

Missions-Broschüre Rosetta
Rosetta Mission Brochure

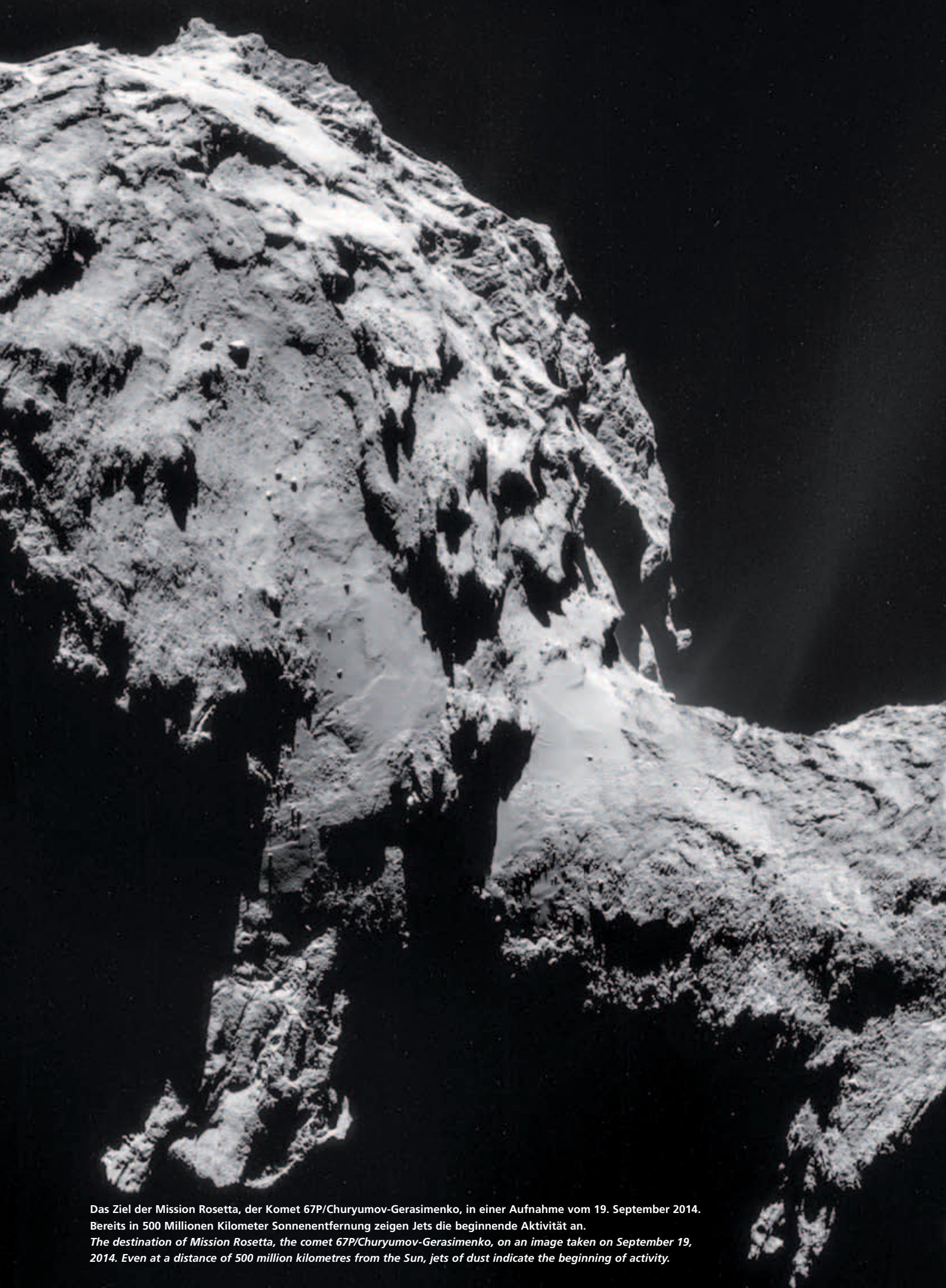
Mission Rosetta

Reise zu einem Kometen

Mission Rosetta

Journey to a Comet





Das Ziel der Mission Rosetta, der Komet 67P/Churyumov-Gerasimenko, in einer Aufnahme vom 19. September 2014. Bereits in 500 Millionen Kilometer Sonnenentfernung zeigen Jets die beginnende Aktivität an.
The destination of Mission Rosetta, the comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, on an image taken on September 19, 2014. Even at a distance of 500 million kilometres from the Sun, jets of dust indicate the beginning of activity.



Inhalt

Contents

Die erste Landung auf einem Kometen <i>Mankind's first landing on a comet</i>	4
Die Welt der Kometen <i>The world of comets</i>	6
Das Ziel: Komet Churyumov-Gerasimenko <i>Destination: comet Churyumov-Gerasimenko</i>	8
Ehrgeizige wissenschaftliche Ziele <i>Ambitious research goals</i>	10
Das DLR ist maßgeblich beteiligt <i>DLR is one of the major contributors</i>	11
Technische Daten und Missionsverlauf <i>Technical data and mission phases</i>	12
Die lange Reise zum Kometenziel <i>Rosetta's long journey</i>	13
Ankunft am Kometen <i>Arrival at the comet</i>	14
67P – Eine neue Welt <i>67P – A new world</i>	16
Die Auswahl der Landestelle <i>Choosing a landing site</i>	18
Vorbereitungen zur Landung <i>Preparations for the Landing</i>	19
12. November 2014: Der Tag der Landung <i>November 12, 2014: The landing day</i>	20
Auf der Oberfläche des Kometen <i>On the comet's surface</i>	22
Die Experimente des Rosetta-Orbiters <i>Experiments on the Rosetta orbiter</i>	24
Die Experimente des Philae-Landemoduls <i>Experiments on the Philae lander</i>	25

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. Nach mehr als zehn Jahren hat die im März 2004 gestartete Sonde 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 wurde das Landegerät Philae vom Mutterschiff abgetrennt und landete sieben Stunden später auf dem Kometen.

Weil sich Philae im Moment der Landung nicht auf dem Kometenkern wie vorgesehen verankern konnte, hob das Modul wieder ab und kam an einem anderen Ort auf 67P zum Stillstand. Zweieinhalb Tage nach der Landung und der Lieferung einer Vielzahl von wissenschaftlichen Daten der zehn Instrumente brach der Kontakt zu Philae mangels Energie ab. Das Landemodul steht an einer kaum von der Sonne beschienenen Stelle. Möglicherweise kann Philae reaktiviert werden. Orbiter und Landemodul begleiten den Schweifstern nun auf seinem Weg zum sonnennächsten Punkt, der am 13. August 2015 erreicht wird.

Die Messgeräte von Rosetta beobachten, wie der zunächst kalte und inaktive Brocken aus Staub und Eis „erwacht“, wenn Churyumov-Gerasimenko durch die Sonnenwärme immer aktiver wird.

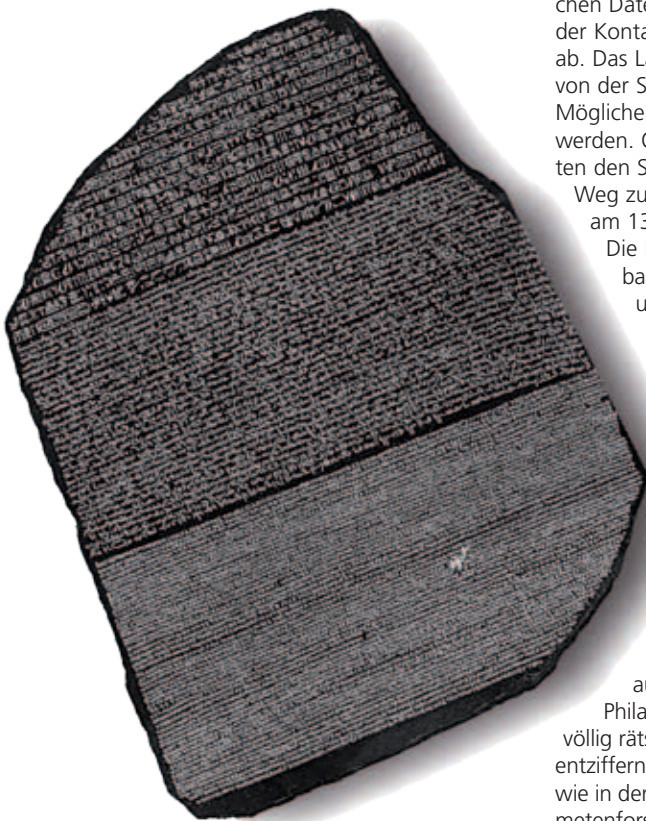
Den Namen erhielt die ESA-Mission von der ägyptischen Stadt Rashid (Rosetta), in der Archäologen 1799 einen dreisprachig beschrifteten Stein fanden, der es zusammen mit den Inschriften eines Obelisken aus dem Tempel auf der Nilinsel Philae ermöglichte, die bis dahin völlig rätselhafte Hieroglyphenschrift zu entziffern. Ähnlich erhellende Einsichten wie in der Archäologie erwarten die Kometenforscher von der ersten gründlichen

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 November 12, 2014 the Philae landing device was released from the orbiter and touched down on the comet seven hours later.

Since Philae failed to attach itself to the comet's nucleus as intended, the module lifted off again and eventually came to rest at another location on 67P. Two and a half days after the landing and delivering a considerable amount of scientific data acquired by the ten instruments, Philae ran out of power, which caused its radio link to fall silent. The probe is trapped in a spot with barely any sunlight. There might, however, be a possibility to reactivate Philae. Currently, the orbiter and the landing module are escorting the tailed star on its journey to its perihelion, which will be reached on August 13, 2015. The instruments monitor how the cold and inactive chunk of dust and ice '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. 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.

Erforschung eines Kometen durch die Raumsonden Rosetta und Philae.

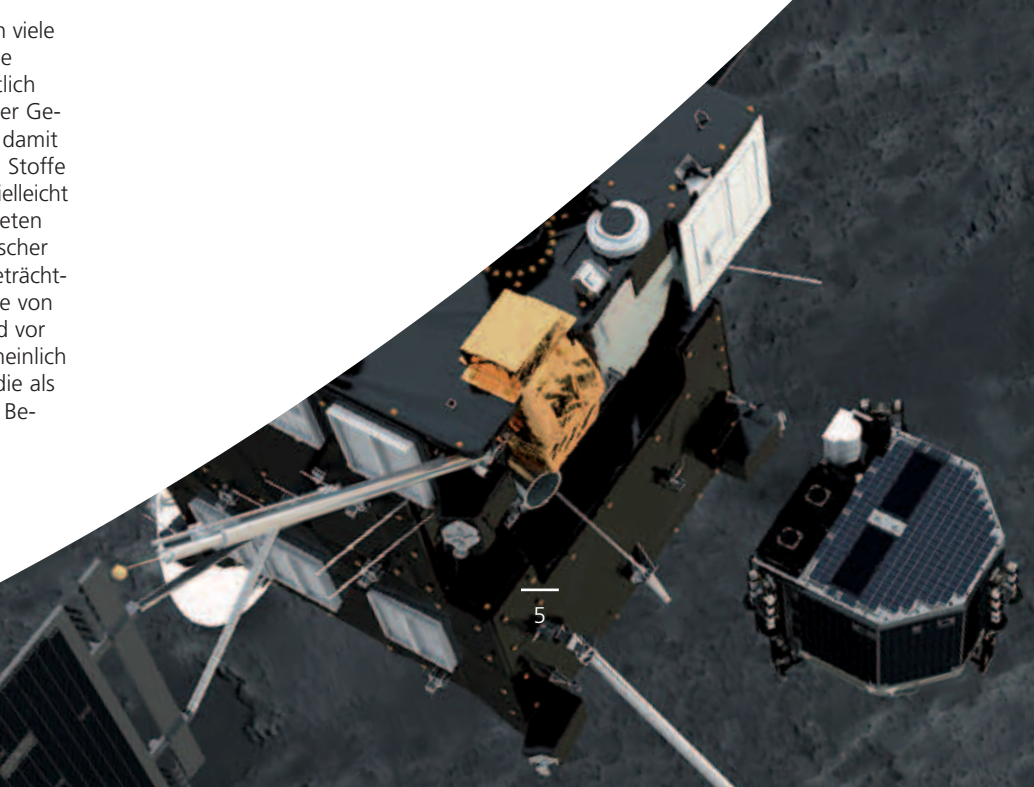
Aus einer Wolke von Staub und Gas bildeten sich vor 4,6 Milliarden Jahren unsere Sonne und die sie umkreisenden Himmelskörper. Bereits wenige Millionen Jahre, nachdem im Zentralgestirn die Kernfusion einsetzte, waren unzählige kleine Körper entstanden. Schon wenig später umkreisten Planeten die Sonne. Ihre Strahlung und Gravitation 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 vielen Milliarden Kilometer von der Sonne entfernten Regionen 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 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 wurde die Landesonde Philae sanft vom Rosetta-Orbiter abgestoßen. Sieben Stunden später erfolgte die Landung auf dem Kometen.
On November 12, 2014, the Philae lander had been gently pushed away from Rosetta. Seven hours later it touched 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 (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 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, Kohlenmonoxid, 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 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.

Der Komet McNaught am 19. Januar 2007 über der chilenischen Stadt Santiago.
Comet McNaught in the night sky above Santiago, Chile, on January 19, 2007.

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, 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.

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 im Jahr 1959 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.

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.

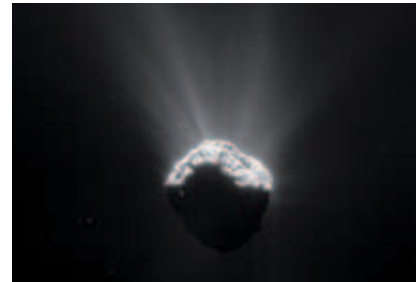
Die beiden Körper des Kometen sind von Terrassen und rundlich-ovalen Senken überzogen, die durch scharfe Grate voneinander getrennt sind. Sie sind möglicherweise das Ergebnis der Aktivität bei früheren Sonnenumläufen. Einige Abhänge sind extrem steil, teilweise sogar überhängend. Teile der Oberfläche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

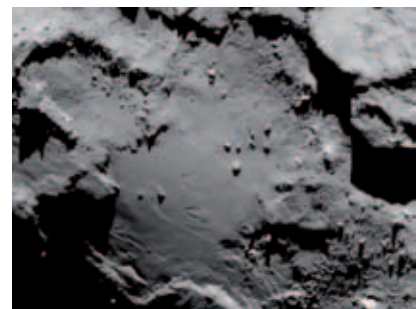
When Rosetta reached the comet on August 6, 2014, there was great astonishment. The high-resolution images showed a very jagged world with very diverse landscape features. What strikes the eye is that the double nucleus is divided by the distinctive 'neck' whose surface, although it appears plane at 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. Parts of the surface seems to be covered in coarse dust. In many other places, boulders are visible. On the other hand, bare, exposed ice appears to be rare.



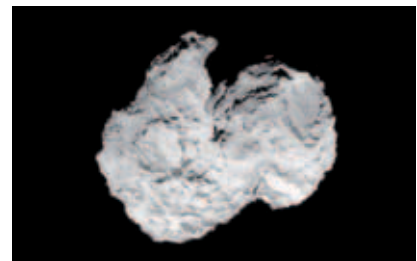
Vom Kometen ausgehende „Jets“, aufgenommen am 15. April 2015.

Jets emanating from the comet, photographed on April 15, 2015.



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

Rosetta wird den Kometenkern mit elf Experimenten untersuchen. Über einen Zeitraum von über einem Jahr sollen Erkenntnisse zur Dynamik von Kometen, ihrem Ursprung, zur Natur der kometaren Aktivität und zur Entwicklung des frühen Sonnensystems gewonnen werden. Dazu dienen Fotos, spektroskopische und massenspektrometrische Untersuchungen sowie Staubanalysen. Ergänzt wird das Ergebnis durch die Experimente, die Philae auf der Kometenoberfläche durchführen konnte.

Die wichtigsten Aufgaben der Mission sind die geologische Charakterisierung des Kometenkerns und seiner Oberfläche, die Bestimmung der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung sowie der Isotopenverhältnisse. Ferner werden die physikalischen Eigenschaften wie Struktur, thermische, elektrische und magnetische Parameter des Kometenkerns untersucht und die Entwicklung der kometaren Aktivität während der Annäherung an die Sonne beobachtet.

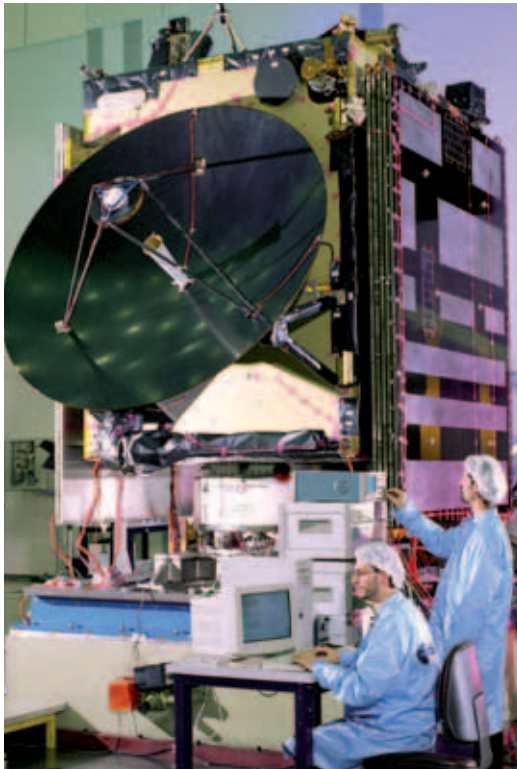
Rosetta flog auf dem Weg zum Kometen 67P an zwei Asteroiden vorbei: Die Begegnung mit dem nur fünf Kilometer großen Asteroiden 2867 Šteins fand am 5. September 2008 in 800 Kilometer Entfernung statt. Am 10. Juli 2010 flog Rosetta an 21 Lutetia vorbei, einem Asteroiden mit 100 Kilometern Durchmesser. Dabei wurden Größe, Gestalt, Dichte und Beschaffenheit beider Körper bestimmt. Bei beiden Vorbeiflügen gelangen hochauflösende Bilder aus verschiedenen Aufnahmewinkeln von Geländeformen. Die Experimente gaben Anhaltspunkte für das Alter und die geologische Geschichte dieser Asteroiden. Spektrale Messungen und die Untersuchung des Reflexionsvermögens lieferten Erkenntnisse über die chemischen Bestandteile der Oberfläche. Von besonderem Interesse war ferner die Suche nach natürlichen Satelliten, also die Frage, ob die Asteroiden von kleinen „Monden“ umkreist werden, und die Suche nach Wasser in Form von Eis. Es wurden jedoch weder Monde noch Spuren von Wasser entdeckt.

Eleven experiments performed by Rosetta's on-board instruments over a period of more than a year are to deliver new input on the comet's nucleus, and answer a whole range of questions concerning cometary dynamics, the origin of comets, and the early history of our Solar System. The research will be based on imagery, spectroscopic and mass-spectroscopic measurements as well as dust analyses. Findings will be complemented by the experiments that Philae was able to perform on the cometary surface.

The main objectives of the mission are to carry out a geological characterisation of the cometary nucleus and its surface topography, obtain data on its chemical and mineralogical composition as well on its isotopic ratios. Further research will focus on its physical properties as structure, thermal, electrical, and magnetic parameters of the nucleus and monitor cometary activity while it approaches the Sun.

On its route to comet 67P, Rosetta came close to two asteroids: Its encounter with asteroid 2867 Šteins, which measures a mere 5 kilometres in diameter, took place on September 5, 2008, at a distance of 800 kilometres. On July 10, 2010, Rosetta passed 21 Lutetia, an asteroid measuring 100 kilometres in size. Rosetta determined the exact dimensions, shape, density and properties of the two 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 was the search for any natural satellites, i.e. whether the asteroids are circled by small moonlets, and for any existing water ice. However, Rosetta detected no moons nor any traces of water.

Der Rosetta-Orbiter kurz vor der Fertigstellung.
The Rosetta orbiter briefly before completion.



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 und akustischen Untersuchung des Kometenkerns und die Bodensonde MUPUS, mit der die Oberflächentemperatur, das Temperaturprofil 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.

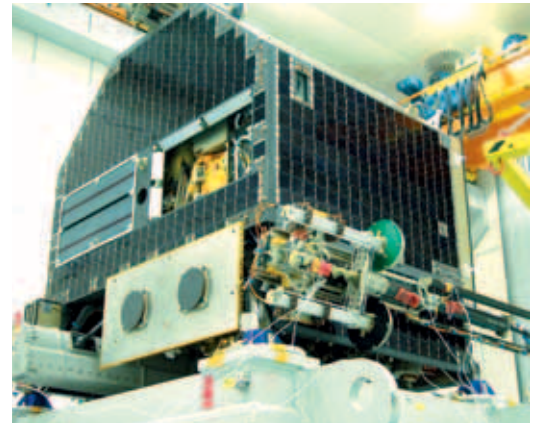
Neben internationalen Partnern waren aus Deutschland außerdem die Universitäten Münster, Mainz und Braunschweig beteiligt. Auch während der Landung auf dem Kometen am 12. November 2014 wurde Philae vom DLR-Nutzerzentrum für Weltraumexperimente aus dem Landerkontrollzentrum (LCC) in Köln kommandiert. Bereits kurz nach dem Start wurden Tests und Kalibrationen der Nutzlast durchgeführt. Außerdem 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 of DLR.

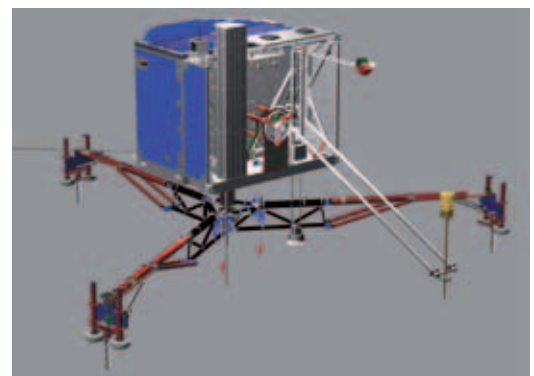
DLR prepared three of the ten experiments on the landing unit Philae: The ROLIS camera that will observe the comet's surface before and after the landing, the experiment SESAME for seismic and acoustic investigations on the comet's nucleus, and the ground probe MUPUS, an instrument to measure the surface temperature, the temperature profile, 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 was controlled from a Cologne-based 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 Kilogramm, aber auf dem Kometen nur wenige Gramm. Es hat ohne Landebeine ein Volumen von knapp einem Kubikmeter. *The Philae lander weighs about 100 kilograms on Earth, but on the comet only a few grams. 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 spider-like landing legs extended and the MUPUS experiment ready to carry out measurements.*

Technische Daten und Missionsverlauf

Technical data and mission phases

Start <i>Launch</i>	2. März 2004 <i>March 2, 2004</i>
Erster Vorbeiflug an der Erde <i>First Earth gravity assist</i>	4. März 2005 <i>March 4, 2005</i>
Vorbeiflug am Mars <i>Mars gravity assist</i>	25. Februar 2007 <i>February 25, 2007</i>
Zweiter Vorbeiflug an der Erde <i>Second Earth gravity assist</i>	13. November 2007 <i>November 13, 2007</i>
Vorbeiflug am Asteroiden Šteins <i>Asteroid Šteins flyby</i>	5. September 2008 <i>September 5, 2008</i>
Dritter Vorbeiflug an der Erde <i>Third Earth gravity assist</i>	13. November 2009 <i>November 13, 2009</i>
Vorbeiflug am Asteroiden Lutetia <i>Asteroid Lutetia flyby</i>	10. Juli 2010 <i>July 10, 2010</i>
Beginn der Ruhephase <i>Begin hibernation phase</i>	8. Juni 2011 <i>June 8, 2011</i>
Ende der Ruhephase <i>End hibernation phase</i>	20. Januar 2014 <i>January 20, 2014</i>
Eintritt in die Umlaufbahn um den Kometen <i>Entering orbit at the comet</i>	6. August 2014 <i>August 6, 2014</i>
Kartierung der Kometenoberfläche <i>Mapping the comet's surface</i>	August-Oktober 2014 <i>August-October 2014</i>
Philae-Landung <i>Philae landing</i>	12. November 2014 <i>November 12, 2014</i>
Periheldurchgang (Größte Nähe zur Sonne) <i>Perihelion passage</i> (Shortest distance to Sun)	August 2015 <i>August 2015</i>
Ende der Mission <i>End of mission</i>	Dezember 2015 Verlängerung bis 2016 möglich <i>December 2015</i> <i>Mission time may be extended until 2016</i>

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 befand sich vor dem Abtrennen 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 Solarpaneele 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 auszuhalten und – genügend Energie vorausgesetzt – mehrere Monate lang Experimente durchführen zu 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. Prior to detachment, the lander Philae had been 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 metres. 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 of nearly one kilowatt. 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 extreme temperature differences between +50 °C and -180 °C. All ten experiments can work for several months, given sufficient energy is available.

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 und der sich anschließenden Fehlersuche konnte 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 zu 67P/Churyumov-Gerasimenko, einem Kometen der Jupiter-Familie. Hiefür musste jedoch das Landegerät angepasst werden, da das neue Ziel größer und massereicher als Wirtanen ist.

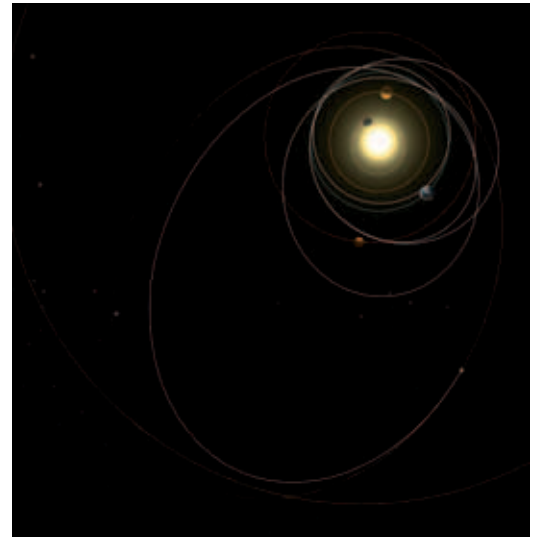
Am 2. März 2004 brachte eine Ariane 5-Rakete vom Typ G+ vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana die Rosetta-Sonde auf ihren Weg. Dieser führt nicht direkt zum Kometen. In komplizierten Manövern nutzt die Sonde die Anziehungskraft von Erde und Mars aus: durch nahe Vorbeiflüge an diesen Planeten holte 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 Winterschlaf – 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 67P/Churyumov-Gerasimenko, a comet of the Jupiter class. 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 spaceport 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 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.

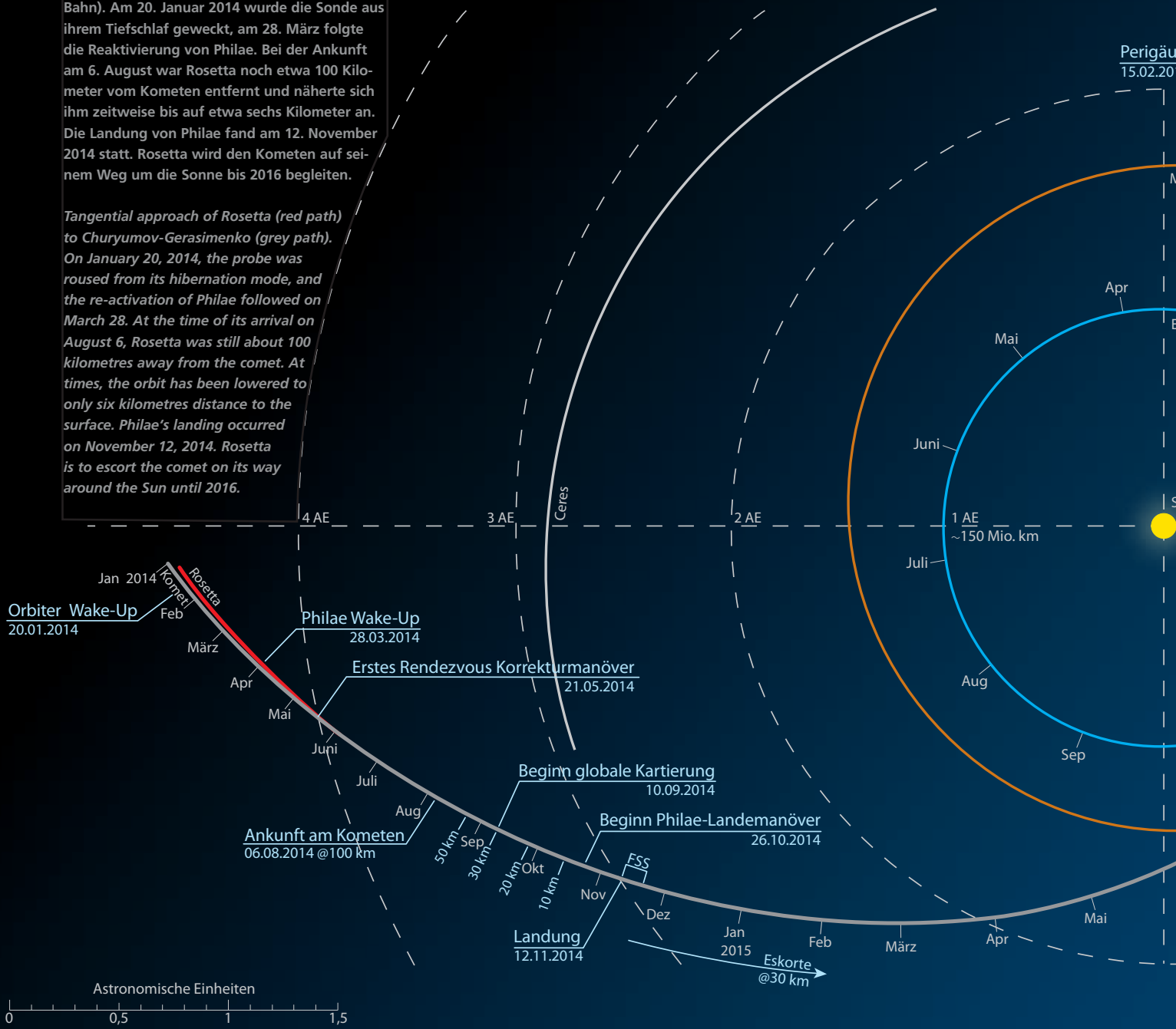


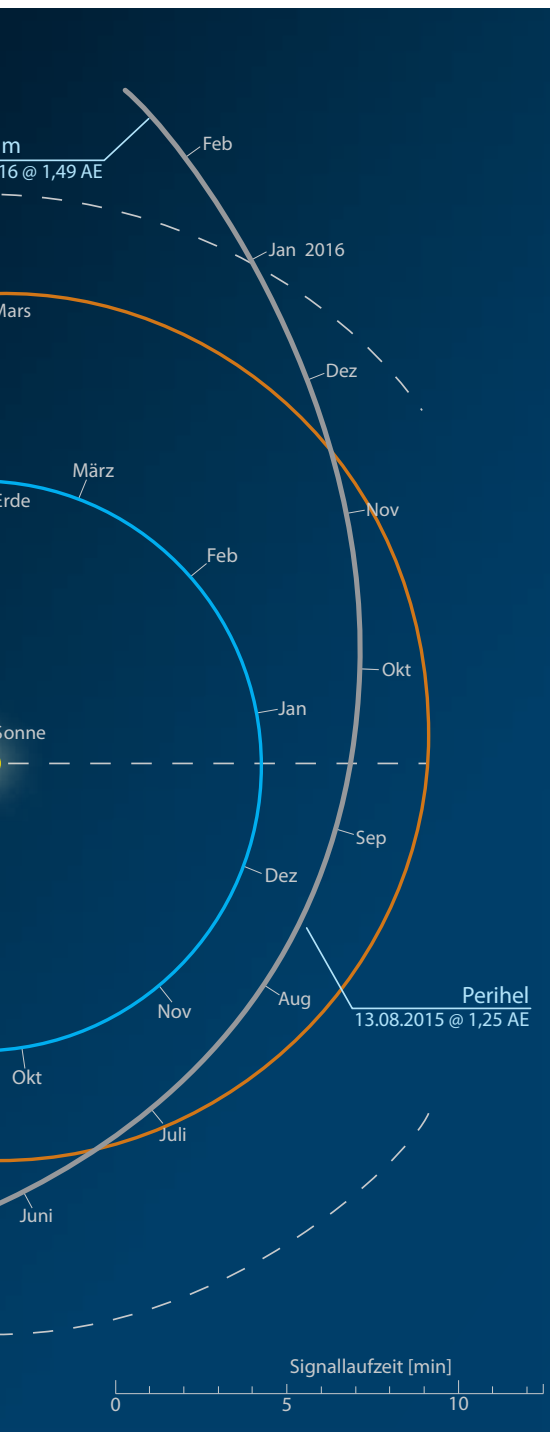
Ankunft am Kometen

Arrival at the comet

Tangentiale Annäherung von Rosetta (rote Bahn) an Churyumov-Gerasimenko (graue Bahn). Am 20. Januar 2014 wurde die Sonde aus ihrem Tiefschlaf geweckt, am 28. März folgte die Reaktivierung von Philae. Bei der Ankunft am 6. August war Rosetta noch etwa 100 Kilometer vom Kometen entfernt und näherte sich ihm zeitweise bis auf etwa sechs Kilometer an. Die Landung von Philae fand am 12. November 2014 statt. Rosetta wird den Kometen auf seinem Weg um die Sonne bis 2016 begleiten.

Tangential approach of Rosetta (red path) to Churyumov-Gerasimenko (grey path). On January 20, 2014, the probe was roused from its hibernation mode, and the re-activation of Philae followed on March 28. At the time of its arrival on August 6, Rosetta was still about 100 kilometres away from the comet. At times, the orbit has been lowered to only six kilometres distance to the surface. Philae's landing occurred on November 12, 2014. Rosetta is to escort the comet on its way around the Sun until 2016.





Vor der Ankunft an 67P musste sich die Sonde im Januar 2014 nach einem zweiinhalbjährigen „Tiefschlaf“ autonom reaktivieren: Wegen der großen Sonnenentfernung wurde Rosetta im Juli 2011 abgeschaltet und driftete fortan geplant, aber ohne Steuerung von der Erde bis zur Jupiterbahn durch das All. Dieses Manöver war zuvor einmal getestet worden und gelang dann 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.

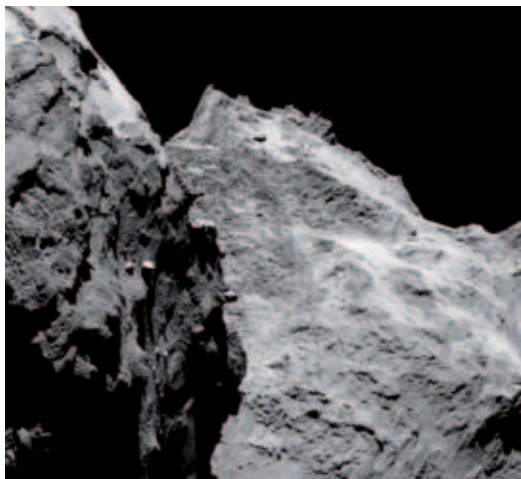
Am Ende einer 6,4 Milliarden Kilometer langen, zehnjährigen Reise durch das Sonnensystem erreichte Rosetta am 6. August 2014 ihr Ziel. Durch ein sechseinhalbminütiges Anschalten der Steuerröten war Rosetta ausreichend abgebremst worden. Die ersten Umläufe um 67P waren keine klassischen Umlaufbahnen, sondern glichen einem dreieckigen „Geleitflug“ in etwa 100 Kilometern Entfernung zu 67P. 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, um die Landung zu ermöglichen und hochauflösende Aufnahmen zu erhalten. Mit dem Vordringen des Kometen in das innere Sonnensystem wurde der Orbit von Rosetta wieder angehoben, um Beschädigungen und Probleme mit der Navigation durch die zunehmende Menge von Kometenstaub zu vermeiden.

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. The control thrusters have been activated for six and a half minutes to slow down Rosetta sufficiently. 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. 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. This supported landing preparations and yielded high-resolution images. As the comet entered the inner Solar System, Rosetta's orbit was raised to avoid damage and navigation problems that could be caused by the increasing amount of cometary dust.

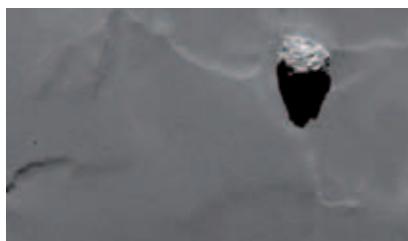
67P – Eine neue Welt

67P – A new world



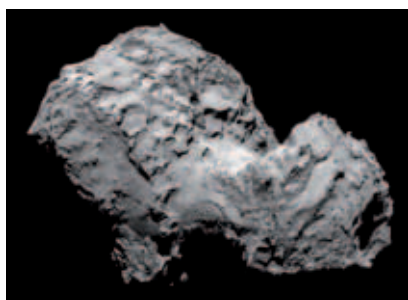
Spektakulärer Schrägblick über den „Körper“ und Teile des „Halses“ von 67P in Richtung des „Kopfes“.

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 Messungen und Beobachtungen von Churyumov-Gerasimenko im ersten halben Jahr aus der Umlaufbahn lieferten bereits eine Fülle an wichtigen Erkenntnissen. Der Komet ist ziemlich dunkel und reflektiert im Durchschnitt nur fünf bis sechs 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. Es wurde kein eigenes Magnetfeld gemessen, was bedeutet, dass bei der Entstehung offenbar keine remanente Magnetisierung stattgefunden hat.

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 erleichterte 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 könnte 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 gegen Ende des Jahres 2015 von der Kamera erfasst sein.

Die Masse des Kometen konnte auf etwa zehn Milliarden Tonnen bestimmt werden, das sind nur etwa zwei Billionstel der Erdmasse – entsprechend klein ist auch die Anziehungskraft. Aus der Masse und einem geschätzten Volumen des Kometen von 21,4 Kubikkilometern 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, dürfte der Kometenkörper bis zu 60 Prozent Hohlräume aufweisen.

Even the first six months of surveying and observing Churyumov-Gerasimenko from orbit yielded a wealth of important discoveries. The comet is rather dark, reflecting only 5 to 6 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. No intrinsic magnetic field has been measured, so no remnant magnetisation occurred during the formation of the comet.

One important observation was that 67P rotates around one relatively stable spin axis, not three, as irregularly shaped bodies not infrequently do. This considerably simplified 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 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 towards the end of 2015.

The mass of the comet was determined at about ten trillion kilograms, only about two trillionth of the mass of Earth, which makes for a correspondingly low gravitation. Based on the mass and the estimated volume of 21.4 cubic kilometres 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 up to 60 per cent.

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

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. Es wird noch diskutiert, wie sich dieser „Kontakt-Binärkörper“ entwickelt hat: Wahrscheinlich entstand er durch den Zusammenstoß zweier Körper mit geringer Geschwindigkeit in der Anfangszeit des Sonnensystems.

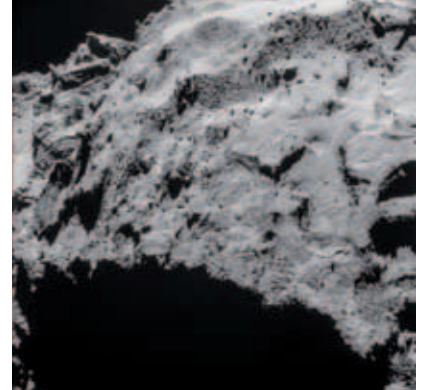
Die auffälligsten Oberflächenmerkmale sind die terrassenförmigen, rundlichen bis ovalen und bis zu 100 Meter tiefen Senken mit relativ ebenen Oberflächen, auf denen sich aber stellenweise Hunderte von kantigen Blöcken befinden. Deren Größe reicht von wenigen Metern bis zu der von kleinen Häusern. Ihre 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.

Die spektroskopischen Untersuchungen mit VIRTIS und ROSINA legen nahe, dass die Oberfläche von 67P vorwiegend aus Staub und organischem, makromolekularem Material besteht. Eis wurde nur in geringen Mengen gefunden, es liegt offenbar tiefer. Ein dreieinhalbmal höheres Verhältnis von Deuterium zu Wasserstoff als im Wasser irdischer Ozeane weist darauf hin, dass dieser und ähnliche Kometen keine Bedeutung für die Herkunft des Wassers auf der Erde haben. Ferner wurden über der Oberfläche neben Molekülen von Wasser, Kohlenmonoxid und -dioxid auch große Mengen von molekularem Stickstoff gemessen, dessen Herkunft noch unklar ist.

one kilometre deep and separates the two halves of the comet. During the first few months of observation, several particle flows emanated from this 'neck'. It is still being debated how this 'contact-binary body' evolved: It seems quite likely that two bodies merged following a low-velocity collision in the early times of the Solar System.

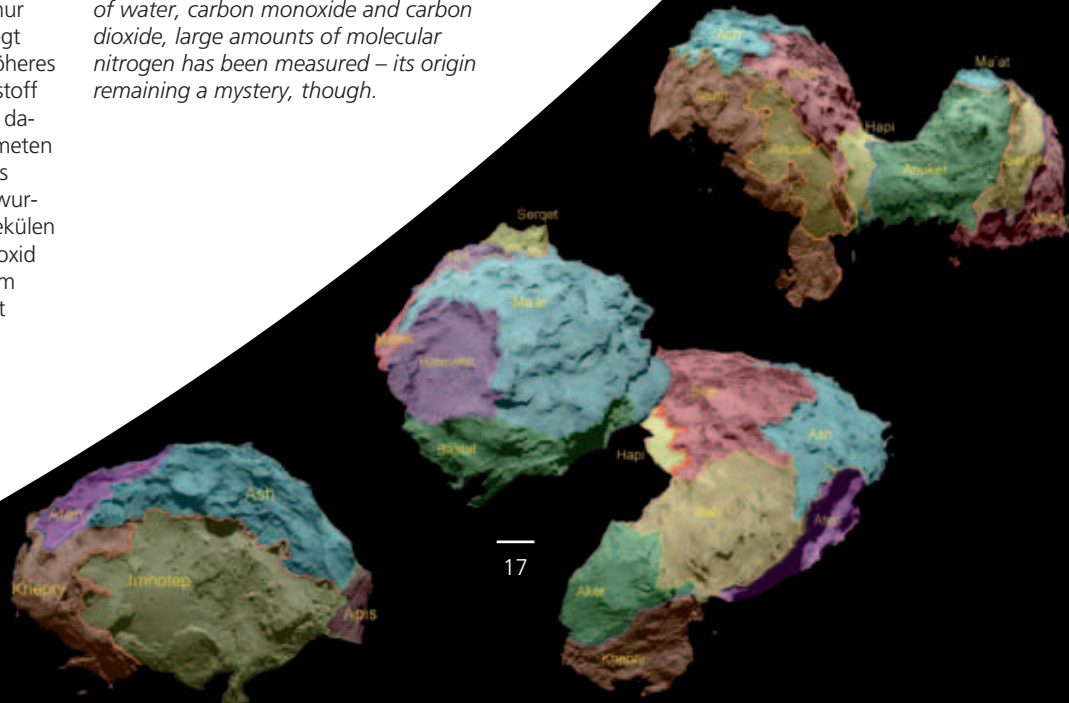
The most conspicuous surface features are bench-like depressions, round to oval in shape and up to 100 metres deep, on whose relatively plane surface hundreds of sharp-edged boulders exist in places, ranging in size from a few metres to that of a small house. Their consistency and their chemical-mineralogical 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.

Spectroscopic investigations with VIRTIS and ROSINA suggest that 67P's surface contains mainly dust and organic, macromolecular substances. No ice has been detected at the surface, suggesting that it might be present deeper beneath the surface. The ratio of deuterium to hydrogen is three and a half times higher than in terrestrial oceans, so these class of comets quite likely did not contribute to the Earth's water supply. Besides molecules of water, carbon monoxide and carbon dioxide, large amounts of molecular nitrogen has been measured – its origin remaining a mystery, though.



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.

Das Rosetta-Wissenschaftsteam teilte die Landschaften auf 67P in 19 unterschiedliche geomorphologische Einheiten ein, die nach ägyptischen Gottheiten benannt wurden. The Rosetta Science Team distinguished 19 different geomorphological units on 67P, the names lent from Egyptian deities.



Die 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 (Polarnacht).

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 musste aber auch eine optimale Kommunikation mit dem Orbiter gewährleistet sein. Da Philae ohne aktive Steuerung auf dem Kometen aufsetzen musste, befand 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 einer Landestelle auf dem kleineren „Kopf“ des Kometen, die den Namen Agilkia erhielt. Die Forscher erhofften sich von einer Landung auf Agilkia 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 Agilkia am 12. November zu treffen: Zu dieser Zeit befand 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, permitting sufficient power to be generated and optimum communication with the orbiter to be maintained. 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 a second step, the team decided to chose a site on the smaller 'head' of the comet, which they dubbed Agilkia. Researchers hoped that landing at Agilkia would enable them 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 Agilkia on November 12, when 67P would be at a distance of three astronomical units from the Sun.

Mit der Geschwindigkeit eines zu Boden fallenden Blattes Papier schwebte Philae am 12. November 2014 zur Oberfläche von 67P. *On November 12, 2014, Philae made its descent to the surface of 67P, floating at the speed of a sheet of paper dropped on the floor.*



Vorbereitung zur Landung

Preparations for the landing

In den Wochen und Monaten zwischen der Ankunft im August und vor der im November 2014 vorgesehenen Landung musste die Mission im wesentlichen drei wichtige Aufgaben erfüllen: Zunächst galt es, die Raumsonde am Kometen 67P – dessen Form und Anziehungskraft nicht bekannt waren – in einen stabilen Orbit zu überführen. Aus dieser anfangs noch geometrisch unregelmäßigen, dann immer stärker einer Kreisbahn angenäherten Umlaufbahn wurde die zweite Aufgabe in Angriff genommen, nämlich eine möglichst umfassende globale Kartierung zur Charakterisierung des Kometen mit dem Kamerasystem OSIRIS. Dies diente gleichzeitig der Auswahl einer Landestelle. Schließlich wurden in diesem Zeitraum mit allen Instrumenten an Bord bereits wissenschaftliche Experimente durchgeführt.

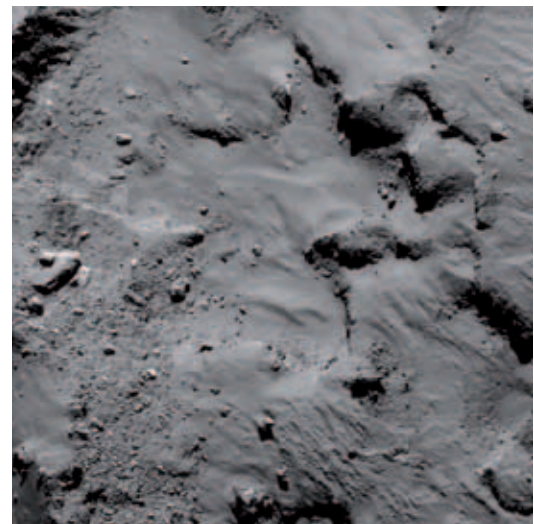
In der ersten Phase näherte sich Rosetta dem Kern bis auf etwa 100 Kilometer Entfernung. Mit Aufnahmen der Weitwinkelkamera konnte die Rotation des unregelmäßigen Himmelskörpers gemessen werden. Im weiteren Verlauf der Mission flog die Sonde dann bis auf wenige Kilometer an 67P heran, um bis Oktober die ausgewählte Landestelle mit den Bordinstrumenten möglichst genau beschreiben zu können. Noch war der Komet kaum aktiv, daher war auch die Gefahr einer Beschädigung durch ausströmende Gasmoleküle und Staubteilchen gering.

Als am 15. Oktober 2014 der Termin für das Landemanöver auf Agilkia bestätigt wurde, stand die Anpassung der Umlaufbahn von Rosetta an vorderster Stelle. Ein alternativer Landeplatz auf dem Rumpf des Kometen wurde ebenfalls ebenfalls bestimmt.

In the weeks and months between Rosetta's arrival at the comet and its intended landing in November 2014, the mission team had three major tasks to fulfil: The first one was to bring the probe into a stable orbit around comet 67P, the shape and gravity of which was still unknown. Once its initially geometrically irregular path had been gradually transformed to a more and more circular one, the second task could be tackled: from its new orbit, the OSIRIS camera system was to produce a full global map of the comet to permit its characterisation as well as for selecting a landing site. Finally, all instruments on board were to begin with their scientific experiments.

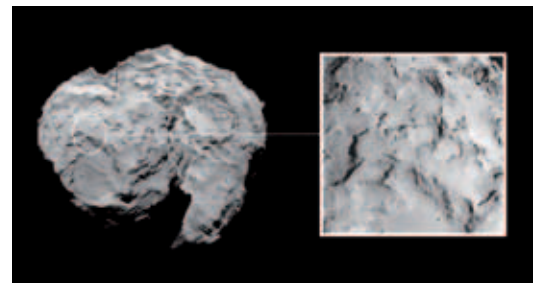
In the first phase, Rosetta approached the nucleus to a distance of about 100 kilometres. Based on images captured by the wide-angle camera, scientists were able to determine the rotation of the unevenly shaped body. As the mission proceeded, the probe moved nearer 67P down to a distance of a few kilometres to enable its on-board instruments to deliver an accurate description of the selected landing spot by October. The comet at that time was still hardly active, so that the risk of ejected gas molecules and dust particles damaging the probe was low.

When on October 15, 2014, the date for the landing manoeuvre at Agilkia was confirmed, the fine-tuning of Rosetta's orbit obtained top priority. At the same time, scientists also confirmed an alternative landing site on the 'body' of the comet.



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 frame, which represents about one square kilometre.

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



12. November 2014: Der Tag der Landung

November 12, 2014: the landing day

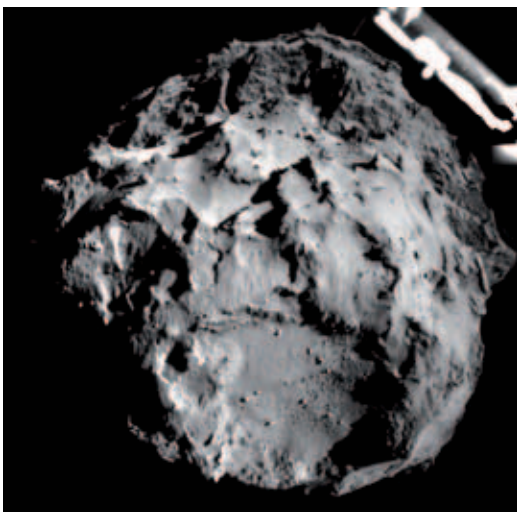


Das Kamerasystem OSIRIS konnte Philaes Abstieg zum Kometen mit mehreren Bildern dokumentieren.

The OSIRIS camera system was able to document Philae's descent to the comet with several images.

Die erste Aufnahme der ROLIS-Kamera auf Philae während des Abstiegs zeigt das Landegebiet links der Bildmitte. Eine Stunde vor dem Bodenkontakt befindet sich Agilkia teilweise noch im Dunkeln.

The first data record of Philae's descent imager, ROLIS, shows the landing site left of the image centre. One hour prior to landing, Agilkia is not yet fully lit by the Sun.



Die Landung wurde unter der Leitung des Philae Landerkontrollzentrums (LCC) im DLR gemeinsam mit der französischen Weltraumagentur CNES durchgeführt. Beide Einrichtungen koordinierten ihre Aktionen dabei mit dem Operationszentrum der Rosetta-Mission der ESA.

Zwei Tage vor dem Abtrennen wurde Philae aktiviert. Es zeigte sich, dass die Kaltgasdüsen zum Andrücken der Sonde auf dem Kometen nicht funktionieren würden. Am Morgen des 12. November 2014 wurde die Landung endgültig beschlossen. Rosetta wurde auf einen Beinahe-Kollisionskurs mit 67P gebracht, um Philae aus 20,5 Kilometer Höhe zielgenau in Richtung der Landestelle abtrennen zu können. Um 9.35 Uhr MEZ wurde Philae vom Orbiter weggedrückt. Bilder der CIVA-Kamera und mehrere OSIRIS-Aufnahmen sowie ein erstes ROLIS-Bild im Anflug auf den Kometen zeigten, dass Philae auf dem berechneten Kurs war. Das Landemodul näherte sich mit einer Fallgeschwindigkeit von knapp einem Meter pro Sekunde dem Kometen.

Nach 6 Stunden, 59 Minuten, 4 Sekunden setzte Philae um 16.34 Uhr an der Landestelle Agilkia auf. Der Bodenkontakt wurde von einem Sensor in einem der Landebeine registriert. Wegen des Ausfalls der Kaltgasdüsen hing ein sicherer Stand vom Verankern zweier Harpunen ab, deren Zündung jedoch aus unbekannter Ursache nicht ausgelöst wurde. Auch die Schrauben in den Füßen des Landers konnten sich nicht in die Oberfläche bohren. Deshalb prallte Philae nach dem ersten Bodenkontakt aufgrund der geringen Schwerkraft wieder ab und stieg bis etwa 150 Meter Höhe auf. Philae schwebte dann in Fußgängergeschwindigkeit zwei weitere Stunden über den Kometen, hatte einen zweiten Kontakt und kam schließlich um 18.31 Uhr zum Stillstand. Der neue Landeort war nicht bekannt, musste sich aber in etwa einem Kilometer Entfernung zu Agilkia befinden.

The landing operation was carried out jointly by DLR's Philae Lander Control Centre (LCC) and the French space agency CNES. Both organisations co-ordinated their activities with the Rosetta Mission Operations Centre of ESA.

Philae was activated two days before it was released from the orbiter. As it turned out, the cold-gas jets that were supposed to press the probe down on the comet would not work. The final decision to land was made in the morning of November 12, 2014. Rosetta was put on a near-collision course with 67P so that Philae could be separated at an altitude of 20.5 kilometres, exactly aiming at the landing site. At 9.35 a.m. CET, Philae was pushed away from the orbiter. Pictures of the CIVA camera as well as several OSIRIS images and a first photo taken by ROLIS during the approach to the comet showed that Philae was on its computed course. The lander was approaching the comet at a rate of nearly one metre per second.

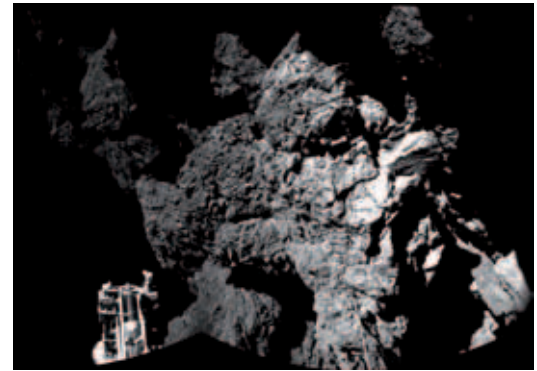
After 6 hours, 59 minutes, and 4 seconds, at 4.34 p.m., Philae touched down at its landing site called Agilkia. Ground contact was registered by a sensor in one of the landing legs. Because the cold-gas jets would not function, the lander's stability depended on its being anchored by two harpoons which, for unknown reasons, failed to fire. Moreover, the screws in Philae's feet were unable to drill into the surface. This and the low gravity caused Philae to bounce after its first ground contact, rising to a height of about 150 metres. It then floated above the comet for two more hours, moving at walking speed, bounced off once again, and eventually came to a standstill at 6.31 p.m. The new landing site was unknown but had to be situated about one kilometre away from Agilkia.

Die ersten Aufnahmen des CIVA-Kamerasystems zeigten, dass kaum Licht auf die Umgebung und den Lander fällt. Das hatte extrem negative Auswirkungen auf die Stromerzeugung durch Solarzellen. Die neue Situation brachte massive Veränderungen für den Ablauf der Experimente mit sich. Geplant war, dass für die erste Wissenschaftssequenz eine Batterie mit einer einmaligen Laufzeit von 60 Stunden verwendet wurde. Wegen des stark abgeschatteten Landeplatzes, der nach einer altägyptischen Totenstadt den Namen Abydos erhielt, war der gleichzeitige Ladevorgang der für den weiteren Missionsverlauf vorgesehenen Akkumulatoren nicht mehr möglich. Deshalb hatte Philae nach den ersten 60 Stunden Experimentbetrieb nicht mehr ausreichend Energie für Experimente und schaltete ab.

Immerhin konnten die meisten Experimente zumindest teilweise durchgeführt werden. Es gelang jedoch nicht, eine Bodenprobe zu untersuchen und die Verteilung von chemischen Elementen nahe der Oberfläche zu bestimmen. Die Messungen ergaben, dass Churyumov-Gerasimenko kein eigenes Magnetfeld besitzt. Ein „Durchleuchten“ des Kometenkerns mit Radiowellen zeigte, dass der Aufbau von 67P relativ homogen ist. Mit den ROMAP- und CONSERT-Daten war es möglich, die endgültige Lage der Landestelle einzugrenzen. Doch konnte Philae von der OSIRIS-Kamera auf Rosetta noch nicht eindeutig entdeckt werden. Die Wissenschaftler haben die Hoffnung, dass Philae durch die Annäherung des Kometen an die Sonne bis Mitte 2015 vielleicht doch noch ausreichend Strom für eine Reaktivierung erzeugen könnte.

The first pictures taken by the CIVA camera system showed that there is hardly any light falling on the lander and its surroundings, a fact that strongly compromised the solar cells that were meant to generate its power. The new situation required massive changes in the sequence of experiments. Originally, it had been planned to use a battery with a life span of no more than 60 hours to power the first science sequence. Because of the deeply shaded landing site, which was given the name of Abydos after an ancient Egyptian city of the dead, it was impossible to recharge the batteries intended to provide power for the remainder of the mission at the same time. So, after the first 60 hours of experimental operation, Philae no longer had sufficient energy for further experiments and switched off.

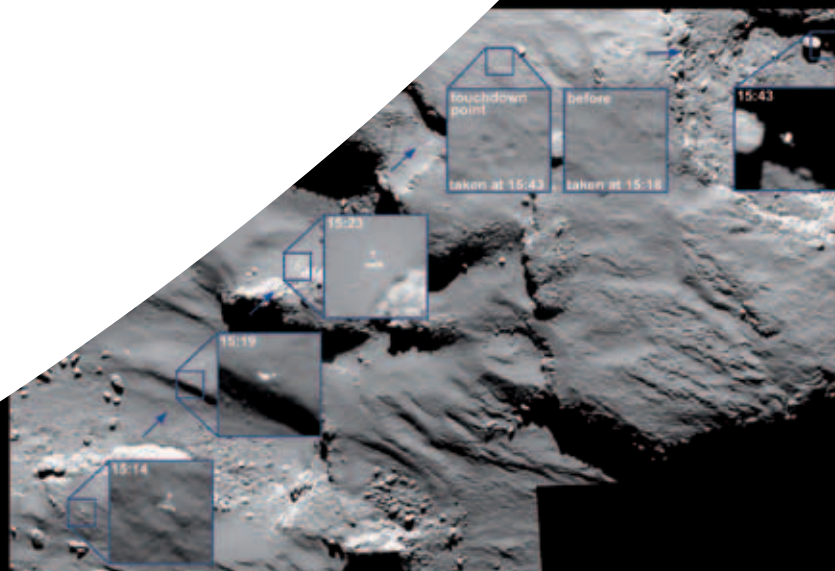
Even so, it was possible to run most experiments, at least in part, although attempts to examine a soil sample failed, and no data were gathered on the distribution of chemical elements at the surface. Measurements showed that Churyumov-Gerasimenko is not surrounded by an intrinsic magnetic field. Scanning the comet's nucleus with radio waves revealed that the internal structure of 67P is relatively homogenous. Using data from ROMAP and CONSERT, scientists were able to circumscribe the final position of the landing site. The OSIRIS camera on Rosetta was unable to unambiguously detect Philae until now. Scientists hope that it might be able to generate sufficient electricity for reactivation during the comet's approach to the Sun by mid-2015.



Nachdem Philae zum Stillstand gekommen war fotografierte das CIVA-Kamerasystem die Umgebung der Landestelle. Links unten eines der drei Landebeine.

After Philae came to a standstill the CIVA camera system imaged the landing-site environment. To the lower left one of the three feet of the landing gear.

Das OSIRIS-Kamerasystem nahm drei Bilder von der Annäherung Philae an den Kometen auf. Von der Landung um 15.34 Uhr GMT (MEZ minus eine Stunde) gibt es kein Bild. Zwei Bilder oben zeigen die Landestelle vor und nach dem ersten Aufsetzen. Rechts oben der schwebende Lander neun Minuten später. The OSIRIS camera system recorded three images of Philae's approach to the comet. From the moment of the landing no image exists; touchdown occurred at 15:34 GMT. The two frames in the upper centre show the landing site before and after the first contact. The frame in the upper right shows the gliding lander nine minutes later.



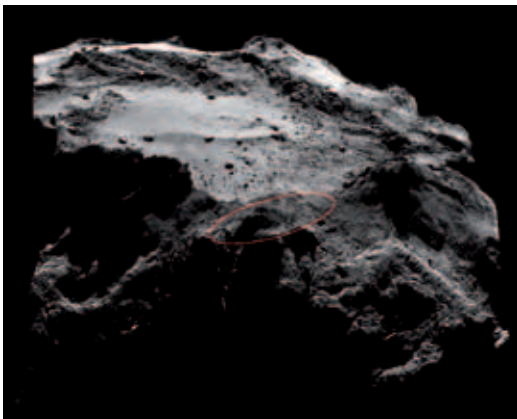
Auf der Oberfläche des Kometen

On the comet's surface



Kurz vor dem ersten Aufsetzen fotografierte die ROLIS-Kamera aus 40 Metern Höhe die Landestelle Agilkia. Der Boden ist von Staub und kleinerem Schutt bedeckt, der größere Block rechts oben misst etwa fünf Meter. *Just before the first touchdown, the ROLIS camera caught this shot of the Agilkia landing spot from an altitude of 40 metres. The ground is covered in dust and small debris. The larger chunk in the top right corner measures about five metres.*

Das Oval zeigt das Gebiet Abydos, in dem Philae nach dem dritten Aufsetzen zum Stillstand gekommen sein muss. Es befindet sich etwa einen Kilometer von Agilkia entfernt auf dem „Kopf“ von Churyumov-Gerasimenko. *The oval marks the Abydos terrain where Philae is thought to have finally settled down after hitting the surface three times. It is about one kilometre from Agilkia on the 'head' of Churyumov-Gerasimenko.*



Drei der zehn Experimente auf Philae werden von Wissenschaftlern des DLR geleitet.

In erwartetem Umfang lieferte die Kamera ROLIS an der Unterseite von Philae bereits während des Abstiegs Bilder, außerdem nach der letzten Landung. Die höchste erzielte Auflösung beträgt weniger als einen Millimeter pro Bildpunkt. Auf allen Aufnahmen ist der Regolith – die oberste, dem All ausgesetzte Schicht – gleichmäßig dunkel. In der Umgebung von Agilkia befinden sich kleinerer Schutt und Blöcke von wenigen Zentimetern bis zu fünf Metern Durchmesser. In höher aufgelösten Bildern scheint das Oberflächenmaterial körnig und kaum aus Staub zu bestehen. Stellenweise fehlt die Regolithschicht, oder ist bis zu zwei Meter tief. Rätselhaft sind Phänomene, die an Windverwehungen erinnern, denn der Komet hat keine herkömmliche Atmosphäre. Möglicherweise wird Material durch die Aktivität der Jets erodiert, über die Oberfläche transportiert und an anderer Stelle wieder abgelagert. Oder das von Jets auf den Kometen zurück fallende Material ist die Ursache für diese Strukturen.

SESAME besteht aus drei Instrumenten, die während des Abstiegs und nach der Landung eingesetzt wurden: dem Akustikexperiment CASSE, dem Experiment DIM zur Messung von Staubteilchen, und dem Experiment PP zur Bestimmung der elektrischen Feldkonstante oder Permittivität. DIM hat nur während des Abstiegs ein millimetergroßes, poröses Teilchen gemessen.

Die CASSE-Sensoren registrierten beim ersten Kontakt in den Sohlen den Aufprall mit allen drei Füßen. Diese Signale haben als Tondokument weltweite Beachtung gefunden. Die Messwerte liefern Informationen über den Zeitpunkt der Landung und die Reihenfolge des Aufsetzens der Füße. Sie ermöglichen, Eigenschaften wie Elastizität und Schichtung der Oberfläche zu ermitteln.

In Abydos erfasste CASSE das Einhämmern des MUPUS-Penetrators und führte eigene aktive Messungen durch. Damit können Schallgeschwindigkeiten und mechanische

Three of ten experiments on Philae are led by DLR scientists.

Within the scope expected, the ROLIS camera on the underside of Philae produced images during the descent as well as after the last landing. The highest resolution obtained amounts to less than one millimetre per pixel. In all pictures, the regolith – the uppermost layer that is exposed to space – is uniformly dark. The vicinity of Agilkia shows small-grained rubble and boulders measuring from a few centimetres to five metres in diameter. When viewed in high-resolution images, the surface material appears grainy, with hardly any dust. Here and there, the regolith layer is missing, in other places it is up to two metres deep. Features reminiscent of wind drifts are puzzling scientists, for the comet has no atmosphere as we know it. One explanation might be that material is eroded by the activity of the cometary jets, transported across the surface, and deposited elsewhere. Alternatively, these phenomena might be caused by material being ejected by jets and subsequently dropping back on the comet.

SESAME comprises three instruments that were used during the descent and after the landing: the CASSE acoustic experiment, the DIM experiment to detect dust particles, and the PP experiment to determine the electric field constant or permittivity. DIM detected a single millimetre-sized porous particle during the descent.

Installed in the soles, the CASSE sensors registered the impact of all three feet. As a sound document, these signals aroused worldwide attention. Measurements provide information about the time of the landing and the sequence in which the feet made contact. This is important for investigating properties like surface elasticity and stratification.

At Abydos, CASSE observed the MUPUS penetrator being hammered in and actively conducted measurements of its own. These permit determining sonic

Eigenschaften wie die Elastizität und die Porosität des Kometenmaterials bestimmt werden. Zur Ermittlung der kometaren Schallgeschwindigkeit sendete CASSE mit seinen Sendern in den Sohlen Signale „von Fuß zu Fuß“ – allerdings ohne Erfolg. Das von SESAME ermittelte Temperaturprofil über einen Kometentag hinweg ergab einen oberen Grenzwert für den Kometenboden von minus 165 Grad Celsius. Das Instrument PP registrierte Anzeichen für eine Resublimation von Wasserdampf zu Eis.

Auch MUPUS führte bereits während des Abstiegs sowie später bei den beiden „Sprüngen“ Philaes Messungen durch. Mit Hilfe eines Infrarotsensors wurden die Temperaturen im dessen Blickfeld aufgezeichnet. Damit und mithilfe des Magnetometers der TU Braunschweig konnten das erste Auftreffen von Philae auf der Oberfläche und der unerwartete Weiterflug rekonstruiert werden. Nach der Landung wurden der Verlauf der Temperatur und die thermischen Eigenschaften der Landestelle gemessen.

Später wurde die MUPUS-Thermalsonde ausgesetzt. Der Versuch, diese Sonde 30 Zentimeter in den Untergrund zu hämmern, scheiterte jedoch. Zunächst kam die konische Spitze mit einem Schlag drei Zentimeter voran, danach aber drang die Spitze in drei Stunden nur wenige Millimeter in den Boden ein, obwohl der elektromechanische Hammer seine Leistung bis auf die höchste Stufe hob. MUPUS scheint auf eine harte Schicht, ähnlich Firn oder sehr festem Schnee, getroffen zu sein. Möglicherweise erhärtete eine Art Sinterprozess die oberste Silikat-Eisschicht des Kometen im Laufe der Zeit. Das Oberflächenmaterial, vermutlich Staub über der harten Schicht, wies eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit auf, niedriger noch als die von gewöhnlichen Dämmstoffen. Die Temperaturen schwankten zwischen minus 180 Grad Celsius in der Nacht und minus 140 Grad Celsius am Tag in der (schwachen) Sonne. Im Schatten wurden Temperaturen von minus 160 Grad Celsius gemessen.

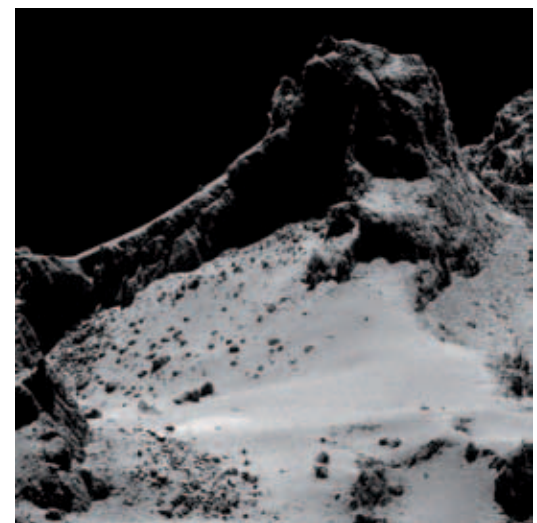
velocities as well as mechanical properties, such as the elasticity and porosity of the comet's material. To determine the cometary sound velocity, CASSE used transmitters in the soles to send signals 'from foot to foot' – though without result. Measured by SESAME, the temperature profile across a cometary day showed an upper limit of -165 °C on the surface of the comet. The PP instrument registered signs indicating a re-sublimation of water vapour into ice.

MUPUS, too, carried out measurements during the descent as well as during the two subsequent 'hops' of Philae. Temperatures in the field of vision were recorded by an infrared sensor. This, complemented by data recorded by a magnetometer built by TU Braunschweig, permitted scientists to reconstruct Philae's first impact on the surface and the unexpected continuation of its flight. After the landing, a temperature history of the landing site and its thermal properties were recorded.

A little later, the MUPUS thermal probe was deployed. However, the attempt to hammer this probe 30 centimetres deep into the ground failed. At first, its conical tip penetrated three centimetres at a single blow, but after that, the tip entered into the ground only a few more millimetres in three hours although the electromechanical hammer increased its output to the highest level. MUPUS seems to have encountered a hard layer resembling granular ice or very firm snow. It may be that the uppermost silicate-ice layer of the comet is hardened in the course of time by a kind of sintering process. The material of the surface, probably dust over the hard layer, showed a very low thermal conductivity, markedly lower than in commercial insulating materials. Temperatures fluctuated between -180 °C at night and -140 °C in the daytime, in the (weak) sunlight. In the shade, temperatures of -160 °C were measured.

Diese OSIRIS-Aufnahme aus nur acht Kilometern Höhe zeigt auf einer ebenen Fläche des Kometen vor dem Hintergrund eines Geröllfeldes Strukturen, die an Windverwehungen erinnern.

Taken from an altitude of only eight kilometres against the background of a rubble field, this OSIRIS image of one of the comet's plane surfaces shows structures that resemble wind-blown dust drifts.



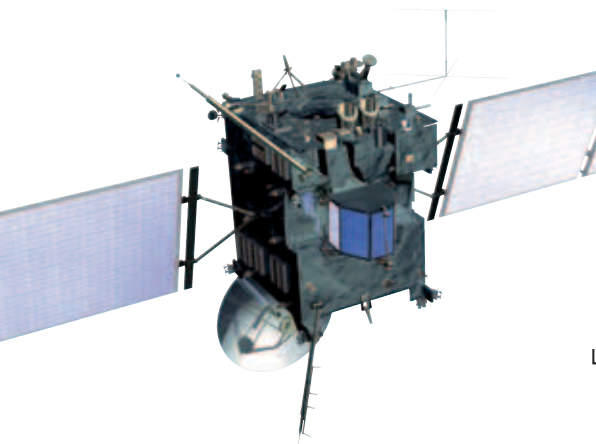
Die Experimente des Rosetta-Orbiters

Experiments on the Rosetta orbiter



Die großen, jeweils 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 scientific 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. <i>is an ultraviolet-imaging spectrometer, that measures gas molecules in the coma, noble gases and ions in the comet's tail.</i>
CONSERT	(Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission) wird im Zusammenspiel mit dem gleichnamigen Experiment auf dem Lander ein dreidimensionales Profil des Kerns erstellen. <i>(Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission) interacts with an experiment of the same name on the lander to generate a three-dimensional profile of the nucleus.</i>
COSIMA	(Cometary Secondary Ion Mass Analyser) sammelt und analysiert Staubkörner. <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. <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. <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. <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. <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. <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. <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. <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. <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

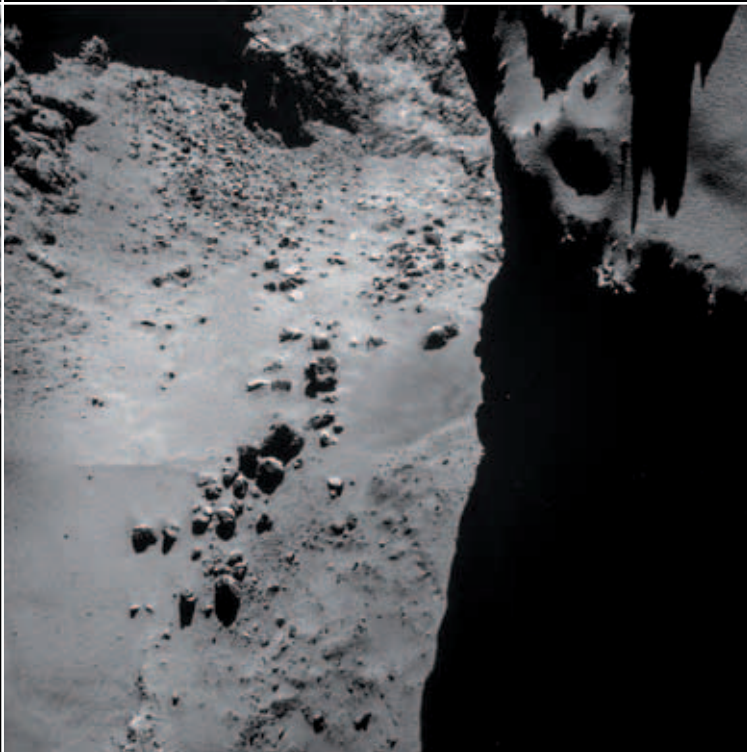
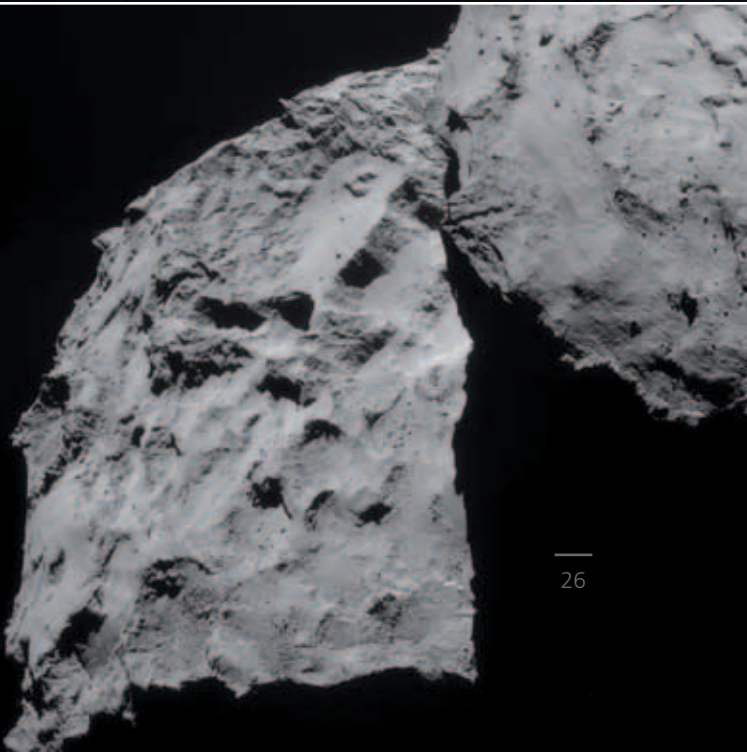
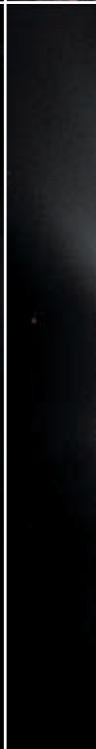
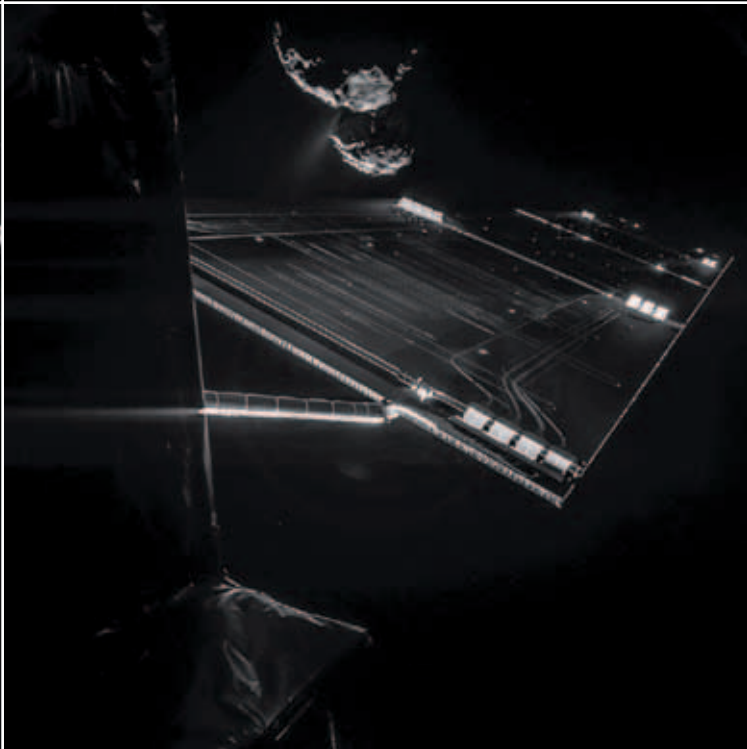
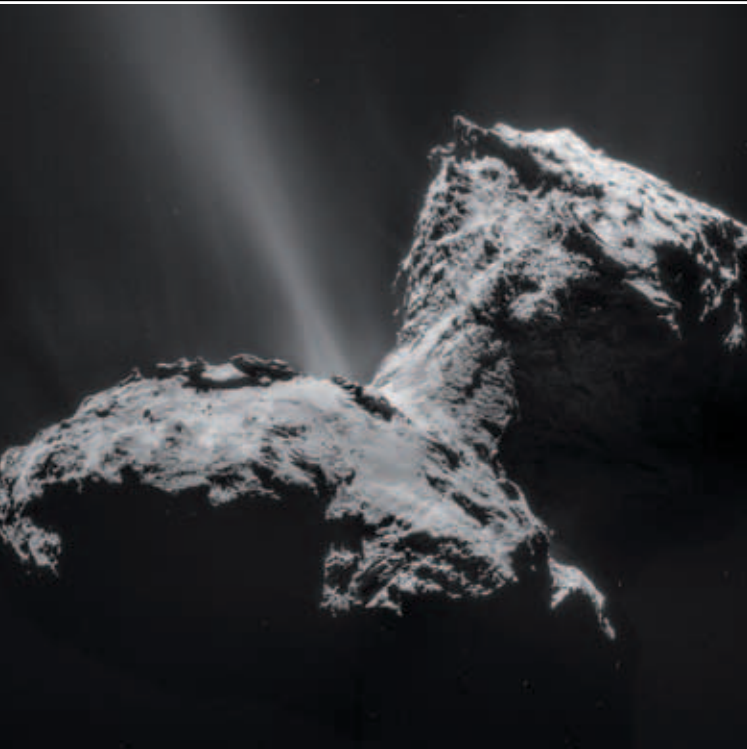
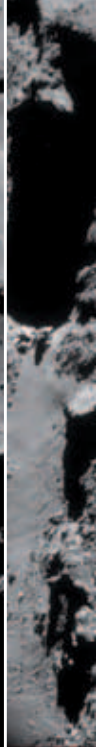
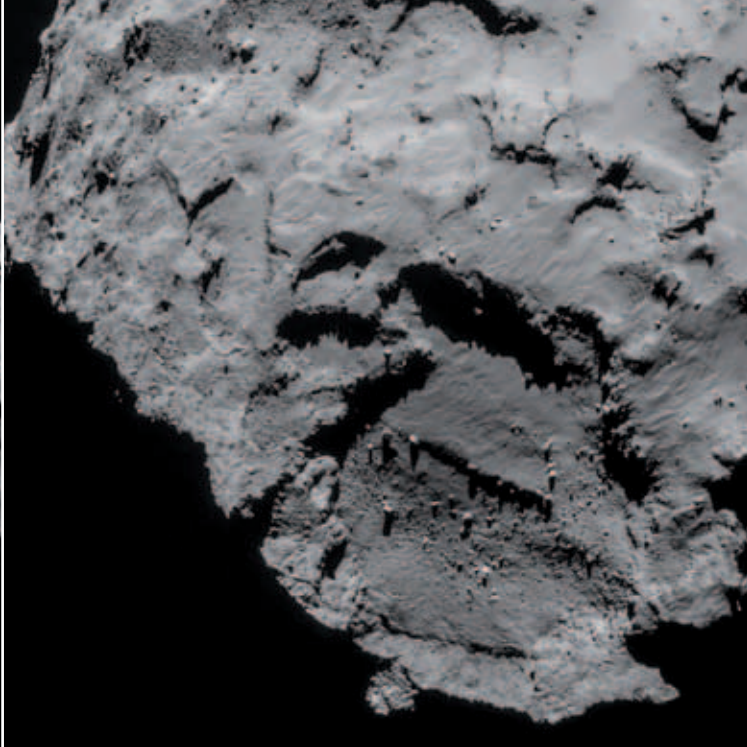
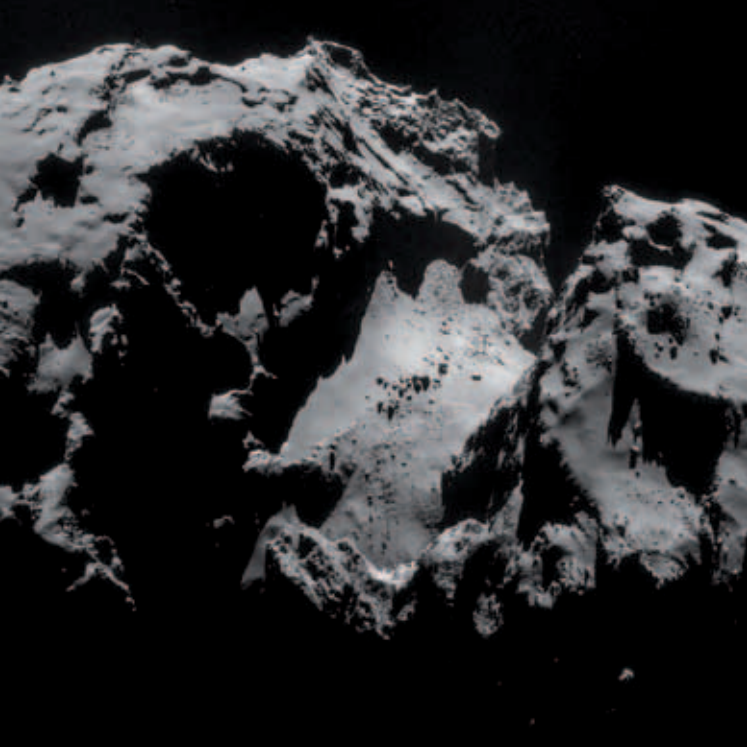
APXS	(Alpha Particle X-Ray Spectrometer) untersucht die Verteilung chemischer Elemente auf der Oberfläche des Kometen. <i>(Alpha Particle X-Ray Spectrometer) analyses the distribution of chemical elements on the surface.</i>
CIVA	(Comet Infrared and Visible Analyzer) fotografiert den Landeplatz und untersucht die mit dem Bohrer gewonnenen Bodenproben mit Mikroskopen. <i>(Comet Infrared and Visible Analyzer) images the landing site and analyses the core samples obtained from a drilling device with a microscope.</i>
CONSERT	(Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission) wird im Zusammenspiel mit dem gleichnamigen Experiment auf dem Orbiter ein dreidimensionales Profil des Kerns erstellen. <i>(Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission) interacts with an experiment of the same name on the lander to generate a three-dimensional profile of the nucleus.</i>
COSAC	(Cometary Sampling and Composition) bestimmt die chemische Zusammensetzung der gefrorenen Oberfläche bis in 30 Zentimeter Tiefe. <i>(Cometary Sampling and Composition) analyses 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 an und unter der Oberfläche und die thermische Leitfähigkeit des Bodens. <i>(Multi-Purpose Sensors for Surface and Sub-Surface Science) measures the temperature at an below the surface and the thermal conductivity of the ground.</i>
PTOLEMY	untersucht die isotopische Zusammensetzung der Bohrproben mit einen Massenspektrometer und vorgeschaltetem Gaschromatographen. <i>analyses 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. <i>(Rosetta Lander Imaging System) images 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. <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 bis maximal 20 Zentimeter Tiefe. <i>(Sample, Drill and Distribution) drills cores of up to 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. <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>

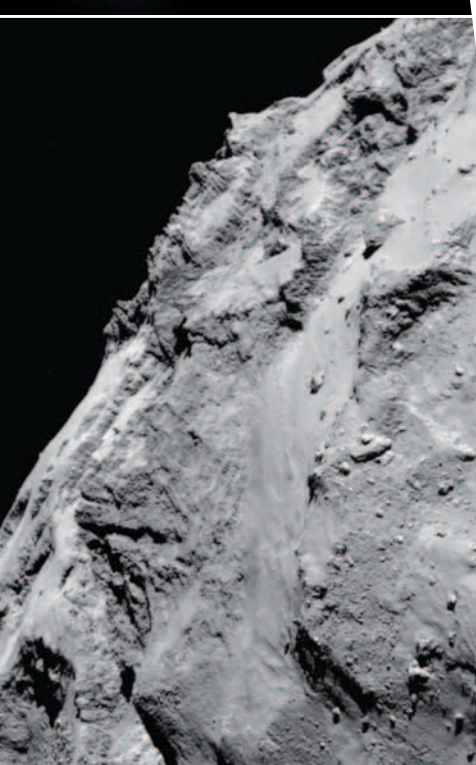
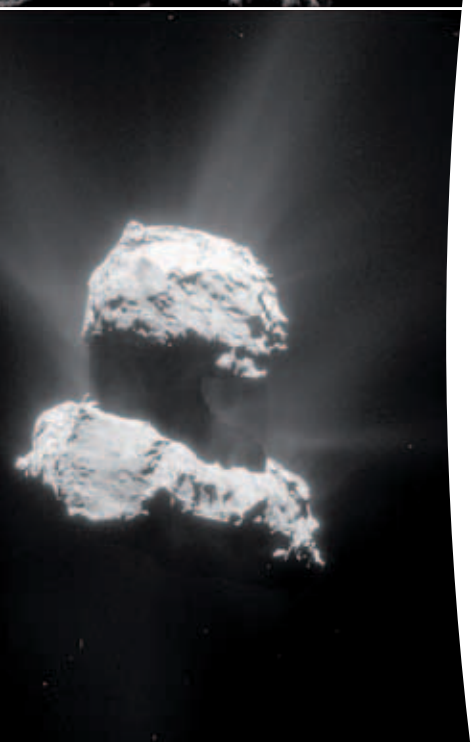
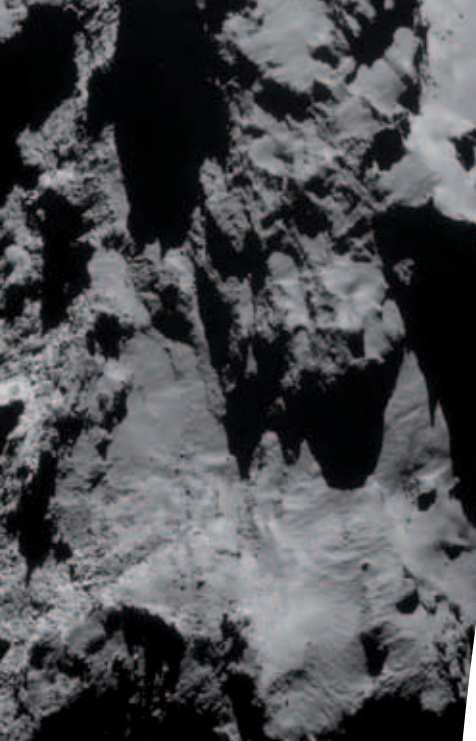


Die Kamera ROLIS ist an der Unterseite von Philae angebracht und fotografiert den Abstieg der Sonde und den Boden darunter.
The ROLIS camera, installed at the bottom of Philae, will take photographs of the descent and of the ground underneath the probe.

Das Experiment MUPUS zur Messung der Oberflächentemperatur und der physikalischen Eigenschaften des Kometenmaterials.
The MUPUS experiment for measuring the surface temperature and physical properties of the cometary nucleus.







Zusammenstellung einiger Bilder von Churyumov-Gerasimenko aus dem Zeitraum 6. August 2014 bis Ende April 2015, fotografiert mit der Navigationskamera an Bord von Rosetta – außer dem Bild in der Mitte, das mit CIVA von Philae aufgenommen wurde.

Some images of Churyumov-Gerasimenko, transmitted between August 6, 2014 and end of April 2015. The photographs were taken by Rosetta's navigation camera, except the image at the centre, which was taken by CIVA on Philae.

Bildnachweis/Image sources

Seiten/Pages

Centrum Badan Kosmicznych PAN/Space Research Center PAS DLR	25 (unten/below) 7 (links/left), 11 (unten/below), 14, 25 (oben)
ESA ESA-C. Carreau ESA/AOES Medialab ESA/ATG Medialab	4, 5 (oben/top), 10, 11 (oben/top) 13 24 (unten/below) 1(oben/top), 5 (unten/below), 18, 24 (oben/top)
ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA	8, 9 (mitte/middle), 12, 16, 17 (unten/below), 19, 20 (oben/top), 21 (unten/below), 22 (unten/below), 23
ESA/Rosetta/NAVCAM	1,2,9 (oben/top), 9 (unten/below), 17 (oben/top), 26/27 (außer mitte/except middle)
ESA/Rosetta/Philae/CIVA	13 (unten/below), 21 (oben/top), 26 (mitte/middle)
ESA/Rosetta/Philae/ROLIS/DLR ESO (European Southern Observatory) Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung NASA	20 (unten/below), 22 (oben/top) 6/7 6 (rechts/right) 6 (links/left), 11 (rechts/right)

Herausgeber/ Published by

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

German Aerospace Center

Institut für Planetenforschung/
Institute of Planetary Research

Anschrift/Address

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

Redaktion/Editors

Dr. Ekkehard Kührt, Ulrich Köhler, Dr. Stephan Ulamec,
Leif Allendorf, Susanne Pieth

Übersetzung/ Translation

Marianne Becker-Dalhoff, Alfter

Gestaltung/Design

ziller design, Mülheim an der Ruhr; DLR, RPIF

Druck/Printed by

Polyprint, Berlin

Berlin, Mai 2015/
Berlin, Mai 2015

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.

Das DLR im Überblick

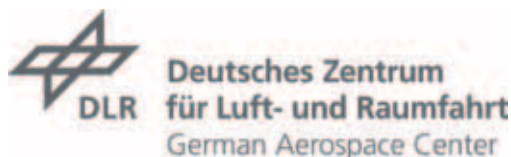
Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung 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