



### Rosetta und Philae: Kometenjäger am Ziel

### Rosetta and Philae: Comet Chasers on Target

Seite 8 / page 8

#### Facing Space – Brigitte Zypries zu den Ergebnissen des ESA-Ministerrats 2014

Facing Space – Brigitte Zypries Interprets the Results of the ESA Ministerial Council 2014

4

#### Parabelflug – Airbus A300 ZERO-G geht in den Ruhestand

Parabolic Flight – Airbus A300 ZERO-G Turns into Retirement

26

#### „The Blue Dot“ – Alexander Gerst forscht auf der ISS – Teil 4

‘The Blue Dot’ – Alexander Gerst’s Research on the ISS – Part 4

32

#### MagVector/MFX – Ein Stück „Raumschiff Enterprise“ auf der ISS

MagVector/MFX – A Part of ‘Spaceship Enterprise’ on the ISS

36

#### EUV-Spektroskopie – 50 Jahre die Sonne im Visier

EUV Spectroscopy – More than 50 Years of Eyeing the Sun

40

#### Raumfahrtskalender

Space Calendar

46

Am 7. Oktober 2014 hat der deutsche ESA-Astronaut Alexander Gerst gemeinsam mit seinem amerikanischen NASA-Kollegen Reid Wiseman die Internationale Raumstation ISS für einen fast siebenstündigen Außenbordeinsatz verlassen – seine herausforderndste Aufgabe während seiner sechsmonatigen Blue Dot Mission. Nach 165 Tagen im All hat er dann am 10. November wieder zur Erde zurückgekehrt. Wenige Stunden nach seiner Landung in der kasachischen Steppe erreichte er dann den Flughafen Köln/Bonn und wurde zu medizinischen Tests ins :envihab auf dem DLR-Gelände gebracht, wo ihn zahlreiche Mitarbeiter in Empfang nahmen. Gerst ist der erste europäische Raumfahrer, der direkt nach seiner Rückkehr aus dem All in sein Heimatland geflogen wurde – und nicht, wie sonst üblich, zunächst in die USA. Drei Tage später stellte er sich dann schon wieder den Fragen der Journalisten auf seiner ersten Pressekonferenz nach seiner Landung.

Together with his American colleague from NASA, Reid Wiseman, German ESA astronaut Alexander Gerst has left the International Space Station on October 7, 2014, for a nearly seven-hour extravehicular activity – his most challenging job on his six-month Blue Dot mission. Having completed his 165 days in space, he returned to Earth on November 10. A few hours after his landing in the steppe of Kazakhstan, he arrived at Cologne-Bonn airport and was escorted to :envihab on the DLR premises for a series of medical checks. Numerous staff members welcomed his arrival. Gerst is the first European astronaut to have been flown back to his home country immediately after his return from space, and not to the USA first, as used to be the practice in the past. Three days later he was able to meet the press to answer journalists' questions at his first media conference after his landing.



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

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



#### Liebe Leserinnen und Leser,

ein intensives Raumfahrtjahr liegt hinter uns. Gerade die letzten Wochen des Jahres 2014 hielten noch einige Höhepunkte bereit: Das Aufwecken von Rosetta, die Landung von Philae, die Rückkehr des deutschen Astronauten Alexander Gerst. Diese Großereignisse sind für uns von unschätzbarem Wert, denn sie richten das Interesse der breiten Öffentlichkeit auf das, was wir mit viel Begeisterung tun. Und diese Begeisterung überträgt sich.

Die Branche selber ist ordentlich in Bewegung geraten. Insbesondere haben sich die beiden großen deutschen Raumfahrtkonzerne neu aufgestellt. Das zeigt einmal mehr, dass Wandel unser steter Begleiter ist. Das muss auch für das Raumfahrtmanagement gelten. Auch wir brauchen immer wieder neue Ideen und müssen diese umsetzen.

So haben wir im Rahmen unserer Initiative INNOspace verschiedene Fachtagungen durchgeführt und auf diese Weise den branchenübergreifenden Austausch ins Rollen gebracht. Die deutsche Raumfahrt ist in allen Bereichen sehr leistungsfähig. Diese Leistungsfähigkeit gilt es zu erhalten und auszubauen – egal, ob Grundlagenforschung, Management, KMU oder Großindustrie.

Anfang Dezember fand in Luxemburg die Ministerkonferenz der ESA statt. Dort wurden einige wichtige Weichen gestellt. Die Politik hat damit ihren Beitrag für die Zukunft der europäischen Raumfahrt geleistet. Nun ist die Industrie am Zug: Sie muss liefern und beweisen, dass sie in der Lage ist, die Programme technologisch, zeitgerecht und vor allem innerhalb des finanziellen Rahmens umzusetzen. Die Einigung der europäischen Partner ist wichtig für uns alle.

Denn jenseits unseres Kontinents entwickelt sich Spannendes. China drängt mit Macht auf allen Gebieten der Raumfahrt nach vorn und die USA arbeiten hart daran, sich mit neuen Ideen, alternativen Konzepten und privatem Geld wieder an der Spitze der Raumfahrtnationen festzusetzen. Dabei muss man sich fragen, wie es den Amerikanern gelingt, Geschäftskonzepte für die Raumfahrt zu entwickeln. Oder andersherum: Warum tun wir uns in Europa so schwer damit?

Ihr Gerd Gruppe

#### Dear readers,

This has been an eventful space year. The last few weeks in particular had some highlights in store: Rosetta's wake-up, Philae's landing, the return of our astronaut, Alexander Gerst. These big events are of inestimable value to us, for they attract the interest of the general public to the things we are doing with so much enthusiasm. And this enthusiasm spills over to others.

In the industry, too, things have been shaken up considerably, the most notable event being the reshuffle of the two big German space groups – proof that change is our constant companion. This principle must apply to us at the Space Administration as well, for we also constantly need new ideas which we can subsequently implement.

Under our INNOspace initiative, for example, we organised various symposiums to initiate a cross-sectoral exchange. The German space sector has great performers in every field. Their performance should be maintained and developed, no matter whether we are talking about fundamental research, management, the SME sector, or big industry.

Early in December, the ESA Council at Ministerial Level met in Luxembourg, where some landmark decisions were made. Now that policy makers have done their bit for the future of European spaceflight, it is the industry's turn. It must deliver and prove that it is capable of implementing the programmes technologically, on time, and – most importantly – within their financial constraints. Agreement among the European partners is important to all of us.

Thrilling things are beginning to happen beyond our continent. China is pushing forcefully ahead in all space-related fields, and the USA is working hard to re-establish itself at the top of the space nations by means of new ideas, alternative concepts, and private money. This inevitably makes one wonder what makes the Americans so successful in developing business concepts for spaceflight. Or, to put it the other way round: why are we Europeans having so much trouble with that?

Yours, Gerd Gruppe

# Facing Space –

Die Meinung unserer Partner – in dieser Ausgabe: Brigitte Zypries, Parlamentarische Staatssekretärin im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Our Partners' Opinions – in this edition: Brigitte Zypries, Parliamentary Secretary of State at the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

Am 2. Dezember 2014 trafen sich die Minister der 20 Mitgliedsstaaten der europäischen Weltraumorganisation ESA und Kanadas in Luxemburg, um die Weichen für die europäische Raumfahrt in den kommenden Jahren zu stellen. Für die deutsche Bundesregierung führte Brigitte Zypries, Parlamentarische Staatssekretärin im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), und Koordinatorin für die Luft- und Raumfahrt, die Verhandlungen. Sie wurde dabei unterstützt von der deutschen Delegation im ESA-Rat unter Vorsitz von Prof. Dr. Johann-Dietrich Wörner, DLR-Vorstandsvorsitzender, sowie Dr. Gerd Gruppe, Vorstand des DLR Raumfahrtmanagements, und Dr. Rolf Densing, im DLR Raumfahrtmanagement für die ESA-Programme zuständiger Direktor.

Wie haben Sie Ihre erste ESA-Ministerratskonferenz in Luxemburg empfunden? Welche waren die besonderen Herausforderungen aus Ihrer Sicht?

Zypries: Die größten Herausforderungen waren schon im Vorfeld zu meistern. Den Vorsitzländern Schweiz und Luxemburg gebührt großer Dank für die gute Vorbereitung. Nach langen und harten, aber sachlich geführten Diskussionen in Luxemburg konnte dann eine gute Einigung gelingen. Wichtig war uns,

On December 2, 2014, ministers of the 20 ESA member states and of Canada met in Luxembourg to prepare the ground for the next few years' space activities. Negotiating on behalf of the Federal Government was Parliamentary Secretary of State at the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi), and Federal Government Co-ordinator of German Aerospace Policy, Brigitte Zypries. She was supported by the German delegation at the ESA Council headed by DLR Chairman Professor Johann-Dietrich Wörner, Dr Gerd Gruppe, DLR Board Member in charge of Space Administration, and Dr Rolf Densing, Director of ESA Programmes at DLR Space Administration.

What was your experience at your first ESA Council in Luxembourg? What were the main challenges from your perspective?

Zypries: The biggest challenges were those that needed to be mastered in the run-up to the meeting. We owe great thanks to the two presidency countries, Switzerland and Luxembourg, for their excellent preparation efforts. Following long and hard but matter-of-fact negotiations, a good conclusion could be reached. What mattered most to us was that the various concept proposals for the continuation of the European launcher



Brigitte Zypries, Koordinatorin für die Luft- und Raumfahrt der Bundesregierung, leitete die deutsche Delegation bei der ESA-Ministerratskonferenz in Luxemburg am 2. Dezember 2014. Sie wurde fachlich von Prof. Johann-Dietrich Wörner (rechts), DLR-Vorstandsvorsitzender, und Dr. Karl-Friedrich Nagel, Referatsleiter ESA-Angelegenheiten im BMWi, und Dr. Gerd Gruppe, DLR-Vorstand für das Raumfahrtmanagement (hinten rechts), unterstützt.

Federal Government Co-ordinator of German Aerospace Policy, Brigitte Zypries was the leader of the German delegation at the Luxembourg meeting of the ESA Council at Ministerial Level on December 2, 2014. From the professional side she was supported by DLR Chairman Professor Johann-Dietrich Wörner (right), the head of the ESA Affairs Unit at the BMWi Dr Karl-Friedrich Nagel, as well as DLR Board member in charge of Space Administration Dr Gerd Gruppe (rear right).

Zwei Versionen – die Ariane 62 und 64 – sollen die Version 5 ablösen. Die Hauptstufe wird von einem Triebwerk in den Orbit befördert, dass auf dem Vulcain-II-Motor der Ariane 5 ECA und ME basiert und Flüssigtreibstoff verbrennt. Auf den Grundlagen der Ariane 5ME-Entwicklungen aufbauend, sorgt das Vinci-Triebwerk für den Schub der kryogenen Oberstufe (LOX/LH2). Bei der Ariane 62 kommen zwei P120-Feststoff-Booster hinzu, bei der Ariane 64 vier. Für den Erhalt und den weiteren Ausbau von deutschen Kompetenzen im europäischen Trägersektor wird Deutschland 180 Millionen Euro im Durchschnitt pro Jahr in den nächsten zehn Jahren bereitstellen und ist mit rund 22 Prozent am neuen Ariane-6-Programm beteiligt.

Two new versions – Ariane 62 and 64 – are to replace the existing Ariane 5. The main stage will be carried to orbit by a liquid-fuel engine that is based on the Vulcain II engine of Ariane 5 ECA and ME. Building on the technology developed for Ariane 5ME, the thrust for the cryogenic upper stage will be delivered by the Vinci engine (LOX/LH2). Additionally, Ariane 62 will have two P120 solid fuel boosters, whilst Ariane 64 will have four. To maintain and develop Germany's expertise in the European launcher sector, Germany will set aside an average 180 million euros per year for the next ten years, and has a share of about 22 per cent in the new Ariane-6 programme.



Ariane 5 ECA

Ariane 62

Ariane 64





Vorne von links/Front, from left: Karel Dobeš (Tschechische Republik/Czech Republic), Anders Lönn (Schweden/Sweden), Greg Clark (Großbritannien/United Kingdom), Geneviève Fioraso (Frankreich/France), Etienne Schneider (Luxemburg/Luxembourg), Jean-Jacques Dordain (ESA Generaldirektor/ESA Director General), Mauro Dell'Ambrogio (Schweiz/Switzerland), Brigitte Zypries (Deutschland/Germany), Stefania Giannini (Italien/Italy), Alois Stöger (Österreich/Austria), Elke Sleurs (Belgien/Belgium), Grazyna Henclewska (Polen/Poland)  
Hinten von links/Back, from left: Mihnea Cosmin Costoiu (Rumänien/Romania), Christos Vasilakos (Griechenland/Greece), Nuno Crato (Portugal/Portugal), Arne Benjaminsen (Norwegen/Norway), Begoña Cristeto (Spanien/Spain), Jasper Wesseling (Niederlande/The Netherlands), Paudie Coffey (Irland/Ireland), Petri Peltonen (Finnland/Finland), Uffe Toudal-Pedersen (Dänemark/Denmark), Luc Brûlé (Kanada/Canada)

dass die unterschiedlichen Konzepte zur europäischen Trägerrakete Ariane gründlich und solide geprüft und die finanzielle Beteiligung an den Entwicklungskosten sorgfältig abgewogen wurde. Den noch strittigen Punkt der weiteren Finanzierung des Bodensegments am ESA-Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guyana haben wir auf 2016 vertagt. Insgesamt wurden Beschlüsse über finanzielle Mittel in Höhe von rund 5,9 Milliarden Euro gefasst. Die Bundesregierung zeichnete für die nächsten Jahre insgesamt rund 1,4 Milliarden Euro. Damit ist Deutschland nach Frankreich der beitragsstärkste ESA-Partner.

#### Auf der Agenda stand vor allem die Zukunft des Ariane-Programms.

**Zypries:** Ja, das ist richtig. Die Ariane 5 ist mit 62 Starts in Folge seit 1996 die erfolgreichste und zuverlässigste kommerzielle Trägerrakete der Welt. Mit dem in Luxemburg beschlossenen Nachfolgemodell Ariane 6 wird Europa im Sektor der zivilen Trägersysteme wettbewerbsfähiger und flexibler. Bei der neuen Ariane 6 handelt es sich um eine optimierte Version der lange von Deutschland favorisierten Ariane 5ME. Damit wird Europas unabhängiger Zugang zum All gesichert. Ebenso werden mit der Entwicklung und der Produktion des Launchers die technologischen Kompetenzen bei den deutschen Raumfahrtstandorten erhalten und weiterentwickelt. Davon profitieren vor allem das DLR, Airbus Defence & Space und die OHB-Gruppe mit ihren Niederlassungen in Bremen, Lampoldshausen, Augsburg und Ottobrunn.

Frankreich und Deutschland sind die größten Beitragszahler der ESA und sind dies auch im neuen Ariane-6-Entwicklungsprogramm. Deutschland trägt mit 22 Prozent zu den Gesamtkosten von knapp vier Milliarden Euro in den nächsten zehn Jahren bei. Die Ariane 5 war als Schwerlastträger für Doppelstarts konzipiert. Die Ariane 6 soll mit zwei Varianten nach einem Baukastenprinzip gefertigt werden und erstmals 2020 starten. Die kleinere Version 62 mit zwei Boostern ist für Starts mit einem Satelliten gedacht, zum Beispiel für den institutionellen Bereich. Die schwerere Ariane 64 hat vier Booster und ist für Starts mit zwei (kommerziellen) Satelliten über größere Distanzen vorgesehen. Wir wünschen uns, dass mit dieser Flexibilität auch die Startkosten von derzeit rund 200 Millionen pro Start auf 70 bis 90 Millionen Euro sinken. Das hängt aber natürlich auch von den nachgefragten Stückzahlen ab. Zudem soll das Managementverfahren neu organisiert werden: Die Designverantwortung und das kommerzielle Risiko werden stärker von der öffentlichen Hand – ESA, DLR und der französischen Raumfahrtagentur CNES – auf die Industrie übertragen.

rocket Ariane were thoroughly scrutinised and that the financial participation in the developing costs were carefully considered. The one controversial item that was left open, the future funding of the ground segment at ESA's spaceport in Kourou, was deferred until 2016. Resolutions adopted covered a total funding sum of about 5.9 billion euros. The Federal Government subscribed to a contribution of about 1.4 billion euros. This makes Germany the second biggest funding partner in ESA following France.

#### The main item on the agenda was the future of the Ariane programme.

**Zypries:** Correct. 62 launches in a row since 1996 make Ariane 5 the most successful and the most reliable commercial launcher worldwide. Its successor model, Ariane 6, which was given the go-ahead at the Luxembourg meeting, will make Europe even more flexible and competitive within the sector of civilian launcher systems. The new Ariane 6 is an improved version of Ariane 5ME, a model that had long been favoured by Germany. It will secure Europe's independent access to space. The development and production of the launcher also serves to maintain and develop Germany's technological expertise at the various space industry locations. This will mainly benefit DLR, Airbus Defence & Space, and the OHB Group with its sites in Bremen, Lampoldshausen, Augsburg, and Ottobrunn.

France and Germany are ESA's biggest contributors, and that also applies to the new Ariane 6 development programme. Over the next ten years, Germany will pay 22 percent or nearly four billion euros towards the total costs. Ariane 5 was designed as a heavy-duty carrier for twin launches. Ariane 6 is supposed to be built in two models according to a modular principle. Its first launch is scheduled in 2020. The smaller version 62 with two boosters will be used for single-satellite launches, such as those used for public-administration purposes. The heavier one, Ariane 64, will have four boosters, is designed for launches with two (commercial) satellites, and will be able to cover greater distances. We hope that launch cost decreases as a result of this greater flexibility from currently about 200 million per launch down to 70 to 90 million euros. However, this will obviously depend on the numbers ordered. Management procedures will also be reviewed, with more of the responsibility for the design and the commercial risk transferred from the public sector – ESA, DLR, and the French space agency CNES – to private industry.

#### Das zweite dominierende Thema war die weitere Finanzierung des europäischen Anteils der Internationalen Raumstation ISS. Entsprechen die Ergebnisse Ihren Erwartungen?

**Zypries:** Die Zukunft der ISS kann aus europäischer und deutscher Sicht nur durch eine solidarische Anstrengung aller ESA-Mitgliedsstaaten getragen werden, insbesondere durch die Beiträge der vier großen Länder Deutschland, Frankreich, Italien und Großbritannien. Insofern ist es erfreulich, dass Frankreich wieder zu seiner ursprünglichen Beitragshöhe zurückgekehrt ist und Großbritannien sich erneut beteiligt. Deutschland trägt weiterhin mit 310 Millionen Euro zum Betrieb der ISS bis zum Jahr 2017 bei und ist mit knapp 37 Prozent wichtigster Partner. Zudem stockt Deutschland seinen Beitrag zum Exomars-Programm der ESA um 15 Millionen auf rund 100 Millionen Euro auf. Insgesamt zeichneten die ESA-Minister für die ISS 820 Millionen Euro – darin enthalten ist auch das neue Servicemodul für die geplante US-Raumkapsel Orion. Auch dieses Modul soll, basierend auf der Technologie der ATV, in Bremen bei Airbus Defence & Space gebaut werden.

#### Seit dem Vertrag von Lissabon 2009 vertritt auch die Europäische Union Raumfahrtinteressen. Wie haben sich die Minister jetzt in Luxemburg bezüglich der Kooperation zwischen ESA und EU verständigt? Wie ist hier die deutsche Position?

**Zypries:** Wir wurden von der ESA-Exekutive aufgefordert, die Beziehungen zwischen ESA und EU in dem Verständnis zu bestätigen, dass die ESA eine unabhängige zwischenstaatliche Weltraumorganisation und auf lange Sicht bevorzugter Partner der EU und die zentrale Raumfahrtorganisation in Europa bleibt. Dabei ist es aus deutscher Sicht elementar, dass das ESA-EU-Rahmenabkommen weiterhin die Grundlage für die Kooperation zwischen beiden Einrichtungen ist. Aus deutscher Sicht sollten die Schwerpunkte der EU im Bereich Raumfahrt insbesondere bei den anwendungsrelevanten Programmen wie Copernicus und Galileo liegen, ebenso wie bei der Setzung von Rahmenbedingungen wie der Satellitendatensicherheitspolitik und der Erschließung neuer Märkte.

#### Ort der Entscheidung: Im großen Saal des Centre des Conférences Kirchberg in Luxemburg wurden am 2. Dezember 2014 zentrale Themen der europäischen Raumfahrt verhandelt. Insgesamt wurden Beschlüsse über finanzielle Mittel in Höhe von rund 5,9 Milliarden Euro gefasst. Die Bundesregierung zeichnete für die nächsten Jahre insgesamt rund 1,4 Milliarden Euro. Damit ist Deutschland zusammen mit Frankreich der beitragsstärkste ESA-Partner.

The decision-making arena: at the Grand Hall of the Kirchberg Centre des Conférences in Luxembourg, essential decisions were taken with regard to the future of Europe's space activities. Resolutions adopted involve funding in the area of 5.9 billion euros. The Federal Government subscribed to a contribution of about 1.4 billion euros. This makes Germany the second biggest funding partner in ESA following France.

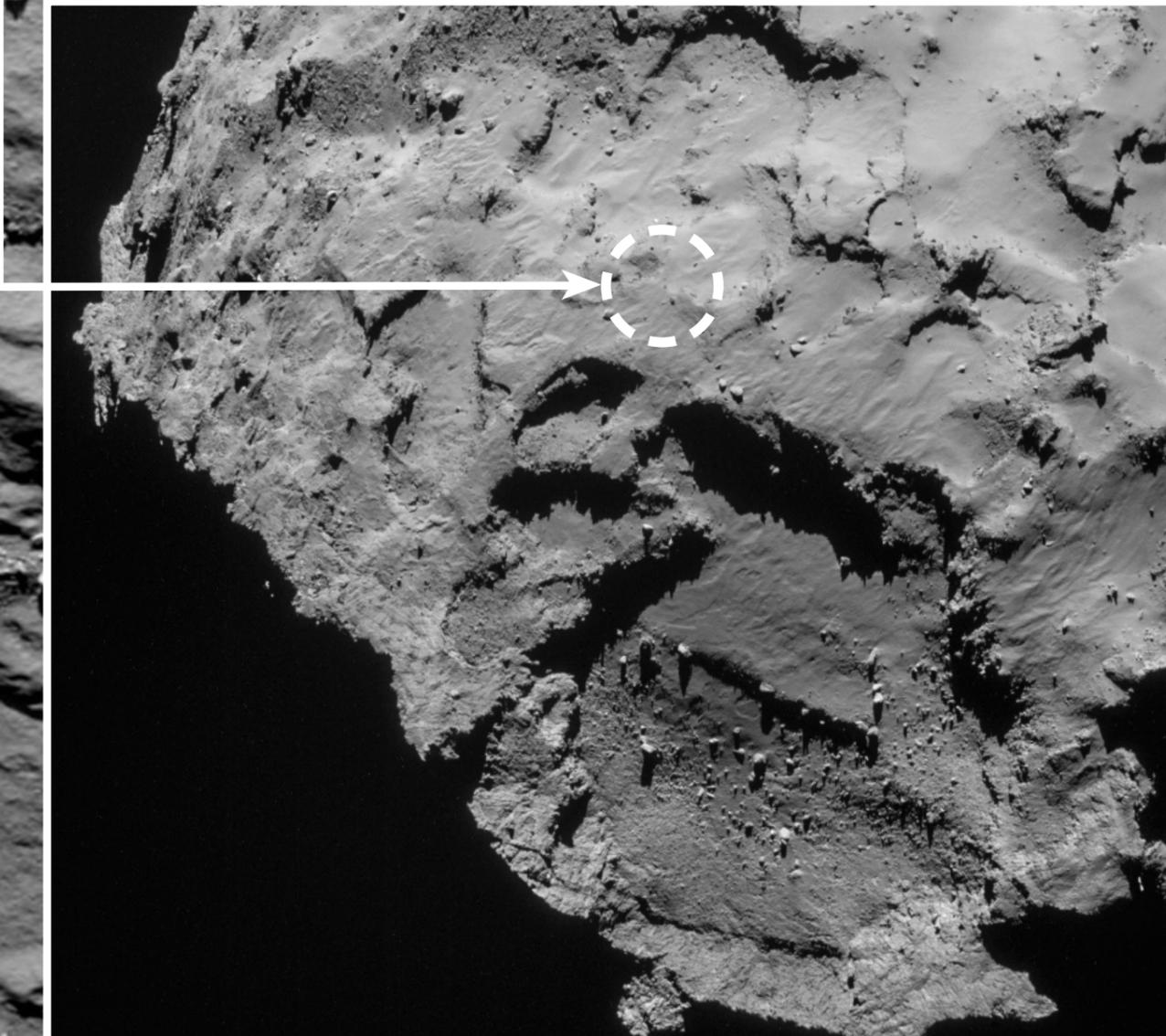
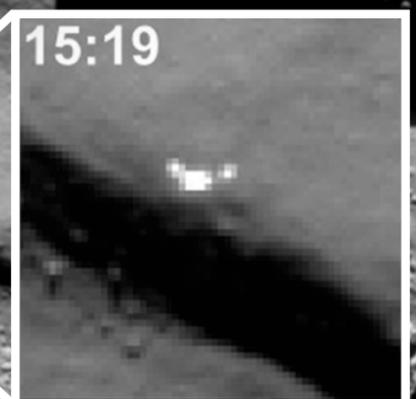
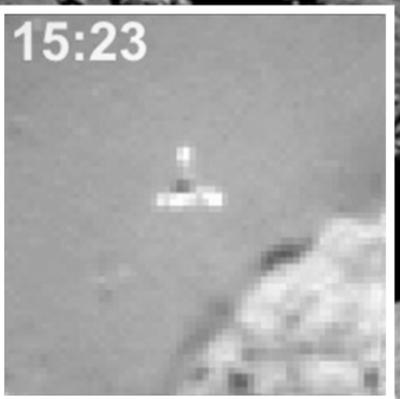
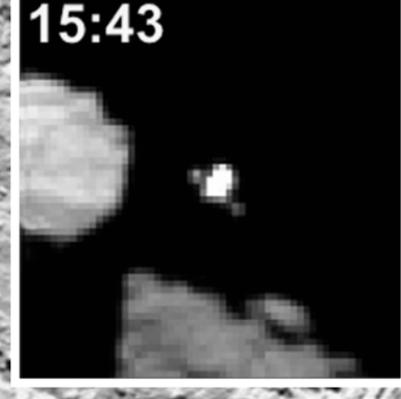


# Philae's Landung

Zum ersten Mal in der Menschheitsgeschichte weich auf einem Kometen gelandet: Am Mittwoch, 12. November 2014, stößt die europäische Raumsonde Rosetta ihren Lander Philae planmäßig um 9.35 Uhr Mitteleuropäischer Zeit (MEZ) ab. Philae beginnt daraufhin seinen sieben Stunden langen Abstieg in Richtung des Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko. Kurz nach der Trennung von Rosetta fahren die drei Landebeine und die Instrumente CONSERT und ROMAP aus. Um 16.32 Uhr MEZ setzt Philae zum ersten Mal weich mitten im geplanten Landegebiet „Agilkia“ auf. Anschließend federt der Lander aber wieder vom Boden weg und schwebt in einem großen Bogen weiter. Das Bild zeigt eine Fotomontage von verschiedenen Aufnahmen der OSIRIS-Kamera auf dem Rosetta-Orbiter. Der Lander ist zu verschiedenen Zeiten beim Abstieg auf die Oberfläche und nach dem ersten Touchdown mit einer deutlichen Querbewegung zu erkennen. Die großen Quadrate sind Ausschnittsvergrößerungen des Originalbildes. Im kleinen Bild rechts unten markiert der Kreis die Landezone beim ersten Touchdown. Dieses Bild der Landestelle Agilkia wurde am 21. September 2014 von der Navigationskamera (NavCam) an Bord von Rosetta aus etwa 27,8 Kilometern Entfernung zum Kometen aufgenommen. Der abgebildete Bereich ist ungefähr 1,9 Kilometer breit.

## Philae's Touchdown

For the first time in human history, a space probe lands softly on a comet: on Wednesday, November 12, 2014, the European spacecraft Rosetta releases its landing device, Philae, as scheduled at 9.35 a.m. Central European Time (CET). Philae sets off on its seven-hour descent towards the comet 67P/Churyumov-Gerasimenko. Only a moment after its separation from Rosetta, Philae extends its three landing legs and the CONSERT and ROMAP instruments. At 4.32 p.m. CET, Philae performs its first soft touchdown in the middle of the selected landing area, 'Agilkia'. However, it bounces back from the ground and floats sideways on a parabolic trajectory. The picture consists of a series of photographs captured by the OSIRIS camera on board the Rosetta orbiter, showing the lander at various times during its initial approach and on its lateral 'bounce' after the first touchdown. The large squares show enlarged details of the original image. The circle at the bottom right of the small image marks the landing area of the first touchdown. This picture of the Agilkia landing zone was shot on September 21, 2014, by Rosetta's NavCam from a distance of about 27.8 kilometres. The area shown is about 1.9 kilometres wide.



# Rosetta

Ein Komet erklärt uns die Ursprünge unseres Sonnensystems

Von Dietmar Friedrichs

**12. November 2014; 16.32 Uhr; 509.500.000 Kilometer von der Erde entfernt: 20 Jahre nach dem Beginn der Arbeiten für die europäische Weltraummission Rosetta und mehr als zehn Jahre nach dem Start setzt ihre Tochtersonde Philae auf der Oberfläche des Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko auf. Bis dahin läuft alles nach Plan. Philae hat den Zielpunkt im Landegebiet J – getauft auf den Namen „Agilkia“ – auf etwa 100 Meter genau getroffen. 28 Minuten brauchen die Funksignale dann bis zur Erde. Als die Daten die Landung von Philae melden, bricht großer Jubel im Rosetta-Kontrollzentrum des European Space Operation Center (ESOC) der ESA in Darmstadt aus. Auch bei den Wissenschaftlern, die im Lander-Kontrollzentrum des Microgravity User Support Center (MUSC) beim DLR in Köln versammelt sind, ist die Freude zunächst groß. Einige Minuten später sieht man dann aber wieder skeptische Blicke, als die Daten zeigen, dass Philae weiterhin in Bewegung ist und sich zudem dreht. Der Lander sendet zwar zuverlässig Signale, hat seine Landestelle aber offensichtlich wieder verlassen. Erst zwei Stunden später kommt er dann dauerhaft auf dem Kometenboden zur Ruhe.**

## Rosetta

A Comet Explains the Origins of our Solar System

By Dietmar Friedrichs

**November 12, 2014; 4.32 p.m. Central European Time; 509,500,000 kilometres away from Earth: 20 years after work began on the European space mission Rosetta and more than ten years after the launch, its landing device Philae touches down on the surface of the comet 67P/Churyumov-Gerasimenko. So far everything has gone to plan. Philae has hit its target in the J landing area – named 'Agilkia' – within about 100 metres. Its radio signals take 28 minutes to reach Earth. When the data show that all four of Philae's feet have touched the ground, great jubilation breaks out at the Rosetta Control Centre in ESA's European Space Operations Centre (ESOC) in Darmstadt. At first, the scientists assembled at the Lander Control Centre in DLR's Microgravity User Support Center (MUSC) in Cologne share these moments of great joy. However, faces begin to take on a puzzled expression a few minutes later when the data show that Philae is still in motion and, what is more, spinning about its axis. Although the lander continues to send signals reliably, it has obviously left its landing site again. As many as two hours later, it comes to rest permanently on the ground of the comet.**



Autor: **Dietmar Friedrichs** gehört zum Rosetta-Projektteam des DLR Raumfahrtmanagements – dem Bindeglied zwischen ESA, Wissenschaft und Industrie. Er begleitet die Mission seit zehn Jahren und hat bei der Landeveranstaltung in der Bonner Bundeskunsthalle dem „Touchdown“ von Philae entgegengefeiert.

Author: **Dietmar Friedrichs** is a member of the DLR Space Administration's Rosetta project team, which acts as a link between ESA, the research community, and industry. He has been monitoring the mission for ten years and has eagerly awaited Philae's 'touchdown' during the landing event at Bonn's Bundeskunsthalle.

Rosetta untersucht einen Kometen, also einen Himmelskörper, der ursprünglich aus der extrem kalten Randzone unseres Sonnensystems stammt, in der eine Unzahl von vereisten Kleinkörpern vermutet werden. Die Wissenschaftler hoffen, dass im Kern von Kometen noch jene Urmaterie vorhanden ist, aus der sich unser Sonnensystem gebildet hat. Nach Milliarden von Jahren in einer sonnenfernen „kosmischen Tiefkühltruhe“ gelangen einzelne Körper durch Bahnstörungen auf eine Bahn in das innere Sonnensystem. In Folge der steigenden Wärmeeinstrahlung bildet sich dann in Sonnennähe der charakteristische Kometenschweif aus abdampfendem Gas und Staub. Die bisherigen Beobachtungen lassen den Schluss zu, dass diese Kometkörper aus einem Gemisch aus Eis – neben Wassereis auch gefrorene Gase wie Kohlendioxid, Methan etc. – und Gesteinstaub bestehen. In welchen Formen und Mischungen sich dieses Material im Kometenkern zusammengeballt hat, untersucht die Rosetta-Mission. Bei den Forschungen geht man auch der Frage nach, ob die lebensfreundlichen Bedingungen auf der Erde, wie insbesondere die große Menge an Oberflächenwasser, sich erst nach dem „großen Bombardement“ – einem „Asteroiden- und Kometen-Regen“ vor rund 3,8 Milliarden Jahren – entwickelt haben.

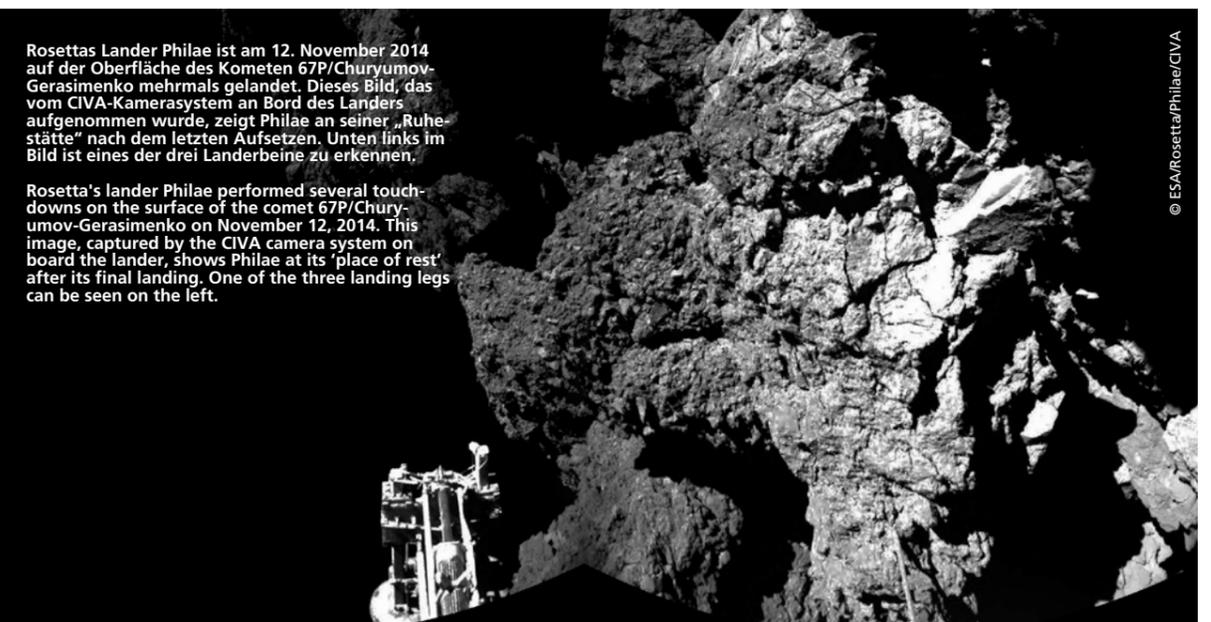
Der Kometenjäger Rosetta ist bereits seit dem Jahr 2004 unterwegs. Seit August 2014 zieht er nun seine Bahnen um den Kometen und beobachtet den Kern aus der Nähe. Hier kommen Kamerainstrumente in verschiedenen Spektralbereichen sowie Fernerkundungsinstrumente im Radio- und Radarwellenbereich zum Einsatz, Magnetfeld- und Plasmamessungen finden statt und auch die in der Umlaufbahn durchquerte Gas- und Staubhülle des Kometen wird an Bord analysiert.

The object of Rosetta's investigation is a comet, a heavenly body that originally comes from the extremely cold fringes of the solar system, where an infinite number of small icy bodies are believed to exist. Scientists hope that the nucleus of the comet harbours that primeval matter from which our solar system formed in the distant past. Having spent billions of years in the 'cosmic chest freezer' far away from the Sun, the orbits of some of these bodies are disturbed, and they enter a trajectory that brings them to the inner solar system. As they approach the Sun, its increasing heat irradiation causes the characteristic cometary tail to form from evaporating gas and dust. Observations made so far suggest that the bodies of these comets consist of a mixture of ice – water ice as well as frozen gases like carbon dioxide, methane, etc. – and rock dust. The Rosetta mission investigates the forms and mixtures in which this material coagulated in the nucleus of the comet. Research also addresses the question of whether the conditions that are hospitable to life on Earth, particularly its large volume of surface water, evolved only after the 'great bombardment' – a 'rain shower of asteroids and comets' that hit the young planet around 3.8 billion years ago.

The comet hunter Rosetta has been on its way since 2004. Since August 2014, it has been orbiting the comet, observing its nucleus from close up. For this purpose, it uses cameras operating in various spectral bands as well as radio and radar-based remote-sensing instruments, magnetic-field and plasma measurements are taken, and the comet's envelope of gas and dust penetrated by the probe on its orbit is being analysed on board as well.

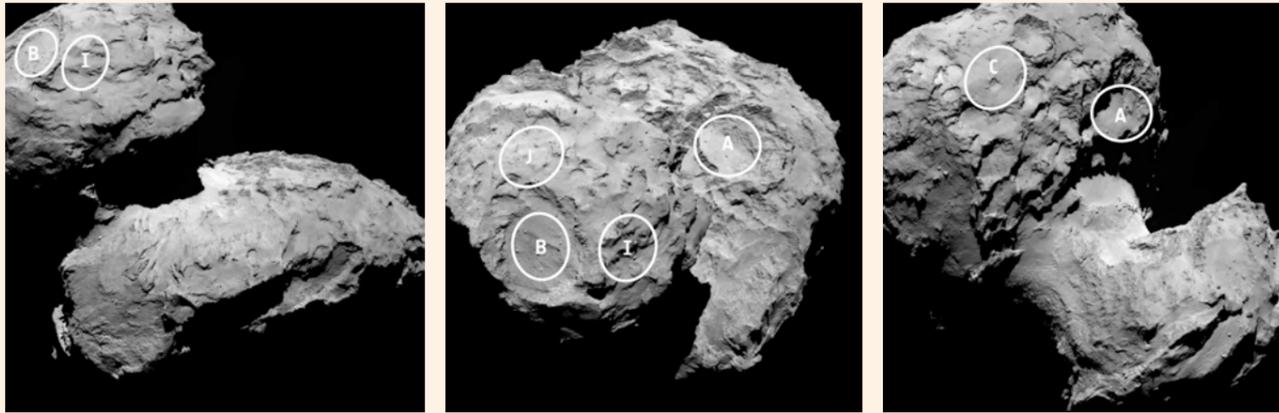
Montage aus vier Einzelaufnahmen, die die Navigationskamera an Bord der Raumsonde Rosetta am 24. September 2014 vom Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko gemacht hat. Sie entstanden aus 28,5 Kilometern Entfernung zum Kometen und zeigen wunderschön, dass er aus zwei Körpern besteht, die von einem dünnen Hals zusammengehalten werden – eine Form, die die Wissenschaftler ursprünglich nicht erwartet hatten.

A mosaic of four individual frames showing comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, captured by the NavCam on board the Rosetta probe on September 24, 2014. The images were taken from a distance of 28.5 kilometres, and they beautifully demonstrate how the comet consists of two bodies, held together by a thinner, neck-like piece – not the shape that had originally been expected by scientists.



Rosettas Lander Philae ist am 12. November 2014 auf der Oberfläche des Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko mehrmals gelandet. Dieses Bild, das vom CIVA-Kamerasystem an Bord des Landers aufgenommen wurde, zeigt Philae an seiner „Ruhestätte“ nach dem letzten Aufsetzen. Unten links im Bild ist eines der drei Landerbeine zu erkennen.

Rosetta's lander Philae performed several touchdowns on the surface of the comet 67P/Churyumov-Gerasimenko on November 12, 2014. This image, captured by the CIVA camera system on board the lander, shows Philae at its 'place of rest' after its final landing. One of the three landing legs can be seen on the left.



**Fünf Kandidaten für eine Landung:** Für Philae's Landung musste zuvor ein abwechslungsreiches, aber nicht zu sehr zerklüftetes Gebiet mit einer guten Beleuchtung durch die Sonne und kaum steilen Hängen als Landeplatz gefunden werden. Drei der möglichen Landestellen (B, I und J) befinden sich auf dem kleineren der beiden Kometenteile, die beiden anderen (A und C) sitzen auf dem größeren Teil, dem Körper. In einem zweiseitigen Auswahlverfahren hat sich das Landerteam unter DLR-Leitung unter fünf möglichen Kandidaten für „Site „J“ entschieden. Die Region auf dem Kopf des zweiteiligen Kometen macht nach sorgfältiger Auswertung aller verfügbaren Daten am 15. September 2014 das Rennen.

Five candidate landing spots: prior to the landing, scientists needed to identify a landing site, in a piece of terrain rich in variety but not too rugged with a good amount of sunlight and hardly any steep slopes. Three of the possible spots (B, I, and J) are located on the smaller part of the comet's body, the two others (A and C) lie on the larger part. In a two-day selection process, the lander team, under the lead of DLR, chose 'Site J' from the five candidates. After careful examination of all available data, this region on the head of the dyadic comet was selected as the most favoured site on September 15, 2014.

### Erste Landung auf einem Kometen

Höhepunkt der Rosetta-Mission ist die Landung der Tochtersonde Philae auf dem Kometenkopf. Das Absetzmanöver am 12. November 2014 läuft so präzise ab, dass die Landesonde pünktlich um 16.32 Uhr fast im Zentrum des Zielgebietes aufsetzt. Allerdings gelingt dabei die Verankerung im Boden nicht. Die Elastizität des Landegeräts drückt Philae mit geringer Geschwindigkeit wieder von der Kometenoberfläche weg. Der Lander bleibt nach einigen „Hüpfen“ dauerhaft am Boden.

Damit ist erstmals eine Sonde weich auf dem Kernkörper eines Kometen gelandet. Bisher ist es der amerikanischen Weltraumagentur NASA gelungen, den Einschlag eines von einer Raumsonde abgeschossenen Projektils auf einem Kometenkern im schnellen Vorbeiflug zu beobachten. Die Messungen, die jetzt im Rahmen der Rosetta-Mission erfolgen, werden demgegenüber viele neue Erkenntnisse liefern – ein Meilenstein in der Erforschung unseres Sonnensystems. Durch die geringe Anziehungskraft des etwa drei mal vier Kilometer großen Kometenkerns ist die Landeeinheit trotz 100 Kilogramm Masse nur mit der Geschwindigkeit eines vom Baum gewehten Blattes zu Boden geschwebt und hat sich dann trotzdem noch mehrfach von der Oberfläche gelöst, bevor sie etwa ein Kilometer entfernt zur Ruhe gekommen ist. Ihr Abstieg aus 22,5 Kilometern Höhe hat nach der Trennung von Rosetta sieben Stunden gedauert, das „Hüpfen“ auf der Kometenoberfläche weitere zwei Stunden. Die große Entfernung zur Erde hat eine direkte Steuerung von Philae-Kontrollzentrum in Köln verhindert. Obwohl mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs, benötigen die Funkkommandos immer noch knapp 28 Minuten bis zum Eintreffen an der Raumsonde. Ebenso lange brauchen die Rückmeldungen zur Erde. Der Betrieb des Sonden-Gespans muss daher weitestgehend selbstständig geschehen.

Alle Beobachtungs- und Messsequenzen sind intensiv vorgeplant, am Bodenmodell getestet und werden als Softwareprozedur an die Raumsonde übermittelt. Für die Wissenschaftler und Techniker bleibt es daher immer nervenaufreibend, ob die geplanten Sequenzen im All auch erfolgreich ablaufen. Wenn dann Unerwartetes eintritt, kann erst mit erheblichem, zeitlichen Nachlauf auf die neue Lage reagiert werden. Noch

### The first landing ever on a comet

The landing of the piggyback probe Philae on the head of the comet is the highlight of the Rosetta mission. The precision of the release manoeuvre on November 12, 2014, was such that the lander touched down nearly in the centre of the target area dead on time at 4.32 p.m. However, the attempt to anchor the probe in the ground failed. The elasticity of the landing gear pushed Philae slowly away from the comet's surface. The lander ultimately remained permanently on the ground after a few 'hops'.

This is the first soft landing of a probe on the nucleus of a comet. So far, the only achievement in this field was NASA's observation of the impact of a projectile fired by a space probe at the nucleus of a comet during a fast fly-by. Compared to that, the measurements now being run under the Rosetta mission will provide many new discoveries – a milestone in the exploration of our solar system. Because of the low gravity of the comet's nucleus, which measures about three by four kilometres, the lander module floated to the ground no quicker than a leaf blown from a tree despite its mass of 100 kilograms, and even so, it bounced off the surface several times before coming to rest one kilometre away. After its separation from Rosetta, it took seven hours for its descent from an altitude of 22.5 kilometres and spent another two hours 'hopping' on the surface of the comet. Because of the enormous distance to Earth, the probe's systems cannot be immediately controlled from the Philae Control Centre in Cologne. Although travelling at the speed of light, radio commands take almost 28 minutes to arrive at the space probe. Messages sent back to Earth take just as long. Therefore, the spacecraft duo must operate on an almost completely autonomous basis.

Planned ahead in great detail and tested on ground models, all observation and measurement sequences are communicated to the space probe in the form of software procedures. It is a nerve-racking experience for scientists and engineers to see whether the sequences they have planned run successfully in space. If something unexpected happens, it takes considerable time to respond to the new situation.

### Namen und ihre Bedeutung

Die Mission ist nach der ägyptischen Stadt Rosetta benannt. Dort wurde im Jahre 1799 der berühmte Stein von Rosetta gefunden – eine als Fragment erhaltene steinerne Stele mit einem in drei Schriften (Hieroglyphen, Demotisch, Altgriechisch) eingemeißelten Priesterdekret. Die dreisprachige Inschrift stammt aus dem Jahr 196 vor Christus. Sie ehrt den ägyptischen König Ptolemaios V. und rühmt ihn als Wohltäter. Diese Inschriften und jene auf dem Tempel-Obelisken von der Insel Philae halfen dem Franzosen Jean Francois Champollion bei der Entschlüsselung der altägyptischen Hieroglyphen. Da der Tempelbezirk auf der Insel Philae nach dem Bau des Assuan-Staudamms dauerhaft geflutet wurde, versetzte man den Philae-Tempel auf die Insel Agilkia. 8.300 Vorschläge gingen in einem Wettbewerb der Raumfahrtagenturen DLR, CNES, ASI und ESA um den Namen für den Landeplatz ein. Als Gewinner wurde der Franzose Alexandre Brouste aus Le Mans ausgelost, der wie weitere rund 150 Teilnehmer „Agilkia“ vorgeschlagen hatte.



### Names and their meaning

The mission was named after the Egyptian city of Rosetta, where the famous Rosetta stone was found in 1799 – the fragment of a stone stele containing a priest's decree engraved in three scripts (hieroglyphic, demotic, old Greek). This trilingual inscription dates back to the year 196 before Christ. It honours the Egyptian king Ptolemaios V, praising him as a benefactor. These inscriptions, together with those on the obelisk in the temple on the island of Philae, assisted the Frenchman Jean Francois Champollion in decoding the ancient Egyptian hieroglyphs. Because the temple district on the island of Philae was permanently flooded after the Aswan dam was built, the temple of Philae was moved to the island of Agilkia. 8,300 suggestions were submitted in a competition held by the space agencies DLR, CNES, ASI, and ESA to find a name for the landing site. The winner by lot was Alexandre Brouste from Le Mans, a Frenchman who had suggested 'Agilkia' together with around 150 other contestants.

nervenaufreibender für die Wissenschaftler ist, was die gewonnenen Messdaten nach gründlicher, oft wochenlangem Auswertung aussagen und ob dann noch gezielte Nachmessungen zur Überprüfung möglich sein werden.

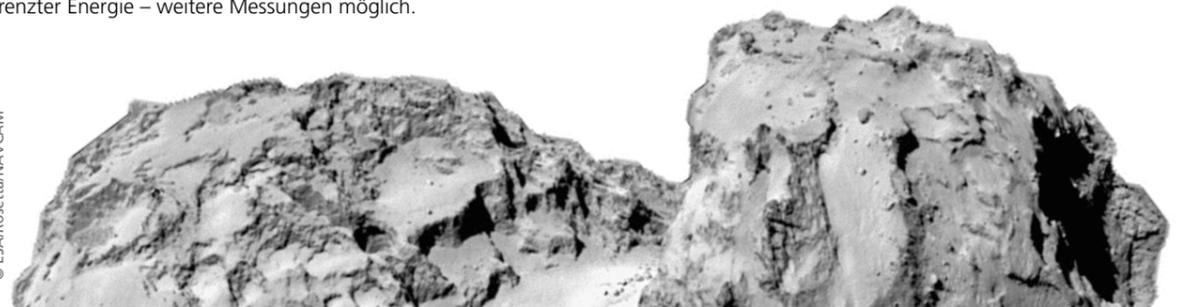
Die wissenschaftlichen Messungen des Landers haben bereits während des Abstieges auf den Boden begonnen. Nach Philae's erstem Aufsetzen ist das wissenschaftliche Hauptmessprogramm gestartet worden und nach einem ausgeklügelten Plan haben alle zehn Instrumente ihren Betrieb aufgenommen. In dieser „First Science Phase“ hat das „Lander Control Center“ des DLR in Köln Philae kommandiert und überwacht, wobei die Kommunikation von der Erde über die Rosetta-Raumsonde zum Lander erfolgt und nur außerhalb der Funkschatten (durch den Kometen) möglich gewesen ist. Für diese Phase ist nur für rund 60 Stunden Batteriestrom verfügbar. Später hätte die Sekundärbatterie mittels Solarzellen wieder aufgeladen werden sollen. Der endgültige Landeort von Philae liegt allerdings in einer schluchtartigen Vertiefung, in die nur selten etwas Sonnenlicht gelangt. Statt der erhofften Sonnenscheindauer von sechs bis sieben Stunden (je Kometentag ~ 12,8 Stunden) erhalten die Solarzellen nur ein bis anderthalb Stunden Sonne. Noch gravierender für den Lander ist aber die niedrige Temperatur am jetzigen Standort. Nach Aufbrauchen der Stromreserven ist das Innere des Landers soweit abgekühlt, dass ein Aufladen der Batterie momentan nicht möglich ist. Es besteht aber Hoffnung, dass die mit der Sonnenannäherung steigenden Temperaturen ein Wiedereinschalten des Landers zulassen.

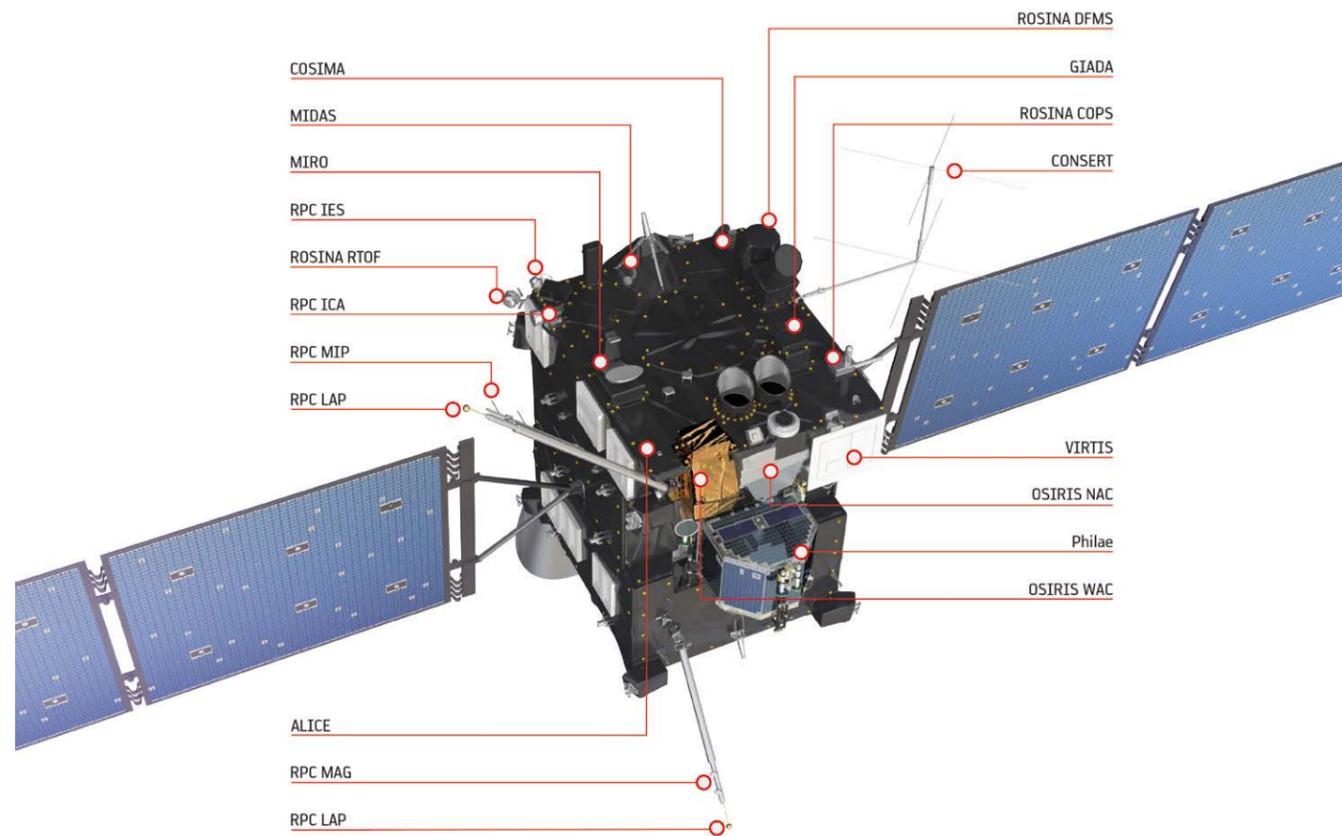
Mit der Landung der Tochtersonde Philae kann der Kometenkern, dessen „Ausdünstungen“ und sein Magnetfeld direkt untersucht werden. Auch sein Inneres wird mit Radio- und Schallwellen durchleuchtet. Wenn der Lander aus seinem jetzigen „Winterschlaf“ erwachen sollte, sind hoffentlich – trotz begrenzter Energie – weitere Messungen möglich.

What is even more nerve-racking to scientists is the interpretation of measurement data, whose evaluation often takes weeks, the worrying question being whether specific follow-up measurements for verification will still be feasible at that time.

The lander began its scientific measurements even during its descent to the ground. After Philae's first touchdown, the main programme of scientific measurements was activated and all ten instruments began operations following a sophisticated, result-optimised plan. During this 'first science phase', Philae was commanded and monitored by DLR's Lander Control Centre in Cologne, when Earth communicated with the lander via the Rosetta probe, which can be done only outside the radio shadow cast by the comet. To cover these phases, battery power will be available for no more than around 60 hours. Later on, the secondary battery should have been recharged by solar cells. However, the place where Philae finally landed lies in a gorge-like depression where the light of the Sun reaches only rarely. Instead of the hoped-for six to seven hours of sunshine (per cometary day ~ 12.8 hours), the solar cells receive sunlight only for one to one and a half hours. What is even worse for the lander is the low temperature at its present location. After the power reserves ran out, the lander's interior cooled down so far that it is currently impossible to recharge the battery. However, there are hopes that the lander might be re-setted when temperatures rise as it gets closer to the Sun.

Now that the Philae probe has landed, the body of the nucleus, its 'exhalations', and its magnetic field may be investigated directly. Its interior, too, is being examined with radio and sound waves. If the lander should awaken from its current 'hibernation', further measurements may hopefully become possible despite limited energy resources.





## Rosetta-Instrumente/Rosetta's Instruments

### Alice

ist ein abbildendes Ultraviolett-Spektrometer, das die wichtigsten Gasmoleküle in der Koma, den Anteil der Edelgase sowie die Ionen im Schweif analysiert.

is an ultraviolet-imaging spectrometer that measures the most important gas molecules in the coma, the proportion of noble gases, and ions in the comet's tail.

### CONSERT (Comet Nucleus Sounding Experiment by Radio Wave Transmission)

sendet langwellige Radiosignale durch den Kern, um dessen Beschaffenheit zu erkunden.

sends long-wave radio signals between lander and orbiter to determine the nucleus' properties.

### COSIMA (Cometary Secondary Ion Mass Analyser)

sammelt und analysiert Staubkörner.

collects and analyses dust particles.

### GIADA (Grain Impact Analyser and Dust Accumulator)

bestimmt Anzahl, Größe und Geschwindigkeit der Staubkörnerchen in der Koma.

measures frequency, size, and momentum of dust particles in the coma.

### MIDAS (Micro-Imaging Dust Analysis System)

dient der Analyse der Mikrostruktur der Staubteilchen (Staubteleskop).

is intended for the microtextural analysis of cometary dust particles (dust telescope).

### MIRO (Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter)

bestimmt die Produktionsrate von Gasmolekülen sowie die Temperatur nahe der Oberfläche des Kometenkerns.

measures the production rate of gas molecules and the near-surface temperature of the comet.

### OSIRIS (Optical, Spectroscopic, and Infrared Remote Imaging System)

ist eine Tele- und eine Weitwinkelkamera zur Beobachtung des Kerns und seiner Umgebung im Bereich des sichtbaren Lichtes.

consists of a narrow-angle and a wide-angle camera for observations of the core and its environment in the range of visible light.

### ROSINA (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis)

bestimmt das Atomgewicht von Gaskomponenten und ermöglicht die Unterscheidung von Isotopen.

is a mass spectrometer determining the atomic weight of gases and is able to distinguish between isotopes.

### RPC (Rosetta Plasma Consortium)

Magnetfeld-, Ionen- und Elektronendetektoren beobachten Wechselwirkungen von Koma und Schweif mit dem Sonnenwind.

is a set of ion, magnetic, and electron detectors to observe the plasma environment of coma and tail interacting with the solar wind.

### RSI (Radio Science Investigation)

nutzt die minimalen Frequenzabweichungen, die durch den Dopplereffekt bei Radiosignalen zur Erde auftreten, um aus den daraus abgeleiteten Bahnstörungen der Sonde die Gravitation, Form und Dichteverteilung des Kometenkerns zu bestimmen.

uses minimal frequency deviations generated in radio signals to Earth by the Doppler effect to yield information on the comet core's gravity, shape, and density distribution from the derived trajectory impairment of the probe.

### VIRTIS (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer)

misst die Zusammensetzung sowie die Temperatur der Oberfläche und charakterisiert die Gasmoleküle in der Koma.

measures the composition and temperature of the surface and characterises the gas molecules in the coma.

## Philae-Instrumente/Philae's Instruments

### APXS (Alpha Particle X-ray Spectrometer)

untersucht die Verteilung chemischer Elemente auf der Oberfläche des Kometen.

analyses the distribution of chemical elements on the comet's surface.

### CIVA (Comet Infrared and Visible Analyser)

fotografiert den Landeplatz und untersucht die mit dem Bohrer gewonnenen Bodenproben mit Mikroskopen.

images the landing site and analyses the core samples gained from a drilling device with a microscope.

### CONSERT (Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission)

durchleuchtet mit Radiowellen im Zusammenspiel mit dem Orbiter das Innere des Kerns.

investigates the inner structure of the comet by propagating radio waves through the core.

### COSAC (Cometary Sampling and Composition)

bestimmt die chemische Zusammensetzung der gefrorenen Oberfläche aus den SD2-Bohrproben.

analyses drill cores to measure the chemical composition of the frozen soil.

### MUPUS (Multi-Purpose Sensors for Surface and Sub-Surface Science)

misst die Temperatur nahe der Oberfläche und die thermische Leitfähigkeit des Bodens.

measures the temperature near the surface and the thermal conductivity of the ground.

### Ptolemy

untersucht die isotopische Zusammensetzung der Bohrproben durch einen Massenspektrometer und vorgeschalteten Gaschromatographen.

analyses the isotopic composition of the drill cores with a mass spectrometer and a gas chromatograph.

### ROLIS (Rosetta Lander Imaging System)

fotografiert während und nach der Landung mit einer Kamera das Gebiet unter dem Lander.

images the landing site and surrounding areas during descent and landing.

### ROMAP (Rosetta Lander Magnetometer and Plasma Monitor)

ermittelt das Magnetfeld an der Landestelle und beim Abstieg.

determines the strength of the magnetic field at the landing site and during descent.

### SD2 (Sample, Drill, and Distribution)

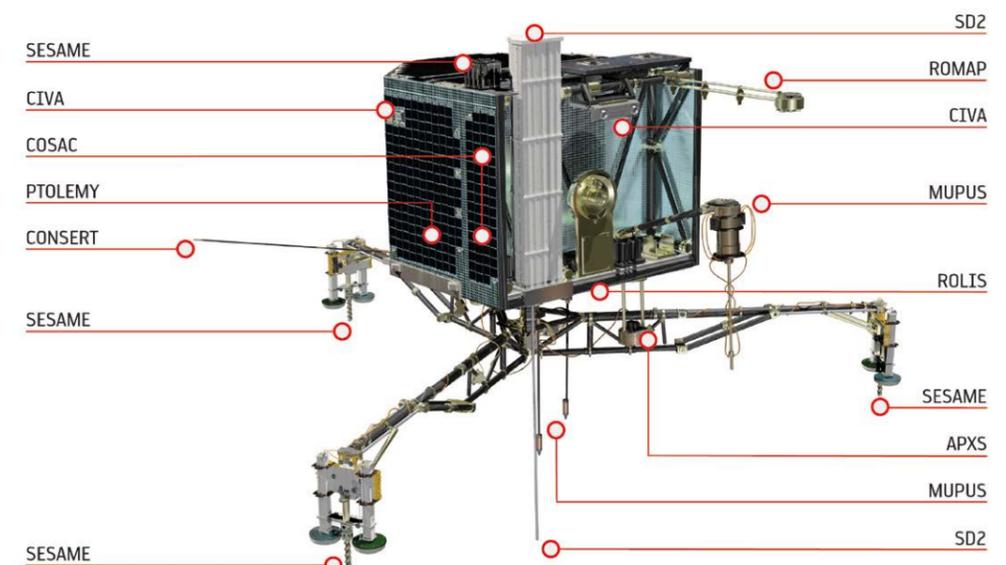
bohrt zur Gewinnung von Bodenproben bis maximal 20 Zentimeter Tiefe.

drills cores to take soil samples to a depth of max. 20 centimetres.

### SESAME (Surface Electrical, Seismic, and Acoustic Monitoring Experiments)

enthält Sensoren zur Messung von mechanischen und elektrischen Eigenschaften der Kometenoberfläche sowie einen Staubeinschlagmonitor.

contains sensors to measure mechanical and electrical properties of the comet's surface and a dust-particle impact monitor.



## Die Reise von Rosetta

Um den Kometen 67P/Churyumov/Gerasimenko zu erreichen, hat das europäische Sonden-Gespann eine 6,4 Milliarden Kilometer lange, zehn Jahre dauernde Reise gemeistert. Dabei hat es sich allerdings größtenteils langsamer als die Erde bewegt, die in gleicher Zeit mehr als zehn Milliarden Kilometer um die Sonne zurücklegte.

Keine Trägerrakete wäre stark genug, um die Raumsonde gleich auf die richtige Bahn in Richtung Komet zu bringen. Darum hat man auf einen „Schleudertrick“ – die sogenannten Swing-By-Manöver – zurückgegriffen, den in den 1970er-Jahren erstmals die NASA bei den US-amerikanischen Voyager Sonden eingesetzt hat: Nach ihrem Start am 2. März 2004 hat man Rosetta auf eine Bahn gebracht, die sie im März 2005 im Gravitationsfeld der Erde „Schwung holen“ lässt. Dieses Bahnmanöver schleudert Rosetta dann bis zum Mars hinaus. Im Februar 2007 passiert sie den Roten Planeten, der ihre Flugbahn abermals zur Erde ablenkt. Im November 2007 holt der Kometenjäger erneut an der Erde Schwung. So wird die inzwischen elliptische Flugbahn bis zum Asteroiden-Gürtel ausgedehnt. Im September 2008 passiert Rosetta dann den Asteroiden Steins. Die elliptische Flugbahn führt die Sonde dann wieder in Erdnähe zurück. Durch einen letzten und noch schnelleren nahen Vorbeiflug an unserem Heimatplaneten gewinnt Rosetta im November 2009 nochmals „Schwung“ für eine Ausdehnung der Bahnellipse in Richtung Jupiterbahn. Sich von der Sonne entfernend passiert sie im Juli 2010 den Asteroiden Lutetia.

Die Bahn der Raumsonde weicht dann nur noch wenig von der Flugbahn des Kometen ab, so dass Rosetta nun alleine mit der Kraft ihrer Triebwerke ihr Ziel erreichen kann. Nun hat die Raumsonde zwar Kurs auf den Kometen genommen, ist dadurch aber weit aus dem inneren Sonnensystem hinaus bis fast zur Bahn des Jupiter gereist. Hier ist das Sonnenlicht nur noch so schwach, dass die Solarzellen sehr wenig Strom produzieren können. Auch die Temperatur in der Raumsonde lässt sich nicht im Betriebsbereich halten. Deshalb verbringt Rosetta von Juni 2011 bis Januar 2014 in einer Art Winterschlaf, bei dem nur Notfunktionen aktiviert sind. Auch die Kommunikation mit der Erde ist unterbrochen – 30 Monate verbringt Rosetta so ohne Kontakt zur Erde. Als im Januar 2014 die Raumsonde selbstständig aus ihrem „Winterschlaf“ erwacht und sich zurückmeldet, ist daher die Erleichterung im Bodenkontrollzentrum groß. Im Mai 2014 erfolgen größere Triebwerksmanöver, die die Raumsonde endgültig auf Kometenkurs bringen. Im August 2014 erreicht Rosetta schließlich den Kometen. Seitdem umkreist Rosetta seinen Kern und bewegt sich gemeinsam mit ihm wieder auf die Sonne zu.

Die Tochtersonde Philae landet am 12. November 2014, bei einem Abstand zur Sonne, der etwa dem dreifachen Abstand Erde-Sonne entspricht und bei dem der Komet nur schwach aktiv ist. Am 13. August 2015 wird 67P/Churyumov-Gerasimenko dann den sonnennächsten Punkt (Perihel) der Kometenbahn erreichen, der zwischen Erd- und Mars-Bahn beim 1,3-fachen Erde-Sonne-Abstand liegt. Die von der Sonne eingestrahlte Energie wird zwischen Philae-Landung und Perihel etwa um den Faktor fünf ansteigen und das Verdampfen der flüchtigen Bestandteile des Kernmaterials anregen. Diese Phase starker Aktivität im Jahr 2015 und das Verhalten der Gas-Staubhülle – der sogenannten Koma – wird die Raumsonde bis zum Missionsende im Dezember 2015 genau beobachten. Für Philae erhoffen sich die Wissenschaftler, dass sie bei steigenden Temperaturen später noch einmal erwachen wird und weitere Messungen durchführen kann. Ob und für wie lange die rauen Bedingungen an der Oberfläche und der stärker werdenden Kometenaktivität das zulassen, wird sich zeigen.

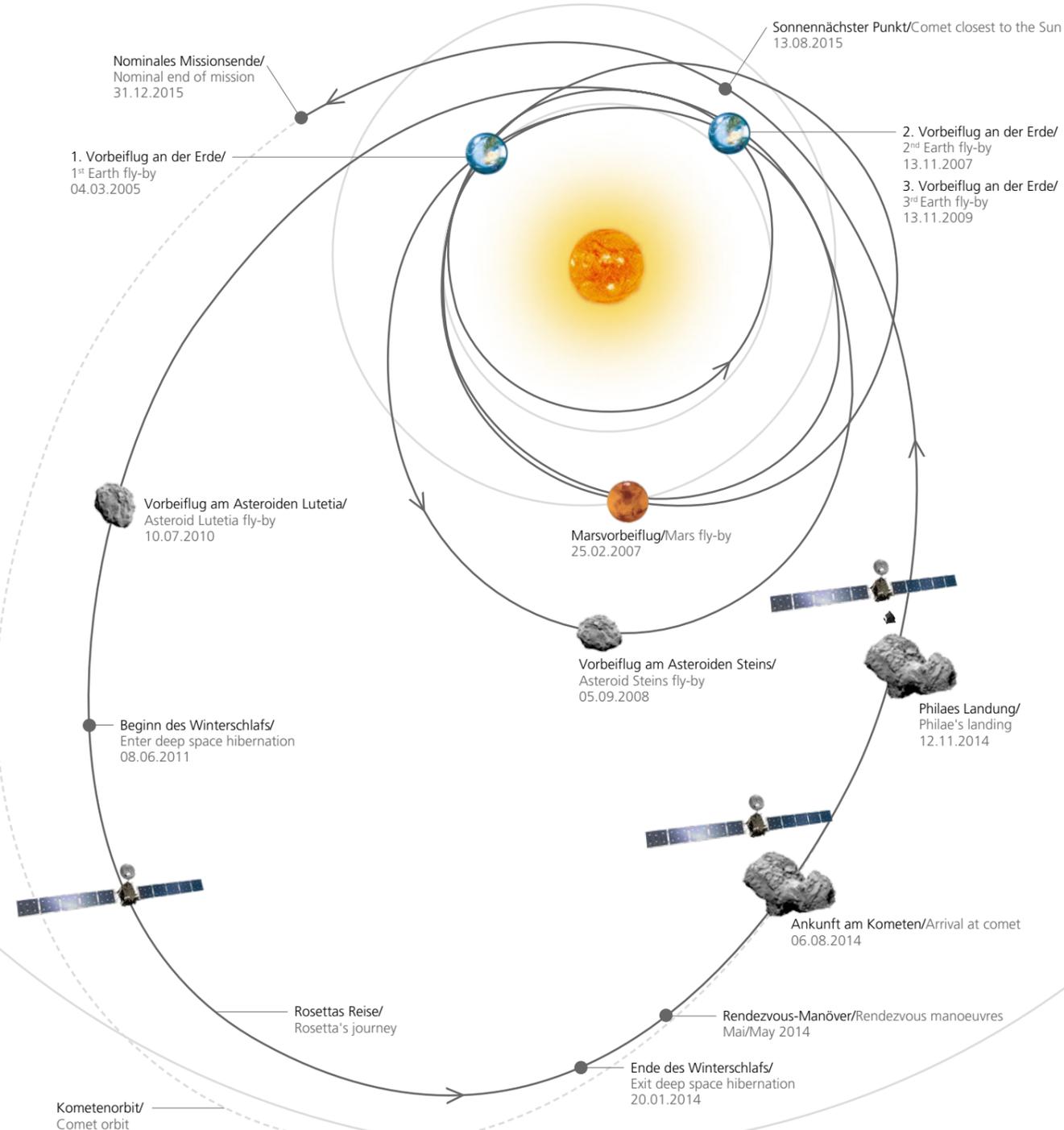
## Rosetta's journey

To reach the comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, the European probe team has mastered a journey that spanned 6.4 billion kilometres and lasted ten years. To be sure, it mostly moved more slowly than Earth, which covered more than ten billion kilometres around the Sun during the same time.

No launcher would have been powerful enough to set the probe on the right track towards the comet right away. Therefore, it was decided to use the 'slingshot trick' – so-called swing-by manoeuvres first employed by NASA in the 1970s for the American Voyager probes: after its launch on March 2, 2004, Rosetta was put into a flight path on which it could 'gather momentum' in the Earth's gravitational field in March 2005. This orbital manoeuvre threw Rosetta out as far as Mars. In February 2007, it passed the Red Planet, which turned its flight back to Earth again. In November 2007, the comet hunter once again gathered momentum around Earth, expanding its now elliptical trajectory to the asteroid belt. In September 2008, Rosetta passed the asteroid Steins, after which its elliptical flight path led it again back to the vicinity of Earth. A last, even faster close fly-by around our home planet in November 2009 gave Rosetta yet more momentum, enough to extend its elliptical orbit towards that of Jupiter. Leaving the Sun behind, it passed the asteroid Lutetia in July 2010.

From then on, there was only little discrepancy between the path of the space probe and that of the comet, enabling Rosetta to reach its target by the strength of its engines alone. While the probe was on course for the comet, it travelled far beyond the inner solar system almost to the orbit of Jupiter, where the sunlight is so faint that the probe's solar cells are unable to generate enough electricity for full service. Nor can the temperature inside the spacecraft be kept within the operating range. From June 2011 to January 2014, therefore, Rosetta was put into a kind of hibernation in which only emergency functions remained active. Communication with Earth was similarly interrupted, so that Rosetta spent 30 months without contact with Earth. When the space probe autonomously awoke from its 'hibernation' and reported itself operational in January 2014, relief at the Ground Control Centre was great. In May 2014, major engine manoeuvres were carried out that finally put the space probe on course towards the comet, which Rosetta reached in August 2014. Since then, Rosetta has been orbiting the nucleus, moving back towards the Sun together with it.

On November 12, 2014, the Philae piggyback probe landed at a distance to the Sun amounting to about three times the Earth's distance from the Sun, a distance at which the activity of the comet is weak. On August 13, 2015, 67P/Churyumov-Gerasimenko will reach the point closest to the Sun (perihelion) on its orbit, between the orbits of Earth and Mars at 1.3 times the distance between the Earth and the Sun. Energy flow from the solar radiation will rise by approximately a factor of five between the landing of Philae and the perihelion, causing the volatile components of the nucleus to evaporate. Until the end of its mission in December 2015, the space probe will scrutinise this phase of strong activity and the behaviour of the envelope of gas and dust, the so-called coma. As far as Philae is concerned, scientists hope that rising temperatures will wake it up again, enabling it to carry out more measurements. Whether and for how long the rough conditions prevailing at the surface and the growing activity of the comet permit it to do so will have to be seen.



# Rosetta und Philae

Nach dreißig Jahren am Ziel angekommen

Interview mit Hartmut Scheuerle

**Die Rosetta-Mission hat eine lange Geschichte: Im Jahr 1984 hat die Europäische Weltraumorganisation ESA in ihrem Langzeitprogramm „Horizon 2000“ die vier sogenannten „Cornerstone“-Missionen beschlossen – eine davon als eine Reise zu primordialen Körpern. Aus dieser eigentlichen Probenrückführungsmission ist Rosetta entstanden, die die Landesonde Philae dreißig Jahre später auf dem Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko absetzte. Im November 1993 endgültig beschlossen, am 2. März 2004 endlich gestartet, am 20. Januar 2014 aus dem „Winterschlaf“ aufgewacht, am 12. November 2014 gelandet – Rosetta und Philae haben eine lange Reise durch unser Sonnensystem mit vielen „Abenteuern“ hinter sich gebracht. Ein weiteres Highlight kommt, wenn sich der Komet im August 2015 seinem sonnennächsten Punkt nähert und aus seinem gefrorenen Tiefschlaf „erwacht“. Rosetta wird ihn in seiner aktiven Phase dann noch bis zum Ende nächsten Jahres beobachten. Hartmut Scheuerle hat das Sonden-gespann 15 Jahre lang für das DLR begleitet. Im Interview erzählt er, wie er diese Zeit erlebt hat.**

## Rosetta and Philae

After 30 Years on Target

Interview with Hartmut Scheuerle

**The Rosetta mission has a thirty-year history: under its 1984 long-term science programme Horizon 2000, the European Space Agency, ESA, decided to undertake four so-called Cornerstone Missions, one of which was to be a journey to one of the primordial bodies of the solar system. It was on the basis of this mission, which was originally intended to return samples to Earth, that the Rosetta probe evolved, which managed to release its landing device, Philae, to comet 67P/Churyumov-Gerasimenko thirty years later. With the resolution formally adopted in November 1993, Rosetta was finally launched on March 2, 2004, woken up from its hibernation on January 20, 2014, and the landing was finally performed on November 12, 2014. Rosetta and Philae travelled a long way through our solar system and mastered many 'adventures'. The mission will see another highlight when the comet reaches its closest distance from the Sun in August 2015, and 'awakes' from its current deep-frozen state. Rosetta will continue observing it for the rest of its active life, until the end of next year. At DLR, Hartmut Scheuerle has monitored the duo on its journey for 15 years. In an interview he told us how he has experienced this time.**



**Hartmut Scheuerle** vertritt das DLR Raumfahrtmanagement im Philae-Steering-Committee. Er war Lander-Projektleiter im ehemaligen DLR-Institut für Raumsimulation während der Hardwarephase und begleitet seitdem die Rosetta-Mission. Das Interview führte COUNTDOWN-Redakteur **Martin Fleischmann**.

**Hartmut Scheuerle** represents the DLR Space Administration in the Philae-Steering-Committee. During the hardware phase, he was the project manager for the lander at the former DLR-Institute for Space Simulation. Since this time, he is in touch with the Rosetta mission. The interview was conducted by COUNTDOWN editor **Martin Fleischmann**.

**Der Wissenschaftsjournalist Ranga Yogeshwar hat die Mission Rosetta als größte Raumfahrtmission nach der Mondlandung bezeichnet. Würden Sie seine Meinung teilen?**

**Scheuerle:** Mit Superlativen bin ich vorsichtig. Die Mondlandung war schon etwas Einzigartiges. Jeder, der den 21. Juli 1969 miterlebt hat, wird sich daran erinnern, wie zum ersten Mal in unserer Geschichte Menschen einen anderen Himmelskörper betreten. Unsere Familie saß vor dem Fernseher – wie Millionen Menschen weltweit – und ich habe die Sendung sogar mit meinem Tonbandgerät aufgenommen. Das war schon eine tolle Sache. Ein Programm, das nach der legendären Rede von US-Präsident John F. Kennedy am 25. Mai 1961 aus dem Boden gestampft wurde und für das gerade einmal acht Jahre Entwicklungszeit bis zum Start blieben. Das war aus heutiger Sicht ein ungemein schnelles Projekt, und das ging sicherlich nur unter Inkaufnahme erheblicher Risiken.

Bei Rosetta ist es ein bisschen anders gelaufen. Hier hatte man länger Zeit, um die Mission zu planen und umzusetzen. Aber natürlich gibt es schon einige Besonderheiten. Zum Beispiel die Hardwarephase mit all den in Projekten üblichen Problemen, aber mit einem unverrückbaren Startfenster. Das war wie eine Mauer am Ende der Straße. Wenn man es bis dahin nicht geschafft hatte, war der Komet nicht mehr erreichbar, jedenfalls für mehrere Jahre nicht mehr. Dann der Missionsverlauf selbst. Ein Sonden-gespann nach zehn Jahren Flugzeit, vier Swing-By-Manövern und dem „Wiedererwachen“ nach einem zweieinhalb Jahre dauernden „Schlafmodus“ zu einem Kometen in mehr als 500 Millionen Kilometern Entfernung zur Erde zu bringen, einen Orbit um den Kometen einschlagen und dann noch eine Sonde auf ihm landen zu lassen, ist schon eine phantastische Leistung. Das wird, wie wir an dem weltweiten Medienecho gesehen haben, auch von der Öffentlichkeit verstanden. Wenn Yogeshwar, den ich sehr schätze, Rosetta in der Bedeutung direkt nach der Mondlandung einordnet, ist das schon verständlich und für die Beteiligten auch Grund für etwas Stolz.

**Diese Begeisterung hat aber nicht nur mit dem Missions-szenario zu tun, oder? Wir könnten dank Rosetta vielleicht erfahren, wo wir herkommen und wie Leben auf unsere Erde gelangt sein könnte. Welchen programmatischen Stellenwert haben die Erforschung nach unserer Herkunft und die Erforschung der Kometen?**

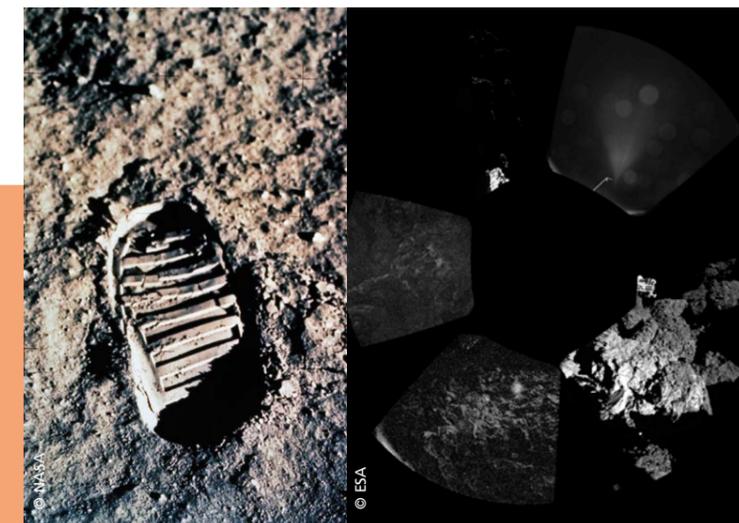
**Große Missionen, die Geschichte schrieben:** Am 21. Juli 1969 um 3:56 Uhr MEZ betraten mit Neil Armstrong und Buzz Aldrin die ersten Menschen im Zuge der Mission Apollo 11 den Mond. Fünf weitere bemannte Mondlandungen des Apollo-Programms fanden in den folgenden drei Jahren statt. Mit der ersten weichen Landung einer Sonde auf einem Kometenkern leitete das Orbiter-gespann Rosetta und Philae ein neues Zeitalter in der Erkundung unseres Planetensystems ein.

**Great missions that made history:** on July 21, 1969, at 3:56 a.m. CET, astronauts Neil Armstrong and Buzz Aldrin were the first humans to step on the surface of the Moon as part of the Apollo 11 mission. Five other lunar landing missions took place in the following three years. Having performed the first soft landing on the nucleus of a comet, the Rosetta/Philae duo marked the beginning of a new era in the exploration of our planetary system.

**Science journalist Ranga Yogeshwar has called the Rosetta mission the greatest spaceflight achievement after the Moon landing. Would you share his opinion?**

**Scheuerle:** I am careful with superlatives. After all, the lunar landing was a unique event. Anyone who witnessed what happened on July 21, 1969, will remember how men stepped on another heavenly body for the first time in our history. Our family was watching television – like millions of people worldwide – and I even recorded the programme on tape. It was really amazing. A programme that was conjured up after the legendary speech of President John F. Kennedy on May 25, 1961; a launch date that left the engineers with barely eight years for development. Viewed from today, it was an extraordinarily fast project, and I am sure that running considerable risks was part of the bargain.

Rosetta was a bit different. In this case, there was more time to plan and implement the mission. Naturally, there are a few oddities. The hardware phase, for example, with all the problems that commonly beset projects and a launch window that could not be moved. It was like a wall at the end of the road. If anything had gone wrong, the comet would have been beyond reach, at least for several years. Then, the course of the mission itself. To control a duo of space probes to a comet more than 500 million kilometres distant from Earth; after ten years of flight, four swing-by manoeuvres and a 're-awakening' after a 'hibernation' that lasted for two and a half years; making it enter into an orbit around the comet; and then, to top it all, getting a probe to land on the comet is nothing less than a fantastic achievement. The public at large are aware of this, as we can see from the worldwide echo in the media. If Mr Yogeshwar, whom I esteem highly, ranks Rosetta as second in significance only to the Moon landing, it's a reasonable assessment that should make those involved a little proud.



Erste Annäherungsversuche: Diese Aufnahme der WAC-Kamera des OSIRIS-Kamerasystems zeigt den Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko vor dem Hintergrund des Sternbildes Schlangenträger. Die abgebildete Region ist in etwa 25-mal so groß wie der Durchmesser des Vollmondes. Das Farbkomposit zeigt im Hintergrund kosmisches Wasserstoffgas und Staubwolken und entstand aus einer Distanz von etwa fünf Millionen Kilometern zu dem Kometen. Rosetta befand sich zu diesem Zeitpunkt etwa 660 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. Die Signallaufzeit für die Übertragung der Daten betrug dementsprechend rund 37 Minuten.

Getting closer: this image, captured by the WAC camera of the OSIRIS system, shows comet 67P/Churyumov-Gerasimenko against the background of the Ophiuchus, or Snake Holder constellation. The region shown is roughly 25 times the size of a full-moon disc. The colour composite indicates the presence of cosmic hydrogen gas and dust clouds. It was taken from a distance of about five million kilometres from the comet. At that time, Rosetta was about 660 million kilometres away from Earth, which means that data signals took about 37 minutes to travel to Earth.

**Scheuerle:** Wissen wo man herkommt, will doch jeder. Wir sind uns sicher, dass ein Komet diese Information tiefgefroren bei sich trägt. Allerdings ist das Reservoir dieser riesigen Schneebälle mehr als vier Milliarden Kilometer von der Sonne entfernt. Dort, jenseits der Neptunbahn, befindet sich der sogenannte Kuiper-gürtel. Dieser enthält Material, das bei der Entstehung unseres Sonnensystems und der Bildung der Planeten vor rund 4,6 Milliarden Jahren übrig geblieben ist. Also Brocken unterschiedlicher Größe, die im Wesentlichen aus Eis und Staub bestehen. Einige dieser Körper „verirren“ sich ab und zu ins Innere unseres Planetensystems. Jupiter und andere große Planeten ziehen sie mit ihrer Gravitation an und bringen so ein Stück Entstehungsgeschichte unseres Sonnensystems in Reichweite einer Raumsonde. So kam auch 67P/Churyumov-Gerasimenko aus der Tiefkühltruhe unseres Planetensystems zu uns. Bislang haben wir mit Missionen wie Giotto vor fast 30 Jahren einen Kometen beobachtet und zum ersten Mal einen Kern fotografiert. Die NASA-Mission „Deep Impact“ hat den Kometen Temple 1 beschossen und beobachtet, welche Bestandteile durch den Schuss aufgewirbelt wurden. Mit der Rosetta-Mission ist man noch einen Schritt weitergegangen: Ein Kometenkern wird aus unmittelbarer Nähe über einen längeren Zeitraum beobachtet, so dass man seine Entwicklung verfolgen kann. Und mit Philae ist zum ersten Mal eine Sonde weich auf einem Kometen gelandet.

**Rosetta und Philae waren bis zur Landung des Minilabors über zehn Jahre gemeinsam im Weltraum unterwegs. Die gesamte Mission ist aber schon mehr als doppelt so alt. Wie kam die Mission Rosetta zustande?**

**Scheuerle:** Das fing schon 1984 mit dem Langzeitprogramm „Horizon 2000“ der Europäischen Weltraumorganisation ESA an. Die tragenden Elemente dieses Programms sind die sogenannten „Cornerstone“-Missionen und eine davon war eine Reise zu primordialen Körpern, einschließlich der Rückführung von Proben zur Erde. Das war aber ein sehr ambitioniertes Ziel, für das man die Mitwirkung der NASA gebraucht hätte. Unter dem Namen „Comet Nucleus Sample Return“ hat man eine entsprechende Mission untersucht. Sie ließ sich aber nicht verwirklichen und so wurde daraus schließlich eine rein europäische Rosetta-Mission. Auf die Probenrückführung musste man zwar verzichten, aber man hatte immerhin noch einen Lander für Untersuchungen „vor Ort“. Im November 1993 wurde diese Rosetta-Mission dann endgültig beschlossen. In diesen frühen Jahren war ich allerdings noch nicht am Projekt beteiligt. Aber natürlich hat mich diese Mission sehr interessiert. Die Idee, eine Sonde auf einem Kometenkern zu landen, war faszinierend.

**Sie sind eine Strecke dieses Weges für das DLR mitgegangen. Wann sind Sie zu dem Projekt gekommen und in welcher Funktion?**

**Scheuerle:** Das war zur Jahreswende 1999/2000 nach einem Projekttreffen auf Schloss Ringberg in den Tegernseer Bergen. Die ESA hatte damals Zweifel, dass der Lander rechtzeitig fertig

**This enthusiasm is rooted not only in the scenario of the mission, or is it? Thanks to Rosetta, we might learn where we come from and how life might have reached our Earth. In programmatic terms, how important is research into our origins and the exploration of the comets?**

**Scheuerle:** Everyone wants to know where they come from, don't they. We are certain that this information is carried by some comet or other in deep freeze. However, the reservoir of these giant snowballs is more than four billion kilometres away from the Sun. There's a region beyond the orbit of Neptune that is called the Kuiper belt. It contains material that was left over when our solar system was born and the planets were formed around 4.6 billion years ago. We are looking at lumps of various sizes that essentially consist of ice and dust. Every now and then it happens that one of these bodies strays from its original course, wandering into the interior of our planetary system. Jupiter and other large planets attract them by their gravity, thus bringing some of the evidence of the birth of our solar system within reach of a space probe. This was the way in which 67P/Churyumov-Gerasimenko reached us from the 'chest freezer' of our planetary system. Former missions like Giotto almost 30 years ago enabled us to observe a comet and photograph a nucleus for the first time. NASA's Deep Impact mission fired a projectile at the comet Temple 1, observing what constituent elements were released by the impact. The Rosetta mission goes one step further: a comet's nucleus is observed from very close up over a prolonged period so that its development can be followed. And then, Philae was the first probe to make a soft landing on a comet.

**Until the mini-laboratory landed, Rosetta and Philae had been travelling through space together for ten years. The mission as a whole, however, is more than twice as old. How did the Rosetta mission come about?**

**Scheuerle:** It began as early as 1984, when the European space organisation ESA launched its Horizon 2000 long-term programme. The pillars of this programme are formed by so-called cornerstone missions, one of which was a journey to primordial bodies that included the return of samples to Earth. However, that was a highly ambitious objective that would have required a co operation with NASA. Such a mission has been examined under the name of Comet Nucleus Sample Return. However, it proved impossible to implement, which is why it was ultimately turned into a purely European mission, Rosetta. Although the return of samples had to be given up, scientists could still use the lander for investigations on the spot. This Rosetta mission was finally approved in November 1993. I was obviously not involved in the project in those early years, although I found the mission highly interesting. The idea of landing a probe on the nucleus of a comet was fascinating.

Links: Die europäische Kometenmission Giotto hat am 14. März 1986 das erste Bild eines Kometenkerns aufgenommen. Die Aufnahme zeigt den Kometen Halley.

Rechts: Einschlag auf einem Kometen: Die NASA-Sonde „Deep Impact“ hat den Kometen Temple 1 mit einem Projektil beschossen. Diese Aufnahme entstand 67 Sekunden nach dem Einschlag und zeigt, wie die herausgelösten Kometenpartikel im Sonnenlicht scheinen. Streulicht – ausgelöst von der Kollision – füllt die Linse der Kamera und sorgt für den Glanz am südlichen Ende des Kometen.

Left: Giotto, the European cometary mission, took the first picture of a comet's nucleus on March 14, 1986. The image shows Halley's comet.

Right: Hitting the surface of a comet: NASA's 'Deep Impact' spacecraft fired a projectile at comet Temple 1. The image was captured 67 seconds after the impact and shows a spray of blown-out fragments shining in the sunlight. The resulting flare fills the camera lens and creates the impression of a bright glow at the southern end of the comet.



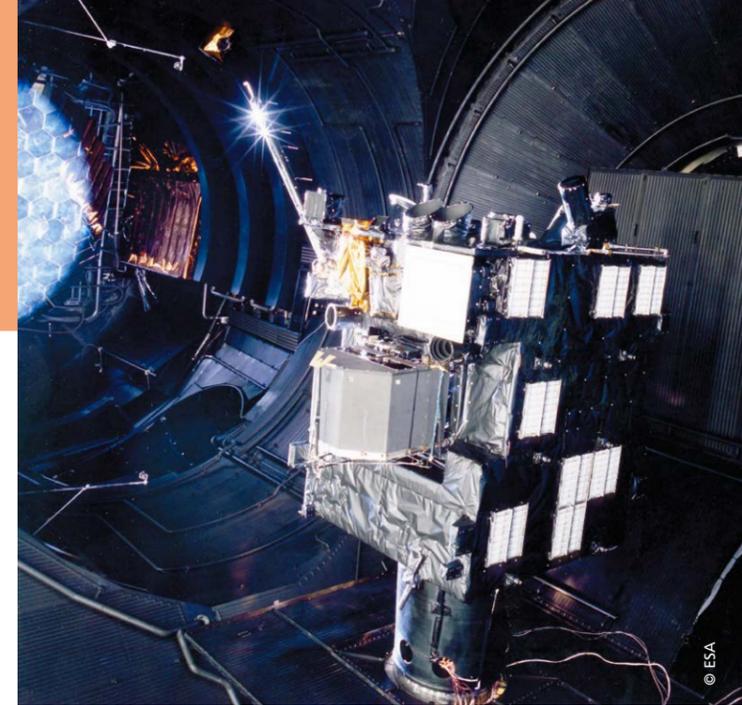
© NASA/JPL-Caltech/UMD



© NASA/JPL-Caltech/UMD

Test der Rosetta-Sonde im Raumsimulator im European Space Research and Technology Centre (ESTEC) in Noordwijk, Niederlande. Links an der Seite erkennt man das mit Solarpanelen bedeckte Philae-Landemodul.

Testing the Rosetta space probe at the space simulator of the European Space Research and Technology Centre (ESTEC) in Noordwijk, The Netherlands. Philae, the landing module, covered in solar panels, can be seen on the left.



wird. Nach einigem Hin und Her hat Berndt Feuerbacher, der damalige Leiter des DLR-Instituts für Raumsimulation, die Projektleitung übernommen und ließ sich dafür von der Institutsleitung freistellen. Mit Unterstützung der ESA wurde das Projektteam um Personal von Astrium verstärkt – unter anderem durch einen erfahrenen Systemingenieur – und ich kam aus der Agentur dazu, um die Kontakte zu den Wissenschaftlern zu betreuen. Nicht zuletzt wurden auch die finanziellen Ressourcen aufgestockt. Als Feuerbacher Ende August 2001 wieder die Leitung seines Instituts übernahm, hat er die Projektleitung an mich übergeben. Diese Funktion behielt ich bis Ende 2004, also bis zum Abschluss der Inbetriebnahme des Landers im Orbit.

**Die Mission ist ja ein großes Wagnis. Wie programmatisch umstritten war Rosetta denn in Europa und speziell in Deutschland?**

**Scheuerle:** Programmatisch war Rosetta weder in Europa noch in Deutschland umstritten. Sie war im Rahmen des ESA-Wissenschaftsprogramms gesetzt. Jeder wusste, dass wir Rosetta auf eine heikle Reise schicken und technische Risiken bestehen. Dass Missionen auch aus den verschiedensten Gründen scheitern können, sehen wir an einer Reihe von Mars-Missionen. Wenn man kein Wagnis eingeht, dann kommt man in der Erforschung unseres Sonnensystems nicht weit. Wir sind dieses Risiko eingegangen und es hat sich gelohnt. Von den Daten, die die Wissenschaftler von Rosetta und Philae bekommen, werden sie noch Jahrzehnte zehren können und uns vielleicht mehr über unsere Entstehungsgeschichte verraten können. Das war das Risiko wert.

**Nun war ja nicht nur die Landung auf dem Kometen mit einem großen Risiko verbunden...**

**Scheuerle:** Richtig. Ein besonders kritischer Punkt war eine Startverschiebung, die wir uns im Jahr 2003 eingefangen haben. Ursprünglich sollte Rosetta zum Kometen 46P/Wirtanen fliegen, mit einem Start im Januar 2003. Ich erwähnte bereits, dass eine Besonderheit des Projekts das unverrückbare Startfenster war. Nun, wir waren alle rechtzeitig fertig geworden. Die Sonde stand betankt in Kourou. Dann kam der letzte Ariane-Start vor Rosetta am 11. Dezember 2002. Das war der Jungfernflug der Ariane 5ECA-Rakete. Bekanntlich schlug er fehl. Als Folge wurden sämtliche Ariane 5-Flüge gestoppt. Wir sind aus dem Startfenster gerutscht und das war das Aus für die Mission zum Wirtanen.

**Also musste ein anderer Komet her?**

**Scheuerle:** So ist es. Das war kurzfristig eine bittere Zeit. Wir waren alle sehr enttäuscht und es war nicht klar, wie es weitergeht. Wir hatten zwar eine fertige Raumsonde, aber kein Ziel mehr. Glücklicherweise hat sich die Situation schnell geklärt und mit 67P/Churyumov-Gerasimenko stand der neue Zielkomet bald fest. Allerdings gab es eine neue Herausforderung: Philae war ja für Wirtanen ausgelegt, einen deutlich kleineren Kometen. Jetzt musste untersucht werden, ob bei der auf dem massiveren Kometen zu erwartenden höheren Aufsetzgeschwindigkeit noch eine sichere Landung möglich war. Am Ende haben wir nur eine kleine Änderung an einem bestimmten Gelenk des Landegestells vorgenommen. Mehr brauchten wir nicht und viel mehr wäre auch nicht möglich gewesen.

**You got involved in the activities for a while from your position at DLR. When did you join the project, and in what function?**

**Scheuerle:** That was at the turn of 1999/2000 after a project meeting at Ringberg castle in the Tegernsee mountains. At the time, ESA had doubts about the lander getting ready on time. After some give and take, Berndt Feuerbacher, the former director of the DLR Institute of Space Simulation, took over the lead of the project, for which he obtained leave of absence as director of the institute. With the support of ESA, the project team was strengthened by Astrium personnel including, among others, an experienced systems engineer, while I arrived from the agency to look after the interfaces with the external providers. Not least, financial resources were stocked up as well. When Feuerbacher returned to his position as institute director again late in August 2001, he passed the management of the project to me. I continued in this function until the end of 2004, when the lander was finally commissioned in orbit.

**The mission is a very risky venture. How controversial was Rosetta as a programme in Europe and especially in Germany?**

**Scheuerle:** As a programme, Rosetta was not controversial, neither in Europe nor in Germany. It formed part of ESA's science programme. Everyone was aware that we would be sending Rosetta on a hazardous journey involving major technical risks. There are a number of missions to Mars which illustrate that a mission may fail for a wide variety of reasons. You cannot get far in exploring our solar system without running risks. This is a risk we ran, and it has paid off. The data generated by Rosetta and Philae will provide scientists with decades worth of research material, and perhaps enable them to tell us more about our origin. That was worth the risk.

**Now, it was not only the landing on the comet that involved a great risk...**

**Scheuerle:** Correct. One particularly critical point was a launch delay with which we got entangled in 2003. Originally, Rosetta was supposed to fly to the comet 46P/Wirtanen, taking off in January 2003. I have mentioned before that the immobility of the launch window was a peculiar feature of the project. Well, we had got everything in place. The probe stood ready fuelled at Kourou. Then came the last take-off of an Ariane before Rosetta on December 11, 2002. It was the maiden flight of the

## Dann kam der Start am 2. März 2004...

**Scheuerle:** ... und mit ihm kam die Erleichterung. Der Start erfolgte fast genau in der Mitte des Startfensters, an einem für den Treibstoffverbrauch optimalen Zeitpunkt. Auch der Einschuss war sehr genau. So konnten wir nicht nur zum Kometen fliegen, sondern vorher noch zwei Asteroiden besuchen.

## Vom Start bis zur Ankunft am Kometen vergingen aber insgesamt zehn Jahre...

**Scheuerle:** Mit der Ariane 5 hatten wir zwar eine starke Rakete, und Rosetta war die einzige Nutzlast. Dennoch reichte die Leistung nicht für einen direkten Einschuss in die Kometenbahn aus. Dafür musste mehrfach Schwung geholt werden, erst an der Erde, dann am Mars und dann noch zweimal an der Erde. Das ist eine wunderbare Methode, um Geschwindigkeit relativ zur Sonne aufzunehmen, aber es dauert halt auch lange, bis man am Ziel ist.

## Dann wurde die Sonde noch in einen Winterschlaf versetzt...

**Scheuerle:** Rosetta hat sich auf dem letzten Bahnsegment fast 800 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt – mehr als das fünffache der Distanz Sonne/Erde. Die Lichtintensität ist da draußen so gering, dass die Solargeneratoren trotz ihrer enormen Größe nicht genug Strom lieferten, um alle Systeme betreiben zu können. Es musste also alles abgeschaltet werden, was nicht überlebensnotwendig war. Selbst die Kommunikation mit den Bodenstationen wurde eingestellt.

## Und dann klingelte am 20. Januar 2014 bei Rosetta der Wecker...

**Scheuerle:** Das klingt banal, aber so ähnlich lief das wirklich ab. An diesen Tag kann ich mich noch sehr genau erinnern. Die ESA hatte aus diesem Anlass zu einem Event nach Darmstadt eingeladen. Der Andrang der Presse war enorm. Ab 11:00 Uhr MESZ sollte die Sonde die Kommandosequenz abarbeiten, die sie wieder in den normalen Betrieb bringen sollte. Dazu gehörten das

Ariane 5ECA launcher. As we all know, it turned out to be a failure. All Ariane 5 flights were halted in consequence. We slipped out of the launch window, and that was the end of the mission to Wirtanen.

## So another comet had to be found?

**Scheuerle:** Exactly. It was a tense situation, at least for a while. All of us were highly disappointed, and it was not clear what would happen next. We did have a finished the space probe, but we had no target for it to go to. Happily, the matter was cleared up quickly, and 67P/Churyumov-Gerasimenko was soon identified as the new target comet. There was a new challenge, however: Philae had been designed for Wirtanen, a markedly smaller comet. Now we had to investigate whether a safe landing was possible at a higher touchdown velocity, as was to be expected on a more massive comet. In the end, all we did was make a small change to a certain joint in the landing gear. More was not required, and much more would have been impossible.

## Then came the launch on March 2, 2004...

**Scheuerle:** ...and relief came with it. The take-off took place almost exactly in the middle of the launch window, at an optimum time for fuel economy. The probe's entry into orbit was very precise as well, enabling us not only to fly to the comet but to visit two asteroids beforehand.

## But a total of ten years went by between the launch and the arrival at the comet...

**Scheuerle:** We did have a powerful rocket in Ariane 5, and Rosetta was its only payload. Even so, there was not enough power for entering the orbit of the comet directly. Momentum had to be gathered on several occasions, first around Earth, then around Mars, and again twice around Earth. It is a wonderful method for gathering speed relative to the Sun, but it does take a long time to reach your target that way.

## And then, the probe was put into hibernation...

**Scheuerle:** On the last segment of its trajectory, Rosetta reached a distance to the Sun of almost 800 million kilometres – more than five times the distance between the Sun and Earth. Out there, the light is so faint that the solar generators, despite their enormous size, were unable to provide enough electricity to operate all systems. So everything that was not necessary for survival had to be switched off. Even communication with the ground stations was shut down.

## And then, on January 20, 2014, Rosetta's alarm clock rang...

**Scheuerle:** It sounds trivial, but something like that really did happen. I still remember the day very well. To honour the occasion, ESA had issued an invitation to an event in Darmstadt. There was an enormous rush of press people. Starting at 11 a.m. CEST, the probe was supposed to execute the sequence of commands that would put it back into normal operation. This included heating up star sensors, changing from spin to triaxial

Rosetta's Aufbruch zu 67P/Churyumov-Gerasimenko: Start der Ariane 5 G+ (Flug 158) am 2. März 2004 um 8:17 Uhr MEZ vom Europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guyana.

Rosetta's departure for 67P/Churyumov-Gerasimenko: flight 158 of the Ariane 5 G+ took off on March 2, 2004 at 08:17 a.m. CET, from the European spaceport Kourou in French Guiana.



Freude über den Empfang des ersten Rosetta-Signals: Nach 31 Monaten „Winterschlaf“ auf ihrem Weg zum Kometen Churyumov-Gerasimenko wachte die Rosetta-Raumsonde wieder auf. Das erste Signal wurde sowohl von den NASA-Bodenstationen Goldstone und Canberra um 19:18 Uhr am 20. Januar 2014 empfangen und im European Space Operations Centre (ESOC) der ESA in Darmstadt bestätigt. Die Freude dort war dementsprechend groß.

Cheers at the reception of the first signal from Rosetta after a 31-month "hibernation" period on its way to Churyumov-Gerasimenko. The first signal was received at 07:18 p.m. CET on January 20, 2014, by both NASA's ground stations in Goldstone and Canberra, and confirmed by ESA's European Space Operations Centre (ESOC) in Darmstadt. Joy, needless to say, was immense.

Aufheizen der Sternensensoren, der Übergang von der Spin- zur Dreiachsstabilisierung, das Ausrichten der Antenne zur Erde und schließlich die Kontaktaufnahme. Das alles nahm mehrere Stunden in Anspruch, und die Dauer des Vorgangs konnte nicht genau vorhergesagt werden. Frühestens ab 18.30 Uhr konnte mit einem Signal gerechnet werden, nach einer Laufzeit von 45 Minuten, wahrscheinlicher war 19 Uhr. Aber es kam nichts. Die vorher gelöste Stimmung wich einer nervösen Spannung. Den Gesichtern im Kontrollraum konnte man deutlich das Unbehagen ansehen. Und dann der Augenblick, als plötzlich ein Signal im Rauschen auftauchte. Kurz darauf kam die Bestätigung, dass es tatsächlich das erwartete Lebenszeichen von Rosetta war. Was für eine Erleichterung – und dann brach die Begeisterung aus.

## Danach dauerte es noch bis zum August 2014, bis zum Kometen-Rendezvous...

**Scheuerle:** Zunächst mussten erst einmal alle Systeme der Sonde und die Nutzlastinstrumente einschließlich Lander überprüft werden. Es war ja nicht garantiert, dass nach zweieinhalb Jahren Betriebspause noch alles funktionierte. Erfreulicherweise war aber alles in Ordnung. Genauer gesagt war keine neue Anomalie zu den schon vorher bekannten hinzugekommen. Dann musste die Geschwindigkeit der Sonde so geändert werden, dass sie auf die Kometenbahn führte. Dafür wurden mehrere kleine Manöver durchgeführt und währenddessen kam Rosetta dem Kometen immer näher. Spannend wurde es, als man so nah dran war, dass die OSIRIS-Kamera ihn abbilden konnte. Seine Form wurde sichtbar und die war eine große

stabilisation, pointing the antenna to Earth and, finally, making contact. All that took several hours, and it was impossible to predict exactly how long the process would take. A signal might have been expected at 6.30 p.m. at the earliest, after a run time of 45 minutes, more probably at 7 p.m. But nothing happened. The mood, originally relaxed, changed to a sense of nervous tension. The faces in the control room clearly showed uneasiness. And then came the moment when suddenly a signal could be seen within the background noise. Shortly afterwards, it was confirmed that this actually was the sign of life expected from Rosetta. What a relief – and then enthusiasm broke out.

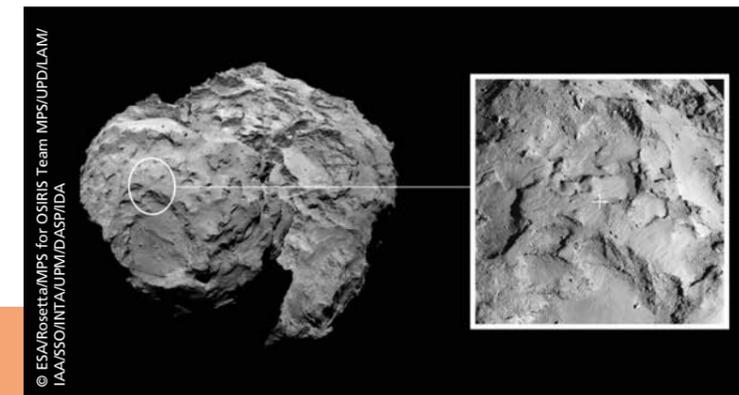
## After that, time passed by until August 2014, the rendezvous with the comet...

**Scheuerle:** To begin with, all systems of the probe and the payload instruments including the lander had to be checked. After all, there was no guarantee that everything would still be functional after a shutdown of two and a half years. Happily, everything proved to be okay. Or, more precisely, no new anomaly had been added to those that were already known about. Next, the speed of the probe had to be changed so that it could join the orbit of the comet. Several manoeuvres were carried out while Rosetta came ever closer to the comet. The real thrill began when it was so close that the OSIRIS camera could resolve it. Its shape became visible, and it was a big surprise. It was not the simple convex shape that had been expected but a twin structure that resembled a 'rubber duck'. Then, on August 6, the last manoeuvre was carried out, bringing Rosetta to a distance of 100 kilometres from Churyumov-Gerasimenko.



Ein Rendezvous mit einem Kometen: Rosetta nähert sich 67P/Churyumov-Gerasimenko und beginnt ihn zu umkreisen. Die Kommandos zu den komplizierten Bahnmanövern werden vom Rosetta-Kontrollzentrum in Darmstadt aus gesteuert.

Rendezvous with a comet: Rosetta approaches 67P/Churyumov-Gerasimenko and starts to orbit it. The complicated orbital manoeuvres are under the command of the Rosetta lander control centre in Darmstadt.



Landung auf dem Kopf des Kometen: Landeplatz J befindet sich auf dem Kopf des Kometen. Das Bild wurde mit der OSIRIS-Kamera am 16. August 2014 aus einer Entfernung von etwa 100 Kilometern aufgenommen.

Landung on the comet's head: Landing spot J is situated on the head of the comet. The picture was shot by the OSIRIS camera on August 16, 2014, from a distance of about 100 kilometres.





„Die erste Erleichterung spürten wir in Darmstadt, als Holger Sierks, der PI des OSIRIS-Instruments, ein Bild des Landers auf seinem Weg zur Oberfläche zeigte. Man sah Philae in der korrekten Orientierung, das entfaltete Landebein, die CONSERT-Antennen und den ausgeklappten ROMAP-Sensor. Alles so, wie es sein sollte. Ein wunderschönes Bild“, sagt Hartmut Scheuerle, DLR-Projektteam.

‘The first big relief for us in Darmstadt was when Holger Sierks, the PI of the OSIRIS instrument, presented a picture showing the lander on its way to the surface. We saw Philae in its correct orientation, one of its extended landing legs, the CONSERT antennas and the extended ROMAP sensor. Everything was as it should be. An incredibly beautiful sight’, says DLR project team member Hartmut Scheuerle.

Überraschung. Er hatte nicht die erwartete, einfach konvexe Form, sondern eine Doppelstruktur. Der Vergleich mit einer „Badeente“ kam auf. Das letzte Manöver wurde dann am 6. August durchgeführt und brachte Rosetta bis auf eine Distanz von 100 Kilometern an Churyumov-Gerasimenko heran.

#### Und dann begann die Suche nach einem geeigneten Landplatz.

**Scheuerle:** An den Landeplatz wurden die verschiedensten Anforderungen gestellt: Er musste sich vom Orbiter aus erreichen lassen. Das Terrain sollte für eine sichere Landung möglichst eben sein, mit wenig Geröll. Es sollte einen Tag-/Nacht-Rhythmus besitzen und generell aus wissenschaftlicher Sicht vielversprechend sein. Nun machte die besondere Form des Kometen mögliche Landeszzenarien aber nicht gerade einfacher. Schließlich kamen zehn Regionen in die engere Auswahl, denen man Bezeichnungen von A bis J gab.

#### Die Entscheidung fiel am 14. Oktober...

**Scheuerle:** ... und zwar auf die Landestelle J als besten Kompromiss. Später wurde ihr nach einem öffentlichen Wettbewerb der Name „Agilkia“ gegeben.

#### Und dann kam der Tag der Landung....

**Scheuerle:** Zuvor gab es aber noch eine unangenehme Überraschung. Bei den Vorbereitungen für die Landung stellte man fest, dass sich das Kaltgassystem, das Philae beim Aufsetzen auf die Oberfläche hätte drücken sollen, nicht aktivieren ließ. Man hielt das aber für verzichtbar, weil es ja noch andere Mechanismen gab, die für eine sichere Landung sorgen sollten. Also gab es ein „Go“ für Philaes Abstieg. Die Separation fand morgens statt und sie war erfolgreich. Das war gleichzeitig das grüne Licht für die diversen Veranstaltungen, die in vielen europäischen Städten und sogar in den USA geplant waren, um Philaes Reise zur Kometenoberfläche live zu verfolgen.

#### Der Abstieg dauerte mehrere Stunden. War zwischen-durch absehbar, ob die Landung gelingen würde?

**Scheuerle:** Die erste Erleichterung spürte man, als Holger Sierks, der PI des OSIRIS-Instruments, ein Bild des Landers auf seinem Weg zur Oberfläche zeigte. Man sah Philae in der korrekten Orientierung, die entfaltenen Landebeine, die CONSERT-Antennen und den ausgeklappten ROMAP-Sensor. Alles so, wie es sein sollte. Ein wunderschönes Bild. Jetzt musste nur noch das Aufsetzen gut gehen.

#### Dann kam der Touchdown, und im Rosetta-Kontrollzentrum in Darmstadt brandete Jubel auf. Im Philae-Kontrollzentrum in Köln herrschte aber Skepsis. Warum?

**Scheuerle:** Im Kontrollzentrum in Darmstadt sah man an der Telemetrie, dass der Lander Bodenkontakt gemeldet hatte und die Winden die Seile der Harpunen straff gezogen hatten. Das deutete auf einen nominalen Verlauf hin, eine geglückte Landung. Das löste natürlich Begeisterung aus. In Köln dagegen, wo die vom Lander kommenden Daten im Detail analysiert wurden, hat man gesehen, dass sich Philae offenbar nach dem Auf-

#### Next, the search for a suitable landing site began.

**Scheuerle:** Very different requirements applied to the landing site: it had to be reachable from the orbiter. For a safe landing, the terrain should be as smooth as possible, with few boulders. It should have a day-night rhythm, and it should be generally promising from a scientific point of view. Now, the peculiar shape of the comet did not really make it easy to develop landing scenarios. Ultimately, ten regions were shortlisted, designated by letters from A to J.

#### The decision was made on October 14...

**Scheuerle:** ...in favour of the J landing site as the best compromise. Later, after a public naming competition, it was given the name Agilkia.

#### And then came the day of the landing...

**Scheuerle:** Before that, however, there was a disagreeable surprise. During the preparations for landing, it was found that the cold-gas system that was supposed to press Philae down on the surface at touchdown could not be activated. However, this was held to be dispensable because there were other mechanisms designed to ensure a safe landing. So, the word was Go for Philae's descent. Separation took place in the morning, and it was successful. At the same time, this was the go-ahead for the various events that had been planned in many European cities and even in the USA to follow Philae's journey to the comet's surface live.

#### The descent took several hours. Was it possible to say at any time whether the landing would be a success?

**Scheuerle:** We felt the first breath of relief in Darmstadt, when Holger Sierks, the PI of the OSIRIS instrument, showed an image of the lander on its way to the surface. You could see Philae in the correct orientation, the landing leg unfolded, the CONSERT antennas, and the deployed ROMAP sensor. Everything as it should be. A wonderful picture. Now, only the touchdown had to go well.

#### Then came the touchdown, and jubilation broke out at the Rosetta control centre in Darmstadt. However, at the Philae control centre in Cologne, people were sceptical. Why?

**Scheuerle:** At the Darmstadt control centre, people could see from the telemetry data that the lander made ground contact and the winches had pulled the harpoon ropes taut. This indicated a nominal course of events, a successful landing. Naturally, people were enthusiastic. In Cologne, on the other hand, where the data coming from the lander were analysed in detail, people saw that Philae had apparently moved on and rotated after touchdown. The conclusion was that the lander could not be anchored to the ground. We, the guests, and the representatives of the press in Darmstadt, only became really aware of this when contact was made with the LCC and the technical manager of the Philae lander, Koen Geurts, explained the situation. Apparently, the lander had taken a great and then a small hop after its first touchdown before it finally came to rest. Because

setzen weiter bewegt und gedreht hat. Der Lander konnte demnach also nicht auf dem Boden verankert sein. Zu uns, den Gästen und Pressevertretern im Veranstaltungsraum in Darmstadt, ist das erst so richtig durchgedrungen, als zum LCC geschaltet wurde und der technische Projektleiter des Philae-Landegeräts, Koen Geurts, die Situation erläutert hat. Der Lander hat also nach dem ersten Aufsetzen einen großen und dann noch einen kleinen Hopser gemacht, bevor er endgültig zum Stehen kam. Wegen der geringen Schwerkraft auf dem Kometen hat das lange gedauert, fast zwei Stunden beim ersten Sprung. Das war schon ein banges Warten.

#### Aber die Wissenschaft bekommt trotz des unerwarteten Ablaufs Daten?

**Scheuerle:** Ja. Einige Instrumente waren schon während des Abstiegs eingeschaltet, unter anderem die ROLIS-Kamera. Mit dem ersten Aufsetzen hat dann automatisch der erste Block der sogenannten „First Science Sequence“ begonnen. Philae ist schließlich an einem schattigen Plätzchen und in einer nahezu vertikalen Lage zum Stehen gekommen. Aber auch unter diesen ungünstigen Bedingungen waren Messungen möglich. Die Mission ist auch in wissenschaftlicher Hinsicht ein Erfolg.

#### Kennt man die endgültige Landestelle?

**Scheuerle:** Noch nicht genau, aber vermutlich liegt Philae am Rand eines Kraters, dessen Innenbereich als Landestelle B untersucht worden war.

#### Wie geht es jetzt weiter?

**Scheuerle:** Der Lander hat jetzt erstmal Pause. Die Primärbatterie ist erschöpft und die Sekundärbatterie kann nicht geladen werden. Was gegenwärtig an Energie erzeugt wird – und das ist wenig – geht in die Heizer. Die Situation wird sich aber verbessern, wenn der Komet in größere Sonnennähe kommt, die Intensität des Lichts zunimmt und die Temperatur im Lander steigt. Dann sollte sich der Akku wieder laden lassen. Philae kann den Betrieb wieder aufnehmen und die wissenschaftlichen Untersuchungen können weitergehen. Es besteht also begründete Hoffnung, den bisherigen Erfolg noch steigern zu können.

of the comet's low gravity, this took a long time, almost two hours for the first hop. That was quite an anxious wait.

#### But science is receiving data despite the unexpected course of events?

**Scheuerle:** Yes. Some instruments had been activated during the descent, including the ROLIS camera. When the lander first touched down, the first block of the so-called 'First Science Sequence' was started automatically. Philae ultimately came to rest in a shady nook in an almost vertical position. But measurements could be carried out even under these unfavourable conditions. The mission is a scientific success as well.

#### Is the final landing site known?

**Scheuerle:** Not exactly yet, but it is supposed that Philae sits on the rim of a crater whose interior had been investigated as landing site B.

#### What is going to happen now?

**Scheuerle:** For the time being, the lander will take a break. Its primary battery is exhausted, and the secondary battery cannot be charged. The energy that is being generated at present – and it is not much – is fed to the heaters. However, the situation will improve as the comet moves closer to the Sun, the intensity of the light increases, and the temperature inside the lander goes up. Then, it should again be possible to charge the battery. Philae may resume operations, and scientific investigations may proceed. So there are well-founded hopes to top the success achieved so far.



Erleichterung: Rosetta ist pünktlich um 16.32 auf dem Kometen gelandet. Rund 28 Minuten später wissen das auch der Philae-Projektleiter des DLR, Dr. Stephan Ulamec (2. v. l.), der Rosetta-Missionsmanager, Andrea Accomazzo, die Rosetta Spacecraft Operations Managerin, Elsa Montagnon, und der Rosetta-Flugdirektor, Paolo Ferri (alle ESA; rechts).

A sigh of relief: Rosetta landed on schedule at 04:32 p.m. About 28 minutes later the information has come through to DLR's Philae project manager Dr Stephan Ulamec (2<sup>nd</sup> from left), Rosetta mission manager Andrea Accomazzo, Rosetta Spacecraft Operations manager Elsa Montagnon, and Rosetta flight director Paolo Ferri (all from ESA; right).

Bordeaux, Abflug im strahlenden Sonnenschein.

Bordeaux, take-off in brilliant sunshine.

## Airbus A300 ZERO-G

Ruhestand nach 15 Jahren Wissenschaft im freien Fall

Von Dr. Ulrike Friedrich und Martin Fleischmann

5.200 Flüge, 4.200 Flugstunden und 13.180 Parabeln hat der Airbus A300 ZERO-G im Dienste der Wissenschaft und Schwerelosigkeitsforschung gemeistert. Nun verabschiedet sich der Parabelflieger der französischen Firma Novespace nach der 25. Forschungskampagne des DLR, die vom 27. bis zum 31. Oktober 2014 geflogen wurde, in den wohlverdienten Ruhestand. Seit dem Jahr 1999 haben Wissenschaftlerteams aus Deutschland mehr als 400 Experimente in 15 Stunden Schwerelosigkeit an Bord der Maschine durchgeführt und so wichtige biologische, medizinische und physikalische Fragen beantwortet. Ebenso standen viele technologische Tests auf dem Programm. Experimentiereinrichtungen wurden für ihren Einsatz im Weltraum – zum Beispiel auf der Internationalen Raumstation ISS – erprobt. Mit seinem letzten Flug am 3. November 2014 wurde der Airbus A300 ZERO-G vom französischen Bordeaux-Mérignac zu seiner „Ruhestätte“ in das Besucherzentrum des Flughafens Köln/Bonn überführt.

Airbus A300 ZERO-G  
Decommissioned after 15 Years of Science in Free Fall

By Dr Ulrike Friedrich and Martin Fleischmann

5,200 flights, 4,200 flying hours, and 13,180 parabolas dedicated to scientific microgravity research – this is the impressive record of Airbus A300 ZERO-G. Following DLR's 25<sup>th</sup> flight campaign, which took place from October 20 to 31, 2014, the aircraft, which is owned by the French company Novespace, took off on its well-deserved retirement. Since the year 1999, teams of German scientists have conducted more than 400 experiments in a total of 15 hours of near-weightlessness on board the aircraft, and found the answers to many questions in physics, medicine, and biology. The programme also included technology validation. Many space experiments underwent a trial run on a parabolic flight before being deployed on their intended mission, installed, for instance, on the International Space Station ISS. The last journey on November 3, 2014, took Airbus A300 ZERO-G from Bordeaux-Mérignac in France to its 'place of rest' at the visitor centre of Cologne/Bonn Airport.



### Im Flug zur Doktorarbeit

Woher „wissen“ Pflanzen in der Schwerelosigkeit, wo oben und unten ist? Welche Rolle spielt die Schwerkraft für gesunde, funktionsfähige Zellen? Wie verändern sich unsere Gehirnaktivitäten, und wie reagiert unser Immunsystem, wenn die Schwerkraftwirkung aufgehoben ist? Was können wir bei Untersuchungen in Schwerelosigkeit für den Menschen auf der Erde lernen? Wie sammelt man Weltraumschrott am besten ein? Wie entfaltet sich eine neue Satellitenantenne in Schwerelosigkeit? Wie kann man die Eigenschaften von Metalllegierungen verbessern? Wie sind unsere Planeten entstanden? Diese und noch viele weitere wissenschaftliche Fragen wurden bei den 25 deutschen Parabelflugkampagnen untersucht und haben vielen Nachwuchswissenschaftlern unerlässliche Daten für ihre Forschung gebracht.

Über 150 wissenschaftliche Abschlussarbeiten von Studierenden und Doktoranden basieren auf Parabelflugergebnissen. Dabei gibt es immer wieder Beispiele dafür, dass Ergebnisse aus der Grundlagenforschung zu verbesserter Diagnose oder Behandlung von Erkrankungen bei Menschen auf der Erde führen. Zum Beispiel kamen Forscher durch Parabelflugexperimente auf die Idee, Ganzkörpervibration nicht nur für ein verbessertes Astronautentraining, sondern auch in der klinischen Rehabilitation einzusetzen. Es gibt Hinweise darauf, dass dadurch Kinder mit spastischen Lähmungen ihre Bewegungsmotorik, ihre Koordination und Kondition verbessern können.

### Parabelflug – „Brücke“ zur Raumstation

Es gibt viele wissenschaftliche Fragen, die mehr Untersuchungszeit als die 22 Sekunden Schwerelosigkeit einer 0g-Parabel zur Beantwortung benötigen. Zwar steigt und fällt das Flugzeug 31 Mal und garantiert so elf schwerelose Minuten pro Flugtag – bei

Autoren: **Dr. Ulrike Friedrich** bringt Wissenschaftler mit ihren Experimenten in die Schwerelosigkeit: Sie leitet das Parabelflug-Programm des DLR seit 1999. Während der 25. DLR-Kampagne flog sie ihre 500. Parabel. **Martin Fleischmann** ist Redakteur der COUNTDOWN und hat das Parabelflugzeug Airbus A300 ZERO-G auf seiner letzten Kampagne begleitet.

Authors: **Dr Ulrike Friedrich** escorts scientists and their experiments into microgravity: she has been managing DLR's parabolic flight programme since 1999. During the recent 25<sup>th</sup> campaign she flew her 500<sup>th</sup> parabola. **Martin Fleischmann** is the editor of COUNTDOWN and was present during Airbus A300 ZERO-G's final campaign.

### Academic high flyers

How do plants in microgravity 'know' where is up and down? What part does gravity play in the functioning of good, healthy body cells? How does our brain activity change and how does our immune system respond to the absence of gravity? What can we learn from microgravity experiments that might benefit people on the ground? What is the best way to remove space debris? What is the influence of fluid flow on the solidification of molten metals? How can the properties of alloys be improved? How did our planets form? How will a new satellite antenna unfold in microgravity? These and many more research questions were investigated during a total of 25 parabolic flight campaigns, providing many young scientists with a wealth of important data for their research.

Over 150 scientific theses written by German undergraduates and doctoral students are based on parabolic flight data. Data initially obtained from fundamental science frequently lead to improvements in the diagnosis and treatment of human illnesses. For instance, it was parabolic flight experiments that gave researchers the idea to use whole-body vibration therapy not only to exercise astronauts but also as a form of clinical rehabilitation. There are also indications that the method can help children with cerebral palsy to improve their coordination and fitness.

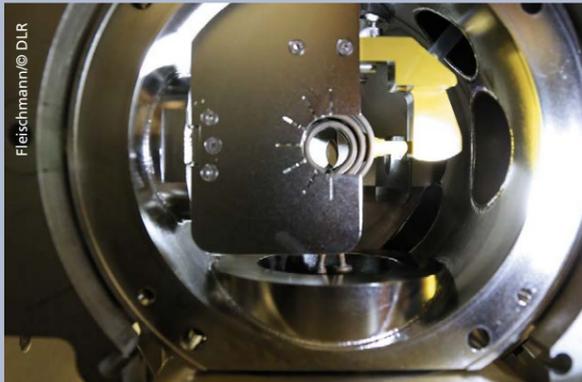
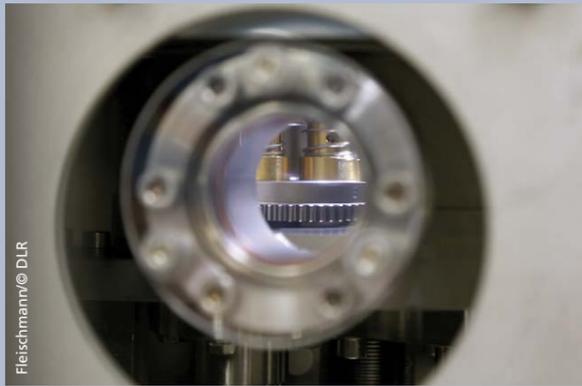
### Parabolic flights – a bridge to the space station

Many scientific questions require more than the 22 seconds of reduced gravity (microgravity) that can be achieved on a 0g parabolic flight. Of course the parabolic-flight plane rises and falls 31 times and thus guarantees eleven minutes of microgravity per flight day – which adds up to 33 to 55 minutes of microgravity in a campaign of three to five flight days. Yet, to answer

Glanzvoller Abschied: Bei der Ankunft an seiner „Ruhestätte“ wurde der Airbus A300 ZERO-G mit gebührender Ehre empfangen: Nach einem niedrigen Überflug und der Landung begrüßte ihn die Flughafen-Feuerwehr des Flughafens Köln/Bonn mit Wasserfontänen.

A dignified farewell: on its arrival at its final 'place of rest', Airbus A300 ZERO-G was welcomed with great pomp and ceremony. After a lap of honour over the airport and landing, it was saluted by members of Cologne/Bonn airport fire brigade with a display of water jets.





Die TEMPUS-Experimentanlage hat bei jedem Flug acht verschiedene Proben in der Probenkammer. Sie werden am Vortag eines jeden Fluges in spezielle Probenbehälter – die sogenannten Käfige – eingesetzt. Diese Proben werden ins Zentrum der elektromagnetischen Spule gefahren, die die Legierungen dann in Schwerelosigkeit erhitzt und zum Schmelzen bringt. Vakuum und Gas kühlen die Probe und erstarrt sie.

On each flight, the TEMPUS experimenting chamber holds eight different samples, which are placed in special sample containers – called cages – on the day before the flight. One by one, the alloy samples are positioned into the centre of the electromagnetic coil which heats them up to melting point. Subsequently, samples are solidified in a vacuum using a stream of cooling gas.

drei bis fünf Flugtagen herrscht also 33 bis 55 Minuten Schwerelosigkeit pro Kampagne. Dennoch wollen viele Wissenschaftler auch auf der ISS in permanenter Schwerelosigkeit forschen. Der Parabelflug ist ihre Brücke zur Forschung auf der Raumstation. Denn haben die Experimente hier interessante Ergebnisse erzielt, können die Wissenschaftler darauf hoffen, ihre Forschung in 400 Kilometern Höhe über der Erde fortzusetzen. Beispielsweise wurden für 18 deutsche ISS-Experimente vorher umfangreiche Voruntersuchungen auf den DLR-Parabelflügen durchgeführt.

Auch die TEMPUS-Anlage, die vom DLR-Institut für Materialphysik im Weltraum betrieben wird, ist ein Beispiel für solch eine Brücke zur Raumstation: Mit 1.576 Parabeln auf 50 Flügen während bei zwölf DLR-Kampagnen ist dieser Schmelzofen der Vielflieger unter den Experimentanlagen. Sie ist die größte aller Anlagen, die je auf den DLR-Parabelflügen zum Einsatz kam. Bislang wurden 354 verschiedene Proben in TEMPUS geschmolzen und wieder erstarrt. So lassen sich zum Beispiel Legierungen testen, bevor sie dann auf der ISS im nagelneuen Elektromagnetischen Levitator (EML) berührungsfrei geschmolzen und wieder erstarrt werden. Die Proben mit einem Durchmesser von sechs bis acht Millimetern schweben also frei und werden nur durch ein elektro-magnetisches Feld in Position gehalten. Um Verunreinigungen zu vermeiden, sind die chemisch aggressiven Schmelzen von einem Ultrahochvakuum oder reinstem Inertgas umgeben.

TEMPUS im Parabelflieger und EML auf der Raumstation messen die temperaturabhängigen Eigenschaften der Schmelzen wie

many scientific research questions, longer experimenting periods of uninterrupted microgravity are needed. This is why many scientists want to take their experiments to the ISS where there is permanent microgravity. Parabolic flights are their stepping stone to research on the space station. If their experiments show some interesting results on a flight, scientists may hope to continue their research 400 kilometres above the Earth. Many German ISS experiments were preceded by major preliminary studies on DLR's parabolic flights.

A good case in point is an experiment called TEMPUS (the German acronym for crucible-free electromagnetic processing in microgravity). This melting furnace, which is operated by the DLR Institute of Materials Physics in Space, is such a stepping stone to the ISS. Having completed 1,576 parabolas on a total of 50 flights on twelve DLR campaigns, the furnace can be considered a 'frequent flyer' among experiment payloads. It is the largest of all experiment kits ever to go on DLR's parabolic flights. To date, it has managed to melt and re-solidify 354 different specimens. TEMPUS is used to test alloys before they get to be taken to the ISS, to be melted and analysed in the brand-new electromagnetic levitator (EML), in another contactless process. The samples, measuring six to eight millimetres in size, are suspended freely in space, held in place only by an electromagnetic field. Often chemically aggressive, the melts are thus prevented from reacting with the crucible wall.



Können Gleichgewichtsaufgaben unter Schwerelosigkeit die Kontrolle der Körperhaltung beeinflussen? Welche Prozesse begünstigen Staubstürme auf einer künstlichen Marsoberfläche? Welchen Einfluss hat kurzzeitige Schwerelosigkeit und erhöhte Schwerkraft auf genetisch modifizierte Schilddrüsenkrebszellen? Welchen Einfluss übt Mikrogravitation auf die ersten Sekunden der Zement-Hydratation aus? Diese und viele weitere Fragen wurden auf der 25. Parabelflugkampagne bearbeitet.

Can equilibrium exercises in microgravity influence a person's body posture control? What processes lead to increased dust storms on an artificial Martian surface? How do brief periods of microgravity and increased gravity affect genetically modified thyroid cancer cells? How does microgravity affect the first few seconds of cement hydration? These and many other questions worked on by the 25<sup>th</sup> parabolic flight campaign.

Viskosität, Oberflächenspannung, spezifische Wärme, thermische Ausdehnung und elektrische Leitfähigkeit. Die Proben stammen von Wissenschaftlern und Firmen. Für sie sind die Parabelflüge also die Brücke ins Weltall, wo die Legierungen auch über einen längeren Zeitraum geschmolzen und wieder erstarrt werden können. Da im Weltraum gravitationsabhängige Störkräfte wegfallen, gelingt das in Schwerelosigkeit wesentlich genauer als im Labor auf der Erde. Die präzisen Daten verbessern Computermodelle für industrielle Gießprozesse von High-tech-Materialien: Gewöhnliche Turbinenschaufeln auf Nickel-Basis sind zum Beispiel doppelt so schwer wie innovative Schaufeln auf Titan-Aluminium-Basis. Durch diese Entwicklung gibt es vielleicht einmal neue, leichtere Flugzeugtriebwerke, die weniger Treibstoff verbrauchen.

#### Minutenlang schweben wie auf Mond und Mars

Für manche wissenschaftliche Untersuchungen werden unterschiedliche Beschleunigungen benötigt. Deshalb gibt es auch Flüge mit Schwerkraftbedingungen, wie sie auf dem Mond (0,16 g) oder dem Mars (0,38 g) herrschen. Eine „Mondparabel“ bietet die entsprechende Beschleunigung für 25 Sekunden, eine „Marsparabel“ für 35 Sekunden. Derartige Kampagnen wurden zum Beispiel in den Jahren 2011 und 2012 zusammen mit der französischen Raumfahrtagentur CNES und der Europäischen Weltraumorganisation ESA geflogen.

TEMPUS, flown on parabolic-flight aircraft, and EML on the space station are employed to study, among other things, the temperature-dependent thermo-physical properties of melts, such as viscosity, surface tension, specific heat, thermal expansion, and electrical conductivity, as well as solidification phenomena at the transition zone from liquid to solid. To industrial firms and scientists who hand in their samples for testing, parabolic flights are a roadway into space applications since they make it possible to systematically study alloys in microgravity conditions. Obviously, conditions on the ISS involve next to no gravity-related influences, so that precise calibration experiments can only be done there. Parabolic flights, however, offer scientists a physical understanding of the key processes as well as enabling them to calibrate laboratory measurements and verify new measuring techniques. Such precise data are urgently needed in computer models simulating, for example, industrial casting processes. Ordinary turbine blades made of a nickel alloy weigh twice as much as innovative blades made of a titanium-aluminium-based material. High-tech developments based on the new knowledge may one day lead to new, lighter aircraft engines that use less fuel and increase efficiency.

#### A 25-second 'moonwalk'

Several of the science experiments require different acceleration levels. Some of the flights therefore offer gravity levels like that of the Moon (0.16 g) or Mars (0.38 g). A 'lunar parabola' produces the necessary acceleration for 25 seconds, while a 'Mar-

### „Das fliegende Klassenzimmer“ – Schüler und Lehrer forschen in Schwerelosigkeit

Parabelflüge sind auch dazu geeignet, den ganz jungen wissenschaftlichen Nachwuchs direkt mit Themen der Schwerelosigkeitsforschung in Kontakt zu bringen. Bei sechs medizinischen und biologischen Projekten waren dutzende Schülerinnen und Schüler an der Vorbereitung und Auswertung der Parabelflugexperimente beteiligt. Etliche konnten sogar mitfliegen. Ein anderes Mal haben ein Dutzend Lehrer und Lehrerinnen Demonstrationsexperimente ausprobiert, die später der deutsche Astronaut Alexander Gerst auf der Raumstation durchgeführt hat.

Der Heimatflughafen des Airbus A 300 ZERO-G ist das französische Bordeaux-Mérignac: Hier bietet die Firma Novespace, von der das DLR die Kampagnen durchführen lässt, die entsprechende Infrastruktur, die für die Vorbereitung und den Ablauf der Kampagnen nötig ist. Auch seine letzte wissenschaftliche Parabelflugkampagne – die gleichzeitig die 25. DLR-Kampagne war –

„tian parabola“ can maintain Martian gravity for 35 seconds. Two such campaigns were flown in the years 2011 and 2012, conducted in collaboration with the French space agency, CNES, and the European space agency ESA.

### ‘The Flying Classroom’ – students and teachers research under microgravity conditions

Parabolic flights are also a good way to get very young future scientists interested in microgravity research. Dozens of pupils had a hand in preparing and evaluating six projects in medical and biology studies. Several of them were even taken on a

startete dort. Direkt im Anschluss führte ihn seine allerletzte Reise am 3. November zu seinem endgültigen Ziel – dem Flughafen Köln/Bonn, wo er zukünftig besichtigt werden kann. Damit ist die Ära der wissenschaftlichen Parabelflüge jedoch nicht zu Ende – ein Nachfolgeflugzeug steht bereits in den Startlöchern: ein Airbus A310, der seit 1991 als deutsches Regierungsflugzeug seinen Dienst tat und unter anderem die Bundeskanzlerin Angela Merkel zu ihren Zielen brachte. Nach seinem Umbau wird dieser Airbus als neuer „ZERO-G“ für künftige Parabelflugkampagnen genutzt.

flight. On another occasion, teachers were invited to try out the demo versions of some of the experiments which were later to be conducted by German astronaut Alexander Gerst on the ISS.

The home base of Airbus A300 ZERO-G was the French airport Bordeaux-Mérignac, where Novespace was commissioned by DLR to run the campaigns and provide the infrastructure required for preparing and conducting the flights. The last science campaign took place here, too. Immediately following the campaign, on November 3, the plane took off on its last trip, flying to its final destination, Cologne-Bonn Airport, where it will soon be open for visitors to view. However, this does not mark the end of the parabolic flight era. A successor version of the aircraft is already waiting in the wings: the very Airbus A310 that was used by the German government since 1991, and that regularly flew Chancellor Angela Merkel to her various destinations. Once converted, this Airbus will serve as the next ‘ZERO-G’ plane on future parabolic flight campaigns.



# „The Blue Dot“

**Dr. Alexander Gerst** forschte auf der ISS  
**Teil 4: Mikroorganismen – Überlebenskünstler und Herausforderung für die Raumfahrt zugleich**

Von Prof. Günter Ruyters

Er ist der elfte Deutsche im Weltall und gerade wieder auf die Erde zurückgekehrt: Als Geophysiker und Vulkanforscher kennt der ESA-Astronaut Dr. Alexander Gerst unsere Erde – und vor allem die Phänomene im Erdinneren – genau. Vom 28. Mai, als er zusammen mit dem russischen Kosmonauten Maxim Surajew und NASA-Astronaut Reid Wiseman an Bord eines Sojus-Raumschiffes vom russischen Weltraumbahnhof Baikonur zur Internationalen Raumstation ISS aufbrach, bis zu seiner sicheren Landung am 10. November 2014 betrachtete er auf seiner Mission „Blue Dot“ unseren Heimatplaneten aus einem ganz anderen Blickwinkel. Unter dem Motto „shaping the future – Zukunft gestalten“ nutzte er an Bord der ISS neben seinen operativen Aufgaben die besonderen Bedingungen des Weltraums wie vor allem die Schwerelosigkeit, um circa 100 wissenschaftliche Experimente in 166 Tagen durchzuführen. 35 Experimente kommen aus Europa. Die meisten dieser im internationalen Wettbewerb ausgewählten Projekte stammen dabei aus deutschen Forschungseinrichtungen – Grund genug, um diese und einige abgeschlossene Experimente vorzustellen, die in enger thematischer Beziehung stehen und bereits interessante Ergebnisse erbracht haben.

## ‘The Blue Dot’

**Dr Alexander Gerst's Research on the ISS**  
**Part 4: Microorganisms – Masters of Survival and a Health-and-Safety Challenge**

By Prof. Günter Ruyters

He is the eleventh German in space and has just returned to Earth: as a professional geophysicist and volcanologist, ESA astronaut Dr Alexander Gerst knows all about our Earth, particularly about what goes on in its interior. From May 28, when he set out for the International Space Station (ISS) on board a Soyuz spacecraft from the Russian cosmodrome of Baikonur in the company of Russian cosmonaut Maksim Suraev and NASA astronaut Reid Wiseman, until his safe landing on November 10, 2014, he looked at our home planet from an entirely new perspective. On his Blue Dot mission, which was headed by the motto ‘Shaping the Future’, he not only performed his operational tasks but also made use of the special conditions prevailing in space, chiefly microgravity, to conduct about 100 scientific experiments within 166 days. 35 of these experiments came from Europe. Most of these projects, all of which had been selected in international competition, were submitted by German research institutes – reason enough for us to present them here, along with a number of interesting results of thematically related, earlier experiments that have already been completed.



Autor: Prof. Günter Ruyters leitete bis August 2014 in der Abteilung Forschung unter Weltraumbedingungen des DLR Raumfahrtmanagements das Programm Biowissenschaften (Biologie, Medizin).  
 Author: Until August 2014, Prof. Günter Ruyters headed the Life Sciences Programme in the department of Microgravity Research (Life and Physical Sciences) of the DLR Space Administration.

Was ist Leben? Wie ist es entstanden? Woher kommen wir? Wie hat sich die Evolution abgespielt? Können irdische Organismen auf dem Mars überleben? In der Astrobiologie erforschen Wissenschaftler die Fragen nach dem Ursprung, der Verteilung und der Entwicklung von Leben sowie nach Lebensmöglichkeiten außerhalb der Erde. Nur ein interdisziplinäres Vorgehen, das Kosmologie, Astronomie, Planetenforschung, Geologie, Chemie und Biologie zusammenführt, kann diese Rätsel lösen. Mikroorganismen sind besonders robust und stehen deshalb an vorderster Front der Forschung. Ihre Überlebensfähigkeit ist für die Raumfahrt aber auch ein großes Problem: Die Besiedelung der ISS führt zu Korrosion und kann die Gesundheit der Astronauten gefährden. Besondere Schutzmaßnahmen sind also erforderlich.

### Expose R-2 – BIOMEX und BOSS

Seit März 2009 befindet sich die Experimentanlage Expose-R nun schon auf der Außenseite des russischen Swesda-Moduls und hat der astrobiologischen Forschung eine Heimat geboten. Zwei der vier neuen Experimente von Expose R-2 stammen aus deutschen Forschungseinrichtungen: BIOMEX und BOSS. Während der Mission von Alexander Gerst wurden die Probeneinsätze im Juli 2014 zur ISS transportiert und am 18. August bei einem russischen Außenbordeinsatz (Extravehicular Activity EVA) in die Expose-Anlage eingebaut. Bei einem weiteren EVA am 22. Oktober entfernten die Kosmonauten die Schutzabdeckungen, so dass die Proben nun für die nächsten 18 Monate den Weltraumbedingungen ausgesetzt sind.

### BIOMEX – das biologische Marsexperiment

Ist der Mars ein bewohnbarer Ort für Mikroorganismen? Wie stabil sind biologisch produzierte Moleküle unter Mars- und Weltraumbedingungen? Wäre ein Transport von Leben zwischen Planeten wie der Erde und dem Mars möglich (Panspermie-Hypothese)? Alle diese Fragen spielen beim Projekt BIOMEX (BIologie und Mars EXperiment) eine wichtige Rolle und sind Kernfragen der astrobiologischen Forschung ganz allgemein.

Bei BIOMEX, das vom DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof koordiniert wird, sind Organismen wie Bakterien, Urbakterien (Archaeen), Algen, Pilze, Flechten und Moose den Weltraumbedingungen ausgesetzt. Ein Teil der Proben ist in mineralische

What is life? How did it originate? Where do we come from? How did evolution happen? Can terrestrial organisms survive on Mars? In astrobiology, scientists explore questions about the origin, distribution, and development of life as well as the possibility of life existing beyond Earth. These riddles can only be solved in an interdisciplinary approach which combines cosmology, astronomy, planetary research, geology, chemistry, and biology. Being particularly robust, microorganisms are at the forefront of research. At the same time, their capability to survive in space poses a major challenge to human spaceflight: their colonisation of the ISS leads to corrosion and may endanger the astronauts' health. This calls for specific protective measures.

### Expose R-2 – BIOMEX and BOSS

Since March 2009, the Expose-R experimental facility has been attached to the outside of the Russian Swesda module, offering a home to astrobiological research. Two of the four new experiments on Expose-R-2 come from German research institutes: BIOMEX and BOSS. During Alexander Gerst's mission, specimen trays were carried to the ISS in July 2014 and installed in the Expose facility as part of a Russian extravehicular activity (EVA) on August 18. On October 22, the astronauts removed the protective cover during another EVA so that the specimens are now being exposed to space conditions for the coming 18 months.

### BIOMEX – the biological Mars experiment

Is Mars a place where microorganisms can live? How stable are biologically produced molecules under Martian and space conditions? Would it be possible for life to travel between planets such as Earth and Mars, as suggested by the panspermia hypothesis? All these questions play an important part in the BIOMEX project (BIology and Mars EXperiment), constituting at the same time key questions in astrobiological research in general.

Under the BIOMEX experiment co-ordinated by the DLR Institute of Planetary Research at Berlin-Adlershof, organisms like bacteria, archaeobacteria, algae, fungi, lichen, and moss are exposed to space conditions. Some of these specimens are embedded in mineral soil such as that found on Mars. Various filters permit modifying the intensity and wavelength range of the radiation

In der Expose-Anlage an der Außenseite des russischen Swesda-Moduls werden Mikroorganismen den harten Bedingungen des Weltraums ausgesetzt.

In the Expose facility mounted outside the Russian Swesda module, microorganisms are exposed to the harsh space conditions.



BIOMEX hat im Sommer 2014 begonnen und ist Teil des Experimentpakets Expose-R2. Die Proben starteten am 23. Juli 2014 mit einem Progress-Raumtransporter zur ISS und wurden am 18. August während eines russischen Außenbordeinsatzes von Maxim Surajew und Alexander Samokutjaew in die Expose-Anlage auf der URM-D-Plattform an der Außenseite des russischen Swesda-Moduls eingebaut.

BIOMEX began in summer 2014 as part of the Expose-R2 science package. The samples were sent up to the ISS on July 23, 2014, carried by a Progress space transporter. On a spacewalk at August 18, two Russian crew members, Maxim Suraev and Alexander Samokutyaev, placed the samples into the Expose device on the URM-D platform of the Russian Swesda module.



Im Labor des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin wurden die Proben für die Versuche BIOMEX und BOSS vorbereitet. In der Anlage Expose-R2 an der Außenseite der ISS sind die Organismen nun den Weltraumbedingungen ausgesetzt.

At the laboratory of the DLR Institute of Space Medicine, samples were prepared for the BIOMEX and BOSS experiments. Inserted into the Expose-R2 box, the organisms are now exposed to space conditions.

© DLR

Böden eingebettet, wie sie auf dem Mars zu finden sind. Durch den Einsatz von verschiedenen Filtern kann man die Stärke und den Wellenlängenbereich der Strahlung, die auf das biologische Material einwirken, variieren. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Stabilität der Zellstrukturen, der Proteine und der DNA sowie auf möglichen Veränderungen bestimmter Pigmente. Auch die Überlebensfähigkeit der Organismen wird später auf der Erde untersucht.

Ergebnisse liegen noch nicht vor. Resultate aus Vorläuferexperimenten in den Simulationskammern der DLR-Institute für Luft- und Raumfahrtmedizin und für Planetenforschung lassen jedoch erwarten, dass alle ausgewählten Organismengruppen einschließlich der Moose nach ihrem Weltraumaufenthalt zu einem gewissen Grad lebensfähig sind. Einige BIOMEX-Untersuchungsmethoden sind auch für andere wissenschaftliche Disziplinen wie die Archäologie und die Medizin interessant. So konnten Wissenschaftler der TH Wildau dank neuer Analyse-Methoden zur Erfassung des Wassergehalts von Mikroorganismen archaische Funde wie alte Holzköcher und Bögen datieren.

#### BOSS – Biofilme als Überlebenskünstler

Biofilme zählen zu den ältesten sichtbaren Lebensanzeichen auf der Erde und könnten vielleicht auch auf anderen Planeten und Monden unseres Sonnensystems entdeckt werden. Ein Biofilm ist eine strukturierte Gemeinschaft von Mikroorganismen auf einer Oberfläche, die in einer selbst entwickelten Matrix aus sogenannten extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) eingekapselt leben. Diese EPS-Matrix ist eine Art Bindegewebe, das den Raum zwischen den Mikroorganismen formt, sie in ihrer dreidimensionalen Anordnung zusammenhält und den Biofilm auf Oberflächen anhaften lässt. In einem Biofilm eingeschlossene Mikroorganismen unterscheiden sich in der Regel grundlegend von individuell lebenden Mikroorganismen derselben Art. Die dichte und geschützte Umgebung des Films lässt sie untereinander kooperieren und schützt diese winzigen Lebewesen vor äußeren Einflüssen, so dass die Biofilm-Bewohner gegenüber verschiedenen chemischen und physikalischen Einwirkungen sehr stark resistent sind. Außerdem vermuten Wissenschaftler, dass die Staubpartikel in den Biofilmen einen Schutzschild bilden, der die Organismen zusätzlich vor allem gegenüber der extraterrestrischen ultravioletten (UV)-Strahlung abschirmt.

Im ISS-Experiment BOSS (Biofilm Organismen Surfing Space) will das vom DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin koordinierte internationale Wissenschaftlerteam auf der ISS sowie in den Planeten- und Weltraumsimulationsanlagen des DLR die Hypothese testen, ob als Biofilm organisierte Mikroorganismen besser geeignet sind, langfristig unter den rauen Umgebungsbedingungen, wie sie im Weltraum und auf dem Mars vorkommen, zu überleben. Nach rund 18 Monaten im Weltraum werden dies spezielle biologische und biochemische Tests auf der Erde zeigen. Die Ergebnisse sollen grundsätzliche Fragen zu den Chancen und Grenzen der Überlebensfähigkeit von in Biofilmen lebenden Mikroorganismen unter Weltraumbedingungen beantworten.

#### AgXX – Silberbeschichtung gegen Mikrobenbefall

Biofilme aus Bakterien, Hefen und Pilzen sind aber nicht nur ein interessantes Thema der astrobiologischen Forschung, sondern

impacting the biological material. Attention focuses on the stability of cellular structures, proteins, and the DNA as well as on possible changes in certain pigments. Later, on Earth, the organisms' survival capability will be examined as well.

No results have become available as yet. However, the outcomes of precursor experiments run in the simulation chambers of the DLR Institutes of Aerospace Medicine and of Planetary Research suggest that all the organism groups selected, moss specimens included, remain viable to a certain degree after their sojourn in space. Some of the methods of investigation used in BIOMEX are of interest in other scientific disciplines, such as archaeology and medicine. Thus, new methods of analysing the water content of microorganisms enabled scientists from the Wildau University of Applied Sciences to date archaeological finds like ancient wooden quivers and bows.

#### BOSS – biofilms as masters of survival

Belonging to the oldest visible signs of life on Earth, biofilms might perhaps be discovered on other planets and moons in our solar system. A biofilm is a structured community of microorganisms living on a surface encapsulated in a matrix of so-called extracellular polymeric substances (EPS) which they develop themselves. This EPS matrix is a kind of connective tissue, which shapes the space between the microorganisms, holds them together in their three-dimensional arrangement, and allows the biofilm to adhere to a surface. As a general rule, microorganisms embedded in a biofilm fundamentally differ from microorganisms of the same species that live individually. The film's impervious and sheltered environment permits them to cooperate among each other and protects these tiny living beings from external influences, making the inhabitants of a biofilm highly resistant to various chemical and physical influences. Besides, scientists suppose that the dust particles enclosed in biofilms act as an additional protective shield, screening the organisms mainly from extraterrestrial ultraviolet radiation (UV).

Under the BOSS (Biofilm Organismen Surfing Space) experiment on the ISS, an international team of scientists co-ordinated by the DLR Institute of Aerospace Medicine plans to test the hypothesis that microorganisms organised in biofilms might be better suited to surviving the rough environmental conditions prevailing in space and on Mars in the long run. Tests will be carried out on the ISS as well as in DLR's planet and space simulation facilities. After around 18 months in space, the hypothesis will be verified in special biological and biochemical tests on Earth. It is hoped that the results will answer fundamental questions about the opportunities and limitations of the survivability of microbial species organised in biofilms under space conditions.

#### AgXX – silver coating against microbial infestation

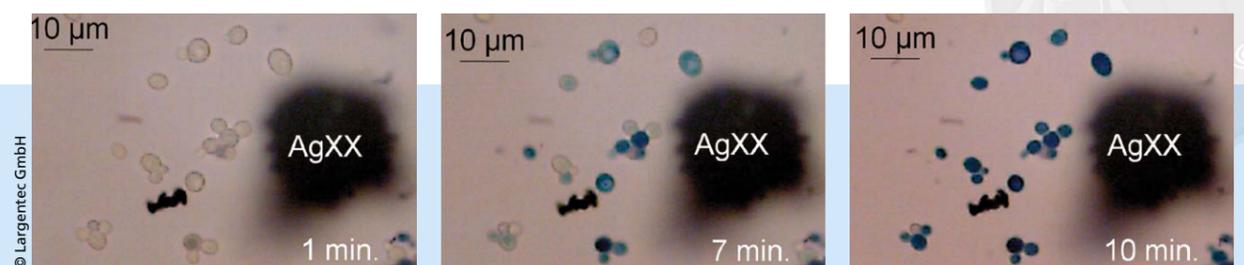
However, biofilms consisting of bacteria, yeast, or fungi are not only an interesting topic of astrobiological research, but also pose a serious threat to space crews and the entire space infrastructure. On the one hand, they may impair the astronauts' health, while on the other hand, hardware may be damaged because of their corrosive impact on a wide range of materials. On Earth, biofilms

gefährden Crews und die gesamte Infrastruktur im Weltall. Zum einen können sie die Gesundheit der Astronauten beeinträchtigen, zum anderen durch ihre korrodierende Wirkung auf verschiedenste Materialien die Hardware beschädigen. Auf der Erde verursachen Biofilme in allen Bereichen Probleme, die mit Wasserqualität, wässrigen Lösungen und Hygiene in Zusammenhang stehen, also in Krankenhäusern, Altersheimen, Kindergärten, in der Lebensmitteltechnologie, in der Produktion, in der Klimatechnik und auch im Haushalt. Die Firma Largentec GmbH entwickelte mit AgXX einen völlig neuen antimikrobiellen Kontaktkatalysator – eine speziell strukturierte und beschichtete Edelmetalloberfläche mit einer spezifischen, genau definierten Nachbehandlung. Die antimikrobielle Wirkung findet hauptsächlich an oder in unmittelbarer Nähe der AgXX-Oberfläche durch eine Änderung des Ladungspotenzials biologischer Membranen (Depolarisierung) statt. Im Anschluss zerfällt die Zelle durch Schädigung oder Auflösung der Zellmembran (Zellyse).

Für das Experiment, das von der Universität Freiburg und der Largentec GmbH in Kooperation mit dem Institut für Biomedizinische Probleme (IBMP) Moskau durchgeführt wird, wurden drei identische Probenplatten mit verschiedenen Probenträgern bestückt (V2A-Stahl, Polydimethylsiloxan) und mit unterschiedlichen Beschichtungen (Silber, AgXX) versehen. Die Probenplatten wurden am 23. Oktober 2012 zur ISS geschickt und im April beziehungsweise Oktober 2013 für die Analyse zur Erde zurückgebracht. Dank positiver Zwischenergebnisse wird derzeit ein weiterer Probenträger für einen noch längeren Zeitraum – von Februar 2014 bis Oktober 2015 – den Umgebungsbedingungen auf der ISS ausgesetzt.

Die Probenplatten, die für sechs Monate beziehungsweise ein Jahr den Bedingungen auf der ISS getrotzt haben, sind bereits mikrobiologisch analysiert worden. Die Ergebnisse sind vielversprechend: Nach sechs Monaten im All waren die V2A-Stahl Probenträger mit AgXX-Beschichtung frei von mikrobieller Kontamination, wohingegen solche mit Silberbeschichtung und alle untersuchten Probenträger auf Polydimethylsiloxan-Basis einen wesentlich stärkeren mikrobiellen Bewuchs aufwiesen. Nach zwölf Monaten zeigte nur ein Drittel der V2A-Stahl Probenträger mit AgXX-Beschichtung schwachen mikrobiellen Bewuchs, bei den anderen Probenträgern waren es hingegen 50 bis 100 Prozent. Die Mikroorganismen auf den V2A-Stahl Probenträgern mit AgXX-Beschichtung waren zudem – im Gegensatz zu den von den anderen Probenträgern isolierten Mikroorganismen – nicht in der Lage, sich weiter zu vermehren. Somit gefährdeten sie auf der ISS weder die Astronauten noch die Materialien.

Verstehen wir den Wirkmechanismus des Kontaktkatalysators AgXX, dann kann sein Effekt angepasst und weiter verbessert werden. So lassen sich neue Anwendungsfelder, wie zum Beispiel in der Medizintechnik, leichter erschließen. Die hohen Eintrittsbarrieren in Wissenschaft, Technik und Medizin, die erst einmal für jede neue Technik bestehen, lassen sich mit den Versuchsreihen auf der ISS damit weiter reduzieren.



Zeitlicher Verlauf der Abtötung von Hefezellen durch AgXX (Auflösung: 1 µm): Für die Bestimmung der Abtötung ist zu berücksichtigen, dass die Blaufärbung erst eine bis zehn Minuten nach Abtötung auftritt. Da nach 15 Minuten alle Zellen blau gefärbt sind, waren nach circa fünf Minuten alle Hefezellen im Umkreis des AgXX-Partikels vollständig abgetötet.

Time history of the killing of yeast cells by AgXX (resolution: 1 µm): to determine the exact process, one needs to bear in mind that the blue staining will not take effect until one to ten minutes after the cell death. Given that all cells were stained blue after 15 minutes, it is now known that all yeast cells near the AgXX particle had been completely killed after about five minutes.

cause problems in all fields associated with water quality, aqueous solutions, and hygiene, i.e. in hospitals, old people's homes, child care facilities, in food technology, production, air conditioning, and also in households. Developed by Largentec GmbH, AgXX represents an entirely new anti-microbial contact catalyst – a specially-structured and coated surface of noble metal that is post-treated in a specific, precisely defined process. Mainly occurring at or in the immediate vicinity of the AgXX surface, the anti-microbial effect is caused by changes in the charge potential of biological membranes (depolarisation). The consequence is that cells disintegrate as their membranes are damaged or dissolved (cell lysis).

For the experiment run on the ISS by Freiburg University and the Largentec company in co-operation with the Moscow Institute for Biomedical Problems (IBMP), three identical specimen plates were equipped with various specimen carriers (stainless steel, polydimethylsiloxane) coated with silver and AgXX. The specimen plates were sent to the ISS on October 23, 2012 and brought back to Earth in April and/or October 2013. Because results have been positive so far, another specimen carrier is currently being kept in an ISS environment for an even longer period – from February 2014 to October 2015.

The specimen plates that have been exposed to ISS conditions for six months or one year have already been analysed microbiologically. Results are promising: after six months in space, the AgXX-coated stainless steel specimen carriers were found free from microbial contamination, whereas those with a silver coating as well as all polydimethylsiloxane specimen carriers investigated were found to be extensively infested by microbes. After twelve months, only one third of the AgXX-coated stainless steel specimen carriers showed slight microbial growth, whereas 50 to 100 percent of the other specimen carriers were infested. Moreover, it was found that the few microorganisms on the AgXX-coated stainless steel specimen carriers were incapable of propagating, in contrast to those taken from the other specimen carriers. Consequently, they presented no threat to either the astronauts or the materials on the ISS.

Once we understand the action mechanism of the AgXX contact catalyst, its effect may be adapted and improved further, making it easier to develop new applications in medical technology, for example. Thus, the series of tests run on the ISS are a further step towards lowering the high entry barriers that confront every new technology in science, engineering, and medicine.

# MagVector/MFX

Ein Stück „Raumschiff Enterprise“ an Bord der ISS

Von Volker Schmid und Detlev Konigorski

Magnetfelder bewahren Planeten wie unsere Erde vor der starken ionisierten Partikelstrahlung der Sonne und anderer kosmischer Quellen. In den Science-Fiction-Filmen der legendären „Star Trek“-Reihe wird die „Enterprise“ auf ihren Reisen zu fernen Sternen von einem Schutzschild umgeben, das diese starke Sternenstrahlung abschirmt. Noch ist so eine Technologie Zukunftsmusik. Noch müssen aufwendige Verkleidungen bei Raumfahrzeugen und -stationen das „Dauerfeuer der Sterne“ – den sogenannten Sonnenwind – abwehren. Wenn wir die Magnetfelder und ihre Schutzmechanismen besser verstehen, dann könnte das Schutzschild für „Raumschiff Enterprise“ in naher Zukunft keine bloße Fiktion mehr sein. Das Experiment MagVector/MFX des DLR Raumfahrtmanagements testet auf der Internationalen Raumstation ISS, wie Magnetfelder mit einem elektrischen Leiter in Wechselwirkungen treten, um dem Geheimnis dieser Schutzüllen auf die Spur zu kommen.

## MagVector/MFX

Something from 'Star Trek' on board the ISS

By Volker Schmid and Detlev Konigorski

Magnetic fields preserve planets like our own Earth from the powerful ionised-particle radiation of the Sun and other cosmic sources. In the science fiction episodes of the legendary 'Star Trek' series, the Enterprise is surrounded on its journeys to distant stars by a protective shield that wards off this powerful stellar radiation. Such a technology still is utopian. Spacecraft as well as space stations still need elaborate armour to defend themselves against the 'barrage of the stars', the so-called solar wind. Once we understand magnetic fields and their protective mechanisms better, the shield for the 'Enterprise' might be more than mere fiction in the near future. To find a clue to the secret of these protective envelopes, the MagVector/MFX experiment run by the DLR Space Administration on the International Space Station explores how magnetic fields interact with a conductor.

Die „Enterprise“ wird in der Science-Fiction-Reihe „Star Trek“ durch ein Schutzschild gegen starke Sternenstrahlung geschützt. In der Realität sind solche Schutzschilde noch Zukunftsmusik. Das Experiment MagVector/MFX soll das ändern.

In the 'Star Trek' science-fiction TV series, spaceship Enterprise is protected from intense cosmic radiation by a magnetic shield. In reality, such shields are still a thing of the future. The MagVector/MFX experiment is intended to change this.



## „Scotty, Energie!“ – MagVector/MFX läuft

Vom 17. bis 19. November herrschte bei den Ingenieuren auf dem Airbus-Gelände und am German Space Operation Center (GSOC) auf dem DLR-Gelände in Oberpfaffenhofen eine große Anspannung, die sich auch auf die ISS-Astronauten und die am Experiment beteiligten Wissenschaftler übertrug. „Schuld“ ist ein rund 75 Kilogramm schwerer, bananenkestengroßer Quader im European Drawer Rack des europäischen Columbus-Moduls. Nach einigen Testläufen im September und Oktober, die noch der deutsche Astronaut Alexander Gerst während seiner „Blue Dot“-Mission startete und bei denen Schritt für Schritt die einzelnen Subsysteme und ihre Safety-Implementierungen getestet wurden, begann nun erstmals eine volle Messkampagne. MagVector/MFX lief fast drei Tage ohne Unterbrechung.

## Den Strahlenschutz unserer Erde verstehen

In diesem Experimenteinsatz steckt ein ganz spezieller Messaufbau: In einer kühlbaren Vakuumkammer liegt ein elektrischer Leiter mit veränderbarer Leitfähigkeit. Mit ihm können verschiedene Zustände nachgestellt werden. So haben die Forscher erstmals gemessen, wie sich die Magnetfeldstruktur um ihn herum verändert, während er um die Erde kreist. Denn ein Feld um einen bewegten Leiter herum entwickelt sich nicht gleichmäßig: Der Strahlenschutz der Erde und zahlreicher anderer Planeten wird durch einen „Dynamo“ im Inneren der Himmelskörper angetrieben – einem metallischen Kern, der von mehreren rotierenden Mantelschichten umgeben ist. Im tiefsten Inneren entsteht das Feld, das unsere Erde vor dem permanenten Beschuss durch hochenergetische Teilchen – dem Sonnenwind – und der kosmischen Strahlung bewahrt. Wie bei diesem „Schutzschild“ unserer Erde staut sich das Feld vor dem Leiter auf der ISS auf und dünnt sich hinter ihm wieder aus. Der Nachweis dieses magnetischen Staueffekts und der Ausdünnung – analog zur Strömungsmechanik – wurde so zum ersten Mal bei unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeiten, die über unterschiedliche Temperaturen erreicht werden, gemessen.

## MFX stößt ein Tor zur experimentellen Astrophysik auf

Doch es gibt auch Planeten und andere Himmelskörper, die nicht selbstständig ein Magnetfeld erzeugen können. Bei unse-

Autoren: **Volker Schmid** ist MagVector/MFX-Projektleiter im DLR Raumfahrtmanagement. Er hatte die Idee zu diesem Experiment und hat das Projekt maßgeblich vorangetrieben. Gemeinsam mit der Industrie hat er dafür gesorgt, dass MagVector/MFX in Rekordzeit fertiggestellt wurde. **Detlev Konigorski** ist MagVector/MFX Principal Investigator bei Airbus Defence & Space in Bremen.

Authors: **Volker Schmid** heads the MagVector/MFX project at the DLR Space Administration. He had the idea for this experiment and has been the essential mastermind behind the project's implementation. Together with industry partners he managed to complete MagVector/MFX in record time. **Detlev Konigorski** is the MagVector/MFX Principal Investigator by Airbus Defence & Space in Bremen.

## 'Beam me up, Scotty!' – MagVector/MFX is running

From November 17 to 19, great tension emanated from the Bremen ESC and the German Space Operations Centre (GSOC) at the DLR premises in Oberpfaffenhofen, infecting the ISS astronauts as well as the scientists involved in the experiment. The 'guilty party' was a block weighing around 75 kilograms and shaped like a banana box that is stored in the drawer rack of the European Columbus module. After a few test runs in September and October, which, started by the German astronaut Alexander Gerst during his 'Blue Dot' mission, served to test each sub-system and its safety implementation step by step, the first full-blown measuring campaign began. MagVector/MFX ran for almost three days without interruption.

## Understanding our Earth's radiation protection

The experiment tray encloses a very special measurement setup: a vacuum chamber that can be cooled surrounds a conductor whose conductivity is modifiable so that various states can be simulated. Researchers use it to measure for the first time how the structure of the magnetic field surrounding it changed while it orbited the Earth. For a field that surrounds a moving conductor does not behave uniformly: the shield that protects the Earth and numerous other planets from radiation is powered by a dynamo in the interior of the heavenly bodies – a metallic core surrounded by several rotating layers of mantle. In the deepest depths, the field is generated that protects our Earth from permanent bombardment by high-energy particles – the solar wind – as well as from cosmic radiation. Like our Earth's 'protective shield', the field is compressed in front of the conductor on the ISS and thins out again behind it. This magnetic compression and relaxation effect – analogous to fluid mechanics – was demonstrated for the first time by measurements at different electric conductivities modified by temperature differences.

## MFX opens a door to experimental astrophysics

However, there are planets and other heavenly bodies that are unable to generate a magnetic field on their own. On our neighbours, Venus and Mars, the Sun's magnetic field directly impacts the planetary atmosphere: this moving field reacts with the atoms (ions) rendered conductive by the Sun's UV radiation

Der deutsche ESA-Astronaut Alexander Gerst hat MagVector/MFX während seiner „Blue Dot“-Mission auf der ISS in das European Drawer Rack (EDR) im Weltraumlabor Columbus eingebaut und erstmals in Betrieb genommen.

On his 'Blue Dot' mission, German ESA astronaut Alexander Gerst has installed MagVector/MFX in the European Drawer Rack (EDR) at the Columbus Space Laboratory and commissioned it for the first time.



MagVector/MFX wurde nach einer erfolgreichen, einjährigen Machbarkeitsuntersuchung im Jahr 2013 entwickelt und gebaut. Die Testphase fand im April und Mai 2014 statt. Die Ablieferung der Flughardware erfolgte schließlich am 20. Mai 2014, die dann als späte Fracht über Turin und Kourou den Weg in den europäischen Raumtransporter „ATV-5 Georges Lemaître“ fand, der am 29. Juli 2014 vom europäischen Weltraumbahnhof in Kourou (Französisch-Guyana) aus auf einer Ariane 5-Trägerrakete gestartet wurde. Das DLR Raumfahrtmanagement hat zusammen mit Airbus Defence & Space Bremen ein Experiment in Rekordgeschwindigkeit auf die ISS gebracht. In nur 15 Monaten wurde die komplexe Hardware entwickelt, gebaut, getestet, für den Weltraum Einsatz freigegeben und dann auf der ISS in Betrieb genommen. Alexander Gerst hat dieses Experiment während der „Blue Dot“-Mission aus ATV-5 ausgeladen, in das europäische Weltraumlabor Columbus eingebaut und erstmals in Betrieb genommen. Bei optimalen Voraussetzungen kann der Betrieb bis Ende 2016 verlängert werden.

MagVector/MFX was developed and built in 2013 after a successful feasibility study of one year's duration. The test phase took place in April and May 2014. Finally, the flight hardware was delivered to ESA on May 20, 2014. Shipped via Turin and Kourou, it found its way into the European transfer vehicle ATV-5 Georges Lemaître, which was launched on an Ariane 5 rocket on July 29, 2014 from the European spaceport of Kourou (French Guiana). In collaboration with Airbus Defence & Space of Bremen, the DLR Space Administration set a speed record in sending the experiment to the ISS. Within no more than 15 months, its complex hardware was developed, built, tested, approved for use in space, and ultimately commissioned on the ISS. During his 'Blue Dot' mission, Alexander Gerst unloaded the experiment from the ATV-5, installed it in the European Columbus space laboratory, and commissioned it. Given ideal conditions in the utilisation of Columbus, its operation may be extended until the end of 2016.

ren Nachbarn Venus und Mars trifft das Magnetfeld der Sonne direkt auf die jeweiligen Planetenatmosphären: Dieses bewegte Feld reagiert mit den durch UV-Strahlung elektrisch leitfähig gewordenen Atomen (Ionen) in der Hochatmosphäre (Ionosphäre) der beiden Himmelskörper. Die Ionosphären verändern dabei den Ladungszustand ihres Planeten so stark, dass sie von einem schlechten elektrischen Leiter zu einem sehr guten werden. Bisher wurden solche Wechselwirkungen nur durch kostspielige Satellitenmissionen vor Ort untersucht. Doch ist der Orbiter einmal gestartet, dann können Forscher die voreingestellten Messprogramme kaum noch oder gar nicht mehr verändern, um die Parameter den Umgebungsbedingungen anzupassen. Auf der ISS ist das ganz anders: Hier herrschen ideale Voraussetzungen, um solche Fragestellungen mit dem variablen elektrischen Leiter des MagVector/MFX-Experiments und dem Erdmagnetfeld zu simulieren. Gleichzeitig wird das lokale Magnetfeld der Erde als Referenz gemessen. Nach der Auswertung eines Datensatzes lässt sich die Einstellung der Experimentbedingungen immer wieder neu vornehmen beziehungsweise verändern. Das Bodenkontrollzentrum in Oberpfaffenhofen, unterstützt vom ESC bei Airbus in Bremen, übermittelt die neuen Einstellungen zur ISS. In Bremen werden die frischen Messwerte von den Wissenschaftlern ausgewertet. So kann das Experiment nun erstmals astrophysikalische Zustände und Wechselwirkungen zwischen dem irdischen Magnetfeld und den verschiedensten Körpern im Sonnensystem direkt untersuchen, indem sie in der Experimentbox an Bord der ISS nachgestellt werden. Mit dieser wichtigen Grundlagenforschung stößt MFX ein Tor zur experimentellen Astrophysik auf.

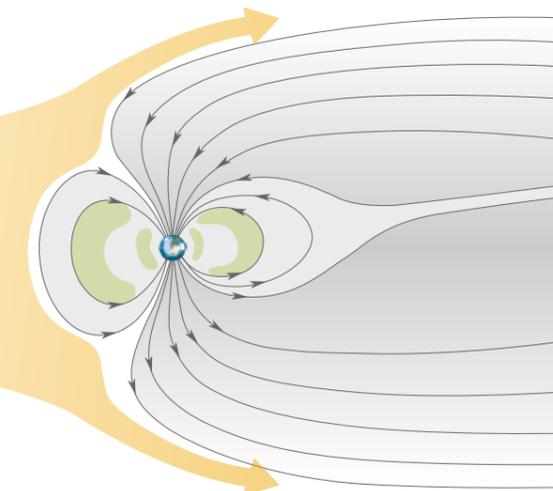
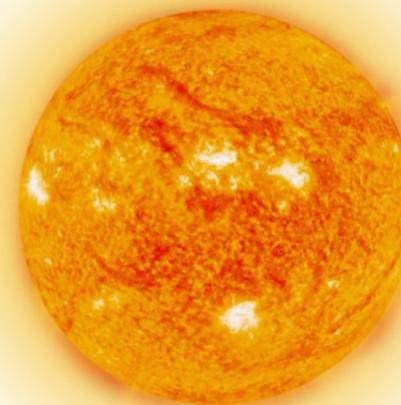
#### ISS – ein ideales Testgebiet

Die ISS ist ein ideales Testgebiet: Sie durchfliegt mit einer Orbitalgeschwindigkeit von rund 7,5 Kilometern pro Sekunde ständig das Erdmagnetfeld – eine einzigartige Laborumgebung, um an den Grundlagen für einen effektiven Schutzschild zu forschen. Bislang müssen Raumsonden oder Astronauten in einem Raumschiff durch aufwendige Spezialverkleidungen mehr oder weniger schlecht vor dem „Dauerfeuer“ des Sonnenwindes bewahrt werden. Auf der „Enterprise“ schirmt ein solches Magnetschutzschild Captain Kirk & Co. von den rasenden Sonnenpartikeln ab. Das ist noch Zukunftsmusik. Doch wenn sich durch MagVector/MFX zum Beispiel folgende Fragen beantworten lassen, könnte man einem solchen Schild schon einen ganzen Schritt näher kommen: Wie interagieren die Ionosphären – vergleichbar mit unterschiedlich guten elektrischen Leitern – mit dem solaren Magnetfeld? Wann bildet sich eine künstliche Magnetosphäre? Wie groß ist das Magnetfeld unserer Erde? Was passiert mit dem Feld im Planeteninneren in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit? Wie lassen sich Magnetfelder von Sonne und anderen Himmelskörpern für Raumfahrtanwendungen nutzen? MagVector/MFX hat erste Ergebnisse geliefert, um diese Fragen in den kommenden Monaten und Jahren zu beantworten.

in the upper atmosphere (ionosphere) of the two heavenly bodies. In the process, the ionospheres change the charge state of their planet so much that their conductivity changes from bad to very good. So far, such interactions have only been studied on the spot in costly satellite missions. However, once the orbiter has been launched, researchers have little or no chance of changing predefined measurement programmes to adapt parameters to ambient conditions. The situation on the ISS is quite different: conditions here are ideal for simulating such questions with the variable conductor of the MagVector/MFX experiment and the terrestrial magnetic field. At the same time, the Earth's local magnetic field is measured for reference. Once a data set has been evaluated, the conditions of an experiment may be re-defined and/or changed again and again. With the support of the ESC at Airbus in Bremen, the Oberpfaffenhofen Ground Control Centre communicates any new settings to the ISS. In Bremen, scientists evaluate any measurements coming in. Thus, the experiment now is the first to directly investigate astrophysical states and interactions between the terrestrial magnetic field and a variety of bodies in the solar system by emulating them in the experiment box on board the ISS. By performing this important basic research, MFX opens a door to experimental astrophysics.

#### The ISS – an ideal test bed

The ISS is an ideal test bed: travelling at an orbital velocity of around 7.5 kilometres per second, it constantly flies through the Earth's magnetic field – a unique laboratory environment in which to investigate the basics of an effective protective shield. At present, space probes and astronauts on board a spaceship need elaborate special armour to protect themselves more or less badly from the 'barrage' of the solar wind. On board the 'Enterprise', a magnetic protective field shields Captain Kirk & Co. from the fury of the solar particles. This is still a pipe dream. However, if MagVector/MFX should help to answer the following questions we might be able to come a step closer to such a shield: how do the ionospheres – comparable to conductors of different quality – interact with the solar magnetic field? When does an artificial magnetosphere form? How large is the magnetic field of our Earth? What happens to the field in the interior of the planet as conductivity changes? How can the magnetic fields of the Sun and other heavenly bodies be exploited for space applications? MagVector/MFX has given us the first results for answering these questions in the coming months and years.



**Der Strahlenschutz unserer Erde und zahlreicher anderer Planeten wird durch einen Dynamo im Inneren der Himmelskörper angetrieben – einem metallischen Kern der von mehreren rotierenden Mantelschichten umgeben ist. Im tiefsten Inneren entsteht das Magnetfeld, das unsere Erde vor dem permanenten Beschuss durch hochenergetische Teilchen – dem Sonnenwind – und der kosmischen Strahlung bewahrt. Bei diesem Schutzschild staut sich das Feld vor der Erde auf und dünnt sich hinter ihr wieder aus.**

The radiation shield of the Earth and many other planets is driven by a dynamo in the planetary interior, which consists of a metal core surrounded by several rotating mantle layers. Way down in the interior, this generates the magnetic field which protects the Earth against permanent shelling by high-energy particles – solar wind – and against cosmic rays. The magnetic field around the Earth is compressed on the 'day side' of the Earth and tails off on the opposite side.

#### MagVector/MFX – Zukunftsforschung auf der ISS

MagVector/MFX gewährt uns einen neuen, einmaligen Blick auf das Zusammenspiel von elektrischen Leitern und Magnetfeldern bei hoher Geschwindigkeit. Die gewonnenen Erkenntnisse bieten Potenzial für eine Vielzahl neuartiger luft- und raumfahrttechnischer Anwendungen: So könnte MagVector/MFX zur Entwicklung von Magnetschutzschilden gegen geladene, hochenergetische Partikel beitragen, die für astronautische Missionen im Sonnensystem unerlässlich sind. Weiterhin sollen die Ergebnisse darüber Aufschluss geben, ob elektrodynamische Hitzeschilde für Raumfahrzeuge, wie sie seit Beginn des letzten Jahrzehnts untersucht werden, noch effizienter und leistungsfähiger gemacht werden können. Zukünftige Raumsonden, die auf Planeten mit einer Atmosphäre landen sollen, könnten dadurch leichter werden, da sie keinen klassischen Hitzeschutz mehr benötigen. Außerdem kann der Einsatz von Magnetfeldern während des Eintritts in eine Atmosphäre den Funkverkehr bei „Black Outs“ verbessern. Während dieser letzten Flugphase vor der Landung einer Raumsonde ist praktisch kein Funkverkehr mehr möglich. Die bisher durchgeführten MagVector/MFX-Untersuchungen hinsichtlich Kryotechnik, Leitermaterialien und dynamischer Belastbarkeit haben bereits zu neuen Entwicklungsaktivitäten bei Airbus geführt, mit denen einige luftfahrttechnische Herausforderungen gemeistert werden könnten. Die Entwicklung von neuartigen Energiespeichern für die Elektromobilität könnte von dem Experiment ebenso profitieren.

#### MagVector/MFX – research into the future on the ISS

MagVector/MFX affords a new, unique view of the interaction between conductors and magnetic fields at high velocities. The knowledge thus gained offers potentials for a multitude of innovative aerospace applications: thus, for example, MagVector/MFX might contribute towards the development of a magnetic shield for protection from charged high-energy particles that is indispensable for astronautical missions in the solar system. Furthermore, results are supposed to provide information about how to further improve the efficiency of the electrodynamic heat shields for spacecraft that have been under investigation since the beginning of the last decade. This might serve to reduce the weight of future space probes designed to land on planets with an atmosphere, because classic heat protection would no longer be needed. Lastly, deploying a magnetic field during re-entry into an atmosphere may improve radio communication during black-outs. During this last flight phase before the landing of a space probe, radio communication becomes practically impossible. The experiments relating to cryotechnics, conductor materials, and dynamic stress tolerance carried out on MagVector/MFX so far have already triggered new development activities at Airbus which might serve to master some aerotechnical challenges. Likewise, the development of innovative energy storage devices to promote electro-mobility might benefit from the experiment.

Das MagVector/MFX-Experiment wurde bei Airbus Defence & Space in Bremen zusammengesetzt. Diese Nutzlast wurde in Rekordzeit entwickelt, gebaut, qualifiziert und auf die ISS gebracht.

The MagVector/MFX experiment was built by Airbus Defence & Space in Bremen. The payload was developed, built, qualified and carried to the ISS in record time.



Kurzwelliges Sonnenlicht ist die primäre Energiequelle unserer Hochatmosphäre.  
Short-wave sunlight is the primary energy source in our upper atmosphere.

# Über 50 Jahre EUV-Spektroskopie der Sonne

Vom Raketen-Experiment bis zur Internationalen Raumstation

Von Dr. Gerhard Schmidtke und Dr. Hans-Georg Grothues

**Kurzwelliges Sonnenlicht – die sogenannte Extreme Ultraviolette (EUV-) Strahlung – ist die primäre Energiequelle der Thermosphäre und der Ionosphäre unseres Planeten. Was in den Schichten zwischen etwa 85 und 400 Kilometern über der Erdoberfläche geschieht, hat wichtige Auswirkungen auf die Erde: kurzwelliges Sonnenlicht wird dort absorbiert und es bilden sich Elektronen-Ionen-Paare. Energiereiche Photonen spalten dabei unter anderem den molekularen Sauerstoff in Atome auf. Die Rekombination dieser elektrischen Ladungen führt über Zwischenprozesse zur Aufheizung der Thermosphäre auf bis über 1.000 Grad Celsius. Das macht die solare EUV-Strahlung zur wichtigsten Energiequelle dieser Atmosphärenschichten. Diese Energiequelle unterliegt jedoch starken zeitlichen Schwankungen – wie zum Beispiel auch der Sonnenwind. Gemeinsam bestimmen beide Phänomene das sogenannte Weltraumwetter und haben somit großen Einfluss auf die direkte Umgebung der Erde in unserem Sonnensystem. Es ist daher äußerst wichtig, diesen Einfluss der Sonne zu möglichst zu jedem Zeitpunkt zu kennen.**

More than 50 Years of Solar EUV Spectroscopy From Rocket Experiments to the International Space Station

By Dr Gerhard Schmidtke and Dr Hans-Georg Grothues

Short-wave sunlight, also known as extreme ultraviolet (EUV) radiation, constitutes the primary source of energy in our planet's thermosphere and ionosphere. What happens in these layers between about 85 and 400 kilometres above the surface affects Earth in important ways: short-wave EUV sunlight is absorbed primarily forming electron-ion pairs while long-wave EUV photons split molecular oxygen into atoms. The recombination of their electric charges as well as of the atoms, followed by a number of intermediate processes, ultimately causes the thermosphere to heat up to above 1,000 degrees Celsius. This makes solar EUV radiation the most important source of energy in these atmospheric altitude regions. However, the energy fluctuates widely over time – as does the solar wind. Together, the combination of these two solar phenomena control the so-called space weather, which means they have a great influence on the Earth's immediate surroundings within the solar system. It is thus extremely important to know as much as possible about this influence of the Sun at any point in time.



Autoren: **Dr. Hans-Georg Grothues** betreut beim DLR Raumfahrtmanagement das ISS-Experiment SolACES. **Dr. Gerhard Schmidtke** war als langjähriger wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (FhG-IPM) in Freiburg maßgeblich an der Entwicklung der EUV-Spektroskopie der Sonne in Deutschland beteiligt.

Authors: **Dr Hans-Georg Grothues** supervises the ISS-borne SolACES experiment at the DLR Space Administration. Having worked as a scientist at the Freiburg IPM for many years, **Dr Gerhard Schmidtke** played a leading part in the development of solar EUV spectroscopy in Germany.

Seit mehr als 50 Jahren wird die kurzwellige Strahlung der Sonne von deutschen Wissenschaftlern der Arbeitsgruppe für Physikalische Weltraumforschung – dem heutigen Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (FhG-IPM) in Freiburg im Breisgau – untersucht. Für die Gründung dieses Instituts steht der Name Prof. Karl Rawer, auf dessen Initiative hin die Ionosphären-Forschung mit der solar-terrestrischen EUV-Spektroskopie verbunden wurde. Im Laufe der Jahre hat sich diese Forschung auch durch die Förderung verschiedener Bundesministerien und des DLR stetig weiterentwickelt und fortschrittliche Instrumente zur Untersuchung der Sonnenaktivität hervorgebracht.

## Anfänge der solaren EUV-Spektroskopie in Europa

In Zusammenarbeit mit der französischen Marine und der Gruppe von Prof. Rawer startete am 19. Oktober 1954 die erste wissenschaftliche Raketenmission Westeuropas über Hammaguir (Algerien). Die Testrakete vom Typ Véronique erreichte eine Höhe von 108 Kilometern und trug ein erstes Experiment zur Ionosphärenforschung. Weitere Raketenstarts folgten. Bereits 1957 begannen in Freiburg die Arbeiten auf dem Gebiet der EUV-Spektroskopie. Die Forscher leisteten Pionierarbeit, da sich die Gruppe auf keinerlei Erfahrungen in Europa stützen konnte. Gefördert durch die Gesellschaft für Weltraumforschung wurde eine Testeinrichtung zur Entwicklung von EUV-Spektrometern auf Raketen angeschafft. Dank des Devisenausgleichsabkommens mit Großbritannien konnte die neue Arbeitsgruppe Vakuumzubehör und Messgeräte besorgen und die bisherigen Experimente sowie das außergewöhnlich breite Instrumentarium für die Erforschung der oberen Atmosphäre weiterentwickeln.

Die Freiburger Wissenschaftler konnten nun zwei weitere Véronique-Raketen bestücken. Beide Nutzlasten, das heißt die gesamten Raketenspitzen, wurden von der Arbeitsgruppe in Freiburg gebaut und im März 1971 in Toulouse (Frankreich) für ihren suborbitalen Raumflug vorbereitet. Sie sollten einen direkten Zusammenhang zwischen den verschiedenen physikalischen Phänomenen im atmosphärischen Höhenbereich zwischen 80 und 220 Kilometern herstellen. Erfasst wurde unter anderem der solare EUV-Strahlungsfluss, der Photoelektronen erzeugt und so zur Bildung der Ionosphäre führt. Außerdem wurden die Energieverteilungen der Ionen und der Photoelektronen in Abhängigkeit von der Höhe, Elektronendichten sowie elektrische Felder gemessen. Aus den gesammelten EUV-Messdaten wurden schließlich atmosphärische Teilchen- und Temperaturprofile abgeleitet.

## Die AEROS-Satelliten

Nach den Erfolgen der EUV-Messungen mit Höhenforschungsraketen sollten die Auswirkungen dieser kurzwelligen Strahlung nun auch von Satelliten aus beobachtet werden. Nur ein Jahr nach dem Abschluss des Devisenausgleichsabkommens mit Großbritannien liefen ähnliche Verhandlungen mit den USA, wobei die Sonnenforschungssatelliten 625-A 1 und 625-A 2 ins Gespräch kamen. Die Idee: Deutschland und die USA sollten

For more than 50 years, a group of German scientists belonging to the Working Group on Physical Space Research – known today as the Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques (IPM) in Freiburg/Breisgau – has investigated the Sun's short-wave radiation. The founding father of this institute is Professor Karl Rawer, at whose initiative solar-terrestrial EUV spectroscopy became a regular part of ionospheric research. As the years went by, this research showed steady progress. Aided by funding from various federal ministries and DLR, it produced a number of advanced instruments supporting the exploration of the solar EUV activity.

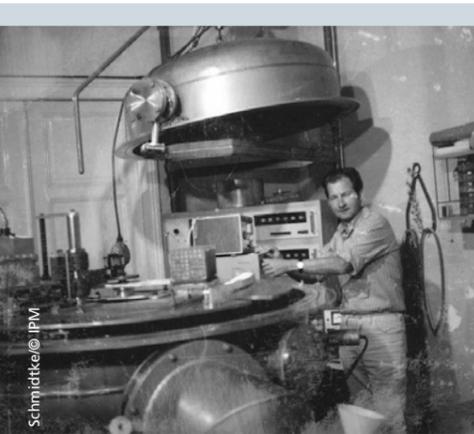
## The early days of solar EUV spectroscopy in Europe

On October 19, 1954, Western Europe's first scientific rocket mission was launched at Hammaguir (Algeria) as a collaboration between the French Navy and professor Rawer's group. The Véronique type sounding rocket reached an altitude of 108 kilometres, carrying the first experiment in ionospheric research. Subsequently, further rockets were launched. Work in the field of EUV spectroscopy began in Freiburg as early as 1957. Researchers did pioneering work as there was no previous experience in Europe for the group to rely on. Sponsored by the Society for Space Research, a test facility for developing rocket-borne EUV spectrometers was procured. A foreign exchange offset agreement with Great Britain enabled the new working group to procure vacuum equipment and a number of measuring devices, to improve its earlier experiments and to develop the extraordinarily wide range of instruments required to explore the upper atmosphere.

The Freiburg scientists were now in a position to equip two more Véronique rockets. Both payloads, i.e. the entire rocket nose cones complete with the instruments, were built by the Freiburg working group and were made ready for their sub-orbital space flight at Toulouse (France) in March 1971. Their purpose was to investigate a direct correlation between diverse physical phenomena in the atmosphere at altitudes between 80 and 220 kilometres. Among the parameters measured was the solar EUV radiation flux, which generates photo-electrons and thus leads to the formation of the ionosphere. Other measurements were conducted to determine altitude-dependent variations in the energy distribution of ions and photo-electrons, electron densities, and electrical fields. Lastly, the EUV measurement data gathered were used to derive atmospheric particle and temperature profiles.

## The AEROS satellites

Building on the success of the EUV measurements on high-altitude sounding rockets, it was decided to observe the effects of short-wave radiation by satellites. Only one year after the conclusion of the foreign exchange offset agreement with Great Britain, similar negotiations began with the USA, which eventually led to the solar research satellites 625-A 1 and 625-A 2. The concept was for Germany and the USA to jointly develop a



**EUV-Vakuum-Testkammer in „Opas guter Stube“, der ersten Heimstatt der Arbeitsgruppe**

An EUV vacuum test chamber set up in 'Granddad's living room', the place where the working group met in its early years.



**Prof. Karl Rawer während der Qualifikation der Véronique-Nutzlasten in Toulouse (1971)**

Prof. Karl Rawer during a qualification procedure of Véronique payloads in Toulouse (1971)



**Prof. Karl Rawer neben dem Modell des Satelliten AEROS-B (1975)**

Prof. Karl Rawer standing by a model of the AEROS-B satellite (1975)

gemeinsam einen Forschungssatelliten mit einer ähnlichen Nutzlast entwickeln, wie sie zuvor auf den Véronique-Raketen zum Einsatz gekommen war. Die bis dahin durchgeführten und noch bevorstehenden Raketenstarts, speziell der Véronique-Experimente, qualifizierten die Messgeräte bezüglich der Messgenauigkeit im realen Umfeld und bezüglich der Stabilität während der Beschleunigungsphase der Trägerrakete für ihren Einsatz auf Satelliten. Fünf Experimente bildeten schließlich die Nutzlast von AEROS: ein Massenspektrometer für Neutralteilchen vom Goddard Space Flight Center der NASA (USA), ein Massenspektrometer für Ionen vom Max-Planck-Institut für Kernphysik (Heidelberg) und drei Experimente von der Arbeitsgruppe für Physikalische Weltraumforschung in Freiburg, darunter ein EUV-Spektrometer. Die Physikalischen Institute der Universität Bonn trugen für ein passives Experiment zur Abbremsanalyse die Verantwortung, um daraus atmosphärische Dichten abzuleiten. Die Entwicklung des Satelliten übernahm die Firma Dornier (heute Airbus Defence & Space) in Friedrichshafen. Die AEROS-Satelliten maßen die Elektronen- und Neutralgastemperaturen sowie die Teilchendichten, die Ultraviolettstrahlung der Sonne sowie die chemische Zusammensetzung der Hochatmosphäre, getrennt nach elektrisch geladenen und neutralen Bestandteilen. Zusätzlich lieferten die EUV-Daten beim Ein- und Auftauchen des Satelliten in beziehungsweise aus dem Erdschatten Höhenprofile des atomaren Sauerstoffs, des wichtigsten Teilchens im Neutralgas zwischen 180 und 450 Kilometern. Während im Juni 1971 beide Véronique-Raketenstarts von Kourou (Französisch-Guyana) erfolgreich verliefen, erfolgte die Freigabe der bereits im Bau befindlichen Experimente von AEROS-A. Der Satellit startete dann am 16. Dezember 1972. Die Auswertung der AEROS-A-Messungen war noch längst nicht abgeschlossen, als 1974/75 bereits die Daten der AEROS-B-Mission hinzukamen.

Aus AEROS-A-Daten wurden 1973 die ersten EUV-Flüsse der Sonne im gesamten, für die Ionosphäre relevanten Spektralbereich zwischen 16 und 103 Nanometer über einen Zeitraum von rund acht Monaten abgeleitet. AEROS-B registrierte dann das EUV-Minimum im April 1975 – abweichend vom klassischen Minimum der Sonnenaktivität. Die Missionen verliefen allerdings nicht durchweg problemfrei: Die kurzweilige Strahlung der Sonne verändert den Wirkungsgrad der EUV-Technologie – insbesondere Detektoren und Optiken – stark. Diese Degradation – vor allem die der Spektrometer – erforderte dann weltweit einen stärkeren Arbeitseinsatz zur Lösung der technischen Herausforderungen als den für die Wissenschaft. Aller Anstrengungen zum Trotz wurden dennoch bis zur Jahrtausendwende keine verlässlichen EUV-Messungen der Sonne durchgeführt.

research satellite with a payload similar to that which had previously been deployed on the Véronique rockets. Rocket flights both past and planned and specifically the Véronique experiments had qualified the measuring devices for use on satellites, both with regard to their accurate performance in an ionospheric environment and their stability during the acceleration phase of the launcher. Ultimately, the AEROS payload included five experiments: a mass spectrometer for neutral particles, delivered by NASA's Goddard Space Flight Center (USA), a mass spectrometer for ions built at the Max Planck Institute for Nuclear Physics in Heidelberg, and three experiments from the Working Group for Physical Space Research in Freiburg, including an EUV spectrometer. Bonn University's Department of Physics contributed an experiment involving passive deceleration analysis, from which atmospheric densities could be derived. The satellite was developed by Dornier (today: Airbus Defence & Space) based in Friedrichshafen. The AEROS satellites measured electron and neutral gas temperatures, particle densities, solar ultraviolet radiation, and the chemical composition of the upper atmosphere, broken down into electrically charged and neutral constituents. Moreover, as the satellites entered and emerged from the Earth's shadow, the EUV data supplied altitude profiles of atomic oxygen, the most important neutral gas particle between 180 and 450 kilometres. In June 1971, when the two Véronique rockets took off successfully from Kourou (French Guiana), the experiments for AEROS-A, which was already being built at the time, received their final approval. The satellite took off on December 16, 1972. The evaluation of the AEROS-A measurements was far from being completed when the data from the AEROS-B mission arrived in 1974/75.

In 1973, AEROS-A data served as a basis for deriving the first EUV fluxes of the Sun, spanning a period of around eight months and covering the entire 16 to 103 nanometre spectral range that is of relevance to the ionosphere. Later, in April 1975, AEROS-B recorded the data of the EUV minimum to differ from that of the classically determined minimum within the solar cycle. However, the missions were not entirely free from problems: the Sun's short-wave radiation profoundly affects the efficiency of the EUV technology, particularly that of detectors and optics. To handle this degradation – of spectrometers in particular – and to solve the technical challenges demanded a greater amount of work than the science itself. Yet, despite all efforts,

**SolACES auf der externen Plattform SOLAR des Columbus-Moduls der Internationalen Raumstation (ISS)**

SolACES, installed on the SOLAR platform on the hull of the Columbus module on the International Space Station (ISS)

### SolACES und darüber hinaus

Die EUV-Spektroskopie der Sonne fand über die Grundlagenforschung hinaus zahlreiche Anwendungen. Mit dem Airglow-Solar Spectrometer Instrument (ASSI) flog auf dem italienisch-amerikanischen Satelliten San Marco D/L 1988 das bisher in Europa einzige Spektrometer zur Messung der EUV-Strahlung der Sonne und zur Untersuchung des Luftleuchtens (Airglow) im EUV und visuellen Spektralbereich (VIS). Die Ergebnisse aus der EUV/UV/VIS-Spektroskopie im Weltraum, die elektromagnetische Wellen vom Ultravioletten bis zum sichtbaren Licht nutzt, um unterschiedliche Polarlicht-Erscheinungen zu erforschen, wurden durch Untersuchungen in einer Polarlicht-Simulationskammer des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik ergänzt.

Mit dem Beginn des 21. Jahrhunderts machte die EUV-Spektroskopie noch einmal einen gewaltigen Schritt nach vorne: Mit dem Solar Auto-Calibrating EUV Spectrometers (SolACES-) Experiment auf der externen SOLAR-Plattform außerhalb des Columbus-Moduls auf der Internationalen Raumstation ISS erforscht seit Februar 2008 das erste im Weltraum nachkalibrierbare Messsystem die kurzweilige Sonnenstrahlung. Aufgrund der guten Ergebnisse der zunächst auf 18 Monate ausgelegten Mission wurde diese bis zum Februar 2017 verlängert. Inzwischen hält SOLAR einen ISS-Rekord: Die Plattform ist die am längsten auf der ISS betriebene wissenschaftliche Nutzlast. Eine weitere Besonderheit von SOLAR: Die gesamte ISS wurde bereits viermal um einige Grad gekippt, um über eine ganze Sonnenrotation – etwa 28 Tage – optimale Messbedingungen zu schaffen.

In SolACES sind die Erfahrungen der 1960 begonnenen Arbeiten am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik und aller daraus entstandenen Weltraumexperimente zur variablen Sonnenstrahlung und der Reaktion der Atmosphäre und Ionosphäre sowie des Sonnenwinds und des Weltraumwetters eingeflossen: 15 wissenschaftliche Geräte für 121 Raketenexperimente, vier Satellitenmissionen in Erdumlaufbahnen und die interplanetare Mission Pioneer-Venus-Orbiter.

Auf SOLAR erforschen noch zwei weitere Instrumente die Sonnenaktivität: Solar Variability and Irradiance Monitor (SOVIM) und Solar Spectrum (SOLSPEC). SolACES und SOLSPEC haben die spektralen Strahlungsdaten der Sonne bereitgestellt, die eine verbesserte Grundlage für die Atmosphären-Physik bis in eine Höhe von 1.000 Kilometern bilden. Mit der in Arbeit befindlichen Überprüfung aller verfügbaren Messdaten seit 2003 wird SolACES gemeinsam mit dem SOLSPEC-Team auch für neuere Klimamodelle vom Infrarot bis zum EUV einen kompletten Datensatz über den Zeitraum eines vollständigen Zyklus bereitstellen. Zudem haben diese Instrumente das ungewöhnlich lange Minimum zwischen den letzten beiden Zyklen in den Jahren 2008 und 2009 erfasst.

Die Vielfalt der bis heute gewonnenen Erfahrungen und die vielseitig genutzten EUV-Technologien bieten damit gute Voraussetzungen, die heute anstehenden Herausforderungen zu bewältigen:

- die Erforschung der solar-terrestrischen Beziehungen, deren Auswirkungen auf die Erde etwa während geomagnetischer Stürme (Weltraumwetter) und des Einflusses der Sonne auf das Klima;
- die direkte Laufzeitkorrektur von Navigationssignalen in GNSS-Satelliten mit lokal zugeordneten Störbereichen mit einer Weltraumwetterkamera; und
- die Überwachung der solaren EUV-Strahlung mit einem Low-Cost-Gerät (Sphärisches EUV- und Plasma-Spektrometer, SEPS).

with respect to absolute EUV data fluxes no reliable solar EUV measurements were carried out until the turn of the millennium.

### SolACES and beyond

Solar EUV spectroscopy was applied in numerous fields beyond fundamental research. Thus, in 1988, the Italian-American satellite San Marco D/L carried the Airglow Solar Spectrometer Instrument, (ASSI), Europe's only spectrometer so far designed to measure the Sun's EUV radiation and investigate airglow in the EUV and the visual spectral region (VIS). The results produced by EUV/UV/VIS spectroscopy in space, which uses electromagnetic waves from ultraviolet to visible light to explore different polar light phenomena, were complemented by studies run in a polar-light simulation chamber at the Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques.

At the beginning of the 21<sup>st</sup> century, EUV spectroscopy of high radiometric accuracy took an enormous stride forward. Installed on the external solar platform outside the Columbus module of the International Space Station since February 2008, the Solar Auto-Calibrating EUV Spectrometers (SolACES) has been the first measuring system to explore short-wave solar radiation that is capable of being re-calibrated in space. Initially scheduled to last 18 months, the mission has been extended until February 2017 because of its good results. By now, SOLAR holds an ISS record: it is the scientific payload operated on the ISS for the longest time ever. Another special feature of SOLAR: the entire ISS has already been tilted four times by a few degrees to provide optimum measuring conditions over an entire solar rotation period – about 28 days.

SolACES combines the experience of the Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques, which began in 1960, with that of all space experiments addressing the variable solar radiation, the response of the atmosphere and ionosphere, solar wind, and space weather which were derived from it: 15 scientific devices flown on 121 rocket experiments, four Earth-orbiting satellite missions, and the interplanetary mission Pioneer Venus Orbiter.

There are two more instruments on SOLAR that explore solar activity: the Solar Variability and Irradiance Monitor (SOVIM) and Solar Spectrum (SOLSPEC). SolACES and SOLSPEC supplied solar spectral radiance data to improve the basis of atmospheric physics at altitudes of up to 1,000 kilometres. Once all measurement data also from other space missions that have become available since 2003 have been validated, SolACES and the SOLSPEC team will supply a complete data record from infrared to EUV covering an entire solar cycle, which may be used in the more recent climate models, too. Moreover, these instruments have recorded an unusually long solar minimum in 2008 and 2009 between the last two cycles.

Thus, the large body of experience gathered so far and the versatility of the EUV technologies provide a good foundation for coping with coming challenges:

- exploring solar-terrestrial interaction, its impact on Planet Earth during events like geomagnetic storms (space weather), and the influence of the Sun on our climate;
- instant run-time correction of navigation signals on GNSS satellites in the event of local interferences, using a space-weather camera; and
- monitoring solar EUV radiation with a low-cost device (Spherical EUV and Plasma Spectrometer, SEPS).



# Business Launch



Vom 28. Juni bis Dezember 2014 wurde die Fliegende Sternwarte SOFIA von DLR und NASA bei der Lufthansa Technik AG in Hamburg general-überholt. Auch das Teleskop (Foto) wurde gewartet. Gelegenheit für einen Austausch zwischen (v. l.): Alois Himmes (SOFIA-Projektleiter des DLR), Steve Zornetzer (stellvertretender Direktor des Ames Research Center der NASA), Prof. Alfred Krabbe (Direktor Deutsches SOFIA Institut DSI), Andrea Razzaghi (stellvertretende Direktorin der Astrophysik im NASA-Hauptsitz), Dr. Gerd Gruppe (Vorstand DLR Raumfahrtmanagement), Walter Heerdt (Bereichsleiter VIP & Executive Jet Solutions Lufthansa Technik), Eddie Zavala (SOFIA-Projektmanager der NASA), David McBride (Direktor des Armstrong Flight Research Center der NASA) (v. l.).

From June 28 to December 2014, DLR's and NASA's flying observatory SOFIA underwent a heavy maintenance check at Lufthansa Technik AG in Hamburg. Also the telescope (see picture) underwent service: Alois Himmes (SOFIA project manager of DLR), Steve Zornetzer (Associate Center Director, NASA Ames Research Center), Prof. Alfred Krabbe (Director of the German SOFIA Institute DSI), Andrea Razzaghi (Deputy Director of Astrophysics Division, NASA Headquarters), Dr Gerd Gruppe (Member of the DLR Executive Board responsible for DLR Space Administration), Walter Heerdt (Senior Vice President VIP & Executive Jet Solutions Lufthansa Technik, LHT), Eddie Zavala (SOFIA project manager of NASA), David McBride (Center Director, NASA Armstrong Flight Research Center) (left to right)



Besonderes Ambiente: Der 15. Bonner Raumfahrtabend fand am 24. November 2014 nicht im DLR Raumfahrtmanagement, sondern in der Bundeskunsthalle statt. Hier ist noch bis zum 22. Februar 2015 die Weltraum-Ausstellung "Outer Space" zu sehen, die in Kooperation mit dem DLR entstanden ist.  
A special ambience: this time, the 15<sup>th</sup> Bonn Space Night event on November 24, 2014, took place not on the DLR Space Administration premises but at the Bundeskunsthalle Art Museum. Until February 22, 2015, the space exhibition 'Outer Space' in cooperation with the DLR can be seen in the Bundeskunsthalle.



Am 28. November 2014 wurde am European Space Operation Center (ESOC) der ESA in Darmstadt der Datenaustausch mit dem deutschen Laser Communication Terminal (LCT) zwischen dem Erdbeobachtungssatelliten Sentinel-1A und dem Kommunikationssatelliten Alphasat I-XL gefeiert. Mit dabei waren unter anderem Peter Schlotte, CEO von Tesat Spacecom (2. v. l.), Evert Dudok (3. v. l.), CEO von Airbus Defence & Space, Dr. Wolfgang Scheremet (4. v. l.), Leiter der Abteilung Industriepolitik im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, und DLR-Vorstand Dr. Gerd Gruppe (5. v. l.).

A celebration to mark the successful inauguration of a data link between the Sentinel-1A Earth observation satellite and the communications satellite Alphasat I-XL via the German Laser Communication Terminal (LCT) was held at ESA's European Space Operation Centre (ESOC) in Darmstadt on November 28, 2014. Among those present were Peter Schlotte (2<sup>nd</sup> from the left), CEO Tesat Spacecom, Evert Dudok (3<sup>rd</sup> from the left), CEO Airbus Defence & Space, Dr Wolfgang Scheremet (4<sup>th</sup> from the left), head of the industry policy department at the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy, and DLR Board Member Dr Gerd Gruppe (5<sup>th</sup> from the left).



Am 8. Dezember 2014 empfingen der DLR-Vorstandsvorsitzende Prof. Johann-Dietrich Wörner (3. von links), Dr. Gerd Gruppe, Vorstand des DLR Raumfahrtmanagements (2. v. l.) und Blue-Dot-Missionsmanager Volker Schmid (2. v. r.) den deutschen Astronauten Alexander Gerst. Moderiert wurde die "Welcome-Back-Party" in der Bonner Bundeskunsthalle von den 1Live-Radiomoderatoren Andreas Bursche (links außen) und Tobias Schäfer (rechts außen).

On December 8, 2014, DLR Chairman Professor Johann-Dietrich Wörner (3<sup>rd</sup> from the left), DLR Board Member Dr Gerd Gruppe (2<sup>nd</sup> from the left), and DLR Blue Dot Mission manager Volker Schmid (2<sup>nd</sup> from the right) hosted a welcome-back reception for German astronaut Alexander Gerst. The show was emceed by 1-Live radio presenters Andreas Bursche (extreme left) and Tobias Schäfer (extreme right).



Dr. Manfred Gaida (r.) stand am 12. November 2014 während der Philae-Landeveranstaltung im Auditorium der Bonner Bundeskunsthalle dem Moderator Klaus Krüskens als DLR-Rosetta-Experte zur Seite.

Dr Manfred Gaida (right) was the DLR Rosetta expert at the Philae touchdown event at Bonn's Bundeskunsthalle auditorium on November 12, 2014. The presenter of the event was Klaus Krüskens.



15. Bonner Raumfahrtabend: DLR-Vorstand Dr. Gerd Gruppe (r.) bedankte sich bei dem Präsidenten des Bundesverbandes der Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI) Bernhard Gerwert für seinen Impulsvortrag zu den „Raumfahrt-Trends in Deutschland“.

15<sup>th</sup> Bonn Space Night: DLR Board Member Dr Gerd Gruppe (right), thanking the president of the Federal Association of the Aerospace Industry (BDLI), Bernhard Gerwert, for his keynote speech on German space industry trends.

# Raumfahrtkalender

Termin Ereignis

2015	
Februar	Start Falcon 9 von Cape Canaveral (Florida/USA), 6. ISS-Versorgungsflug (SpaceX CRS-6)
11. Februar	Start des suborbitalen Wiedereintrittsfahrzeuges IXV der ESA mit Vega von Kourou (Französisch-Guyana)
9. - 21. März	Studenten-Raketenkampagne REXUS 17/18 in Esrange (Nordschweden) mit drei Experimenten deutscher Teams
25. - 26. März	Nationale Satellitenkonferenz in Bonn
6. - 17. April	26. DLR-Parabelflug-Kampagne mit CNES und ESA in Bordeaux (Frankreich): 1. Kampagne mit dem neuen Flugzeug A310 ZERO-G
17. April	Start Forschungsrakete TEXUS 51 (DLR) von Esrange mit vier deutschen Experimenten
23. April	Start Forschungsrakete TEXUS 52 (DLR) von Esrange mit fünf deutschen Experimenten
12. Mai	Start des Erdbeobachtungssatelliten Sentinel-2A (Copernicus-Programm) mit Vega von Kourou
Mai	Start Forschungsrakete MAIUS 1 (DLR) mit einem deutschen Experiment von Esrange
12. Mai	Landung von ESA-Astronautin Samantha Cristoforetti in der Sojus TMA-15M-Raumkapsel in der kasachischen Steppe
31. August - 11. September	27. DLR-Parabelflug-Kampagne in Bordeaux
September	Start des Erdbeobachtungssatelliten Sentinel-3A (Copernicus-Programm) mit Rockot von Plesetsk (Russland)
Oktober	Studenten-Ballonkampagne BEXUS 20/21 in Esrange (Schweden) mit zwei Experimenten deutscher Teams
19. November	Start Forschungsrakete TEXUS 53 (DLR) von Esrange mit fünf deutschen Experimenten

# Space Calendar

Date Event

2015	
February	Launch of Falcon 9 from Cape Canaveral (Florida/USA); 6 <sup>th</sup> ISS logistics flight (SpaceX CRS-6)
February 11	Launch of Vega from Kourou (French Guiana); carrying ESA's suborbital re-entry vehicle IXV
March 9–21	Student rocket campaign REXUS 17/18 in Esrange (North of Sweden); carrying three German experiments
March 25–26	National Satellite Conference in Bonn (Germany)
April 6–17	26 <sup>th</sup> DLR parabolic flight campaign in cooperation with CNES and ESA in Bordeaux (France): 1 <sup>st</sup> campaign with the new airplane A310 ZERO-G
April 17	Launch of sounding rocket TEXUS 51 (DLR) from Esrange; carrying four German experiments
April 23	Launch of sounding rocket TEXUS 52 (DLR) from Esrange; carrying five German experiments
May 12	Launch of Vega from Kourou; carrying the Earth observation satellite Sentinel-2A (Copernicus programme)
May	Launch of sounding rocket MAIUS 1 (DLR) from Esrange; carrying one German experiment
May 12	Touchdown of Soyuz TMA-15M in the steppe of Kazakhstan; carrying the ESA astronaut Samantha Cristoforetti
August 31– September 11	27 <sup>th</sup> DLR parabolic flight campaign in Bordeaux
September	Launch of Rockot from Plesetsk (Russia); carrying the Earth observation satellite Sentinel-3A (Copernicus programme)
October	Student balloon campaign BEXUS 20/21 in Esrange; carrying two German experiments
November 19	Launch of sounding rocket TEXUS 53 (DLR) from Esrange; carrying five German experiments



## Das DLR im Überblick

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

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

## Impressum

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

Sabine Hoffmann  
Leiterin DLR-Kommunikation  
(ViSdP)

Redaktion:  
Andreas Schütz (Imprimatur)  
Elisabeth Mittelbach (Teamleitung)  
Martin Fleischmann (Redaktionsleitung)  
Diana Gonzalez (Raumfahrtkalender)

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

Druck: M&E Druckhaus  
49191 Belm  
www.me-druckhaus.de

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:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## DLR at a glance

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

DLR has approximately 7,700 employees at 16 locations in Germany: Cologne (headquarters), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Juelich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also has offices in Brussels, Paris, Tokyo, and Washington D.C.

## Imprint

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

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

Editorial office:  
Andreas Schütz (Imprimatur)  
Elisabeth Mittelbach (Team Leader)  
Martin Fleischmann (Editor in Chief)  
Diana Gonzalez (Space Calendar)

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

Print: M&E Druckhaus  
49191 Belm, Germany  
www.me-druckhaus.de

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, distribution free of charge.

Supported by:



on the basis of a decision  
by the German Bundestag