

Mission Rosetta

Reise zu einem Kometen

Mission Rosetta

Journey to a Comet





Der Komet McNaught am 19. Januar 2007 über der chilenischen Stadt Santiago.

Comet McNaught in the night sky above Santiago, Chile, on 19 January 2007.



Inhalt

Contents

| | |
|---|----|
| Die erste Landung auf einem Kometen <i>Landing on a Comet for the First Time</i> | 4 |
| Ehrgeizige wissenschaftliche Ziele <i>Ambitious Scientific Targets</i> | 6 |
| Das DLR ist maßgeblich beteiligt <i>DLR is Playing a Major Role</i> | 7 |
| Technische Daten und Missionsverlauf <i>Technical Data and Mission Phases</i> | 8 |
| Die lange Reise zum Kometenziel <i>A Long Journey to the Destination</i> | 9 |
| Die Welt der Kometen <i>The World of Comets</i> | 10 |
| Das Ziel: Komet Churyumov-Gerasimenko <i>Target: Comet Churyumov-Gerasimenko</i> | 12 |
| Der Höhepunkt: Die Landung auf dem Kometen <i>A Special Moment: Landing on a Comet</i> | 13 |
| Die Experimente des Rosetta-Orbiters <i>Experiments on the Rosetta Orbiter</i> | 14 |
| Die Experimente des Philae-Landemoduls <i>Experiments on the Philae Lander</i> | 15 |
| Die Zukunft der Kometenforschung <i>The Future in Cometary Research</i> | 16 |

Die erste Landung auf einem Kometen

Landing on a Comet for the First Time

Die 1993 von der ESA beschlossene Rosetta-Mission ist eine der ehrgeizigsten Unternehmungen der europäischen Raumfahrt. Die im März 2004 gestartete Sonde soll nach mehr als zehn Jahren Flug im Mai 2014 den Kometen 67 P/Churyumov-Gerasimenko erreichen. Die Sonde schwenkt zunächst in eine Umlaufbahn ein, um erste Messungen durchzuführen und nach einer geeigneten Landestelle zu suchen. Dann wird sich das Landegerät Philae vom Mutterschiff lösen und auf dem Kometen aufsetzen.

Beide Module begleiten den Schweifstern auf seinem mehrmonatigen Weg zu seinem sonnennächsten Punkt. Die Muttersonde umkreist dabei weiterhin den Kometen, während das Landegerät an der Oberfläche desselben haftet. Die Messgeräte werden dabei genau verfolgen können, wie der zunächst kalte und inaktive Brocken aus Staub und Eis „erwacht“, wenn Churyumov-Gerasimenko durch die Sonnenwärme aktiv wird.

Den Namen erhielt die ESA-Mission von der ägyptischen Stadt Rashid (Rosetta), in der Archäologen 1799 einen dreisprachig beschrifteten Stein fanden, der es zusammen mit den Inschriften eines Obelisken aus der Stadt Philae ermöglichte, die bis dahin völlig rätselhafte Hieroglyphenschrift zu entziffern.

Philae ist der Name einer Landeeinheit an Bord von Rosetta. Ähnlich erhellende Einsichten wie in der Archäologie erwarten die Kometenforscher von der ersten gründlichen Erforschung eines Kometen durch die Raumsonden Rosetta und Philae.

The Rosetta mission, decided by the European Space Agency (ESA) in 1993, is one of the most ambitious endeavors of European spaceflight. Launched in March 2004, the space probe will reach the comet 67 P/Churyumov-Gerasimenko in May 2014 after a cruise lasting more than ten years. Rosetta will rendezvous with the comet and enter orbit about its target to perform first measurements – and looking for a place suitable for landing. Then Philae, a landing device, will be released from the orbiter and land on the comet's surface.

Both modules will travel with the tailed star on its several month-long journey to the perihelion, the comet's closest point to the sun. During that phase, Rosetta continues to orbit the comet, while the Philae lander remains attached to its surface. The instruments will be able to precisely monitor how the formerly cold and inactive chunk of dust and ice "awakes" on the course Churyumov-Gerasimenko gets closer to the sun and will become active from the sun's warmth.

The ESA mission takes its name from the Egyptian town of Rashid, or Rosetta, where archeologists in 1799 found a stone incised with scripts in three different languages from ancient times. Together with the inscriptions of an obelisk from the town of Philae archeologists were able to decipher the completely enigmatic hieroglyphs. Similar fundamental insights like those gained in archeology the Cometary scientists expect from the first thorough investigation of a comet from close by the Rosetta and Philae space probes.

About 4.6 billion years ago our sun and the celestial bodies circling it emerged from a cloud of dust and gas. Only a few million years after the nuclear-fusion processes started myriads of small bodies have formed. Not much later planets were orbiting the sun. The Planets and

Der Stein von Rosetta.

The Rosetta stone.





Start mit der Ariane 5 in Kourou.

Lift-off with the Ariane 5 in Kourou.

Aus einer Wolke von Staub und Gas bildeten sich vor 4,6 Milliarden Jahren unsere Sonne und die sie umkreisenden Himmelskörper. Bereits wenige Millionen Jahre, nachdem im Zentralgestirn die Kernfusion einsetzte, waren Myriaden von kleinen Körpern entstanden. Wenig später umkreisten Planeten die Sonne. Das Licht und die Strahlung der Sonne wirkten auf die Planeten und ihre Monde ein; Erosion, Meteoriteneinschläge und aus dem Innern der Körper angetriebene Prozesse veränderten die Oberfläche vieler Himmelskörper.

Einzig die Kometen wurden in den eisigen Fernen des äußeren Sonnensystems nicht wesentlich modifiziert. Sie sind Überbleibsel der Geburt unseres Sonnensystems und damit wichtige Zeugen aus jener Urzeit. Möglicherweise waren sie es auch, die Leben auf unserem Planeten erst möglich gemacht haben. Forscher sind sich sicher, dass ein Teil des Wassers auf der Erde von Einschlägen durch Asteroiden und Kometen stammt – wahrscheinlich auch viele organische Moleküle, wie Aminosäuren, die als Bausteine des späteren Lebens auf der Erde in Betracht kommen.

their satellite were exposed to the light and radiation of the sun; erosion, meteorite impacts and processes driven by internal heat changed the surface of many of these celestial bodies.

Only comets, residing in icy distance of the outer solar system have almost not at all been modified. They are remnants from the birth of our solar system and therefore important witnesses from these ancient times. Possibly it was comets that enabled life on our planet after all. Scientists are convinced that at least some of the Earth's surface water has been delivered from the impact of comets and asteroids in earlier times of the solar system, bringing organic molecules with them, like amino acids, that are considered as building blocks of life that emerged on the Earth later.

Missionsszenario 2014: Philae ist auf Churyumov-Gerasimenko gelandet und Rosetta in einer Umlaufbahn um den Kometen.

Mission scenario 2014: Philae safely landed on Churyumov-Gerasimenko, while Rosetta is orbiting the comet.



Ehrgeizige wissenschaftliche Ziele

Ambitious Scientific Targets

Durch die Untersuchung des Kometenkerns mit Hilfe von Rosetta, im Besonderen durch die Landeeinheit Philae, die neben Fotos auch Ergebnisse chemischer, physikalischer und mineralogischer Untersuchungen zur Erde senden wird, hofft man, den Ursprung der Kometen und die Entstehung unseres Sonnensystems besser verstehen zu können. Wichtige Aufgaben der Mission sind:

- Die globale Charakterisierung des Kometenkerns und seiner Oberflächengestalt
- Bestimmung der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung sowie der Isotopenverhältnisse
- Ableitung physikalischer Eigenschaften des Kometenkerns wie Struktur, thermische, elektrische und magnetische Eigenschaften und Beobachtung der Entwicklung der kometaren Aktivität während der Annäherung an die Sonne

Rosetta wird auf dem Weg zu Churyumov-Gerasimenko außerdem an zwei Asteroiden vorbeifliegen: Der nur fünf Kilometer große Asteroid 2867 Šteins wird am 5. September 2008 in einer Entfernung von 800 Kilometer mit einer Geschwindigkeit von 8,6 Kilometer pro Sekunde passiert, der 100 Kilometer messende Asteroid 21 Lutetia am 10. Juli 2010. Wissenschaftliche Ziele sind genaue Messungen von Größe und Dichte dieser beiden Himmelskörper.

Hochauflösende Bilder und Fotos aus verschiedenen Aufnahmewinkeln von Geländeformen und Einschlagskratern werden Anhaltspunkte für das Alter und die geologische Geschichte der Asteroiden geben. Messungen in verschiedenen Spektralkanälen und die Untersuchung des Reflexionsvermögens liefern Erkenntnisse über die chemischen Bestandteile der Oberfläche. Von besonderem Interesse für die Forscher ist außerdem die Entdeckung möglicherweise vorhandener natürlicher Satelliten – also die Frage, ob die Asteroiden von kleinen „Monden“ umkreist werden – und die Existenz von Wasser in Form von Eis.

Rosetta, and the landing module Philae in particular, will investigate a comet's nucleus in detail. With images and the results from chemical, physical and mineralogical analyses that will be radioed to Earth scientists hope to better understand both the origin of comets, and the earliest times of our solar system, respectively. Main tasks of the mission are:

- *global characterization of the comet's nucleus and the surface topography,*
- *characterization of both the chemical and mineralogical composition, and the isotopic relations,*
- *derivation of physical properties of the comet's nucleus, like structure, and, thermal, electrical and magnetic properties, respectively, and monitoring of cometary activity while approaching the sun.*

On its route to Churyumov-Gerasimenko Rosetta will closely fly close by two asteroids: On 5 September 2008 the space probe passes by 2867 asteroid Šteins in 800 kilometers distance and with a relative speed of 8.6 kilometers per second; and on 10 July 2010 Rosetta will encounter asteroid 21 Lutetia. The scientific objectives are precise measurements of size, shape and density of both asteroids.

High-resolution images from different perspectives of various landforms and impact craters on the surface will provide important clues for determining the age and the geologic history of the asteroids. Measurements in different spectral wavelengths and the investigation of the reflection properties will yield results on the chemical components of the surface. Of particular interest for the scientists is the possible discovery of potential natural satellites, i.e. whether the asteroids are circled by small moonlets. Special attention is given to the search for ice.

Der Rosetta-Orbiter kurz vor der Fertigstellung.

The Rosetta orbiter briefly before completion.



Das DLR ist maßgeblich beteiligt

DLR is Playing a Major Role

Deutschland hat sich maßgeblich an der Rosetta-Mission beteiligt; sowohl beim Bau von Instrumenten als auch bei industriellen Beiträgen für den Orbiter. Dieser wurde von dem Hauptauftragnehmer EADS Astrium in Friedrichshafen hergestellt. Die Landeeinheit Philae wurde von einem internationalen Konsortium unter Leitung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt und gebaut.

Das DLR stellt auf der Landeeinheit Philae drei der insgesamt zehn Experimente: Die ROLIS-Kamera zur Beobachtung der Kometenoberfläche während der Landephase, das SESAME-Experiment zur seismischen Untersuchung des Kometenkerns und das Gerät MUPUS, mit dem die Oberflächentemperatur und die Festigkeit des Kometen gemessen wird.

Wichtigster DLR-Partner beim Bau des Landemoduls war die Max-Planck-Gesellschaft. Deren Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau hat unter anderem das Landebein, den Abstoßmechanismus und das chemische Analyseinstrument COSAC hergestellt. Die Harpune und ein Plasmainstrument wurden vom Max-Planck-Institut für Extraterrestrik in Garching gebaut, ein Materialanalysegerät stammt aus dem Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz. Außerdem waren, neben internationalen Partnern, aus Deutschland die Universitäten Münster, Mainz und Braunschweig beteiligt.

Während der Landung auf dem Kometen wird Philae vom DLR-Nutzerzentrum für Weltraumexperimente MUSC (Microgravity User Support Center) in Köln gesteuert. Bereits kurz nach dem Start wurden vom MUSC Tests und Kalibrationen der Nutzlast durchgeführt. Diese Tests werden seither regelmäßig wiederholt, um die Einsatzbereitschaft des Moduls sicherzustellen.

Außerdem ist das DLR an mehreren Instrumenten auf dem Orbiter beteiligt, darunter dem Spektrometer VIRTIS zur Bestimmung der Bestandteile der Oberfläche des Kometenkerns und seiner Temperatur.

Germany has some major participation at the Rosetta mission, both in building instruments and with industrial contributions for the orbiter. EADS Astrium in Friedrichshafen, the principal contractor, has built the latter. The landing module, Philae, has been designed and built by an international consortium under the lead of the German Aerospace Center (DLR).

DLR provides three of the ten experiments on the landing unit Philae: The ROLIS camera that will observe the comet's surface during approach and landing, the experiment SESAME for seismic investigations of the comet's nucleus, and MUPUS, an instrument to measure the surface temperature and inner strength of the comet.

When constructing the landing module, the most important partner for DLR has been the Max Planck Society. Its Institute of Solar System Research in Katlenburg-Lindau has built Philae's landing legs, the push-apart mechanism and the COSAC instrument for chemical analyses. The Max Planck Institute for Extraterrestrial Research in Garching has provided the harpoon and a plasma experiment; the Max Planck Institute has added a device for analyzing materials for Chemistry in Mainz. Further, the German universities in Münster, Mainz and Braunschweig have contributed to Philae, besides international partners.

During the landing procedure on the comet, Philae will be controlled by DLR's user center for space experiments in Cologne, MUSC (Microgravity User Support Center). Yet shortly after launch of Rosetta the MUSC performed tests and calibration procedures. These tests are repeated regularly for securing the readiness of the module.

In addition, DLR has some participation on instruments of the orbiter, like the VIRTIS spectrometer designed to study the surface composition and temperature of the comet's nucleus.



Das Landemodul Philae, ungefähr von der Größe eines Kühlschranks.

The Philae lander module, about the size of a refrigerator.



Technische Zeichnung der Landebeine mit Verankerungsmechanismus und dem Bohrer zur Probengewinnung.

Technical study of the landing legs with their anchor mechanism and the tool for sample drilling

Technische Daten und Missionsverlauf

Technical Data and Mission Phases

| | |
|---|---------------------------------------|
| Start Launch | 2. März 2004 2 March 2004 |
| Erster Vorbeiflug an der Erde First Earth gravity assist | 4. März 2005 4 March 2005 |
| Vorbeiflug am Mars Mars gravity assist | 25. Februar 2007 25 February 2007 |
| Zweiter Vorbeiflug an der Erde Second gravity assist | 13. November 2007 13 November 2007 |
| Vorbeiflug am Asteroiden Steins Asteroid Steins flyby | 5. September 2008 5 September 2008 |
| Dritter Vorbeiflug an der Erde Third Earth gravity assist | 13. November 2009 13 November 2009 |
| Vorbeiflug am Asteroiden Lutetia Asteroid Lutetia flyby | 10. Juli 2010 10 July 2010 |
| Beginn der Ruhephase Begin hibernation phase | Juli 2011 July 2011 |
| Ende der Ruhephase End hibernation phase | Januar 2014 January 2014 |
| Eintreten in die Umlaufbahn um den Kometen Entering orbit at the comet | Mai 2014 May 2014 |
| Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface | August 2014 August 2014 |
| Philae-Landung Philae landing | November 2014 November 2014 |
| Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (shortest distance to sun) | August 2015 August 2015 |
| Ende der Mission End of mission | Dezember 2015 December 2015 |

Die Rosetta-Sonde ist ein Aluminiumwürfel von 2,80 mal 2,10 mal 2,00 Metern Größe, in der alle Messinstrumente und sonstige Nutzlasten untergebracht sind. Der Bauplan von Rosetta diente auch den beiden ESA-Planetenmissionen Mars Express und Venus Express als Vorlage. Das Landemodul Philae befindet sich an der Rückseite. Die Sonde mit Lander hatte ein Startgewicht von etwa 2,9 Tonnen, davon sind jedoch etwa anderthalb Tonnen Treibstoff.

An der Vorderseite ist die bewegliche Parabolantenne mit einem Durchmesser von 2,20 Metern befestigt, die bei einer Sendeleistung von 28 Watt der Datenübertragung zur Erde dient. Die beiden 14 Meter langen Solarpaneele an den Seitenwänden haben im ausgeklappten Zustand eine Spannweite von 32 Metern. Insgesamt 64 Quadratmeter Solarzellen liefern den für die Sonde notwendigen Energiebedarf von 440 Watt. Auch bei Rosettas größter Entfernung zur Sonne im Missionsverlauf ist somit gewährleistet, dass die Sonde in einem Sparmodus wenigstens „überwintern“ kann.

Eine 20-Zentimeter-Antenne auf Philae sorgt für die Kommunikation zwischen Landemodul und Sonde. Philae ist dafür ausgelegt, extreme Temperaturunterschiede von plus 50 Grad Celsius bis zu minus 180 Grad Celsius auf dem Kometen auszuhalten. Bis zu einem Jahr wird Philae Experimente durchführen können.

The Rosetta design is based on a box-type central structure, 2.8 m x 2.1 m x 2.0 m, on which all subsystems and payload equipment are mounted. Two solar panels, with a combined area of 64 square meters, stretch out to 14 meter in length. The total span from tip to tip is 32 meter. The Philae lander is attached to the spacecraft side opposite to the side that carries the 2.2 meter diameter steerable high-gain antenna. Orbiter and lander have a combined launch weight of 2.9 tons of which approximately 1.5 tons are fuel.

A movable 28 Watt parabolic antenna with 2.2 meter diameter is mounted on the front side that serves for data downlink to Earth. The two solar panels, each 14 meters wide when unfolded after launch, are attached to the sides of the satellite bus and give the orbiter a span width of 32 meters. The solar panels combine 64 square meters of solar cells that provide 440 Watt for the energy needed to run the electrical spacecraft systems. Even in the farthest distance from the sun from the sun Rosetta will yield enough solar energy to at least being able to hibernate.

A small 20 centimeter dish on Philae enables communication between landing module and orbiter. Philae has been designed to withstand temperature differences between +50° Celsius and -180° Celsius on the surface when the comet is rotating. Philae will be able to conduct experiments for a period of up to one year.

Das Nildelta bei Nacht (unten Mitte), der Nahe Osten (rechts) und Europa mit Spanien (links), aufgenommen am 13. November 2007 beim zweiten Vorbeiflug an der Erde.

The Nile delta at nighttime (bottom center), the Near East (right) and Europe with Spain (left) imaged on 13 November 2007 during the second Earth flyby.



Die lange Reise zum Kometenziel

A Long Journey to the Destination

Ursprünglich sollte Rosetta bereits Anfang 2003 starten, als Ziel war damals der Komet 46P/Wirtanen vorgesehen. Doch wegen technischer Probleme mit der Trägerrakete Ariane konnte der Start nicht am ursprünglich vorgesehenen Termin durchgeführt werden. Dadurch war auch das „Startfenster“ für Wirtanen wieder geschlossen. Die ESA-Wissenschaftler standen vor der schwierigen Aufgabe, einen anderen erreichbaren Kometen ausfindig zu machen. Man entschied sich schließlich für einen Flug zum Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko, wobei das Landegerät angepasst werden musste, da das neue Ziel größer und massereicher als Wirtanen ist.

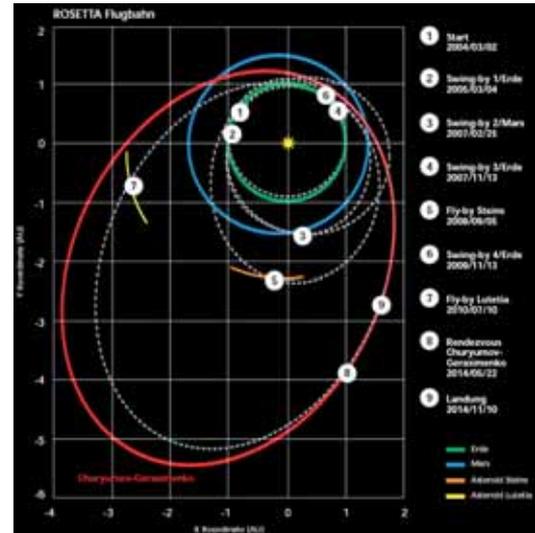
Am 2. März 2004 brachte eine Ariane 5-Rakete vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana die Rosetta-Sonde auf ihren Weg. Dieser führt nicht direkt zum Kometen. In komplizierten Manövern nutzt die Sonde die Anziehungskraft von Erde und Mars aus: durch nahe Vorbeiflüge an diesen Planeten holt Rosetta mehrfach Schwung, um am Ende der Reise zum richtigen Zeitpunkt mit der richtigen Geschwindigkeit am richtigen Ort zu sein.

Bei den Vorbeiflügen wurden auch gleich die Experimente getestet und spektakuläre Bilder zur Erde gefunkt. Am 5. September 2008 fliegt Rosetta am Asteroiden Šteins vorbei. Nachdem die Sonde am 10. Juli 2010 den Asteroiden Lutetia passiert hat, beginnt ein vierjähriger „Tiefschlaf“. Im Januar 2014 erwacht das Raumschiff aus seinem Dornröschenschlaf – dann ist das Ziel nahe.

Rosetta was planned to lift off already early in 2003. At that time the comet 46P/Wirtanen was the target. Due to technical problems with the Ariane launch rocket the start could not occur on the originally scheduled date. So the launch window that would have enabled Rosetta to reach Wirtanen has been closing. This brought the ESA scientists in the difficult situation to determine another comet that could be reached with the launch-ready spacecraft. Finally, they decided to fly Rosetta to the comet 67P/Churyumov-gerasimenko. This required an adaptation of the landing gear of Philae since the new target was bigger and therefore had more mass than Wirtanen.

On 2 March 2004 an Ariane 5 carrier launched from the European spaceport of Kourou in French Guyana lifted Rosetta into space and got the mission on its way. The route does not lead directly to the probe's destination. Performing complicated operations, the spacecraft is making use of the gravitational attraction of Earth and Mars: During close flybys at those planets, called swing-by maneuvers, Rosetta is perfectly accelerated in order to finally reach it's target at the right time with the right speed.

These flybys are excellent opportunities to test the experiments. Rosetta transmitted spectacular images from Earth and Mars to the ground. On 5 September 2008 Rosetta will encounter the small asteroid Šteins. After the probe will have passed by the larger asteroid Lutetia on 10 July 2010, the mission will enter a four-year long hibernation mode. In January 2014 mission control will awake the spacecraft from it's Dornröschenschlaf. Now the target is near.



Rosettas Flugbahn durch das innere Sonnensystem.

Rosetta's flight path through the inner solar system.



Am 10. März 2006 nahm die OSIRIS-Kamera im Abstand von jeweils fünf Stunden das Ziel des Vorbeiflugs am 5. September 2008, den Asteroiden Šteins, aus großer Entfernung auf.

On 10 March 2006 the OSIRIS camera imaged the target of the 5 September 2008-flyby, asteroid Šteins, from large distance in 5-hour intervals.

Die Welt der Kometen

The World of Comets

Kometen sind unregelmäßig geformte Brocken aus Staub und Eis, die auf stark elliptischen Bahnen um die Sonne kreisen. Ihr größtes Reservoir ist die Oortsche Wolke, die unser Sonnensystem bis zu einer Distanz von 100.000 Astronomischen Einheiten (15 Billionen Kilometer; eine Astronomische Einheit, oder AE, ist der Abstand von der Sonne zur Erde – 149,6 Millionen Kilometer) kugelförmig umgibt. Sie enthält wahrscheinlich mehr als eine Billion Kometenkerne.

Ein zweites, deutlich kleineres Kometenreservoir existiert jenseits der Umlaufbahn des Neptun bis zu einem Sonnenabstand von etwa 50 Astronomischen Einheiten. Die sich dort aufhaltenden sogenannten Transneptunischen Objekte (TNOs) bilden eine diffuse Scheibe aus weit verstreuten Kleinkörpern, zu der auch größere planetenartige Objekte im Kuiper-Edgeworth-Gürtels gehören: Hierzu zählen auch Pluto mit seinem Mond Charon, oder fernere Körper wie der 2003 entdeckte Zwergplanet Eris, die aufgrund ihrer Größe von über tausend Kilometer Durchmesser kaum dem „klassischen“ Bild von Kometen entsprechen und heute als „Plutoniden“ bezeichnet werden. Während der zwischen Mars und Jupiter befindliche Asteroidengürtel hauptsächlich Brocken aus Gestein und Metall enthält, bestehen die Transneptunischen Objekte zumeist aus gefrorenen flüchtigen Substanzen wie Wassereis, Kohlendioxyd, Methan und Ammoniak.

Comets are irregularly shaped chunks of dust and ice, circling the sun on strongly elliptical orbits. Their largest reservoir is the spherical Oort cloud surrounding our solar system as far away as 100,000 Astronomical Units (that is 15 trillion kilometers; one Astronomical Unit, or AU, is the distance between the Sun and the Earth – 149.6 million kilometers). The Oort cloud probably contains more than a trillion comet nuclei.

A second and significantly smaller reservoir exists beyond the orbit of Neptune reaching as far as to a solar distance of 50 Astronomical Units. The so-called Trans-Neptunian Objects, or TNO's, form a diffuse disc of far-distributed small bodies. It also contains several bigger planet-like objects residing in the Kuiper-Edgeworth Belt. Pluto and Charon, its satellite, do well belong to this group as well as farther distant objects like Eris, the dwarf planet that had been discovered in 2003. With diameters of more than thousand kilometers these objects do not well match the "classical" image of a comet and therefore are named "Plutonides". As the asteroid belt located between Mars and Jupiter in principal is formed by irregularly shaped rocks made of stone and metal elements, the Trans-Neptunian Objects are formed by frozen light elements like water ice, carbon dioxide, methane and ammonia.

Künstlerische Darstellung des Kometen Borelly (links) und der Halleysche Komet, aufgenommen von der Raumsonde Giotto am 14. März 1986.

Artist's rendition of the comet Borelly (left) and image of comet Halley taken by the Giotto probe on 14 March 1986.



Lenken die Gravitation eines vorbeiziehenden Fixsterns oder galaktische Gezeitenkräfte Kometen in der Oort'schen Wolke von ihrer Bahn ab, so werden sie gelegentlich in das innere Sonnensystem geschleudert. Die meisten dieser langperiodischen Kometen benötigen für einen Sonnenlauf Jahrhunderte oder Jahrtausende. Transneptunische Kometen kehren dagegen meist in kürzeren Abständen zurück.

Nähert sich ein Kometenkern der Sonne, beginnt die Wärme des Zentralgestirns, die eisigen Komponenten an der Oberfläche des Kometenkerns zu verdampfen. Beim Entweichen der Gase werden Staubpartikel mitgerissen, so dass sich um den meist nur wenige Kilometer großen Kern eine Millionen Mal größere Hülle aus fluoreszierendem Gas und das Sonnenlicht reflektierendem Staub, die Koma (griech. für „Haar“) bildet. Die entwichenen Staubpartikel werden vom Strahlungsdruck der Sonne von dieser weggedrückt und formieren sich zum Staubschweif, der eine Länge von 100 Millionen Kilometern erreichen kann. Von der UV-Strahlung der Sonne ionisierte Gasmoleküle werden vom ebenfalls elektrisch geladenen Sonnenwind aufgesammelt. Sie bilden den schmaleren Plasmaschweif.

When the gravitational tug of a passing star or galactic tidal forces disturb the orbits of comets in the Oort cloud it may happen that they get thrown in the direction of the inner solar system. Most of these so-called long periodical comets need centuries or even millennia for one orbit around the sun. Transneptunian comets, though, return to the vicinity of the sun in higher frequencies.

When a comet nucleus approaches the Sun the warmth of the central star will begin to sublimate the icy components at the comet's surface. The gas escaping in jets tears dust particles out of the comet that are lost to space, together with the gas molecules, forming a hull of fluorescing gas, and dust that reflects the sunlight, respectively – called the coma, from the Greek word for hair. The coma usually is several million times bigger in its extension than the comet's nucleus that usually is only a few kilometers in size. The escaping dust particles are pushed away from the solar-radiation pressure and form a tail of dust that can be as long as several hundred million kilometers. The gas molecules that become ionized by the ultraviolet radiation of the sun also get "collected" by the electrically charged solar wind: They form the smaller plasma tail.

Die Kometen Hale-Bopp im Jahr 1997 (links) und Tempel-1 (rechts), im Moment des Einschlags eines Kupferprojektils der Sonde Depp Impactam 4. Juli 2005.

Comets Hale-Bopp in 1997 (left) and Tempel-1 (right), at the moment of the impact of a copper projectile of the Deep Impact mission on 4 July 2005.



Das Ziel: Komet Churyumov-Gerasimenko

Target: Comet Churyumov-Gerasimenko

Der Komet 67P ist 1969 nach seinen Entdeckern, dem Kiewer Astronomen Klim Churyumov und der in Duschanbe arbeitenden Svetlana Gerasimenko benannt worden. Der Himmelskörper hat eine bewegte Geschichte. Bis 1840 lag sein Perihel (der sonnennächste Punkt seiner Umlaufbahn) bei vier Astronomischen Einheiten (AE), also dem Vierfachen der Erde-Sonne-Distanz von knapp 150 Millionen Kilometern.

Ein naher Vorbeiflug an Jupiter führte zu einem Orbit, der den Kometen bis auf drei Astronomische Einheiten, also etwa 450 Millionen Kilometer, an der Sonne vorbei führte. Im Laufe von hundert Jahren schrumpfte das Perihel auf 2,77 AE. Schließlich reduzierte eine weitere Begegnung mit Jupiter das Perihel auf 1,29 AE (194 Mio. km). Im Aphel, dem sonnenfernsten Punkt, trennen den Kometen 5,74 AE (858 Mio. km) von der Sonne, und seine Umlaufzeit beträgt nun 6,75 Erdenjahre. Der Orbit ist zur Ekliptik (der Ebene der Erdumlaufbahn) um sieben Grad geneigt.

Während des jüngsten Periheldurchgangs 2002/2003 sprühte Churyumov-Gerasimenko schätzungsweise 60 Kilogramm Staub pro Sekunde ins All, vom Jahreswechsel 1982/83 sind sogar Werte von 220 Kilogramm in der Sekunde berechnet worden. Erste Bilder vom Kern des Kometen lieferte das Hubble-Weltraumteleskop am 12. März 2003. Es zeigt einen ovalen Himmelskörper von drei mal fünf Kilometern Größe. Aus der Analyse von Lichtkurven weiß man, dass der Komet sich im Laufe von etwa zwölf Stunden einmal um die eigene Achse dreht.

Comet 67P has been named for its two discoverers, the astronomer Klim Churyumov from Kiev in the Ukraine, and Svetlana Gerasimenko, working in Dushanbe, Tajikistan. The celestial body has a lively history. Until the year 1840 the comet's perihelion – the point closest to the sun in its orbit – was at a distance of approximately four Astronomical Units (AU), i.e. four times the Sun-Earth distance of almost 150 million kilometers.

When flying by Jupiter closely, the gravitational tug of the planet changed the comet's orbit. Now Churyumov-Gerasimenko's closest approach to the Sun was at 3 AU, or 450 million kilometers. In the course of one hundred years the perihelion diminished to 2.77 AU, and finally another encounter with Jupiter reduced it to 1.29 AU, or 194 million kilometers. On the opposite, the aphelion – the most distant point to the sun – the comet is 5.74 AU, or 858 million kilometers away from the Sun. Now, one orbit lasts 6.75 years. The inclination of the orbit to the ecliptic – the plane of the Earth's orbit – is about 7 degrees.

During its latest perihelion pass in 2002-2003 Churyumov-Gerasimenko each second sprayed about 60 kilograms of dust into space; from an earlier observation taken between 1982 and 1983 values of 220 kilograms per second have been deduced. The Hubble space telescope transmitted first images of the comet's nucleus in 12 March 2003. They show an oval body approximately three by five kilometers in size. Light-curve analyses allowed to determine the rotation period of: In the course of about twelve hours the comet rotates about its axis.

Das Ziel der Rosetta-Mission: Der Komet 67/P Churyumov-Gerasimenko (Mitte).

The target of the Rosetta mission: comet 67P Churyumov-Gerasimenko (center).

Der Höhepunkt: Die Landung auf dem Kometen

A Special Moment: Landing on a Comet

Wenn Rosetta das Ziel im Mai 2014 erreichen wird, ist Churyumov-Gerasimenko noch vier Mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde. In der ersten Phase nähert sich Rosetta dem Kern bis auf etwa 100 Kilometer Entfernung. Die Weitwinkelkamera wird die Rotationsbewegung, oder besser: die Taumelbewegung des unregelmäßigen Himmelskörpers festhalten. Je nach Form des Kometen könnte die Sonde dann bis auf einen Kilometer an das Ziel heran fliegen und sucht von August bis September mit der Telekamera einen geeigneten Platz für das Landemodul Philae. Noch ist der Komet kaum aktiv – bei der geringen Gravitation des Kerns könnten ausströmende Gase und Staubpartikel die Sonde beschädigen.

When Rosetta will reach its target in May 2014, Churyumov-Gerasimenko still is about four times as far away from the Sun as the Earth. In a first phase, Rosetta approaches the nucleus to about 100 kilometers distance. With the wide-angle camera, the rotation – or: the tumbling – of the irregularly shaped body is monitored. Depending on the shape of the comet the space probe may be able to approach the comet as close as about one kilometer's distance and will support the selection of a suitable landing site for Philae with the images obtained with the telephoto camera between August and September. The comet, though, yet is almost not active: Which is important since escaping gases and dust particles could damage the probe.



Philae wird schließlich im November 2014 von der Muttersonde abgetrennt, wodurch das Landemodul auf eine Geschwindigkeit von einem halben Meter pro Sekunde in Richtung des Kometen gebracht wird. Während das etwas schnellere Hauptschiff weiter um den Kometenkern kreist, sinkt Philae in einer parabelförmigen Flugbahn innerhalb einer Stunde auf seine Oberfläche herab. Hierbei werden die ersten Bilder aufgenommen.

Finally, in November 2014 Philae is detached from the orbiter and accelerated to a velocity of half a meter per second in the direction of the comet. While the faster Rosetta probe continues to orbit the comet's nucleus, Philae approaches the surface of Churyumov-Gerasimenko on a parabolic flight path in about one hour. During descent, Philae will take first images with its camera.

Künstlerische Darstellung des Flugs und des Landemanövers von Philae im November 2014.

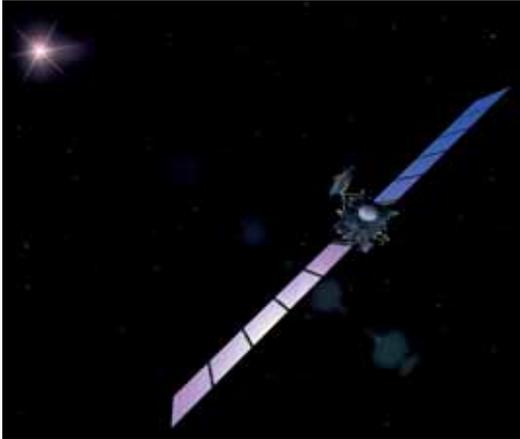
Artist's rendition of the deorbiting and landing maneuver in November 2014.

Um zu verhindern, dass der Lander beim Aufprall wieder zurück ins All geschleudert wird – schließlich ist die Schwerkraft von Churyumov-Gerasimenko 10.000 Mal schwächer als die der Erde – wird eine Düse mit Kaltgas kurz aktiv. Außerdem schießt Philae bei der ersten Berührung der Oberfläche eine Harpune ab, die sich in den Grund bohrt und das Modul am Boden festzurrt.

In order to prevent the lander from rejecting into space at the moment of contact with the comet's surface – the gravitational attraction of Churyumov-Gerasimenko is ten thousand times smaller than the Earth's – a cold-gas jet is activated. In addition, with the very first contact to the surface Philae is triggering a harpoon to shoot into the ground and fixing the module on the icy ground.

Die Experimente des Rosetta-Orbiters

Experiments on the Rosetta Orbiter



Die großen Sonnensegel ermöglichen Rosetta die Stromversorgung auch in großer Entfernung zur Sonne.

The large solar panels enable Rosetta to produce enough power even in far-away distance to the sun.

| | |
|----------------|--|
| ALICE | ist ein abbildendes Ultraviolett-Spektrometer, das die wichtigsten Gasmoleküle in der Koma, den Anteil der Edelgase sowie die Ionen im Schweif analysiert. |
| ALICE, | <i>an ultraviolet-imaging spectrometer, measures gas molecules in the coma, noble gases and ions in the comet's tail.</i> |
| CONSERT | Comet Nucleus Sounding Experiment by Radio Wave Transmission) sendet langwellige Radiosignale durch den Kern, um dessen Beschaffenheit zu erkunden. |
| CONSERT | <i>(Comet Nucleus Sounding Experiment by Radio wave Transmission) sends long-wave radio signals between lander and orbiter to determine the nucleus' properties.</i> |
| COSIMA | (Cometary Secondary Ion Mass Analyser) sammelt und analysiert Staubkörner. |
| COSIMA | <i>(Cometary Secondary Ion Mass Analyser) collects and analyses dust particles.</i> |
| GIADA | (Grain Impact Analyser and Dust Accumulator) bestimmt Anzahl, Größe und Geschwindigkeit der Staubkörnerchen in der Koma. |
| GIADA | <i>(Grain Impact Analyser and Dust Accumulator) will measure frequency, size and momentum of dust particles in the coma.</i> |
| MIDAS | (Micro-Imaging Dust Analysis System) dient der Analyse der Mikrostruktur der Staubteilchen. |
| MIDAS | <i>(Micro-Imaging Dust Analysis System) is intended for the microtextural analysis of cometary dust particles.</i> |
| MIRO | (Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter) bestimmt die Produktionsrate von Gasmolekülen sowie die Temperatur nahe der Oberfläche des Kometenkerns. |
| MIRO | <i>(Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter) will measure the production rate of gas molecules and the near-surface temperature of the comet.</i> |
| OSIRIS | (Optical, Spectroscopic, and Infrared Remote Imaging System), eine Tele- und eine Weitwinkelkamera zur Beobachtung des Kerns und seiner Umgebung. |
| OSIRIS | <i>(Optical, Spectroscopic, and Infrared Remote Imaging System) consists of a narrow-angle and a wide-angle camera for observations of the core and its environment.</i> |
| ROSINA | (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis) bestimmt das Atomgewicht von Gaskomponenten und ermöglicht die Unterscheidung von Isotopen. |
| ROSINA | <i>(Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis) is a mass spectrometer determining the atomic weight of gases and is able to distinguish between isotopes.</i> |
| RPC | (Rosetta Plasma Consortium), Ionen- und Elektronendetektoren beobachten Wechselwirkungen von Koma und Schweif mit dem Sonnenwind. |
| RPC | <i>(Rosetta Plasma Consortium) is a set of ion and electron detectors to observe the plasma environment interacting with the solar wind.</i> |
| 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. |
| RSI | <i>(Radio Science Investigation) communicates with the ground stations on Earth to yield information on the comet's gravity, shape and density distribution from the Doppler effect.</i> |
| VIRTIS | (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer) misst die Zusammensetzung sowie die Temperatur der Oberfläche und charakterisiert die Gasmoleküle in der Koma. |
| VIRTIS | <i>(Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer) is an imaging spectrometer to perform spectral mapping, spectroscopy, and thermal distribution of the surface and the coma.</i> |

Die Experimente des Philae-Landemoduls

Experiments on the Philae Lander

| | |
|----------------|---|
| APXS | (Alpha Particle X-ray Spectrometer) untersucht die Verteilung chemischer Elemente auf der Oberfläche des Kometen. |
| APXS | <i>(Alpha Particle X-ray Spectrometer) analyzes the distribution of chemical elements on the surface.</i> |
| CIVA | Comet Infrared and Visible Analyzer) fotografiert den Landeplatz und untersucht die mit dem Bohrer gewonnenen Bodenproben mit Mikroskopen. |
| CIVA | <i>(Comet Infrared and Visible Analyzer) is imaging the landing site and analyzes the core samples gained from a drilling device with a microscope.</i> |
| CONSERT | (Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission) durchleuchtet mit Radiowellen im Zusammenspiel mit dem Orbiter das Innere des Kerns. |
| CONSERT | <i>(Comet Nucleus Sounding Experiment by Radio-wave Transmission) investigates the inner structure of the comet by propagating radio waves through the core</i> |
| COSAC | (Cometary Sampling and Composition) bestimmt die chemische Zusammensetzung der gefrorenen Oberfläche bis in 30 Zentimeter Tiefe. |
| COSAC | <i>(Cometary Sampling and Composition) is analyzing the chemical composition of the frozen surface down to 30 centimeter's depth.</i> |
| MUPUS | (Multi-Purpose Sensors for Surface and Sub-Surface Science) misst die Temperatur nahe der Oberfläche und die thermische Leitfähigkeit des Bodens. |
| MUPUS | <i>(Multi-Purpose Sensors for Surface and Sub-Surface Science) measures the temperature near the surface and the thermal conductivity of the ground.</i> |
| PTOLEMY | untersucht die isotopische Zusammensetzung der Bohrproben durch einen Massenspektrometer und vorgeschaltetem Gaschromatographen. |
| PTOLEMY | <i>analyzes the isotopic composition of the drill cores with a mass spectrometer and a gas chromatograph.</i> |
| ROLIS | (Rosetta Lander Imaging System) fotografiert während und nach der Landung mit einer Kamera das Gebiet unter dem Lander. |
| ROLIS | <i>(Rosetta Lander Imaging System) is imaging the landing site and surrounding areas during descent and landing.</i> |
| ROMAP | (Rosetta Lander Magnetometer and Plasma Monitor) ermittelt das Magnetfeld an der Landestelle und beim Abstieg. |
| ROMAP | <i>(Rosetta Lander Magnetometer and Plasma Monitor) determines the strength of the magnetic field at the landing site and during descent.</i> |
| SD2 | (Sample, Drill and Distribution) bohrt zur Gewinnung von Bodenproben maximal 20 Zentimeter Tiefe. |
| SD2 | <i>(Sample, Drill and Distribution) drills cores of 20 centimeter's length.</i> |
| SESAME | (Surface Electrical, Seismic and Acoustic Monitoring Experiments) enthält Sensoren zur Messung von mechanischen und elektrischen Eigenschaften der Kometenoberfläche sowie einen Staubeinschlagmonitor. |
| SESAME | <i>(Surface Electrical, Seismic and Acoustic Monitoring Experiments) contains sensors to measure mechanical and electrical properties of the comet's surface and a dust-particle impact monitor</i> |



Die ROLIS-Kamera.

The ROLIS camera.



Das CASSE-Instrument des SESAME-Experiments.

The CASSE-Instrument of the SESAME-Experiments.

Die Zukunft der Kometenforschung

The Future of Cometary Research

Europa feierte bereits 1986 mit der Raumsonde Giotto einen ersten großen Erfolg bei der Erforschung von Kometen – Giotto flog damals in 600 Kilometer Entfernung am berühmten Halleyschen Kometen vorbei und übertrug erste Bilder eines Kometenkerns zur Erde. Auch nach Rosetta wird es weitere, von der NASA durchgeführte Missionen zur Erforschung von Kometen geben. Die erfolgreiche Deep Impact-Sonde, die 2005 mit einem Kupfergeschoss einen Krater auf der Oberfläche des Kometen Tempel 1 erzeugte und die beim Einschlag erzeugte Auswurfwolke analysierte, fahndet seit Januar 2008 im Zuge des Projekts EPOXI (Extrasolar Planet Observation and Deep Impact Extended Investigation), nach extrasolaren Planeten. Im Oktober 2010 wird EPOXI außerdem den Kometen Hartley 2 inspizieren.

Und schließlich ist Stardust-NExT (New Exploration of Tempel 1), die frühere Stardust-Sonde, nach dem Vorbeiflug am Kometen Wild 2 im Jahre 2004 und dem Aufsammeln von Kometenstaub nun unterwegs zu Komet Tempel 1. Dort soll sie während des Vorbeifluges im Februar 2011 den Kometen weiter untersuchen und vielleicht sogar den Krater entdecken, den Deep Impact erzeugt hat.

Die Untersuchung der kleinen Körper des Sonnensystems, und insbesondere der Kometen, wird in den ersten Jahrzehnten des neuen Jahrtausends einen Schwerpunkt in der Erforschung unseres Sonnensystems darstellen – denn auf diesen Himmelskörpern könnten Antworten zu zwei großen Themen der Forschung zu finden sein: Was passierte in den ersten wenigen Millionen Jahren unseres Sonnensystems, und wo sind die Urbau- steine des Lebens zu finden?

Europe has been cheering a first major success in cometary research yet in 1986. The space probe Giotto was flying in 600 kilometers distance by the famous comet Halley. The first images of a comet's nucleus from close by were spectacular! After Rosetta there will be future missions to explore the world of comets, operated by NASA. The successful Deep Impact mission that shot a copper bullet in the surface of comet Tempel 1, excavating an impact crater and a cloud of ejecta that could be analyzed by the probe's instruments, is presently searching for extrasolar planets as part of the project EPOXI (Extrasolar Planet Observation and Deep Impact Extended Investigation). In October 2010 EPOXI is programmed to inspect comet Hartley 2.

Finally, the Stardust NExT (New Exploration of Tempel 1) mission – the former Stardust probe that has been visiting comet Wild 2 in 2004 where it collected dust particles is now en route to comet Tempel 1. During the flyby maneuver in February 2011 the probe will investigate the comet in more detail and perhaps even detect the impact crater that has been excavated by Deep Impact.

The investigation of the small bodies in the solar system in general, and comets in particular, will be a major topic in planetary sciences and solar-system research of the first decades of the new millennium. It is because scientists expect to find on these celestial bodies important clues concerning two fundamental questions in research: What happened in the first few million years in our solar system, and where can we find the building blocks of life?



**Bildnachweis/
Image sources:** DLR
Seite/page: 7 (unten/below), 11 (links/left), 15

ESA
Seite/page: 1, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 14

ESO (European Southern Observatory)
Seite/page 2/3

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung
Seite/page 8, 9, 10 (rechts/right)

NASA
Seite/page 10 (links/left), 11 (rechts/right), 16

**Herausgeber/
Published by** **Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

German Aerospace Center
Member of the Helmholtz Association

Institut für Planetenforschung/
Institute of Planetary Research

Anschrift/Address Rutherfordstraße 2
D-12489 Berlin-Adlershof
www.DLR.de/pf

Redaktion/Editor Prof. Dr. Ralf Jaumann, Ulrich Köhler,
Leif Allendorf

Gestaltung/Design ziller design, Mülheim an der Ruhr

Druck/Printed by Buch- und Offsetdruckerei Richard
Thierbach GmbH, Mülheim an der Ruhr

**Drucklegung/
First Impression** Berlin, September 2008/
Berlin, September 2008

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige
Verwendung nur nach vorheriger Absprache
mit dem DLR gestattet.
*This brochure may be reprinted in whole or in
part or otherwise used commercially only by
previous agreement with the DLR.*

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, Verkehr und Energie 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 sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Das DLR fungiert als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In 29 Instituten und Einrichtungen an den dreizehn Standorten Köln (Sitz des Vorstandes), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR ca. 5.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

DLR at a Glance

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

Approximately 5,700 people are employed in DLR's 29 institutes and facilities at thirteen locations in Germany: Koeln (headquarters), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen and Weilheim. DLR also operates offices in Brussels, Paris, and Washington D.C.



DLR

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

in der Helmholtz-Gemeinschaft

German Aerospace Center

Member of the Helmholtz Association

Institute of Planetary Research

Rutherfordstraße 2

D-12489 Berlin-Adlershof

www.DLR.de