

## **Mission Rosetta**

Reise zu einem Kometen

#### Mission Rosetta

Journey to a Comet







# Inhalt *Contents*

Mankind's first landing on a comet
Die Welt der Kometen The world of comets
Das Ziel: Komet Churyumov-Gerasimenko  Destination: comet Churyumov-Gerasimenko
Ehrgeizige wissenschaftliche Ziele  Ambitious research goals10
Das DLR ist maßgeblich beteiligt  DLR is one of the major contributors1
Ankunft am Kometen Arrival at the comet
Technische Daten und Missionsverlauf  Technical data and mission phases14
Die lange Reise zum Kometenziel  Rosetta's long journey1!
Der Höhepunkt: Die Landung auf dem Kometen  The climax: touchdown on the comet1
Auswahl der Landestelle Choosing a landing site1
67P – Eine neue Welt 67P – A new world18
Die Experimente des Rosetta-Orbiters  Experiments on the Rosetta orbiter
Die Experimente des Philae-Landemoduls  Experiments on the Philae lander2

#### Die erste Landung auf einem Kometen Mankind's first landing on a comet

Die 1993 von der ESA beschlossene Rosetta-Mission ist eines der ehrgeizigsten Projekte der europäischen Raumfahrt. Die im März 2004 gestartete Sonde hat nach mehr als zehn Jahren im August 2014 den Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko erreicht. Die Sonde wurde zunächst in eine Umlaufbahn gelenkt, um erste Messungen durchzuführen und nach einer geeigneten Landestelle zu suchen. Am 12. November 2014 wird sich das Landegerät Philae vom Mutterschiff lösen und auf dem Kometen aufsetzen.

Beide Module begleiten den Schweifstern nun auf seinem mehrmonatigen Weg zum sonnennächsten Punkt. Die Muttersonde umkreist weiterhin den Kometen, während das Landegerät an dessen Oberfläche haftet. Die Messgeräte verfolgen dabei genau, 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 dreisprachiq beschrifteten Stein fanden, der es zusammen mit den Inschriften eines Obelisken aus dem Tempel auf der Nilinsel Philae ermöglichte, die bis dahin völlig rätselhafte Hieroglyphenschrift zu entziffern. Philae ist auch der Name der 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, adopted by the European Space Agency (ESA) in 1993, is one of the most ambitious European spaceflight projects. Launched in March 2004, the space probe reached the comet 67P/Churyumov-Gerasimenko in May 2014 after a cruise lasting more than ten years. The probe was first steered into an orbit about its target to perform first measurements and look for a suitable landing site. On 12 November, the Philae landing device will be released from the orbiter and touch down on the comet's surface.

Both modules will escort the tailed star on its journey of several months to its perihelion. During that phase, Rosetta will continue to orbit the comet, while the lander remains attached to the nucleus. The instruments will be able to precisely monitor how the cold and inactive chunk of dust and ice, Churyumov-Gerasimenko, 'awakes' on its journey and becomes activated by the Sun's warmth.

The ESA mission takes its name from the Egyptian town of Rashid, or Rosetta, where archaeologists in 1799 found a stone incised with scripts in three different languages from ancient times. Combined with the inscriptions of an obelisk from the Nile island of Philae, the documents enabled the archaeologists to decipher the hieroglyphs, until then a completely enigmatic writing system. Philae is the name of the lander module on board Rosetta. The insights cometary scientists are expecting to gain from the first in-depth investigation of a comet by the Rosetta and Philae space probes will be similar in impact to those gained in archaeology.

Der Stein von Rosetta. The Rosetta stone.





Start mit der Ariane 5 in Kourou. Lift-off with the Ariane 5 in Kourou.

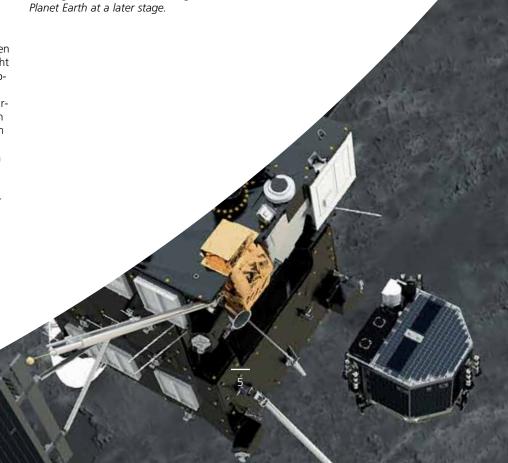
Aus einer Wolke von Staub und Gas bildeten sich vor 4,6 Milliarden Jahren unsere Sonne und die sie umkreisenden Himmelskörper. Bereits wenige Millionen Jahre, nachdem im Zentralgestirn die Kernfusion einsetzte, waren Myriaden von kleinen Körpern entstanden. Wenig später umkreisten Planeten die Sonne. Die Strahlung und Gravitation 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 verändert. Sie sind Überbleibsel der Geburt unseres Sonnensystems und damit wichtige Zeugen aus jener Urzeit. Stoffe von solchen Kometen waren es vielleicht auch, die Leben auf unserem Planeten erst möglich gemacht haben. Forscher halten es für denkbar, dass ein beträchtlicher Teil des Wassers auf der Erde von Einschlägen durch Asteroiden und vor allem Kometen stammt – wahrscheinlich auch viele organische Moleküle, die als Bausteine des späteren Lebens auf der Erde in Betracht kommen.

About 4.6 billion years ago our Sun and all celestial bodies circling it formed from a cloud of dust and gas. Only a few million years after the nuclear-fusion processes on our central luminary began, myriads of small bodies had formed. Not much later, there were planets orbiting the Sun. The planets and their satellites were exposed to the Sun's radiation and gravity; erosion, meteorite impacts and processes in their interior changed the surface of many of these celestial bodies.

The only objects that have remained largely unmodified by these processes are the comets, given that they reside at an icy distance from the Sun in the outer Solar System. They are remnants of the birth of our Solar System and therefore important witnesses from ancient times. Presumably it was material from such comets that made life on our planet possible in the first place. According to scientists, a substantial part of the Earth's water has conceivably been delivered by the impact of asteroids and especially comets, and so, presumably, have organic molecules such as amino acids, which are widely considered to be building blocks of life that emerged on Planet Earth at a later stage.

Am 12. November 2014 wird die Landesonde Philae von zwei Federn sanft vom Rosetta-Orbiter abgestoßen. Sieben Stunden später wird die Landung auf dem Kometen erfolgen. On November 12, 2014, the Philae lander will be gently pushed away from Rosetta by two springs. Seven hours later it will touch down on the comet.



## 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.

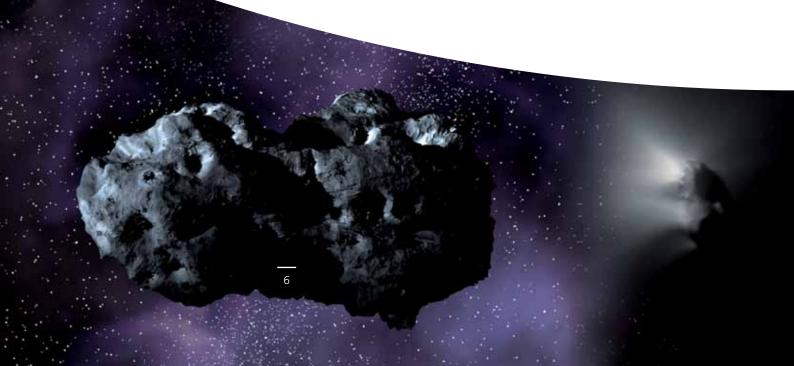
Ein zweites, deutlich kleineres Kometenreservoir existiert jenseits der Umlaufbahn des Neptun bis zu einem Sonnenabstand von etwa 50 AE. Die sich dort aufhaltenden sogenannten Transneptunischen Objekte (TNOs) bilden eine diffuse Scheibe aus weit verstreuten Kleinkörpern, zu der auch größere planetenartige Objekte im Kuiper-Edgeworth-Gürtel gehören: Hierzu zählen auch Pluto mit seinen Monden oder fernere Körper wie der 2003 entdeckte Zwergplanet Eris, die aufgrund ihrer Größe von über tausend Kilometern Durchmesser kaum dem "klassischen" Bild von Kometen entsprechen und heute als "Plutoiden" bezeichnet werden. Während der zwischen Mars und Jupiter befindliche Asteroidengürtel hauptsächlich Brocken aus Gestein und Metall enthält, bestehen die Transneptunischen Objekte zumeist aus Staub und gefrorenen flüchtigen Substanzen wie Wassereis, Kohlendioxid, 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 kilometres; one astronomical unit, or AU, is the distance between the Sun and the Earth – 149.6 million kilometres). The Oort cloud probably contains more than a trillion comet nuclei.

A second and significantly smaller reservoir begins beyond the orbit of Neptune and extends to a solar distance of 50 AUs. The so-called Trans-Neptunian Objects, or TNOs, form a diffuse disc of widely scattered small bodies. It also contains several bigger planet-like objects residing in the Kuiper-Edgeworth Belt. This group also includes Pluto and its moons, as do a number of more remote objects like Eris, a dwarf planet discovered in 2003. Measuring more than a thousand kilometres in diameter, these objects do not fit the classic definition of a comet and are therefore referred to as "Plutoides". Whereas the asteroid belt located between Mars and Jupiter mainly contains chunks of rock and metal, the Transneptunian Objects mostly consist of dust and frozen volatile matter 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 comet Borelly (left) and image of Halley's Comet taken by the Giotto probe on March 14, 1986.



Lenken die Gravitation eines vorbeiziehenden Fixsterns oder galaktische Gezeitenkräfte Kometen in der Oortschen Wolke von ihrer Bahn ab, so werden sie gelegentlich in das innere Sonnensystem geschleudert. Die meisten dieser langperiodischen Kometen benötigen für einen Sonnenumlauf 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, sodass 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 über 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 more frequently.

As a comet nucleus approaches the Sun, the warmth of the central star will begin to sublimate the icy components at the comet's surface. Jets of escaping gas tear out dust particles from the comet and eject them into space. Together with the gas molecules, they form a shroud of fluorescent gas and dust which reflects the sunlight, called the coma, from the Greek word for hair. The coma is usually several million times larger than the comet's nucleus, which is typically only a few kilometres in size. The escaping dust particles are pushed away by the Sun's radiation pressure and form a tail of dust that can reach a length of over one hundred million kilometres. Gas molecules ionized by the ultraviolet radiation of the Sun get 'picked up' by the electrically charged solar wind, forming the narrower plasma tail.

Die Kometen Hale-Bopp im Jahr 1997 (links) und Tempel-1 (rechts), im Moment des Einschlags eines Kupferprojektils der Sonde Deep Impact am 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 July 4, 2005.



#### Das Ziel: Komet Churyumov-Gerasimenko Destination: comet Churyumov-Gerasimenko

Der Komet 67P wurde 1969 zum ersten Mal beobachtet und nach seinen Entdeckern, dem Kiewer Astronomen Klim Churyumov und der in Duschanbe arbeitenden Svetlana Gerasimenko benannt. 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 AE, 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 ließ einen ovalen Himmelskörper von drei mal fünf Kilometern Größe vermuten. Aus der Analyse von Lichtkurven wusste man, dass der Komet sich im Laufe von etwa zwölf Stunden einmal um die eigene Achse dreht.

First observed in 1969, comet 67P was named after its discoverers, astronomer Klim Churyumov of Kiev and Svetlana Gerasimenko, who works in Dushanbe. The history of this heavenly body has been turbulent. Until 1840, its perihelion (the point in its orbit that is closest to the Sun) was located at four astronomical units (AU), four times the distance between the Earth and the Sun, which is nearly 150 million kilometres.

A close flyby past Jupiter changed the comet's orbit so that it approached the Sun to three AU, i.e. about 450 million kilometres. In the course of a hundred years, the perihelion shrank to 2.77 AU. Ultimately, another encounter with Jupiter brought the perihelion down to 1.29 AU (194 million kilometres). At the aphelion, the point farthest away from the Sun, the comet is separated by 5.74 AU (858 million kilometres) from our central luminary, and its orbital period is now 6.75 terrestrial years. The orbit is inclined seven degrees relative to the ecliptic (the plane of the Earth's orbit).

During its most recent perihelion passage in 2002/2003, Churyumov-Gerasimenko blew an estimated 60 kilograms of dust per second into space, and at the turn of 1982/83, values as high as 220 kilograms per second were calculated. The first images of the comet's nucleus were supplied by the Hubble Space Telescope on March 12, 2003. They appeared to show an oval body measuring three by five kilometres. It was known from analyses of its light curves that the comet takes about twelve hours to rotate around its axis.

Blick über den größeren Teilkörper von 67P in das Tal und auf die Steilwand, die den Beginn des kleineren Teilkörpers markiert. A view of the larger part of 67P, looking down into the valley and on to the cliff that forms the rim of the smaller lobe.

0

Nun wurde schon während der Anflugphase von Rosetta in einer Sonnenentfernung von etwa vier AE eine geringe Aktivität des Kometen registriert; seit Mai 2014 wurden die Ansätze einer Koma um den Kometenkern beobachtet. Der errechnete Materialverlust war jedoch noch gering und belief sich auf wenige hundert Gramm pro Sekunde.

Aufnahmen von 67P während der Annäherung lieferten eine erste Vorstellung von der Form des Kometen. Eine große Überraschung war, als sich im Juli 2014 zeigte, dass es sich bei Churyumov-Gerasimenko um einen Doppelkörper handelt, der in 12,4 Stunden um seine Achse rotiert – mit einem größeren, etwa zweieinhalb Kilometer messenden "Rumpf" und einem kleineren, etwa anderthalb Kilometer messenden "Kopf".

Als Rosetta am 6. August 2014 den Kometen erreichte war das Erstaunen groß. Auf den hochaufgelösten Bildern ist eine stark zerklüftete Welt mit sehr unterschiedlichen Landschaftsformen zu sehen. Auffallend ist die Teilung des Doppelkörpers durch den markanten "Hals", dessen Oberfläche zunächst eben erscheint, jedoch von zahlreichen Blöcken übersät ist. Auch scheint der "Hals" das zu diesem Zeitpunkt aktivste Gebiet des Kometen zu sein.

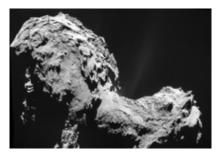
Die beiden Körper des Kometen sind von Terrassen und rundlich-ovalen Senken überzogen, die durch scharfe Grate voneinander getrennt sind. Sie sind möglicherweise das Ergebnis der Aktivität bei früheren Sonnenumläufen. Einige Abhänge sind extrem steil, teilweise sogar überhängend. Teile der Oberfläche sind augenscheinlich von Staub bedeckt. An vielen weiteren Stellen sind Blöcke zu sehen. Blankes, exponiertes Eis hingegen scheint rar oder vielleicht gar nicht vorhanden zu sein.

Even during the approach phase, at a distance of about four astronomical units from the Sun, Rosetta registered faint signs of activity on the comet; from May 2014 onwards, it was observed that a coma was beginning to form around the comet's nucleus. However, calculated material losses were still small, amounting to a few hundred grams per second.

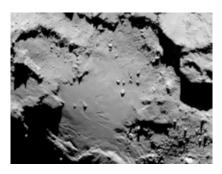
Photos taken of 67P during the approach yielded a first impression of the comet's shape. Great was the surprise when it was found in July 2014 that Churyumov-Gerasimenko is a double-lobed structure which, rotating around its axis in 12.4 hours, features a larger 'trunk' measuring about two and a half kilometres and a smaller 'head' measuring about one kilometre and a half.

When Rosetta reached the comet on August 6, 2014, there was great astonishment. The high-resolution images showed a very jagged world with very diverse landscape features. What strikes the eye is that the double nucleus is divided by the distinctive 'neck' whose surface, although it appears plane at first sight, is strewn with numerous boulders. Moreover, the 'neck' appears to be the most active area on the comet at this time.

Both bodies of the comet are covered by terraces and round-to-oval depressions separated by sharp ridges. They may be the result of activity during earlier orbits around the Sun. Some slopes are extremely steep, and there are even overhangs in places. Contrary to expectations, the parts of the surface seems to be covered in dust. In many other places, boulders are visible. On the other hand, bare, exposed ice appears to be rare or possibly even non-existent.



Ein vom Hals des Kometen ausgehender "Jet", aufgenommen am 19. September 2014. A jet emanating from the neck of the comet, photographed on September 19, 2014.



Detailansicht einer Ebene mit einer ungewöhnlichen, lobenförmigen Geländestufe. Terrain detail featuring an unusually shaped lobate escarpment on a plane surface.

Blick auf Churyumov-Gerasimenko mit dem kleineren der beiden Teilkörper rechts. View of Churyumov-Gerasimenko with its smaller lobe on the right.



#### Ehrgeizige wissenschaftliche Ziele Ambitious research goals

Durch die Untersuchung des Kometenkerns mit den Experimenten an Bord 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 geologische Charakterisierung des Kometenkerns und seiner Oberfläche, die Bestimmung der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung sowie der Isotopenverhältnisse. Ferner wird die Ableitung physikalischer Eigenschaften des Kometenkerns wie Struktur, thermische, elektrische und magnetische Parameter und Beobachtung der Entwicklung der kometaren Aktivität während der Annäherung an die Sonne untersucht.

Rosetta flog auf dem Weg zu Churyumov-Gerasimenko außerdem an zwei Asteroiden vorbei: Der nur fünf Kilometer große Asteroid 2867 Šteins wurde am 5. September 2008 in einer Entfernung von 800 Kilometern mit einer Geschwindigkeit von 8,6 Kilometern pro Sekunde passiert, dem 100 Kilometer messenden Asteroiden 21 Lutetia begegnete Rosetta am 10. Juli 2010. Wissenschaftliche Ziele waren genaue Messungen von Größe, Gestalt und Dichte sowie Beschaffenheit dieser beiden Himmelskörper.

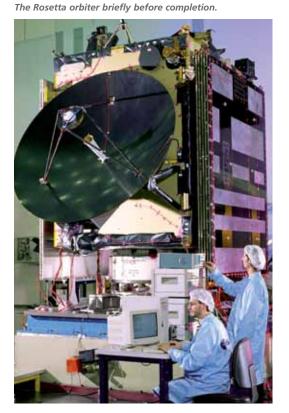
Bei beiden Vorbeiflügen gelangen hochauflösende Bilder und Fotos aus verschiedenen Aufnahmewinkeln von Geländeformen und Einschlagskratern. Die Experimente gaben Anhaltspunkte für das Alter und die geologische Geschichte dieser Asteroiden. Messungen in verschiedenen Spektralkanälen und die Untersuchung des Reflexionsvermögens lieferten Erkenntnisse über die chemischen Bestandteile der Oberfläche. Von besonderem Interesse für die Forscher war außerdem die Suche nach natürlicher Satelliten – also die Frage, ob die Asteroiden von kleinen "Monden" umkreist werden - und die Existenz von Wasser in Form von Eis. Es wurden jedoch keine Monde entdeckt.

Rosetta, and especially its landing module Philae, will perform a detailed investigation of the comet's nucleus. Scientists hope that the images and chemical, physical and mineralogical findings that will be radioed to Earth will deliver new input, both concerning the origin of comets and the early history of our Solar System. The main objectives of the mission are to carry out a global geological characterization of the nucleus and surface topography, to determine its chemical and mineralogical composition and isotopic relations, to derive the physical properties of the comet's nucleus, like structure, thermal, electrical and magnetic properties, and to monitor cometary activity while it approaches the Sun.

On its route to Churyumov-Gerasimenko, Rosetta came close to two asteroids: on September 5, 2008, the space probe passed asteroid 2867 Šteins at a distance of 800 kilometres and a relative speed of 8.6 kilometres per second; and on July 10, 2010, Rosetta encountered the 100 kilometre asteroid 21 Lutetia. The scientific objective was to determine the exact dimensions, shape, density and properties of both asteroids.

High-resolution images from different perspectives of various landforms and impact craters on the surface have provided important clues for determining the age and the geologic history of the asteroids. Measurements at different spectral wavelengths and the investigation of the reflection properties delivered new insights into the chemical composition of the surface. Of particular interest for the scientists was the search for any natural satellites, i.e. whether the asteroids are circled by small moonlets, and for any existing water ice. However, no moons have been detected.

Der Rosetta-Orbiter kurz vor der Fertigstellung.



## Das DLR ist maßgeblich beteiligt DLR is one of the major contributors

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 (heute Airbus Defence & Space) in Friedrichshafen hergestellt. Die Landeeinheit Philae wurde von einem internationalen Konsortium unter Leitung des DLR entwickelt und gebaut.

Das DLR stellt auf der Landeeinheit Philae drei der insgesamt zehn Experimente: Die ROLIS-Kamera zur Beobachtung der Kometenoberfläche vor und nach der Landung, das SESAME-Experiment zur seismischen Untersuchung des Kometenkerns und die Bodensonde MUPUS, mit der die Oberflächentemperatur, das Temperaturprofil bis 30 cm Tiefe und die Festigkeit des Kometen gemessen wird.

Wichtigster DLR-Partner beim Bau des Landemoduls war die Max-Planck-Gesellschaft. Deren Institut für Sonnensystemforschung in Göttingen hat unter anderem die Landebeine, den Abstoßmechanismus und das chemische Analyseinstrument COSAC hergestellt. Die Harpune und ein Plasma-Instrument wurden vom Max-Planck-Institut für Extraterrestrik in Garching gebaut, ein Materialanalysegerät stammt aus dem Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz.

Neben internationalen Partnern waren aus Deutschland außerdem die Universitäten Münster, Mainz und Braunschweig beteiligt. Während der Landung auf dem Kometen wird Philae vom DLR-Nutzerzentrum für Weltraumexperimente aus dem Landerkontrollzentrum (LCC) in Köln gesteuert. Bereits kurz nach dem Start wurden Tests und Kalibrationen der Nutzlast durchgeführt. Au-Berdem ist das DLR an dem Spektrometer VIRTIS auf dem Orbiter zur Bestimmung der Bestandteile der Oberfläche des Kometenkerns und seiner Temperatur beteiligt. Wissenschaftliche Beiträge werden weiterhin für die Instrumente OSIRIS (Kameras) und ROSINA (Massenspektrometer) geleistet.

Germany has been playing a major part in the Rosetta mission, in that it has supplied some of the instruments as well as having manufactured components for the orbiter, which was built by EADS Astrium (today's Airbus Defence & Space) in Friedrichshafen as principal contractor. The landing module, Philae, was designed and built by an international consortium under the lead

DLR prepared three of the ten experiments on the landing unit Philae: The ROLIS camera that will observe the comet's surface before and after the landing, the experiment SESAME for seismic investigations on the comet's nucleus, and the ground probe MUPUS, an instrument to measure the surface temperature, the temperature profile down to a depth of 30 centimetres, and the near-surface strength of the comet.

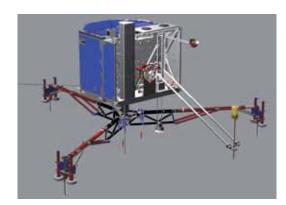
DLR's most important partner in the construction of the lander has been the Max Planck Society, whose Institute of Solar System Research in Göttingen contributed Philae's landing legs, the push-apart mechanism and the COSAC instrument for chemical analyses. The Max Planck Institute for Extraterrestrial Research in Garching has provided the harpoon and a plasma experiment; the Max Planck Institute for Chemistry in Mainz delivered a materials analysis device.

Besides a number of international partners, the German universities in Münster, Mainz and Braunschweig have had a hand in the Philae project. Philae's landing on the comet will be controlled from a Colognebased lander control centre (LCC) at DLR's User Support Centre for Space Experiments. Payload testing and calibration procedures began shortly after the launch of Rosetta. In addition, DLR has been involved in building several instruments on the orbiter, like the VIRTIS spectrometer designed to study the surface composition and temperature of the comet's nucleus. It continues to contribute scientific input regarding the OSIRIS cameras and the ROSINA mass spectrometer.



Das Landemodul Philae wiegt auf der Erde etwa 100 Kilo-gramm und hat ohne Landebeine ein Volumen von knapp einem Kubikmeter.

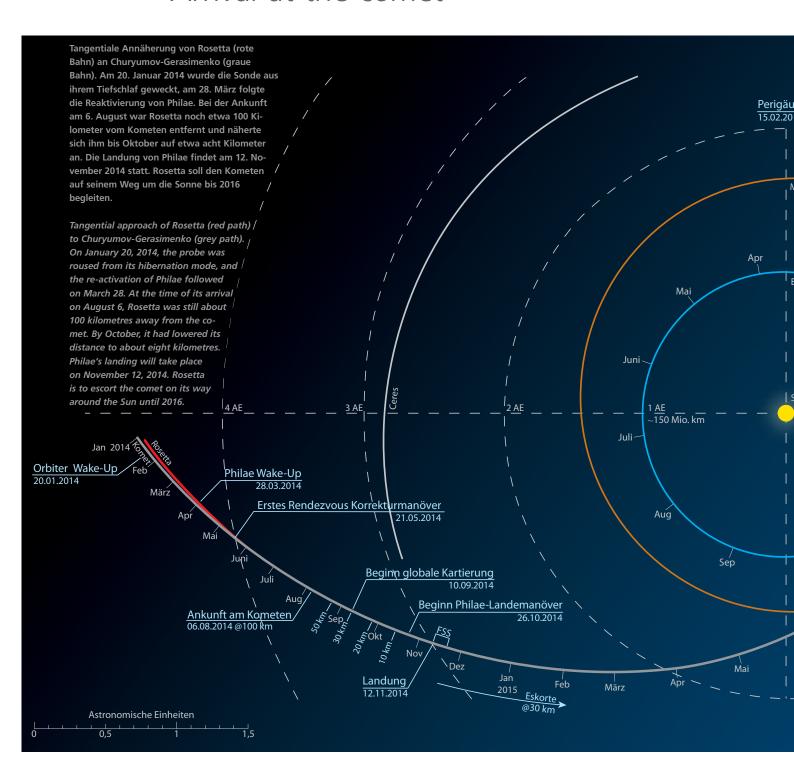
The Philae lander weighs about 100 kilograms on Earth. Without its legs, its volume is slightly less than one cubic metre.

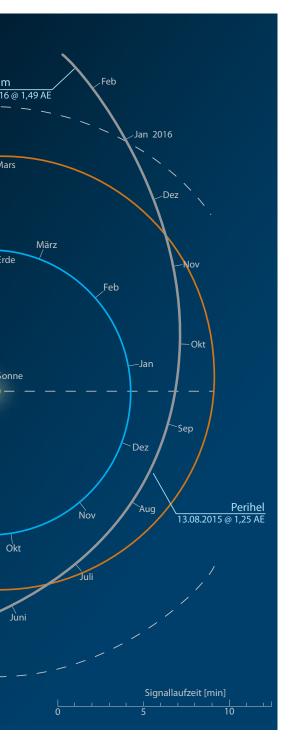


Technische Zeichnung von Philae mit den spinnenartigen Landebeinen und dem messbereiten Experiment MUPUS.

Artist's impression of Philae with its spiderlike landing legs extended and the MUPUS experiment ready to carry out measurements.

## Ankunft am Kometen Arrival at the comet





Vor der Ankunft an 67P musste sich die Sonde im Januar 2014 nach einem zweieinhalbjährigen "Tiefschlaf" autonom reaktivieren: Wegen der großen Sonnenentfernung wurde Rosetta im Juli 2011 abgeschaltet und driftete fortan geplant, aber ohne Steuerung von der Erde bis jenseits der Jupiterbahn durch das All. Dieses Manöver war zuvor einmal getestet worden und gelang auch über diesen langen Zeitraum ohne Probleme. Das erste Signal nach dieser "Tiefschlafphase" traf am Abend des 20. Januar 2014 auf der Erde ein. Rosetta konnte nun wieder ausreichend Strom erzeugen und die Mission kontrolliert fortgesetzt werden. Nach einigen Bahnmanövern näherte sich die Sonde nun dem Kometen.

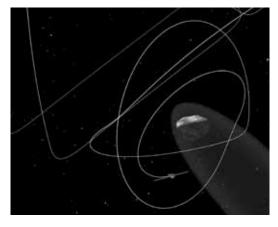
Am Ende einer 6,4 Milliarden Kilometer langen, zehnjährigen Reise durch das innere Sonnensystem erreichte Rosetta am 6. August 2014 ihr Ziel. Ein sechseinhalbminütiges Anschalten der Steuerdüsen markierte die Ankunft. Die ersten Umläufe um 67P waren keine klassischen Umlaufbahnen, sondern glichen einem dreieckigen "Geleitflug" in etwa 100 Kilometern Entfernung zu 67P, mit dem Kometen in der Mitte vor dem Dreieck. Erst Ende August, nachdem Form, Masse und Anziehungskraft von 67P besser charakterisiert waren, wurde die Sonde in einen leicht elliptischen Orbit mit zunehmend geringerem Abstand zur Kometenoberfläche überführt.

Before its arrival at 67P, the probe had to re-activate itself autonomously in January 2014, after two and a half years of hibernation: because of its great distance from the Sun, Rosetta had been shut down in July 2011, drifting from then on through space beyond the orbit of Jupiter on a trajectory that was planned but not controlled from Earth. Although tested only once before, the manoeuvre succeeded without any problems despite the long duration. The first signal after this hibernation phase was received on Earth in the evening of January 20, 2014, indicating that Rosetta was again able to generate sufficient power and the mission could be continued under control. The probe now approached the comet, having executed some flight path manoeuvres.

After a journey through the inner Solar System that lasted ten years and covered 6.4 billion kilometres, Rosetta reached its destination on August 6, 2014. Its arrival was marked by the control thrusters being activated for six and a half minutes. Its first orbits around 67P were not of the classical shape but resembled a triangular 'escort flight' at a distance of about 100 kilometres to 67P, with the comet at the centre in front of the triangle. It was only at the end of August, after the shape, mass, and gravitation of 67P had been characterised better, that the probe was transferred into a slightly elliptical orbit at a steadily declining distance from the surface of the comet.

Schematische Darstellung des Übergangs von einer "pyramidenförmigen" Umlaufbahn in einen nahezu elliptischen Orbit drei Wochen nach der Ankunft an 67P.

Transition from a 'pyramid-shaped' to a nearelliptical orbit three weeks after arriving at 67P.



## Technische Daten und Missionsverlauf Technical data and mission phases

Start Launch Launch  Erster Vorbeiflug an der Erde First Earth gravity assist  Vorbeiflug am Mars Mars gravity assist  November 2007  Zweiter Vorbeiflug an der Erde Second Earth gravity assist  Vorbeiflug am Asteroiden Šteins Asteroid Šteins flyby  Dritter Vorbeiflug an der Erde Third Earth gravity assist  Vorbeiflug am Asteroiden Šteins Asteroid Lutetia flyby  Beginn der Ruhephase Begin hibernation phase  Ende der Ruhephase End hibernation phase  Eintritt in die Umlaufbahn um den Kometen Entering orbit at the comet  Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface  Philae-Landung Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Ende der Mission Ende der Mission Ende der Mission Ende der Mission Dezember 2015 December 2015		
First Earth gravity assist  Vorbeiflug am Mars Mars gravity assist  Zes. February 25, 2007  Zweiter Vorbeiflug an der Erde Second Earth gravity assist  Vorbeiflug am Asteroiden Šteins Asteroid Šteins flyby  Dritter Vorbeiflug an der Erde Third Earth gravity assist  Vorbeiflug am Asteroiden Lutetia Asteroid Lutetia flyby  Beginn der Ruhephase Begin hibernation phase  Ende der Ruhephase End hibernation phase  Ende der Ruhephase End hibernation phase  Entritt in die Umlaufbahn um den Kometen Entering orbit at the comet  Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface  Philae-Landung Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Ende der Mission  Dezember 2017  August 2015  August 2015  August 2015  August 2015  August 2015  August 2015		
Mars gravity assist February 25, 2007  Zweiter Vorbeiflug an der Erde Second Earth gravity assist Vorbeiflug am Asteroiden Šteins Asteroid Šteins flyby Dritter Vorbeiflug an der Erde Third Earth gravity assist Vorbeiflug am Asteroiden Lutetia Asteroid Lutetia flyby November 13, 2009  Vorbeiflug am Asteroiden Lutetia Asteroid Lutetia flyby Beginn der Ruhephase Begin hibernation phase Ende der Ruhephase End hibernation phase End hibernation phase Eintritt in die Umlaufbahn um den Kometen Entering orbit at the comet Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface  Philae-Landung Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Ends Perimer 25, 2007  13. November 2009 November 13, 2009 November 13, 2009  8. Juni 2011 June 8, 2011 June 8, 2011  6. August 2014 August 6, 2014 August -Oktober 2014 November 12, 2014  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun) Dezember 2015		
Second Earth gravity assist  November 13, 2007  Vorbeiflug am Asteroiden Šteins Asteroid Šteins flyby  Dritter Vorbeiflug an der Erde Third Earth gravity assist  November 13, 2009  November 5, 2008  Dritter Vorbeiflug an der Erde Third Earth gravity assist  Vorbeiflug am Asteroiden Lutetia Asteroid Lutetia flyby  Beginn der Ruhephase Begin hibernation phase  Ende der Ruhephase End hibernation phase  Eintritt in die Umlaufbahn um den Kometen Entering orbit at the comet  Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface  Philae-Landung Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Ende Vorbeiflug am Asteroiden Šteins September 5, 2008  13. November 13, 2009  November 13, 2009  10. Juli 2010  July 10, 2010  10. Juli 2010  July 10, 2010  6. August 2014  August 6, 2014  August-Oktober 2014  August-October 2014  November 12, 2014  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Dezember 2015		
Asteroid Šteins flyby  Dritter Vorbeiflug an der Erde Third Earth gravity assist  Vorbeiflug am Asteroiden Lutetia Asteroid Lutetia flyby  Beginn der Ruhephase Begin hibernation phase Ende der Ruhephase End hibernation phase  Eintritt in die Umlaufbahn um den Kometen Entering orbit at the comet  Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface  Philae-Landung Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Dezember 2009  November 13, 2009  November 13, 2009  10. Juli 2010  July 10, 2010  July 10, 2010  July 10, 2010  B. Juni 2011  June 8, 2011  End. August 2014 January 20, 2014  End. August 2014 August-Oktober 2014 August-October 2014 November 12, 2014  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Dezember 2015	3	
Third Earth gravity assist  November 13, 2009  Vorbeiflug am Asteroiden Lutetia Asteroid Lutetia flyby  Beginn der Ruhephase Begin hibernation phase  Ende der Ruhephase End hibernation phase  End hibernation phase  Eintritt in die Umlaufbahn um den Kometen Entering orbit at the comet  Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface  Philae-Landung Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Ende der Mission  10. Juli 2010 July 10, 2010  6. August 2014 August 6, 2014 August 6, 2014 August-October 2014 November 12, 2014  Pagust 2015  Ende der Mission  Dezember 2015		
Asteroid Lutetia flyby  Beginn der Ruhephase Begin hibernation phase Ende der Ruhephase End hibernation phase End hibernation phase End hibernation phase End hibernation phase Eintritt in die Umlaufbahn um den Kometen Entering orbit at the comet Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface  Philae-Landung Philae landing Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun) Ende der Mission  8. Juni 2011 June 8, 2011  6. August 2014 August 6, 2014 August 6, 2014 August-Oktober 2014 November 12, 2014 Perihelion passage (Shortest distance to Sun) Dezember 2015	3	
Begin hibernation phase  Ende der Ruhephase End hibernation phase  End hibernation phase  Eintritt in die Umlaufbahn um den Kometen Entering orbit at the comet  Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface  Philae-Landung Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Ende der Mission  Long 20. Januar 2014 January 20, 2014  August 2014 August 2014 August-Oktober 2014 August-October 2014 November 12, 2014  August 2015 August 2015  Ende der Mission  Dezember 2015		
Eintritt in die Umlaufbahn um den Kometen Entering orbit at the comet  Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface  Philae-Landung Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Einde der Mission  August 2014 August-Oktober 2014 August-October 2014 August-October 2014 November 12, 2014 Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Dezember 2015		
um den Kometen Entering orbit at the comet  Kartierung der Kometenoberfläche Mapping the comet's surface  Philae-Landung Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Ende der Mission  6. August 2014 August - Oktober 2014 August-October 2014 August-October 2014 August 2015 August 2015  Ende der Mission  Dezember 2015		
Mapping the comet's surface  August-October 2014  Philae-Landung Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  August 2015  Ende der Mission  August 2015  Dezember 2015	um den Kometen	
Philae landing  Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  August 2015  Ende der Mission  November 12, 2014  August 2015  August 2015  Dezember 2015		2
(Größte Nähe zur Sonne)  Perihelion passage (Shortest distance to Sun)  Ende der Mission  August 2015  August 2015  Dezember 2015		
Ende der Mission Dezember 2015	(Größte Nähe zur Sonne) Perihelion passage	, and the second
	Ende der Mission	Dezember 2015

Die Rosetta-Sonde ist ein Aluminiumquader von 2,80 mal 2,10 mal 2,00 Metern Größe, in dem 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 waren 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 je 14 Meter langen Solarpanele an den Seitenwänden haben im ausgeklappten Zustand eine Spannweite von 32 Metern. Insgesamt 64 Quadratmeter Solarzellen liefern den für die Sonde notwendigen Energiebedarf, bei einer Sonnenentfernung von drei AE knapp ein Kilowatt. Auch bei Rosettas größter Entfernung zur Sonne im Missionsverlauf war somit gewährleistet, dass die Sonde in einem Sparmodus wenigstens "überwintern" konnte.

Zwei kleine Antennen auf Philae sorgen 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. Mehrere Monate lang wird Philae Experimente durchführen können.

The Rosetta design is an aluminium 'brick' measuring 2.8 m x 2.1 m x 2.0 m holding all subsystems and payload equipment. Incidentally, Rosetta's design also served as a blueprint for two other ESA missions, Mars Express and Venus Express. The Philae lander is attached to the rear side of the spacecraft. 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 measuring 2.2 metres in diameter is mounted on the front side. It serves to transmit science data to Earth. The two solar panels, each 14 metres wide when unfolded, 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 metres of solar cells that provide the energy required by the spacecraft systems at a solar distance of three AUs. Even when at its greatest distance from the Sun, Rosetta was left with enough solar energy to remain functional in 'hibernation' mode.

Two small antennas on Philae ensure communication between landing module and orbiter. Philae has been designed to withstand temperature differences between +50° Celsius and -180° Celsius on the surface of the comet. Philae will be able to conduct experiments for a period of several months.

Beim dritten Vorbeiflug an der Erde fotografierte Rosetta am 13. November 2009 Wolkenbänder über dem Südpazifik. On its third flyby past Planet Earth on November 13, 2009, Rosetta photographed these cloud bands over the South Pacific.



#### Die lange Reise zum Kometenziel Rosetta's long journey

Ursprünglich sollte Rosetta bereits Anfang 2003 starten, als Ziel war damals der Komet 46P/Wirtanen vorgesehen. Wegen der Explosion einer Ariane 5 ECA-Trägerrakete vor dem Rosetta-Start konnte aufgrund der sich anschließenden Fehlersuche der Starttermin aber nicht mehr eingehalten 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.

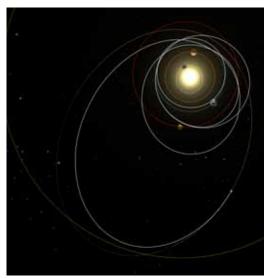
Am 2. März 2004 brachte eine Ariane 5-Rakete vom Typ G+ vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana die Rosetta-Sonde auf ihren Weg. Dieser führt nicht direkt zum Kometen. In komplizierten Manövern nutzt die Sonde die Anziehungskraft von Erde und Mars aus: durch nahe Vorbeiflüge an 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 flog Rosetta am Asteroiden Šteins vorbei. Nachdem die Sonde am 10. Juli 2010 den Asteroiden Lutetia passiert hat, begann ein zweieinhalbjähriger "Tiefschlaf". Am 20. Januar 2014 erwachte das Raumschiff aus seinem Dornröschenschlaf – und das Ziel war nun schon sehr nahe, nur noch neun Millionen Kilometer entfernt.

The original plan was for Rosetta to lift off early in 2003. Its destination at that time was to be comet 46P/Wirtanen. However, due to the explosion of an Ariane-5 ECA launcher prior to the launch of Rosetta and the ensuing extensive fault analysis, the deadline could no longer be met. So the launch window during which Rosetta could have reached Wirtanen closed. This put ESA scientists before the problem of having to choose another comet that could be reached by the launch-ready spacecraft. Finally, they decided to fly Rosetta to the comet 67P/ Churyumov-Gerasimenko. This required an adaptation of Philae's landing gear since the new target was bigger and therefore had a greater mass than Wirtanen.

On March 2, 2004, an Ariane 5 G+ carrier launched from the European space-port of Kourou in French Guiana lifted Rosetta into space and got the mission on its way. The route did not lead directly to the probe's destination. Performing a number of complicated operations, the spacecraft made use of the gravitational pull of Earth and Mars. Passing them several times at a close distance, Rosetta was able to build up the right amount of acceleration to reach its destination at the right time and at the correct speed.

These swing-by manoeuvres were used to test the experiments, permitting Rosetta to transmit spectacular images of Earth and Mars to the ground. On September 5, 2008, Rosetta had a brief encounter with the small asteroid Šteins. After passing a larger asteroid, Lutetia, on July 10, 2010, the mission entered a two-and-a-half-year hibernation phase. On January 20, 2014, the system awoke from its 'deep sleep', with the target now being a mere nine million kilometres away.



Rosettas Flugbahn durch das innere Sonnensystem.

Rosetta's flight path through the inner Solar System.

Am 25. Februar 2007 flog Rosetta in nur etwa tausend Kilometern Höhe über den Mars. Das Kamerasystem CIVA auf Philae hielt den Vorbeiflug im Bild fest.

On February 25, 2007, Rosetta passed Mars at a distance of only about a thousand kilometres. The CIVA camera system on Philae recorded the flyby in a series of images.



#### Der Höhepunkt: Die Landung auf dem Kometen The climax: touchdown on the comet

Als Rosetta ihr Ziel im August 2014 erreichte, war Churyumov-Gerasimenko noch vier Mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde. In der ersten Phase näherte sich Rosetta dem Kern bis auf etwa-100 Kilometer Entfernung. Mit Aufnahmen der Weitwinkelkamera konnte die Rotation des unregelmäßigen Himmelskörpers gemessen werden. Im weiteren Verlauf der Mission flog die Sonde dann bis auf wenige Kilometer an 67P heran, um bis Oktober die ausgewählte Landestelle mit den Bordinstrumenten möglichst gut zu charakterisieren. Noch ist der Komet kaum aktiv, daher ist die Gefahr einer Beschädigung durch ausströmende Gasmoleküle und Staubteilchen gering.

Am 12. November 2014 wird Philae von der Muttersonde sanft weggedrückt. Das Landemodul wird zunächst mit 18 Zentimetern pro Sekunde in Richtung des dann 22,5 Kilometer entfernten Kometen fallen. Während Rosetta weiter um den Kometen kreist, sinkt Philae in einer elliptischen Flugbahn innerhalb von sieben Stunden auf seine Oberfläche herab. Von der ROLIS-Kamera werden dabei die ersten Bilder aufgenommen. Philae wird durch die Anziehungskraft des Kometen leicht beschleunigt und schließlich mit einer Geschwindigkeit von einem Meter pro Sekunde aufsetzen.

Um zu verhindern, dass der Lander beim Aufprall wieder zurück ins All geschleudert wird – schließlich ist die Schwerkraft auf Churyumov-Gerasimenko etwa 50000-mal schwächer als die der Erde – wird eine Düse mit Kaltgas kurz aktiv, die den Lander auf die Oberfläche drückt. Außerdem schießt Philae bei der ersten Berührung der Oberfläche zwei pyrotechnisch beschleunigte Harpunen ab, die sich in den Grund bohren und das Modul am Boden festzurren. Schließlich wird Philae mit drei Eisschrauben in den Landebeinen im Kometenkern verankert.

When Rosetta reached its destination in August 2014, Churyumov-Gerasimenko was still four times as far from the Sun as Earth. During the first phase, Rosetta approached the nucleus to a distance of about 100 kilometres. Images taken by its wide-angle camera permitted measuring the rotation of the irregularly shaped body. As the mission went on, the probe closed in on 67P to a distance of a few kilometres, from which its was able to characterise the selected landing site as accurately as possible with its onboard instruments. The comet, at this stage, is still hardly active, which means that the risk of damage by gas molecules and ejected dust particles is low.

On November 12, 2014, Philae will at last be gently pushed away from its orbiter so that the lander falls in the direction of the comet, then 22.5 kilometres distant, at a velocity of 18 centimetres per second. While Rosetta continues to orbit the comet's nucleus, Philae will descend to its surface within seven hours, following an elliptical flight path. In the process, Philae will use the ROLIS camera to take its first photographs. Slightly accelerated by the comet's gravity, Philae will make its final touchdown at a speed of one metre per second.

To keep the lander from bouncing back into space on impact – after all, the gravity of Churyumov-Gerasimenko is about fifty thousand times weaker than that of Earth – a cold-gas jet will be activated briefly to press the lander to the surface. On its first contact with the surface, moreover, Philae will fire two pyrotechnically accelerated harpoons which will bore into the ground and lash the module down. Lastly, Philae will anchor itself to the cometary nucleus with the aid of three ice screws in its landing legs.

Mit der Geschwindigkeit eines zu Boden fallenden Blattes Papier wird Philae am 12. November 2014 sanft auf 67P aufsetzen. On November 12, 2014, Philae will gently touch down on 67P at the speed of a sheet of paper dropped on the floor.

#### Auswahl der Landestelle Choosing a landing site

Nach der Ankunft an Churyumov-Gerasimenko wurden alle Experimente des Orbiters in Betrieb genommen. Einen Schwerpunkt bildete die globale Kartierung des Kometen in hoher Auflösung. DLR-Wissenschaftler berechneten aus Stereobilddaten der OSIRIS-Kamera digitale Modelle der Oberfläche und leiteten daraus die Form des Kometenkörpers ab: Da die Rotationsachse von 67P einen Winkel von etwa 52 Grad zur Umlaufbahn des Kometen bildet, lag 2014 noch etwa ein Drittel des Kometen jahreszeitlich bedingt im Dunkeln.

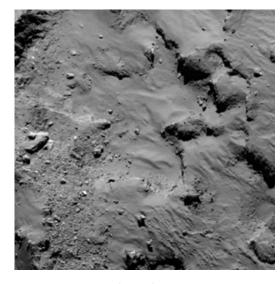
Das Oberflächenmodell bildete eine wichtige Grundlage für die Auswahl der Philae-Landestelle. Dabei spielten neben wissenschaftlichen Aspekten vor allem Sicherheitskriterien eine Rolle: Die Landestelle sollte bei guter Beleuchtung die Erzeugung von genügend Strom garantieren, gleichzeitig aber auch eine optimale Kommunikation mit dem Orbiter ermöglichen. Da Philae ohne aktive Steuerung auf dem Kometen aufsetzen wird, befindet sich der angepeilte Landepunkt in einer Ellipse von etwa einem Kilometer Längsdurchmesser – deshalb sollte auch die Umgebung möglichst wenige Steilhänge und Hindernisse aufweisen.

Zunächst wählte das Landerteam fünf mögliche Landestellen aus. In einem zweiten Durchgang fiel die Entscheidung zugunsten der Landestelle "J" auf dem kleineren "Kopf" des Kometen als primäre und einer Ersatzlandestelle "C" auf dem größeren Kometenkörper. Die Forscher erhoffen sich von "J" neben der geologischen Charakterisierung der Oberfläche auch Beobachtungen zunehmender Kometenaktivität in unmittelbarer Nähe. Am 14. Oktober 2014 wurde beschlossen, alle Vorbereitungen für eine Landung bei "J" zu treffen, die am 12. November stattfinden wird: Dann befindet sich 67P in einer Entfernung von drei Astronomischen Einheiten zur Sonne.

After the arrival at Churyumov-Gerasimenko, all the scientific experiments on board the orbiter were put into operation. One focus was on generating a high-resolution global map of the comet. Based on stereo image data from the OSIRIS camera, DLR scientists computed digital models of the surface and derived the shape of the comet from them. However, as the spin axis of the 67P is inclined at an angle of about 52 degrees relative to the comet's orbit, about one third of the comet remain in seasonal darkness in 2014.

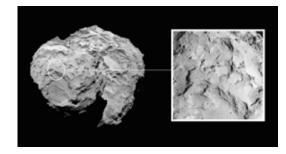
The surface model provided an important basis for selecting the Philae landing site. Next to scientific aspects, safety criteria played a crucial part in the decision: the landing site was to be well lit, guaranteeing that sufficient power could be generated, while at the same time permitting optimum communication with the orbiter. As Philae will touch down on the comet without active control, the landing site envisaged is located within an ellipse of about one kilometre's length diameter, which is why its vicinity, too, should be as free as possible from steep slopes and obstacles.

First, the lander team chose five potential landing sites. In the second step, the decision was made to opt for the 'J' site on the smaller 'head' of the comet as a primary landing site and an alternative site 'C' on the larger lobe. Researchers hope that at 'J' they will be able not only to characterise the surface geologically but also to observe the increasing activity of the comet from close by. On October 14, 2014, it was decided to make all preparations for landing at 'J' on November 12, when 67P will be at a distance of three astronomical units from the Sun.

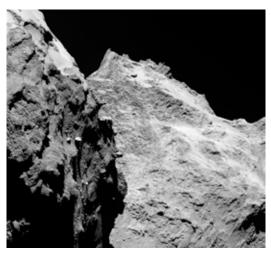


Die Philae-Landestelle, fotografiert von der Kamera OSIRIS aus 30 Kilometern Entfernung, befindet sich etwa in der Bildmitte des einen Quadratkilometer großen Bildausschnitts. Image of Philae's landing site, shot by the OSIRIS camera from a distance of 30 kilometres. The site is located near the centre of the of the frame, which represents about one square kilometre.

Die Landestelle "J" befindet sich auf dem "Kopf" von Churyumov-Gerasimenko. Landing site 'J' is located on the 'head' of Churyumov-Gerasimenko.

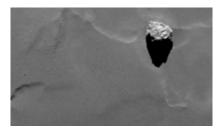


#### 67P – Eine neue Welt 67P – A new world



Spektakulärer Schrägblick über den "Körper" und Teile des "Halses" von 67P in Richtung des "Kopfes".

A spectacular oblique view across the 'body' and parts of the 'neck' of 67P, looking in the direction of the 'head'.



Ein 45 Meter großer Block in einer Ebene wurde auf den Namen "Cheops" getauft (oben). Das erste Bild von 67P vom 6. August 2014, dem Tag der Ankunft von Rosetta (unten). A 45-metre large boulder in one of the plains was named "Cheops" (above). The first image of 67P, taken on August 6, 2014, the day of Rosetta's arrival (below).



Die ersten beiden Monate mit Messungen und Beobachtungen von Churyumov-Gerasimenko aus der Umlaufbahn lieferten bereits eine Fülle an wichtigen Erkenntnissen. Der Komet ist ziemlich dunkel und reflektiert im Durchschnitt nur fünf Prozent, stellenweise sogar nur drei Prozent des einfallenden Sonnenlichts. Das bedeutet, 67P hat etwa die "Farbe" von Holzkohle, lediglich die hohe Dynamik des OSIRIS-Kamerasystems gestattet es, seine Oberfläche kontrastreich in allen Details darzustellen.

Eine wichtige Beobachtung war, dass 67P um eine relativ stabile Drehachse rotiert, also nicht um drei Achsen, was bei einem unregelmäßig geformten Körper nicht außergewöhnlich wäre. Das erleichtert die Planung des Absetzmanövers für die Landesonde Philae erheblich. Der Komet dreht sich in 12.4 Stunden einmal um seine Achse, 20 Minuten schneller als von Teleskopbeobachtungen bei seiner letzten Sonnenannäherung zuvor bekannt war; die Ursache hierfür ist noch unklar, könnte aber mit der kometaren Aktivität zusammenhängen. Die Achse ist um 52 Grad gegenüber der Umlaufbahn um die Sonne geneigt, was ausgeprägte Jahreszeiten zur Folge hat. Die gesamte Kometenoberfläche wird deshalb erst im Laufe des Jahres 2015 von der Kamera erfasst sein. Die Oberflächentemperatur in 500 bis 600 Millionen Kilometern Entfernung zur Sonne beträgt etwa -50 Grad Celsius und ist damit höher als erwartet.

Die Masse des Kometen konnte auf etwa zehn Billionen Kilogramm bestimmt werden, das ist nur etwa ein Billionstel der Erdmasse – entsprechend klein ist auch die Anziehungskraft. Aus der Masse und dem geschätzten Volumen des Kometen konnte die Dichte von 67P auf knapp 0,5 Gramm pro Kubikzentimeter bestimmt werden, das ist nur die Hälfte der Dichte von Wasser. Da man annimmt, dass Churyumov-Gerasimenko zu wesentlichen Anteilen aus Wassereis und Staub besteht, könnte der Kometenkörper sehr porös sein.

Even the first two months of surveying and observing Churyumov-Gerasimenko from orbit yielded a wealth of important discoveries. The comet is rather dark, reflecting only 5 per cent of the incident sunlight on average and no more than 3 per cent in certain places. This means that 67P is about the 'colour' of charcoal, and it is only the powerful dynamic range of the OSIRIS camera system that permits showing all details of its surface in high contrast

One important observation was that 67P rotates around one relatively stable spin axis, not three, as irregularly shaped bodies not infrequently do. This considerably simplifies planning the manoeuvre of releasing the Philae lander. The comet takes 12.4 hours to rotate around its axis, 20 minutes less than was known from telescope observations made during its last solar approach. The reason for this is not yet clear but could be connected with cometary activity. The comet's axis is inclined 52 degrees relative to its orbit around the Sun, which is why it experiences pronounced seasons. For this reason, it will only be possible to photograph the entire surface of the comet in the course of 2015. At a distance to the Sun of 500 to 600 million kilometres, the surface temperature is about -50°C, which is higher than expected.

The mass of the comet was determined at about ten trillion kilograms, only about one trillionth of the mass of Earth, which makes for a correspondingly low gravitation. Based on the mass and the estimated volume of the comet, the density of 67P was fixed at a little less than 0.5 grams per cubic centimetre, which is only half the density of water. As it is assumed that Churyumov-Gerasimenko largely consists of water ice and dust, the body of the comet might be very porous.

Die Bilder von 67P zeigen eine bizarr strukturierte Oberfläche. Am auffälligsten ist der binäre Charakter des Kometenkörpers mit dem ausgeprägten, etwa einen Kilometer tief eingekerbten "Hals", der die beiden Kometenhälften teilt. In den ersten beiden Monaten der Beobachtungen gingen von diesem "Hals" mehrere Partikelströme aus, was die Vermutung nährt, dass dort die Aktivität des Kometen höher ist als an anderen Stellen oder auf dem Weg zur Sonne hier früher einsetzt. Welche physikalischen Prozesse die "Jets" auslösen, ist noch unklar.

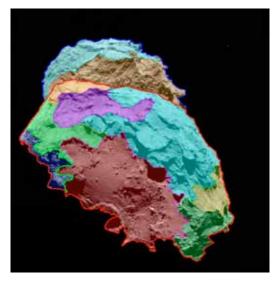
Auch wird noch diskutiert, wie sich dieser "Kontakt-Binärkörper" entwickelt hat: durch zwei Körper, die sich durch ein Zusammenstoßen mit geringer Geschwindigkeit aneinander geheftet haben oder durch erhöhte lokale Materialabtragung infolge ungleicher Verteilung der kometaren Aktivität über die Oberfläche.

Die auffälligsten Oberflächenmerkmale sind die terrassenförmigen, rundlichen bis ovalen und bis zu 100 Meter tiefen Senken mit relativ ebenen Oberflächen, auf denen sich aber stellenweise Hunderte von kantigen Blöcken entdecken lassen. Deren Größe reicht von wenigen Metern bis zu der von kleinen Häusern. Ihre Konsistenz und chemisch-mineralogische Zusammensetzung sind noch unbekannt. Einschlagskrater konnten bisher nicht eindeutig identifiziert werden. Dies wurde so auch erwartet und deutet darauf hin, dass die heute sichtbare Oberfläche im Wesentlichen das Ergebnis des Materialverlusts während der letzten Sonnenumläufe von 67P ist.

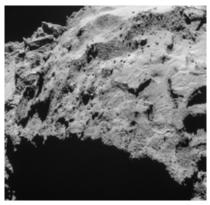
Pictures of 67P show a bizarre surface structure. Its most notable feature is the binary character of the comet's body with its marked 'neck' which is about one kilometre deep and separates the two halves of the comet. During the first two months of observation, several particle flows emanated from this 'neck', giving rise to the assumption that the comet's activity is higher there or begins earlier on the way to the Sun than elsewhere. It is as yet unknown which physical processes trigger these 'jets'.

Similarly, it is still being debated how this 'contact-binary body' evolved: either by two bodies having joined together following a low-velocity impact, or by increased local material loss due to an irregular distribution of cometary surface activity.

The most conspicuous surface features are bench-like depressions, round to oval in shape and up to 100 metres deep, on whose relatively plane surface hundreds of sharp-edged boulders can be discovered in places, ranging in size from a few metres to that of a small house. Their consistency and their chemical-mineralogical composition are as yet unknown. Impact craters have not been unequivocally identified so far. However, this was expected, and it indicates that the surface that is visible today essentially is the result of material losses during the last orbits of 67P around the Sun.



Eine erste grobe Charakterisierung unterschiedlicher Landschaften auf 67P. A first rough characterisation of various landscapes on 67P.



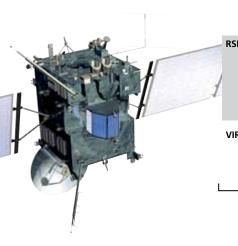
Details des "Kopfes" in der Nähe der Philae Landestelle auf Churyumov-Gerasimenko aus einer Entfernung von 18 Kilometern. Details of the 'head' close to the Philae landing site on Churyumov-Gerasimenko, seen from a distance of 18 kilometres.

#### Die Experimente des Rosetta-Orbiters Experiments on the Rosetta orbiter



Die großen, ieweils 14 Meter langen Sonnensegel ermöglichen Rosetta die Stromversorgung auch in großer Entfernung zur Sonne. The large solar panels, each measuring 14 metres in length, enable Rosetta to produce enough power even at a long distance from the Sun.

Auf dem Rosetta-Orbiter befinden sich elf wissenschaftliche Experimente, mit der Landesonde Philae (Vordergrund) werden zehn weitere Experimente durchgeführt. Eleven scentific experiments are conducted from the Rosetta orbiter, and ten further experiments have been installed on the Philae lander (foreground).



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 gas molecules in the coma, noble gases and ions in the comet's tail.

(Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission) wird im Zusammenspiel mit dem gleichnamigen Experiment auf dem Lander ein dreidimensionales Profil des Kerns erstellen.

(Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission) interacts with an experiment of the same name on the lander to generate a three-dimensional profile

COSIMA

(Cometary Secondary Ion Mass Analyser) sammelt und analysiert Staubkörner. (Cometary Secondary Ion Mass Analyser) collects and analyses dust particles

GIADA

(Grain Impact Analyser and Dust Accumulator) bestimmt Anzahl, Größe und Geschwindigkeit der Staubkörnchen in der Koma. (Grain Impact Analyser and Dust Accumulator) will measure frequency, size and

momentum of dust particles in the coma.

MIDAS

(Micro-Imaging Dust Analysis System) dient der Analyse der Mikrostruktur der Staubteilchen

(Micro-Imaging Dust Analysis System) is intended for the microtextural analysis of

cometary dust particles.

MIRO

(Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter) bestimmt die Produktionsrate von Gasmolekülen sowie die Temperatur nahe der Oberfläche des Kometenkerns. (Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter) will measure the production rate of gas molecules and the near-surface temperature of the comet.

**OSIRIS** 

(Optical, Spectroscopic, and Infrared Remote Imaging System), eine Tele- und eine Weitwinkelkamera zur Beobachtung des Kerns und seiner Umgebung. (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.

**ROSINA** 

(Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis) bestimmt das Atomgewicht von Gaskomponenten und ermöglicht die Unterscheidung von Isotopen. (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.

(Rosetta Plasma Consortium), Ionen- und Elektronendetektoren beobachten Wechselwirkungen von Koma und Schweif mit dem Sonnenwind. (Rosetta Plasma Consortium) is a set of ion and electron detectors to observe the plasma environment 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.

(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

VIRTIS

(Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer) misst die Zusammensetzung sowie die Temperatur der Oberfläche und charakterisiert die Gasmoleküle in der Koma. (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer) is an imaging spectrometer to perform spectral mapping, spectroscopy, and thermal distribution of the surface and

#### 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.

(Alpha Particle X-Ray Spectrometer) analyses the distribution of chemical elements on the surface

**CIVA** (Comet Infrared and Visible Analyzer) fotografiert den Landeplatz und untersucht die mit dem Bohrer gewonnenen Bodenproben mit Mikroskopen.

(Comet Infrared and Visible Analyzer) images the landing site and analyses the core samples obtained from a drilling device with a microscope.

CONSERT (Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission) wird im Zusammenspiel mit dem gleichnamigen Experiment auf dem Orbiter ein dreidimensionales

Profil des Kerns erstellen. (Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission) interacts with an experiment of the same name on the lander to generate a three-dimensional profile

COSAC (Cometary Sampling and Composition) bestimmt die chemische Zusammensetzung der gefrorenen Oberfläche bis in 30 Zentimeter Tiefe.

(Cometary Sampling and Composition) analyses the chemical composition of the frozen surface down to 30 centimeter's depth.

MUPUS (Multi-Purpose Sensors for Surface and Sub-Surface Science) misst die Temperatur an und unter der Oberfläche und die thermische Leitfähigkeit des Bodens. (Multi-Purpose Sensors for Surface and Sub-Surface Science) measures the temperature at an below the surface and the thermal conductivity of the ground.

PTOLEMY

untersucht die isotopische Zusammensetzung der Bohrproben mit einen
Massenspektrometer und vorgeschaltetem Gaschromatographen.

analyses the isotopic composition of the drill cores with a mass spectrometer

and a gas chromatograph.

SESAME

**ROLIS** (Rosetta Lander Imaging System) fotografiert während und nach der Landung mit einer Kamera das Gebiet unter dem Lander.

(Rosetta Lander Imaging System) 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.

(Rosetta Lander Magnetometer and Plasma Monitor) 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.

(Sample, Drill and Distribution) drills cores of up to 20 centimeter's length.

(Surface Electrical, Seismic and Acoustic Monitoring Experiments) enthält Sensoren zur Messung von mechanischen und elektrischen Eigenschaften der Kometenoberfläche sowie einen Staubeinschlagmonitor.

(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.

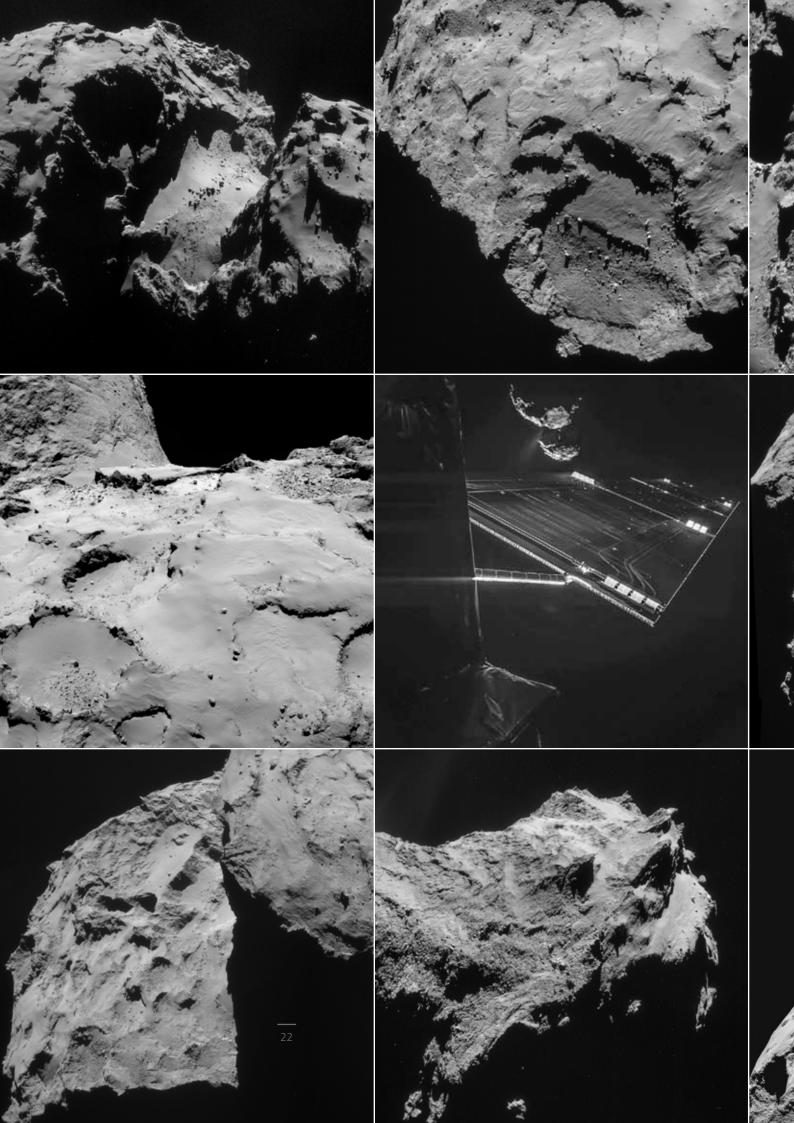


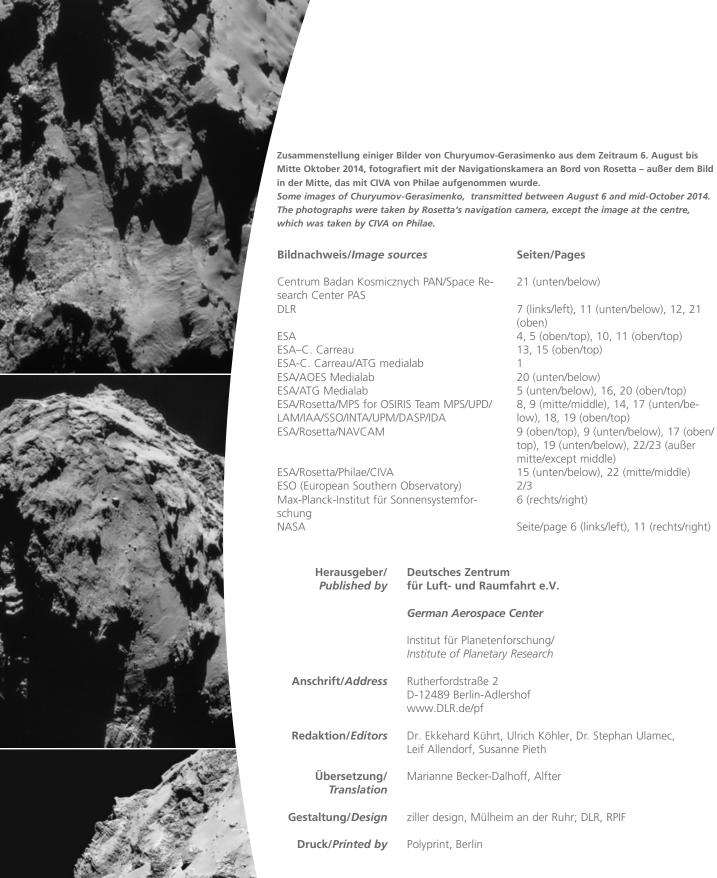
Die Kamera ROLIS ist an der Unterseite von Philae angebracht und fotografiert den Abstieg der Sonde und den Boden darunter. The ROLIS camera, installed at the bottom of Philae, will take photographs of the descent and of the ground underneath the probe.

Das Experiment MUPUS soll physikalische Eigenschaften des Kometenkerns bis in einer Tiefe von 30 Zentimetern messen.

The MUPUS experiment is to measure the physical properties of the cometary nucleus at a depth of 30 centimetres.







Berlin, Oktober 2014/ Berlin, October 2014

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 DLR.

# Institut für Planetenforschung-Mission Rosetta-D/E-10/14

#### 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 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

#### 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 management agency.

DLR has approximately 8000 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.



Institut für Planetenforschung Institute of Planetary Research Rutherfordstraße 2 D-12489 Berlin-Adlershof

www.DLR.de