my dreams a chance.

On one of my expeditions to the Antarctic I chanced to meet the astronaut Catherine Coleman. We got to talking, and she advised me to apply to the European Astronaut Centre (EAC). When I e-mailed my application to the EAC, they replied that unfortunately no applications for a specific selection were being accepted at that moment. However, they also told me that there would be jobs for astronauts once the European space laboratory Columbus had docked on the International Space Station (ISS) in 2008. After that, there was a call for applications in 2009.

How did you prepare for ESA's difficult selection process? After all, you won against 8,413 competitors.
Gerst: For one thing, you cannot really prepare for the selection process. For another, I was then in the midst of preparations for

Wie haben Sie sich auf das schwierige Auswahlverfahren der ESA vorbereitet? Immerhin haben Sie sich gegen 8.413 Konkurrenten durchgesetzt.
Gerst: Zum einen kann man sich auf das Auswahlverfahren nicht richtig vorbereiten. Zum anderen steckte ich gerade mitten in den Vorbereitungen für eine wichtige Expedition zu einem Vulkan auf Vanuatu und saß jede Nacht bis zwei oder drei Uhr morgens im Labor – da blieb immer nur maximal eine halbe Stunde pro Nacht Zeit, um nach Feierabend zu lernen.

Das Training bei der ESA, welches Sie im September 2009 aufgenommen haben, ist in drei Phasen aufgeteilt: Basistraining, fortgeschrittenes Training sowie spezifisches Training für eine Mission. Sie befinden sich noch am Anfang. Wie sieht Ihr Alltag aus und wie wird es in den kommenden Jahren weitergehen?
Gerst: Von einem richtigen Alltag kann man eigentlich nicht sprechen, da die Tage alle sehr unterschiedlich sind. Der erste Monat fand im EAC in Köln statt, wo wir in Grundlagen und technischen Dingen ausgebildet wurden. Wie funktioniert eine Sojus-Kapsel, welche Trägersysteme gibt es und wie funktioniert das Space Shuttle? – im Prinzip ein wenig wie Schulunterricht auf einem hohen Level, da die ESA natürlich Experten aus der ganzen Welt zusammenbringt. Der ehemalige Astronaut Prof. Ernst Messerschmid hat uns beispielsweise über Raumfahrtsysteme unterrichtet.

Den ganzen Oktober und Dezember waren wir an einer Sprachschule und hatten Unterricht in Russisch, sechs Stunden am Tag. Danach standen Hausaufgaben und Unterhaltungen mit russischen Studenten auf der Tagesordnung. Ein sehr intensives Training, da wir die Sprache auch schnell lernen müssen: Im Herbst diesen Jahres findet ein Teil der Grundausbildung im Sternenstädtchen bei Moskau statt. Hier werden wir auf russisch über das Sojus-System informiert Ich komme bisher relativ gut voran. Die Schrift war schnell zu lernen, das Sprechen fällt allerdings noch etwas schwer.

Ihre erste Mission wird Sie frühestens 2014 ins All bringen – wie sehen Ihre Pläne aus, sollte es erst später zu einem Start kommen? Können Sie in der Zwischenzeit weiter wissenschaftlich arbeiten?
Gerst: Wartezeiten sind für Astronauten üblich, da ja nicht immer im Anschluss an die Ausbildung eine Mission zur Verfügung steht. Für die ausgebildeten Astronauten eröffnet sich dann eine Vielzahl von Möglichkeiten: Manche arbeiten mit Ingenieuren zusammen, um beispielsweise Raumfahrtsysteme weiterzuentwickeln. Oder sie werden eingesetzt, um von der Erde aus mit der ISS zu kommunizieren. Dass sich die angehenden Raumfahrer mit den Systemen schon gut auskennen, vereinfacht diese Kommunikation enorm.

Natürlich kann man die Richtung der Tätigkeit auch selber mitbestimmen. Im Vergleich zu früher werden die Astronauten universeller ausgebildet. Wir sind jetzt ein Astronautenkorps, das zum ersten Mal vereint in Köln am EAC stationiert ist, und sind volle Mitarbeiter der ESA. Das bedeutet, dass wir auch für die ESA arbeiten, wenn wir uns nicht auf eine Mission vorbereiten, und natürlich arbeiten wir auch mit den nationalen Raumfahrtagenturen wie dem DLR zusammen.

Gibt es einen Schwerpunkt, an dem Sie am liebsten forschen möchten?
Gerst: Da wir darauf keinen Einfluss haben, bin ich ziemlich offen. Aus meinen Erfahrungen in der Antarktis interessiert mich aber vor allem eine Sache: Wie kann man es schaffen, autark zu leben? Wie kann man in einem Gewächshaus unter widrigen Bedingungen selber alle notwendigen Rohstoffe anbauen? Im Kleinen habe ich das schon auf der McMurdo-Station in der Antarktis gesehen: In einem Gewächshaus von 25 Quadratmetern werden verschiedene Gemüsesorten angebaut. Dies ist noch weit davon entfernt, eine Station versorgen zu können. Aber die Forschung läuft weiter, um der Frage auf den Grund an important expedition to a volcano on Vanuatu, which kept me in my laboratory until two or three o'clock in the morning every night, leaving me with a maximum of half an hour per night for studying after going off work.

ESA's training course, which you began in September 2009, comprises three phases: basic training, advanced training, and training for a specific mission. You are still at the beginning. What is your daily routine like, and what will happen in the years to come?
Gerst: I do not really have a daily routine because all my days are very different. During the first month, we stayed at the EAC in Cologne, where we received background and technical training. How does a Soyuz capsule work, what launcher systems are there, and how does a Space Shuttle work? Basically, it was a bit like school, but at a high level, because ESA gathers experts from all over the world. Thus, for example, we were taught about space systems by Professor Ernst Messerschmid, a former astronaut.

Throughout October and December, we attended a language school to learn Russian – six hours a day. After that, we did our homework and talked with Russian students. It was quite a crash course because we had to learn the language quickly: part of our basic training in this autumn will take place in Star City near Moscow, where we will be informed about the Soyuz system in Russian. So far, I have been getting along relatively well. The alphabet was easy to learn, but I still have some difficulty in talking.

Your first mission will get you into space no earlier than 2014 – what are your plans if your take-off should be delayed? Will you be able to carry on with your scientific work in the meantime?
Gerst: Waiting is part of an astronaut's common practice because a mission is not always available immediately after the end of training. During such times, trained astronauts have a multitude of options to choose from: some collaborate with engineers on advancing the development of space systems, for example. Or they may be employed to communicate with the ISS from Earth: communication is greatly simplified by the fact that future astronauts understand the systems involved quite well.

Of course, you may have a say in defining the nature of your work. Astronaut training today is more universal than it used to be. For the first time, we form a corps of astronauts all stationed at Cologne's EAC, and we work for ESA full time. This means that we remain in the employment of ESA even when we are not preparing for a mission, and of course we also collaborate with national space agencies like DLR.

Is there any particular point of interest on which you would like to focus your research?
Gerst: Since we cannot influence these things, I am quite open-minded. From my experience in the Antarctic, however, there is one question I am extremely interested in: how could one possibly achieve self-sufficiency? How can you cultivate all the substances you need in a greenhouse under averse conditions? On a small scale, I saw that happening at McMurdo Station in the Antarctic, where they grow a variety of vegetables in a 25-square-metre greenhouse. This is a far cry from supplying an entire station, but research continues to explore the question of how plants can grow under extreme conditions. The results of such research would be highly relevant to the Mars mission.

Would a mission to the Moon be particularly interesting to you as a geophysicist?
Gerst: The Moon is very interesting to me. However, it is more to the point that mankind as a whole should again summon the courage to tackle such a grand project. Unfortunately, the next crewed mission has not yet been defined precisely. From a scientific point of view, I am thrilled by the degree to which

Im European Astronat Centre (EAC) auf dem Gelände des DLR in Köln trainiert der ESA-Astronautenanwärter Alexander Gerst für seinen ersten Weltraumspaziergang im Trainingsbecken. (ESA)

In the European Astronaut Centre's (EAC) training pool on the DLR premises in Cologne, the ESA astronaut recruit Alexander Gerst is rehearsing his first spacewalk. (ESA)

zu gehen, wie Pflanzen unter extremen Bedingungen wachsen können. Ergebnisse aus derartiger Forschung hätten eine hohe Relevanz unter anderem für die Marsmission.

Wäre eine Mission zum Mond für Sie als Geophysiker besonders interessant?
Gerst: Der Mond interessiert mich sehr. Es geht allerdings eher darum, dass wir als Menschheit wieder den Mut fassen, ein solch großartiges Projekt anzugehen. Leider ist die nächste bemannte Mission noch nicht genau definiert. Wissenschaftlich gesehen finde ich es sehr spannend, wie unerforscht der Mond noch ist. Von der Fläche her ist er vier Mal so groß wie Europa. Die Astronauten waren bis jetzt an sechs verschiedenen Orten und haben im Umkreis von ein paar Kilometern Bodenproben entnommen. Das ist im Vergleich zur Gesamtfläche noch sehr wenig. Eine gängige wissenschaftliche Theorie besagt, dass der Mond aus der Erde heraus entstanden und damit ein Teil von uns selbst ist. Wir können hier sehr viel über die Vergangenheit und damit immer auch über die Zukunft der Erde lernen.

Und was würde Sie an einer Mission zur ISS reizen?
Gerst: Zum Einen interessiert mich als Wissenschaftler natürlich die neuen Möglichkeiten zur Forschung. Auf der anderen Seite die gesellschaftliche Relevanz: Den Planeten zu verlassen und so einen anderen Blick auf die Erde zu bekommen, ist nur wenigen Menschen möglich. Astronauten sind damit auch Botschafter für den Rest der Menschheit. Sie können die veränderte Perspektive einfangen und davon erzählen. Diese Perspektive hat mir oft gefehlt, wenn ich hier auf der Erde im Alltagsstress bin und vergesse, wie wertvoll die Erde eigentlich ist. Bilder der Astronauten bringen mir diesen veränderten Blickwinkel näher. Dies soll deutlich machen, wie unsinnig es ist, sich zu bekämpfen oder Ressourcen zu zerstören.

Also haben Sie auch einen sozialen Auftrag?
Gerst: Auf jeden Fall. Dies ist auch im politischen Sinne sehr wichtig: Wenn wir als Europa eine Teilnahme an einem Projekt wie der ISS oder den Bau des neuen europäischen Raumtransporters ATV erfolgreich bewältigen, wird deutlich, dass eine großartige Zusammenarbeit möglich ist. Die ISS ist von Individuen aus vielen verschiedenen Ländern gebaut worden – so ein Projekt schweißt zusammen und fördert eine Atmosphäre der Einheit.

Das Interview führte Lena Fuhrmann, Volontärin des DLR im Bereich Kommunikation.

the Moon has remained unexplored to this day. Its area is four times as large as that of Europe. So far, astronauts have been to six different places where they took soil samples within a radius of a few kilometres. Compared to the total surface of the Moon, this is very little. One current scientific theory says that the Moon was originally part of the Earth and thus a part of ourselves. It can teach us a great deal about the past and, by the same token, about the future of our planet.

And what would intrigue you about a mission to the ISS?
Gerst: For me as a scientist, what comes first is naturally the new research opportunities it offers. Then again, there is societal relevance: leaving the planet to view Earth from another perspective is an option that is open only to a few. Consequently, astronauts are ambassadors of mankind inasmuch as they are able to absorb this different perspective and tell about it. I often miss this perspective when, stressed out by my day-to-day business here on Earth, I forget how valuable our planet really is. Photos taken by astronauts put me in touch with this changed perspective. They show us how insane it is to fight each other or to destroy our resources.

So you do have a social mission as well?
Gerst: Yes, indeed. This is also very important from a political viewpoint: our ability as Europeans to cope successfully with participating in a project like the ISS, or to construct the new European space vehicle, the ATV, demonstrates that it is possible to cooperate on a grand scale. The ISS was built by individuals from many different countries; a project like that forges links between people and promotes an atmosphere of unity.

The interview was conducted by Lena Fuhrmann, a cub reporter of DLR's communications division.

Faszination in der Dritten Dimension: Das 3D-Höhenmodell war eine Attraktion für Groß und Klein auf der ILA.

The Third Dimension of fascination: Young and grown-up ILA-visitors attracted by the 3D elevation model.

Großer ILA-Auftritt

DLR präsentiert Raumfahrttechnik für morgen

Von Michael Müller

Die diesjährige Internationale Luft- und Raumfahrtausstellung (ILA) hat bei ihrem 100-jährigen-Jubiläum in vielerlei Hinsicht neue Maßstäbe gesetzt. 1.153 Aussteller aus 47 Ländern präsentierten sich vom 8. bis zum 13. Juni am Flughafen Berlin-Schönefeld. Gegenüber 2008 bedeutet dies ein Plus von 26 Ausstellern und zehn Ländern. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) unterstrich mit seinem ILA-Auftritt die Rolle einer führenden Institution für Spitzenforschung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit. Am 600 Quadratmeter großen DLR-Forschungs- und Entwicklungsstand, dem Stand des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), in der Raumfahrt-Halle sowie an der komplett versammelten DLR-Flugzeugflotte stellten Experten eigene und von der DLR Raumfahrt-Agentur geförderte Zukunftstechnologien vor.

Big Appearance at ILA

DLR presents Space Technology for Tomorrow

By Michael Müller

Marking its 100th anniversary, this year's International Aerospace Exhibition ILA has set a new benchmark in more than one way. It recorded 1,153 exhibitors from 47 countries presenting themselves between June 8 and 13 at Berlin's Schönefeld Airport, beating 2008 numbers by 26 exhibitors and ten countries. The contribution of the Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) once again underscored its leading role among institutions of advanced research in the areas of aeronautics, spaceflight, energy, transport and security. Experts demonstrated DLR's own cutting-edge technologies as well as recent third-party developments sponsored by the DLR Space Agency, with presentations taking place at DLR's own 600 square metre research and development booth, the stand of the Federal Ministry of Economics and Technology, the space pavilion as well as the outdoor static display where DLR's aircraft fleet was fully assembled.

Politik reicht Wissenschaft die Hand: Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel traf bei ihrem ILA-Rundgang in Begleitung von DLR Vorstand Prof. Johann-Dietrich Wörner (l.) und Bundeswirtschaftsminister Rainer Brüderle (r.) auf den humanoiden Robot-Oberkörper SpaceJustin.

Politics and science shaking hands: Federal chancellor Dr. Angela Merkel, accompanied by the chairman of the DLR management board, Professor Johann-Dietrich Wörner (l.), and the Minister of Economics and Technology, Rainer Brüderle (r.), met the upper-torso humanoid robot SpaceJustin during her ILA tour.

Bundeskanzlerin trifft DLR-Weltraum-Roboter
Bei ihrem Eröffnungsrundgang am ersten Messetag besichtigte Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel trotz ihres dicht gedrängten Terminkalenders die Raumfahrthalle. Das DLR, die Europäische Raumfahrtorganisation ESA, der Bund der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI) sowie die in ihm zusammengeschlossen Firmen hatten diese Ausstellung gemeinsam unter dem Motto „Space for Earth" gestaltet. Die Bundesregierung weist der Robotik eine Schlüsselrolle innerhalb der Zukunftstechnologien zu und fördert sie dementsprechend. Begleitet vom DLR-Vorstandsvorsitzenden Professor Johann-Dietrich Wörner ließ sich die Bundeskanzlerin das „Kronjuwel" des DLR-Robotik und Mechatronik Zentrums (RMC) erläutern, den humanoiden Robot-Oberkörper SpaceJustin. Das weltweit anerkannte RMC in Oberpfaffenhoven soll, nach Vertragsunterschrift auf der ILA, künftig auch der ESA als Referenzlabor dienen.

Zentrale Rolle für die Erdbeobachtung
Das Herz der Raumfahrthalle bestand aus einem in weiß gehaltenen Höhenmodell des Mittelrheins etwa auf Höhe des Loreley-Felsens. Von oben wurden in regelmäßiger Folge verschiedene Szenarien, zum Beispiel eine Überschwemmung und eine darauf folgende Gesteins- oder Schlammlawine, auf das Höhenmodell projiziert. Für die Besucher war klar ersichtlich: Erdbeobachtung aus dem All hilft nicht nur dabei, das Ausmaß einer Naturkatastrophe einzuschätzen, sondern auch Rettungskräften unversehrte Wege in das Einsatzgebiet zu zeigen. Dies ist ein wichtiger Grund, weshalb das DLR und die Astrium GmbH mit TanDEM-X am 21. Juni einen Radarsatelliten der neuesten Generation ins All schickten. Im Formationsflug mit seinem „Zwilling" TerraSAR-X erstellt er in den kommenden Jahren ein lückenloses, hochgenaues digitales Geländemodell der gesamten Landoberfläche der Erde (siehe Titelthema COUNTDOWN 12). Mit noch nicht vollständig in Betrieb genommenen Instrumenten produzierte er bereits in Rekordzeit von drei Tagen und 14 Stunden nach dem Start erste Aufnahmen von hervorragender Qualität.

Chancellor meets DLR space robot
On her opening-day tour, chancellor Dr. Angela Merkel, busy government schedule notwithstanding, took out time at mid-day to get a personal impression of the space pavilion. That part of the exhibition had been jointly compiled by DLR, the European Space Agency ESA, the German Aerospace Industry Federation (BDLI) and its affiliated companies, under the headline 'Space for Earth'. The federal government sets great store by robotics as a key technology for the future and has been supporting the sector with generous research grants. Accompanied by the chairman of DLR's management board, professor Johann-Dietrich Wörner, the Federal Chancellor was given a first-hand demonstration of SpaceJustin, an upper-torso humanoid robot and the 'crown jewel' of DLR's Robotics and Mechatronics Centre, RMC in Ober-pfaffenhofen, which has come to gain international recognition. Following an agreement, signed at ILA, it will in future serve ESA as a reference lab.

Earth observation, a vital activity
The centrepiece of the space pavilion was a white elevation model of the middle section of the River Rhine, prominently featuring the Loreley Rock. From above, a number of scenarios were projected on to the elevation model in a continuous animation sequence, showing a flood followed by an avalanche, and similar events. What was plain to see for all visitors: Earth observation is instrumental not only in estimating the actual size of a disaster but also in guiding rescue teams to safe access paths into the operation area. This was an important reason for DLR and Astrium GmbH to launch TanDEM-X, a radar satellite of the most recent generation, into orbit on June 21. In a formation flight with its twin, TerraSAR-X, it will over the next few years deliver a comprehensive, high-precision digital elevation model of the complete surface of the Earth (see also the cover story of COUNTDOWN 12). Within a record time of three days and 14 hours from launch, and with instruments not even working at full capacity yet, it has begun to produce images of unprecedented quality.

Der Leiter der russischen Raumfahrtagentur Roskosmos, General Anatoli N. Perminov, der DLR-Vorstandsvorsitzender, Professor Johann-Dietrich Wörner und der Projektdirektor der DLR Raumfahrt-Agentur, Christoph Hohage (v. l.), nach Vertragsunterzeichnung.

The chairman of the Russion Space Agency Roskosmos, General Anatoli N. Perminov, the DLR chairman, Johann-Dietrich Wörner and the project director of the German Space Agency, Christoph Hohage (l. to r.), after signing the new skeleton agreement.

Auch für die Kleinen hatte der DLR-Stand auf der ILA viele Attraktionen zu bieten. Zwei Kinder faszinierte ein Modell des Advanced Low Noise Aircraft (ALNA), ein Modell eines extrem leisen Flugzeugs.

A lot of attraction for the little ones was presented at ILA. Two kids are fascinated a model of the Advanced Low Noise Aircraft (ALNA), a model fo a future aircraft which is extremely quiet.

Der Mars ist nicht nur für Wissenschaftler interessant. Auf der ILA zog die künstliche Marsoberfläche viele Besucher in ihren Bann.

Not only for scientists, Mars is an interesting planet. At ILA, the artificial Mars surface captivated many visitors.

DLR stärkt Kooperation mir Russland und den USA
Anlässlich der ILA schlossen die deutsche und russische Raumfahrt-Agentur ein Rahmenabkommen über den Mitflug deutscher Experimente auf den russischen Forschungssatelliten FOTON-M4 (materialwissenschaftliche Experimente, Start 2013) und BION-M1 (biologische Experimente, Start 2012). Dies sind die weltweit einzigen Satelliten, die speziell der wissenschaftlichen Forschung in annähernder Schwerelosigkeit (0,0001 g) dienen. Einer der materialwissenschaftlichen Schwerpunkte bei FOTON wird die Optimierung von Halbleiterkristallzüchtungen sein, die dazu dient, vergleichbare Verfahren auf der Erde zu verbessern. Im Bereich der biologischen Grundlagenforschung wollen Wissenschaftler gravitations- und entwicklungsbiologische Untersuchungen an Einzellern, Schnecken und Fischen durchführen. Das Übereinkommen zwischen DLR und Roskosmos setzt eine über zwanzigjährige, erfolgreiche bilaterale Kooperation fort.

Auch die Partnerschaft des DLR mit der US-Weltraumorganisation NASA wurde in Berlin ein Stück vorangebracht: Beide Seiten unterzeichneten einen Vertrag zur Verlängerung der Schwerefeld-Mission GRACE bis zum Jahr 2015. Die zwei GRACE-Kleinsatelliten kreisen seit 2002 im Abstand von 220 Kilometern um die Erde und erstellen ein hochexaktes Modell des Gravitationsfeldes unseres Planeten. Lokale Veränderungen der Erdanziehungskraft, bedingt durch unterschiedliche Masse und Massebewegung, können durch GRACE detailgetreu dargestellt werden – bis zu einhundert Mal genauer als bislang existierende Karten. Zahlreiche Ozeanographen, Hydrologen, Glaziologen und Klimaexperten nutzen GRACE-Daten für ihre Arbeit.

DLR forces Russian and US-Amrican cooperation
At ILA, an agreement was signed by the German and Russian space agencies permitting German scientific experiments to fly on Russia's research satellites FOTON-M4 (experiments in materials science, launch 2013) and BION-M1 (experiments in biology, launch 2012). These are the only satellites worldwide dedicated exclusively to research under microgravity conditions (0.0001 g). One of FOTON's key scientific assignments will be to study improved methods of growing semiconductor crystals in space to enhance current production methods on Earth. Basic biological studies will include experiments in developmental and gravitational biology performed on single-cell organisms, slugs and fish. The agreement between DLR and Roskosmos marks the continuation of a twenty-year history of successful bilateral cooperation.

Progress was also achieved in DLR's partnership with the US space agency, NASA. In Berlin, the two parties signed an agreement to extend their gravity field mission GRACE to the year 2015. Since 2002, the two small GRACE satellites have been orbiting the Earth at a distance of 220 kilometres, creating a high-precision model of the planet's gravity field. GRACE is able to record local gravity variations caused by differences in mass and mass movements in unprecedented detail – i.e up to one hundred times more accurately than existing maps. GRACE data support countless oceanographers, hydrologists, glaciologists and climate researchers in their work.

Ein Wiedersehen in Berlin 2012
235.000 Fach- und Privatbesucher an sechs Messetagen zeigten einmal mehr die Bedeutung der ILA als europäische Leitmesse für Luft- und Raumfahrt. Im Vorfeld war über eine Verlagerung nachgedacht worden. Leipzig/Halle, Köln/Bonn und Hannover standen als alternative Messeplätze zur Diskussion. Nun zieht die ILA tatsächlich um, allerdings nur wenige Kilometer: Die nächste Luft- und Raumfahrtmesse findet vom 19. bis zum 24. Juni 2012 im Rahmen der Fertigstellung des neuen Berliner Großflughafens Berlin Brandenburg International (BBI) im Schönefelder Ortsteil Selchow statt.

Michael Müller ist Öffentlichkeitsbeauftragter der DLR-Raumfahrt-Agentur.

Back in Berlin 2012
235,000 visitors, professional and private, attended ILA during its six days, which once again demonstrates the show's importance as Europe's leading trade fair of the aerospace sector. In its early run-up it had been suggested to move the entire event elsewhere, with Leipzig/Halle, Cologne/Bonn and Hanover being the alternative locations discussed. As things stand now, ILA will indeed move, but only by a few kilometres. The next aerospace show will be held from June 19 to 24, 2012, on the premises of Berlin's new international airport Berlin Brandenburg International (BBI) at Schönefeld's district of Selchow.

Michael Müller heads the communications unit at DLR Space Agency.

Blick in den gemeinsamen ILA Space Pavillion von DLR, ESA und der deutschen Raumfahrtindustriew.

View into the common ILA space pavillion presented by DLR, ESA and the German space industry.

Eine Solarpanele des Solar Max Satelliten wurde von Weltraumschrott getroffen. Einheitliche internationale Normen können helfen, solche Kollisionen in Zukunft zu vermeiden. (NASA)

One solar panel of the Solar Max satellite was hit by space debris. Unitary international standards could help to avoid those collisions in the future. (NASA)

Das Chaos bekämpfen

Wie Normung die Raumfahrt harmonisierte

Von Dr.-Ing. Andreas K. Jain und Benjamin Gentz

Normen vereinfachen den Alltag, sparen Zeit und Geld – auch in der Raumfahrt. Ein Prozent des deutschen Bruttoinlandsproduktes lässt sich jährlich insgesamt über Standardisierungen einsparen. Der volkswirtschaftliche Nutzen beläuft sich auf rund 15,9 Milliarden Euro pro Jahr. Dennoch weiß man in der Öffentlichkeit nicht viel über Normen und deren Entstehung. In Deutschland sind circa 200 Experten an der Erarbeitung und Pflege von rund 6000 nationalen, europäischen und internationalen Normen im Bereich Luft- und Raumfahrt beteiligt. Die Normungsfachabteilung des DLR ist in der Raumfahrt eine treibende Kraft im Standardisierungsprozess auf nationaler, europäischer wie auch auf internationaler Ebene.

Fighting the Chaos

How Standardisation harmonised Astronautics

By Dr.-Ing. Andreas K. Jain and Benjamin Gentz

Standards simplify life, saving time and money – even in astronautics. Every year, standardisation helps Germany to save a sum equivalent to one percent of its gross domestic product. Its benefit to the national economy is worth around 15.9 billion euros per year. Yet the general public does not know much about standards and how they come about. In Germany, some 200 experts are involved in formulating and updating about 6,000 national, European, and international standards applying to the aerospace sector. In astronautics, DLR's standards department is one of the driving forces behind standardisation at the national, European, and international level.

Bei europäischen und internationalen Raumfahrtkooperationen stehen Unternehmen, wissenschaftliche Einrichtungen sowie die DLR Raumfahrt-Agentur und DLR-Forschungsinstitute immer wieder vor neuen Herausforderungen: Sie müssen sich auf gemeinsame Anforderungen, Schnittstellen und Methoden einigen. Die DLR-Normungsabteilung arbeitet daran, diese Ansätze zu harmonisieren, die Duplizierung von Standardanforderungen zu vermeiden und die deutschen Anforderungen und das eigene Know-how sowohl in die europäische als auch internationale Standardentwicklung einzubringen.

Internationale Zusammenarbeit

Von der Idee bis zum Standard ist es manchmal ein langer, bürokratischer Weg. Arbeitsentwürfe müssen zwischen zahlreichen Institutionen und Abteilungen vieler Länder hin- und hergeschickt, kommentiert und bewertet werden. Das DLR übernimmt als Schnittstelle zum Deutschen Institut für Normung (DIN) für die Raumfahrt die Aufgabe der nationalen Harmonisierung.

Bis zur Veröffentlichung eines Standards kann es mehrere solcher Kommentierungs- und Überarbeitungsstufen geben (siehe Abbildung auf Seite 39). Abschließend muss ein hoher Grad an Konsens herrschen, der auf internationaler Ebene schwerer als auf europäischer oder nationaler Ebene zu erzielen ist. Daher ist die Zeitspanne zwischen Idee und Norm auch unterschiedlich groß: Zwischen sechs Wochen und zehn Jahre dauern Standardisierungsprozesse. Doch vom Ergebnis profitieren die Länder, die an den Standards mitgearbeitet haben und die dort ansässige Industrie, weil sie zur Verständigung und zur Wirtschaftlichkeit beitragen und Prozesse erleichtern.

Um die Normierung auf europäischer Ebene zu vereinheitlichen, wurde der Europäische Standardisierungsverband ECSS (European Cooperation of Space Standardization) gegründet. Das DLR hat sich verpflichtet, gemeinsame ECSS-Raumfahrtstandards zu erarbeiten und diese bei europäischen Projekten und Vorhaben anzuwenden. Im Rahmen multinationaler Raumfahrtmissionen werden aber international anerkannte Normen in Zukunft eine maßgebliche Rolle spielen. Das DLR engagiert sich deshalb in der Internationalen Standardisierungsorganisation ISO bei der Globalisierung bereits europäisch abgestimmter Normen.

Für die Raumfahrt ist bei der ISO das technische Komitee „Aircraft and Space Vehicles" zuständig. Hier standardisieren zwei Unterkomitees die Raumfahrtaktivitäten: Das „Space Data and Information Transfer Systems" (ISO TC20 SC13) kümmert sich vornehmlich um Datenübertragungsstandards wie zum Beispiel die vereinheitlichte Definition der Kommunikation zwischen Satelliten und Bodenstationen. Dabei werden im Wesentlichen die globalen Empfehlungen der Organisation „Consultative Committee for Space Data Systems" (CCSDS) als ISO-Standards übernommen.

Collaborative European and international spaceflight missions present ever new challenges to companies and scientific institutions as well as to the DLR Space Agency and DLR research institutes, because everyone involved has to agree on common requirements, interfaces, and methods. It is the task of the DLR's standardisation department to harmonise these approaches, avoid the duplication of standard requirements, and introduce German requirements and know-how in the development of European and international standards.

International cooperation

Sometimes, the path from an idea to a standard is long and bureaucratic. Working drafts have to be sent back and forth between numerous institutions and departments in many countries to be commented and evaluated. Acting as the interface with the German Institute for Standardisation (DIN) in the field of astronautics, DLR harmonises any such comments at national level.

A standard may have to go through several comment and revision phases before it is published (see figure on page 39). At the end, consensus must have reached a high level which is more difficult to attain on the international than on the European or national plane. This is why the time that elapses between an idea and the publication of a standard varies between six weeks and ten years. However, this lengthy process is to the benefit of the countries that cooperate on developing a standard, and their industries benefit as well because standards help to simplify processes and increase their economic efficiency.

To harmonise standardisation at the European level, the European Cooperation of Space Standardisation (ECSS) was founded. In that context, DLR undertook to develop common ECSS standards and apply them to European projects. In multinational space missions, however, internationally recognised standards will play a key role in the future. This is why DLR promotes the globalisation of previously harmonised European standards with the International Standardisation Organisation (ISO).

Within ISO, the body in charge of astronautics is the Technical Committee on Aircraft and Space Vehicles. Two of its subcommittees are engaged in standardising space activities, of which the subcommittee on space data and information transfer systems (ISO TC20 SC13) is mainly concerned with data communication standards, including the communication between satellites and ground stations. Essentially, related ISO standards reflect the global recommendations made by the Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS).

Im Subkomitee „Space Systems and Operations" TC20 SC14 der ISO widmen sich Vertreter aus elf Ländern in Arbeitsfeldern der Standardisierung von

1. Entwurf, Konstruktion und Herstellung
2. Schnittstellen Zwischen Nutzlast und Rakete beziehungsweise Bodensystemen
3. System- und Nutzlastintegration und Test
4. Betrieb und Unterstützung durch Bodensysteme
5. Natürliche und künstliche Weltraumumgebung
6. Projekt- und Qualitätsmanagement
7. Werkstoffe und Materialbearbeitungsprozesse
8. Vermeidung von Weltraummüll

On the Subcommittee 'Space Systems and Operations' TC20 SC14 of ISO, representatives of eleven countries working in fields address the standardisation of

1. Design, engineering and production
2. Interfaces (between payloads and rockets and/or ground systems)
3. Integration and testing (system and payload integration)
4. Operations and ground support
5. Space environment (natural and artificial)
6. Programme and quality management
7. Materials and processes
8. Space debris

Normen vermeiden Weltraumschrott
Ein aktuelles Beispiel für die Zusammenarbeit ist die Erstellung eines internationalen Standards zur Vermeidung von Weltraummüll. Um Kollisionen im Weltraum zu verhindern, muss zum Beispiel erreicht werden, dass die Separierung eines Satelliten von seiner Rakete nahezu rückstandsfrei abläuft. Wenn Bolzen abgesprengt werden, bewegen sich diese Trümmer unkoordiniert im Raum. So können sie Schäden an anderen orbitalen Systemen verursachen. Nun geht es darum einen Mechanismus zu finden, der möglichst wenig Teile freisetzt. Diese Anforderung soll dann in einem Standard definiert werden.

Aus diesem Grund erarbeiteten die nationalen Raumfahrtagenturen Europas eine Empfehlung zur Vermeidung von Weltraummüll, die ursprünglich als ECSS-Standard veröffentlicht werden sollte. Da aber zeitgleich Aktivitäten bei ISO und den Vereinten Nationen (UN) diskutiert wurden, entschloss sich ECSS, ihren Vorschlag im ISO einzubringen und mit einer europäischen Arbeitsgruppe zu betreuen. Im Zuge dieser internationalen Zusammenarbeit ist ein Hauptstandard (ISO 24113) mit Anforderungen zur Vermeidung von Weltraummüll entstanden. Zahlreiche untergeordneten Standards beschreiben, wie diese Anforderungen umzusetzen sind. Diese Standards werden von den Fachexperten der verschiedenen ISO-Arbeitsgruppen im Subkomitee SC14 des ISO TC20 bearbeitet (siehe Abbildung auf Seite 39).

Transfer von Forschungsergebnissen
Die Vorteile von Normierung hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) erkannt. Eine Studie belegte kürzlich, dass jährlich circa ein Prozent des Bruttosozialprodukts durch Normierung eingespart werden kann. Um dieses Potenzial noch zu erhöhen, sollen neue Technologien schon im Entwicklungsprozess standardisiert werden. Dazu hat das BMWi eine Arbeitsgruppe gegründet, die ein normungspolitisches Konzept der Bundesregierung unter Berücksichtigung der Forschung erstellt hat. Das Konzept wurde unter Mitarbeit des DLR im Rahmen der deutschen Normungsstrategie im Herbst 2009 veröffentlicht.

Das DLR hat dem BMWi aktuell folgende Normungsthemen vorgeschlagen (Auswahl):

- Erweiterung der Up- und Downlink-Datenstrukturen im Raumfahrtbereich um sicherheitsrelevante Information
- Identifizierung des zukünftigen Standardisierungs- und Forschungsbedarfs für das paneuropäische S-Band Mobile Satellite Services-System
- Erstellung eines standardisierten Verfahrens für einen simultanen Systementwurfsansatz (Concurrent Engineering Approach) für nationale, europäische und internationale Raumfahrtprojekte
- Erweiterung der digitalen Sprachkommunikation für Bodensegmente bemannter und unbemannter Raumfahrt
- Optische Kommunikationstechnologien für Datendownlinks von niedrigfliegenden Erderkundungssatelliten (Optical communication technologies for data downlink from LEO satellites)
- Verifizierung der Raumfahrtzeug-Überwachungs und -kontrollstandards (Spacecraft Monitoring & Control Standards) durch Prototypen

Hierbei wurde der Forschungsbereich direkt angesprochen. Das DLR hat hier als einzige wissenschaftliche Institution mit einer eigenen Normungsabteilung eine Vorreiterrolle inne. Die Abteilung geht auf die Institute und Einrichtungen des DLR zu und stimmt mit den jeweiligen DLR-Wissenschaftlern und den Normungsorganisationen ab, welche Innovationen standardisiert werden können. Der Wissenschaftler übt somit indirekt Einfluss auf den Normierungsprozess bei den Organisationen wie DIN, CEN, ISO und ECSS aus, wo die Vorschläge von den Fachexperten für eine nationale, europäische oder internationale Anwendung weiterentwickelt werden.

Standards to avoid space debris
One current example of cooperation is the development of an international standard to avoid space debris. To avoid collisions in space, we need to make sure, for example, that the remnants left behind when a satellite separates from its rocket are minimised. If bolts are blown off, their fragments will move through space without coordination and may potentially damage other orbital systems. The point now is to develop an approach or a mechanism that releases as few fragments as possible. Related requirements are to be defined in a standard.

For this purpose, Europe's national space agencies developed a recommendation on avoiding space debris that was originally supposed to be published as an ECSS standard. However, as similar activities were being discussed by the ISO and the United Nations (UN), the ECSS decided to submit its proposal to ISO and to support this activity by a European working group. This international collaboration produced a main standard (ISO 24113) containing requirements on the avoidance of space debris. Numerous subordinate standards describe how these requirements are to be implemented. These standards are being developed by the experts of the various ISO working groups in the ISO TC20 SC 14 subcommittee (see digure on page 39).

Transfer of research findings
The Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi) is similarly aware of the advantages of standardisation. A study found that the savings that can be realised through standardisation amount to circa one percent of the gross national product every year. To improve this potential even further, there are plans to standardise new technologies even while they are being developed. To this end, the BMWi convened a working group to develop, on behalf of the government, a political concept for standardisation which also covers research. The concept, in which DLR was involved, was published in the autumn of 2009.

Among others, DLR proposed to the BMWi the following standardisation projects (selection):

- Extending uplink and downlink data structures for space systems by security-relevant information
- Identifying the future need for standardisation and research for the pan-European S-band mobile satellite services system
- Developing a concurrent-engineering approach for national, European, and international space projects
- Extending the scope of digital voice communication for the ground segments of manned and unmanned space missions
- Optical communication technologies for data downlinks from Low-Earth Orbit (LEO) satellites
- Verifying spacecraft monitoring and control standards with a prototype

When this concept was published as part of Germany's standardisation strategies, the research sector was addressed directly. Being the only scientific institution with a standardisation department of its own, DLR plays a pioneering role in this context. The department approaches DLR's institutes and facilities directly in order to reach an agreement on what innovations may be standardised with the DLR scientists and standardisation organisations concerned. Thus, DLR scientists indirectly influence the standardisation processes of organisations like DIN, CEN, ISO, and ECSS, where proposals are developed by experts for national, European, or international application.

Organigramm der Arbeitsgruppe Weltraumschrott der ISO

Organisation chart of the Orbital Debris Coordination Working Group of ISO

DieArbeitsgruppe Weltraumschrott (TC20/SC14 ODCWG) ist im Rahmen der ISO für die Erarbeitung internationaler Standards zur Vermeidung von Weltraumschrott zuständig.

The Debris Coordination Working Group (ISO TC20/SC14 ODCWG) in line with ISO is responsible for the drafting of international standards to avoid orbital debris.

Im Laufe der letzten Jahre entstand so in Zusammenarbeit von DLR und Industrie ein ISO-Entwurf zur „Technologiereifegradbewertung" oder eine DIN-Spezifikation zur „Vibrationstestung mit Methoden der limitierten Kraftbegrenzung". Für das Projektjahr 2010 bis 2011 sind weitere Projektskizzen von den DLR-Instituten und -Einrichtungen eingereicht worden, die darauf abzielen, DLR-Forschungsergebnisse in verfügbare Standards zu transferieren und anwendbar zu machen.

Dr.-Ing. Andreas K. Jain leitet die Abteilung Normung und EEE-Bauteile des DLR, Hauptabteilung Qualitäts- und Produktsicherung.

Benjamin Gentz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Normung und EEE-Bauteile des DLR, Hauptabteilung Qualitäts- und Produktsicherung.

Thus, in the course of the last few years, DLR and industry have collaborated on developing an ISO draft on technology maturity assessment as well as a DIN specification on force-limited vibration testing (FLVT) with methods involving force limitation. For the project year 2010/2011, DLR institutes and facilities have submitted further project outlines that aim at transferring DLR research results and facilitate their application through available standards.

Dr.-Ing. Andreas K. Jain heads the standardisation and EEE components department of the DLR Quality and Product Assurance division.

Benjamin Gentz is a scientific assistant with the standardisation and EEE components department of the DLR Quality and Product Assurance division.

Verlauf eines nationalen/internationalen Normungsprozesses

Flowchart of a national/international standardisation process

Die „Garnrollen-Struktur" schützte Helios vor Überhitzung (MBB)

Its 'thread reel-like' structure protected Helios from overheating (MBB).

Deutsche Raumfahrt-Missionen

Teil 2: Helios – Aufbruch zur Sonne

Von Dr. Niklas Reinke

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

German Space Missions

Part 2: Helios – Setting out for the Sun

By Dr. Niklas Reinke

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

1. US-Präsident Lyndon B. Johnson (r.) begrüßte Bundeskanzler Ludwig Erhard bei seiner Ankunft im weißen Haus (UPI/dpa);
2. Helios vor dem Start mit einer Titan-Centaur-Rakete (NASA);
3. Über einen Prototypen der Helios-Raumsonde wird die Nutzlastverkleidung gestülpt (NASA)

1. US-President Lyndon B. Johnson (r.) welcomed Federal Chancellor Ludwig Erhard at his arrival at the White House (UPI/dpa);
2. Helios before launch on a Titan Centaur rocket (NASA);
3. A prototype of the Helios space probe being covered with a payload fairing (NASA)

Mit dem Start von Azur war der deutschen Raumfahrttechnik 1969 ihr Gesellenstück gelungen (siehe COUNTDOWN 12). Im gleichen Jahr – am 10. Juni – sollte mit der Unterzeichnung des Memorandum of Understanding für die technologisch anspruchsvolleren Missionen Helios-A und Helios-B die Meisterprüfung folgen – die einzigen Raumsonden, welche die Bundesrepublik je alleine gebaut hat. Gleichzeitig waren sie die ersten Deep Space Sonden, die nicht von den USA oder der UdSSR gebaut wurden. Doch bevor das Memorandum realisiert wurde und die Erforschung des interplanetaren Raums zwischen Sonne und Erde in Angriff genommen werden konnte, war noch ein weiter Weg zu gehen. Zwar war die Bundesrepublik mit Azur im exklusiven Klub der Raumfahrt-Nationen angekommen. Allerdings hatte man dadurch insbesondere in den USA hohe Erwartungen und den Wunsch nach enger Kooperation geweckt. Denn Raumfahrt hatte sich als ein wichtiges Aktionsfeld im Systemstreit zwischen Ost und West etabliert. Die Systemmächte USA und UdSSR verstanden es, das Potenzial ihrer Partnerstaaten durch deren gezielte Einbindung zu nutzen. Raumfahrt war zum Synonym für die Leistungsfähigkeit einer Gesellschaft geworden.

Raumfahrt-Diplomatie
Bereits bei Azur hatte die Bundesrepublik eng mit den USA zusammengearbeitet. Insbesondere auf industrieller Seite waren erste Kontakte geknüpft worden. Auch die Wissenschaft sah Potenzial in der Ausweitung der Beziehungen. Eine große Forschungsmission könnte nur gemeinsam mit den USA realisiert werden. Dennoch arbeitete man weiterhin am Aufbau eines europäischen Verbundes in der Raumfahrt. Ein ausgewogener „Spagat" zwischen europäischer und transatlantischer Kooperation war das generelle Credo in der Bundeshauptstadt Bonn.

German space technology passed its – figuratively speaking – O-levels when Azur was launched in 1969 (see COUNTDOWN 12). The A-levels were to follow when the Memorandum of Understanding (MoU) on the technologically more demanding Helios A and Helios B missions was signed on June 10 of the same year. These probes are still the only ones which have been produced by the Federal Republic without any cooperation. They have also been the first Deep Space probes which were not built by the USA or the USSR. However, there was a long way to go before the memorandum was finalised and the exploration of the interplanetary space between the Earth and the Sun could be tackled. It is true that Azur was the Federal Republic's ticket to the exclusive club of space nations, but it also aroused great expectations and a desire for closer cooperation, particularly in the USA, for spaceflight had established itself as an important theatre of action in the struggle between the Eastern and Western systems. And the leading powers of these systems, USA and USSR, knew how to take advantage of their partner states' potential by integrating them. Spaceflight had become an indicator of a society's capabilities.

Space diplomacy
Close cooperation between the Federal Republic and the USA had begun under the Azur project. The industrial partners had established its first contacts. Also the scientific side was aware of the potential inherent in extending relations. Major research missions could be realised only together with the USA. Yet work on the creation of a European Space Association continued nevertheless. In the federal capital, Bonn, the universal creed was that there should be a balanced split between European and transatlantic cooperation.

Kerndaten Helios	
Beschluss	10. Juni 1969 (MoU BMwF-NASA)
Start Helios-A	10. Dezember 1974
Start Helios-B	15. Januar 1976
Startbasis	Cape Canaveral
Träger	Titan-Centaur
Masse	370 Kilogramm 376,5 Kilogramm
Experimente	je zehn plus zwei erdgebundene
Missionsende	August 1984 / 3. März 1980
Kosten	700 Millionen DM (deutscher Anteil 450 Millionen DM)

Helios core data	
Adopted	June 10, 1969 (MoU BMwF-NASA)
Launch Helios A	December 10, 1974
Launch Helios B	January 15, 1976
Launch base	Cape Canaveral
Launcher	Titan Centaur
Mass	370/ 376.5 kilogrammes
Experiments	ten each, plus two ground-based
End of mission	August 1984/ March 3, 1980
Cost	700 million DM (450 million DM contributed by Germany)

Die politischen Gespräche für weitere Vorhaben in der Raumfahrt gingen jedoch nur stockend voran. Das beruhte im Wesentlichen auf der skeptischen Einstellung Bundeskanzler Ludwig Erhards zur Raumfahrt. Aber für die USA war die wirtschaftlich starke Bundesrepublik ein hoffnungsvoller Sozius, zumal Frankreich eher auf Distanz zu den USA blieb. Im Dezember 1965 begab sich der Bundeskanzler auf USA-Reise. Der Verhandlungston während seiner Visite war relativ rau. Die amerikanischen Gesprächspartner bemühten sich, Erhard in Cape Canaveral von der Raumfahrt zu überzeugen. Als „Bonbon" wurde dem Bundeskanzler der Bau einer gemeinsamen Sonnensonde angeboten. Wenn Erhard auch nicht zum Raumfahrt-Enthusiasten wurde, so verständigte er sich doch mit Präsident Johnson auf eine engere Zusammenarbeit bei der Weltraumforschung. Den Sondenvorschlag muss der Kanzler schon fast mit Erleichterung akzeptiert haben: Dieser entband die weltraumpolitisch perspektivlose Bundesregierung davon, sich selbst konzeptionelle Überlegungen machen zu müssen.

Ein Platz an der Sonne

Mit der Unterzeichnung des Memorandum of Understanding brachen aus zwei Gründen sonnige Zeiten für die deutsche Raumfahrt an: Zum einen würden beide Vorhaben sowohl wissenschaftlich als auch technologisch wesentlich komplexer werden als Azur. Zum anderen ließ die neue Vereinbarung Azur nicht als vereinzeltes deutsch-amerikanisches Unterfangen dastehen. Bei dem Projekt zeichnete das Bundesministerium für Forschung und Technologie verantwortlich für die Entwicklung zweier fast baugleicher Sonden. Dieses Aufgaben-Paket umfasste die wissenschaftlichen Instrumente für sieben deutsche Experimente, den Betrieb und die Kontrolle der Sonden durch das deutsche Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen sowie den Datenempfang und die Kommandogabe durch deutsche Bodenanlagen. Hierzu gehörten zudem die Aufbereitung und Verteilung der empfangenen Messdaten an die Wissenschaft. Aufgabe der NASA war es, wissenschaftliche Instrumente für drei amerikanische Experimente zu entwickeln, die Trägerraketen bereitzustellen und die Starts durchzuführen. Weiterhin stellte die NASA ihr Deep Space Network (DSN) für zusätzlichen Datenempfang und zusätzliche Kommandogaben zur Verfügung.

Die Besonderheit der Sonne als Forschungsobjekt bestand darin, dass viele Wechselwirkungen zwischen dem Zentralgestirn und der Erde erst in Ansätzen bekannt waren. Sie mussten damals aber als wesentlich für das Verständnis des Sonnensystems angesehen werden. Die wissenschaftlichen Experimente behandelten daher verschiedene von der Sonne beherrschte Aspekte des interplanetaren Raums: die Zusammensetzung des solaren Windes sowie das ihn begleitende Magnetfeld, die nichtthermische Partikelstrahlung und den interplanetaren Staub. Zudem wurden ein erdgebundener Versuch zur Bestätigung der Einstein'schen Relativitätstheorie sowie eine Messung der Dichte der Sonnenkorona durchgeführt.

Die Sonden sollten den damals gerade noch realisierbaren minimalen Abstand zur Sonne erreichen: 0,31 Astronomische Einheiten (1 AE = 149.600 Millionen Kilometer) bei Helios-A beziehungsweise 0,29 AE bei Helios-B. Keine andere Raumsonde ist bis heute der Sonne näher gekommen. In diesem Abstand ist die Sonnenstrahlung mit über 500 Grad Celsius zehn bis zwölf Mal stärker als an der Grenze der Erdatmosphäre. Diese Umstände verlangten den Ingenieuren ihre gesamte Kunst ab. So mussten zur Energieversorgung der senkrecht zur Ekliptik rotierenden Sonden ihre Außenfläche mit Solarzellen belegt werden. Um jedoch eine Überhitzung durch die auftreffende Strahlung zu vermeiden, wurden die Solarzellenflächen gegen das einfallende Licht um etwa 30 Grad geneigt. Hierdurch ergab sich die Form eines an eine Garnrolle erinnernden Doppelkegels: Durch dessen weite Öffnungen konnte die überschüssige Wärme aus dem Zentralteil der Sonde abstrahlen.

Weitere technische Herausforderungen lagen in einer höchstmöglichen magnetischen, elektromagnetischen und elektrostatischen

However, political talks about further space projects proceeded haltingly. The chief reason was that Federal Chancellor, Ludwig Erhard, was sceptical towards astronautics. To the USA, on the other hand, the Federal Republic with its powerful economy appeared a promising associate, all the more so as France kept its distance. In December 1965, the Federal Chancellor travelled to the USA. Throughout his visit, the tone of negotiations remained relatively harsh. The American side endeavoured to convince Erhard of the merits of astronautics at Cape Canaveral, offering the joint construction of a solar probe to sweeten the pill for the Federal Chancellor. Even though, Erhard never became a space enthusiast, he did reach an understanding with President Lyndon B. Johnson about closer cooperation in space research. The chancellor probably accepted the probe proposal with something akin to relief: totally lacking a space-policy perspective, the Federal Government was thus relieved of the need to formulate its own concepts.

A place in the sunshine

There are two reasons why the signature of the Memorandum of Understanding about Helios marked the beginning of a sunny period for German astronautics: for one thing, the two projects would be considerably more complex and demanding than Azur, in both scientific and technological terms. For another, Azur would no longer be the only German-American undertaking once the agreement was signed. Under the project, the Federal Ministry of Research and Technology assumed responsibility for the development of two probes of largely identical construction. The work package comprised scientific instruments for seven German experiments, the operation and control of the probes by the German control centre at Oberpfaffenhofen, and data reception and commanding by German ground stations. Furthermore, it included processing the measurement data received and distributing them to the science community. NASA's task was to develop scientific instruments for three American experiments and to provide and launch the requisite rockets. Lastly, NASA was to make available its Deep Space Network (DSN) for additional data reception and commanding.

The Sun was a special object of research because knowledge about many of the interactions between our central luminary and Earth was rudimentary at the time, although it was essential to our understanding of the solar system. Therefore, the probes' scientific experiments addressed those aspects of interplanetary space that are dominated by the Sun: the composition of the solar wind, its accompanying magnetic field, non-thermal particle radiation, and interplanetary dust. Furthermore, a ground-based test was to confirm Einstein's theory of relativity, and the density of the solar corona was to be measured.

Thus, Helios became an important item in the international programme to explore interplanetary space. The probes were supposed to approach the Sun to the minimum distance that was barely feasible at the time: 0.31 Astronomical Units (1 AU = 149.600 million kilometres) for Helios A and 0.29 AU for Helios B. So far, no probe had gained a shorter distance to the Sun. Reaching more than 500 degrees centigrade, the Sun's radiation at that distance is ten to twelve times more powerful than at the limit of the terrestrial atmosphere. This extreme environment claimed the engineers to go to the limits of their craft. Rotating vertically to the ecliptic, the probes had their outer skins covered with solar cells to supply power. To keep them from being overheated by the Sun's rays, the solar panels were inclined about 30 degrees relative to the impinging light. This gave the probes a twin-cone shape reminiscent of a thread reel, with wide apertures allowing excess heat to escape from the central part of the probe.

Further technical challenges included securing the greatest possible magnetic, electromagnetic, and electrostatic purity of the vehicles as well as the transmission and reception of data,

Reinheit der Flugkörper sowie in Datenübertragung und Datenempfang, für den unter anderem auch das 100-Meter-Radioteleskop des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie bei Effelsberg/Eifel genutzt wurde. Beide Sonden waren für eine Lebensspanne von 18 Monaten ausgelegt. Die Betriebszeiten sollten sich mindestens sechs Monate überlappen. Dies sollte die gleichzeitige Aufnahme von Daten aus zwei unterschiedlichen Positionen ermöglichen.

Testbett für internationale Kooperation

Industrieller Hauptauftragnehmer war mit etwa 50 Prozent der Gesamtleistung Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB, heute EADS Astrium). Weitere 17 Unterauftragnehmer aus der Bundesrepublik, den USA, Großbritannien und Belgien sowie diverse Kontraktoren waren am Bau von Helios-A und -B beteiligt. Die Programmteams wurden von je einem deutschen und einem US-amerikanischen Projektleiter geführt und fanden in der „Gemeinsamen Arbeitsgruppe Helios" ihren Schnittpunkt. Allein das dem deutschen Projektleiter untergeordnete Team umfasste in der Gesellschaft für Weltraumforschung - der zuständigen Bundeseinrichtung - mehr als 60 Mitarbeiter. Die Größe des Sonnenforschungsprogramms machte es zur bis dahin kompliziertesten Unternehmung für die deutsche Raumfahrt.

Bravouröser Flug durch den kosmischen Ofen

Die hohen Erwartungen an das Programm wurden weit übertroffen. Helios-A sendete noch zehn Jahre nach dem Start aufschlussreiche Daten zur Erde. Aus ihnen wurden viele neue Erkenntnisse über den Sonnenwind gewonnen. So entdeckten die Forscher, dass dieser in der Nähe des Sterns stärker in seiner Intensität schwankt als angenommen. Auch dass sich die Bestandteile des Sonnenwindes – Wasserstoff-Atomkerne (Protonen), Elektronen und Heliumkerne (Alphateilchen) – in Extremfällen mit einer Geschwindigkeit von 800 bis 900 Kilometern pro Sekunde bewegen, war bis dahin unbekannt. Dies galt ebenso für die Erkenntnis, dass der Sonnenwind einem 27-tägigen Rhythmus unterliegt, was der Rotationsperiode der Sonne um ihre Achse entspricht. Weiterhin wurde der Einfluss des Sonnenwindes auf die Magnetosphäre der Erde näher geklärt und festgestellt, dass die Dichte des interplanetaren Staubs in Sonnennähe fast drei Mal größer ist als vorhergesagt.

Die Sonnenforscher hätten sich eine Fortsetzung der erfolgreichen Mission gewünscht. Doch im Rahmen der Europäisierung der extraterrestrischen Forschung gelang es nicht, die Europäische Weltraumorganisation ESA von einem Projekt Helios-C zu überzeugen. Dennoch war diese Mission der Ausgangspunkt für die Gestaltung der Sonnenforschung zu einem der bis heute großen Schwerpunkte in der deutschen Extraterrestrik.

Dr. Niklas Reinke ist Politologe und Historiker. Er arbeitet in der Abteilung Raumfahrt-Strategie der DLR-Raumfahrt-Agentur.

for which the 100-metre radio telescope operated by the Max Planck Institute for Radio Astronomy near Effelsberg in Western Germany range was used occasionally. Both probes were designed for a life of 18 months, with a minimum overlap of six months between the two. This was supposed to enable data being recorded simultaneously from two different positions.

A test bed for international cooperation

Providing about 50 percent of the total operating performance, the main industrial contractor was Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB; today: EADS Astrium). Another 17 subcontractors from the Federal Republic, the USA, the UK, and Belgium as well as diverse other contractors were involved in the construction of Helios A and B. Jointly led by a German and an American project manager, the programme teams interfaced in the 'joint Helios working group'. Within the Society for Space Research, the federal institution in charge, the team led by the German project manager alone included more than 60 employees. Because of its sheer size, the solar research programme was not only the most complex project ever undertaken by the German spaceflight sector but also the most extensive bilateral space project of the USA to date.

Heroic flight through a cosmic furnace

The great expectations placed in this programme were surpassed by far: for as many as ten years after its launch, Helios A kept transmitting illuminating data to Earth from which a great deal of fresh knowledge about the solar wind was extracted. Thus, researchers discovered that in the vicinity of the Sun, the intensity of the solar wind fluctuates more widely than assumed. Another hitherto-unknown fact was that hydrogen atomic nuclei (protons), electrons, and helium nuclei (alpha particles) – in the solar wind move at a velocity of 800 to 900 kilometres per second in extreme cases. Moreover, it was revealed that the solar wind follows a 27-day cycle, the same length of time that the Sun takes to rotate around its axis. Furthermore, the influence of the solar wind on the Earth's magnetosphere was investigated more closely, and it was found that interplanetary dust in the vicinity of the Sun is almost three times more dense than predicted.

Solar researchers would have liked to see a follow-up to this successful mission, but as the Europeanisation of space research progressed, it proved impossible to persuade the European Space Agency to tackle Helios C. Yet, this mission was the starting point for making solar research a focus of German space science that has retained its importance to this day.

A politologist and historian, Dr. Niklas Reinke works for the space strategy & programme department of the DLR Space Agency.

Das Magnetfeld der Erde schützt unseren Planeten vor dem Sonnenwind. (NASA)

The magnetic field of the Earth protects our planet from the solar wind. (NASA)

Raumfahrtkalender

Termin	Ereignis

2010

27. September-1. Oktober	61. International Astronautical Congress in Prag (Tschechien)
30. September	Start Sojus 24S von Baikonur (Kasachstan/Versorgung ISS)
4. Quartal	Start Zenit von Baikonur: Russischer Satellit Spekt-R mit deutschem Space Debris Detektor; FhG Freiburg (OOV-Programm)
3.-15. Oktober	Studenten-Ballon-Kampagne BEXUS 10/11 in Esrange (Nordschweden)
27. Oktober	Start Progress 40P von Baikonur (Versorgung ISS)
November	Erste Wissenschaftsflüge des Stratosphären-Observatoriums SOFIA mit dem US-amerikanischen Instrument FORCAST
1. November	Start STS-133, Space Shuttle Discovery von Cape Canaveral (Florida/USA)
4. November	Vorbeiflug der NASA-Sonde „Deep Impact“ am Kometen 103P/Hartley2
15.-28. November	16. DLR Parabelflug in Bordeaux (Frankreich)
24. November	7. Space Council Brüssel (Belgien)
Dezember	Freigabe des operationellen Betriebs des TanDEM-X-Satelliten (Flight Qualification Review)
Dezember	Start von drei ECOMA-Höhenforschungsraketen von Andenes (Norwegen)
Dezember	Start Sojus von Baikonur mit russischem Satelliten MKA-FKI mit dem deutschen ADSB Empfänger; Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
10. Dezember	Start Sojus 25S von Baikonur (Versorgung ISS)
18. Dezember	Start ATV-2 „Johannes Kepler“ mit Ariane 5 von Kourou (Französisch Guyana)
27. Dezember	Start Progress 41P von Baikonur (Versorgung ISS)

2011

Anfang des Jahres	Erster Start einer Sojus 2-1a Fregat von Kourou
20. Januar	Start HTV-2 vom japanischen Raumfahrtzentrum Tanegashima
26. Februar	Start STS-134, Space Shuttle Endeavour von Cape Canaveral mit dem Alpha Magnetic Spectrometer (AMS), Beteiligung RWTH Aachen und Uni Karlsruhe (voraussichtlich letzter Flug eines Space Shuttle)
27. Februar	Start SpaceX-Träger Falcon 9 (Demo 2) von Cape Canaveral
1. Quartal	Start Sojus von Baikonur mit dem deutschen Kleinsatelliten TET-1
1. Halbjahr	Start Expert-Kapsel mit Wolna-Rakete von einem U-Boot im Pazifik
1. Halbjahr	Start Raumfahrzeug Shefex von Woomera (Australien)
18. März	Start Forschungsrakete TEXUS 50 (DLR) von Esrange mit vier deutschen Experimenten
30. März	Start Sojus 26S von Baikonur (Versorgung ISS)
27. April	Start Progress 42P von Baikonur (Versorgung ISS)
1. Mai	Start Falcon 9 (Demo 3) von Cape Canaveral
30. Mai	Start Sojus 27S von Baikonur (Versorgung ISS)
Juni	Start Sojus 2-1b Fregat von Kourou mit zwei Galileo IOV-Satelliten
2. Juni	Start Falcon 9 von Cape Canaveral
21. Juni	Start Progress 43P von Baikonur (Versorgung ISS)
30. Juni	Start Taurus II (Demo 1) von Cape Canaveral
Oktober	Start Sojus 2-1b Fregat von Kourou mit zwei Galileo IOV-Satelliten
November	Start Forschungsrakete TEXUS 48 (DLR/ESA) von Esrange mit drei Experimenten, davon eines aus Deutschland

Space Calendar

Date	Event

2010

September 27- October 1	61st International Astronautical Congress in Prague (Czech Republic)
September 30	Launch of Sojus 24S from Baikonur (Kazakhstan/ISS logistics)
4th quarter	Launch of Zenit from Baikonur: Russian Spektr-R satellite, carrying a German Space Debris Detector; FhG Freiburg (OOV programme)
October 3-15	Students' balloon campaign BEXUS 10/11 in Esrange (north of Sweden)
Oktober 27	Launch of Progress 40P from Baikonur (ISS logistics)
November	First scientific flights of the stratosphere observatory SOFIA, carrying the US-American instrument FORCAST
November 1	Launch of STS-133, Space Shuttle Discovery from Cape Canaveral (Florida/USA)
November 4	The NASA probe 'Deep Impact' passing the comet 103P/Hartley2
November 15-28	16th DLR parabolic flight in Bordeaux (France)
November 24	7th Space Council Brussels (Belgium)
December	Approval of scientific operation of the TanDEM-X-satellite (Flight Qualification Review)
December	Launch of three ECOMA sounding rockets from Andenes (Norway)
December	Launch of Sojus from Baikonur, carrying the Russian satellite MKA-FKI with the German ADSB receiver; University for Applied Sciences, Hamburg (Germany)
December 10	Launch of Sojus 25S from Baikonur (ISS logistics)
December 18	Launch of ATV-2 'Johannes Kepler' on Ariane 5 from Kourou (French Guiana)
December 27	Launch of Progress 41P from Baikonur (ISS logistics)

2011

Beginning of the year	First Launch of Sojus 2-1a Fregat from Kourou
January 20	Launch of HTV-2 from the Japanese spaceport of Tanegashima
February 26	Launch of STS-134, Space Shuttle Endeavour from Cape Canaveral, carrying the Alpha Magnetic Spectrometer (AMS), with contributions of RWTH Aachen and University of Karlsruhe (presumably last flight of a Space Shuttle)
February 27	Start SpaceX-Launcher Falcon 9 (Demo 2) von Cape Canaveral
1st quarter	Launch of Sojus from Baikonur, carrying the small German satellite TET-1
1st half-year	Launch of Expert capsule on a Wolna rocket from a submarine in the Pacific area
1st half-year	Launch of the space vehicle Shefex from Woomera (Australia)
March 18	Launch of the research rocket TEXUS 50 (DLR) from Esrange, carrying four German experiments
March 30	Launch of Sojus 26S von Baikonur (ISS logistics)
April 27	Launch of Progress 42P from Baikonur (ISS logistics)
May 1	Launch of Falcon 9 (Demo 3) from Cape Canaveral
May 30	Launch of Sojus 27S from Baikonur (ISS logistics)
June	Launch of Sojus 2-1b Fregat from Kourou, carrying two Galileo IOV satellites
June 2	Launch of Falcon 9 from Cape Canaveral
June 21	Launch of Progress 43P from Baikonur (ISS logistics)
June 30	Launch of Taurus II (Demo 1) from Cape Canaveral
October	Launch of Sojus 2-1b Fregat from Kourou, carrying two Galileo IOV satellites
November	Launch of research rocket TEXUS 48 (DLR/ESA) from Esrange, carrying three experiments including one German experiment

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

Das DLR im Überblick

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

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

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

Impressum

Newsletter COUNTDOWN – Aktuelles aus der DLR
DLR Raumfahrt-Agentur
Herausgeber: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Sabine Göge
(ViSdP)

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

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

Druck: Druckerei Thierbach,
45478 Mülheim an der Ruhr

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

ISSN 2190-7072

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

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Imprint

Newsletter COUNTDOWN – Topics from the DLR
DLR Space Agency
Publisher: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Sabine Göge
(responsible according to the press law)

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

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

Print: Druckerei Thierbach,
45478 Mülheim an der Ruhr, Germany

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

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, release free of charge.

Supported by:

Federal Ministry
of Economics
and Technology

on the basis of a decision
by the German Bundestag