

Dawn

Mission zu den Asteroiden
Vesta und Ceres

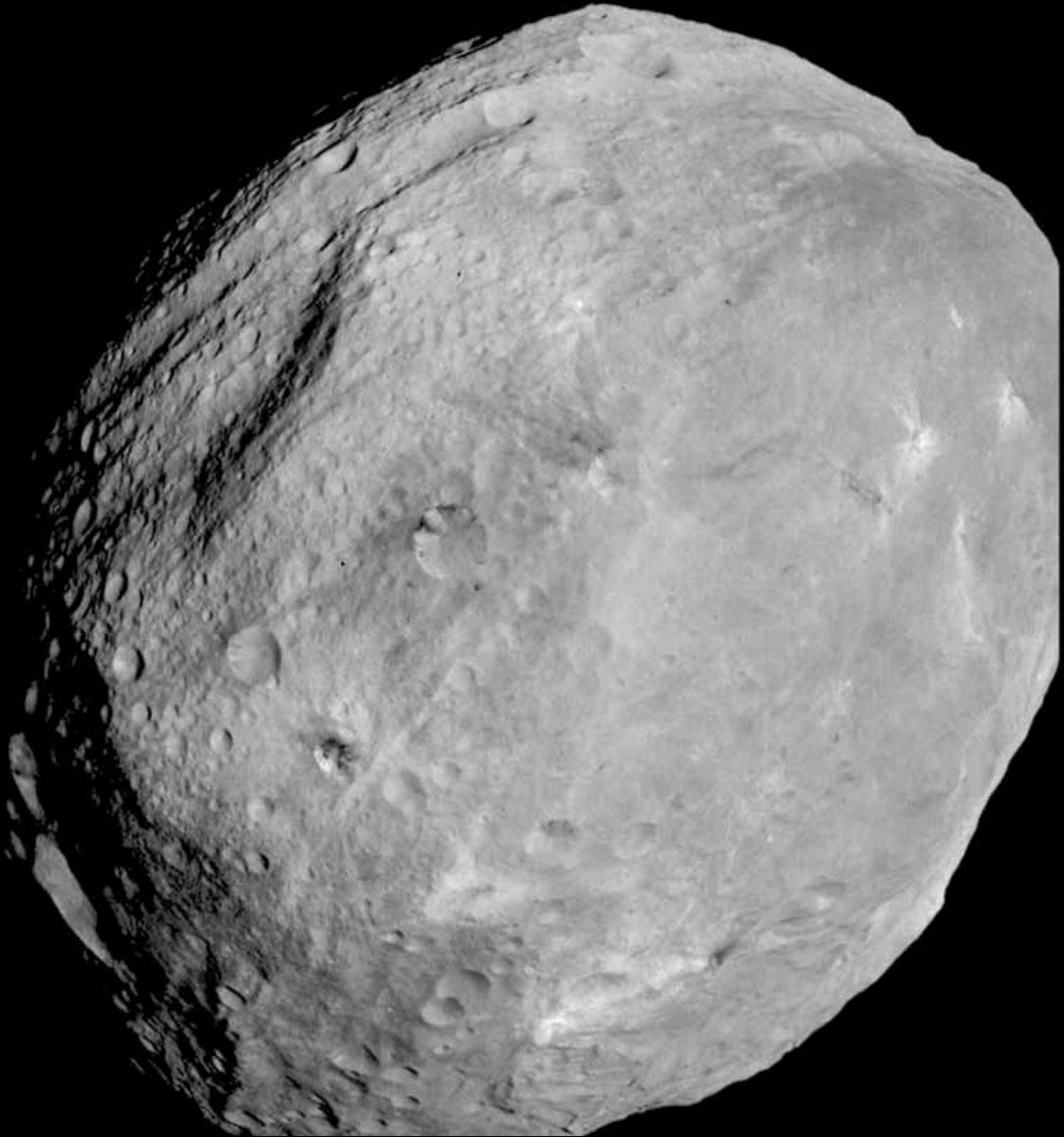
Dawn

*Mission to the Asteroids
Vesta and Ceres*



Die Bildmontage zeigt neun bekannte Asteroiden im Größenvergleich. Bis vor kurzem war Lutetia mit einem Durchmesser von 130 Kilometer der größte Asteroid, der je von einer Raumsonde besucht wurde. Vesta stellt nun alle anderen kleinen Körper im Bild in den Schatten. Der übergroße Asteroid wird auch als Planetenembryo bezeichnet, weil er sich mit einem Durchmesser von 530 Kilometern beinahe zu einem vollständigen Planeten entwickelt hätte.

This composite image shows the comparative sizes of nine asteroids. Up until now, Lutetia, with a diameter of 130 kilometres, was the largest asteroid visited by a spacecraft. Vesta now dwarfs all other small bodies in this image. With a diameter of 530 kilometres Vesta may once have resembled an embryonic planet, with the potential to develop into a full-sized planet.



4 Vesta



21 Lutetia



253 Mathilde



243 Ida
1 Dactyl



433 Eros



951 Gaspra



2867 Šteins



5535 Annefrank



25143 Itokawa

Inhalt

Contents

Raumsonde im Asteroidengürtel <i>Space Probe in the Asteroid Belt</i>	4
Geburt und Entwicklung des Sonnensystems <i>Birth and Evolution of the Solar System</i>	6
Vesta und Ceres <i>Vesta and Ceres</i>	8
Die Dawn-Mission <i>The Dawn Mission</i>	10
Deutsche Kamera an Bord <i>German Camera on Board</i>	12
Asteroiden in 3D – Datenprozessierung im DLR <i>Asteroids in 3-D – Data Processing at DLR</i>	14
Weitere Instrumente <i>Other Instruments</i>	16
Das Ionen-Triebwerk <i>The Ion Propulsion System</i>	18
Missionsdaten <i>Mission Data</i>	20

Raumsonde im Asteroidengürtel

Space Probe in the Asteroid Belt



Die Raumsonde Dawn, hier in einer künstlerischen Darstellung neben Vesta und Ceres gezeigt, wird von einem Ionentriebwerk solar-elektrisch angetrieben.

The Dawn spacecraft, illustrated in this artist's concept beside Vesta and Ceres, is propelled by solar-electric ion engines.

Künstlerische Darstellung eines Asteroiden, der in viele Fragmente zerlegt wurde.

Vesta und Ceres blieb solch eine massive Erosion erspart, so dass beide Körper ideale Forschungsobjekte sind, um mehr über die Entstehungszeit unseres Sonnensystems zu erfahren.

Artists impression of an asteroid broken into many fragments. Vesta and Ceres have been spared such massive erosion, hence both bodies are perfect scientific objects to learn more about the date of origin of our solar system.

Asteroiden geraten immer stärker in den Fokus der internationalen Raumfahrt und führen in der Planetenforschung schon lange kein Schattendasein mehr. 1991 schickte die NASA-Sonde Galileo auf ihrem Weg zum Jupiter die erste Nahaufnahme eines Asteroiden zur Erde – Gaspra sollte nicht der einzige von Kratern übersäte „Brocken“ im öffentlichen Gedächtnis bleiben. Sieben weitere Asteroiden wurden seither aus nächster Nähe untersucht: Ida, Mathilde, Braille, Annefrank, Eros, Šteins und Lutetia erschienen auf den Bildschirmen der Welt, ebenso Itokawa, auf dessen Oberfläche sogar eine Raumsonde landen und Proben sammeln konnte.

Ziel der NASA-Mission Dawn ist die bisher gründlichste Untersuchung zweier Asteroiden: Vesta und Ceres. Sie sind die massivsten Objekte des Asteroidengürtels und die letzten von den eher großen „unbekannten“ Körpern des inneren Sonnensystems. Ceres ist mit einem Durchmesser von knapp tausend Kilometern dabei der größte bekannte Asteroid und wird seit 2006 sogar – gemeinsam mit Pluto – in die Gruppe der Zwergplaneten eingestuft.

An Bord von Dawn befindet sich neben einem Spektrometer und einem Gammastrahlen- und Neutronendetektor ein deutsches Kamerasystem, das federführend vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung (MPS) in Kooperation mit dem Institut für Planetenforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und unter finanzieller Förderung durch das DLR-Raumfahrtmanagement entwickelt und gebaut wurde. Diese Kamera dient nicht nur der Kartierung und Erforschung der Asteroiden, sondern ist unerlässliches Hilfsmittel zur Navigation der Sonde. Zwischen 2012 und 2015 wird Dawn

Asteroids are increasingly becoming the targets of space missions, having long since moved into the limelight of planetary research. In 1991, on its way to Jupiter, NASA's Galileo probe radioed the first close-up image of an asteroid back to Earth, but Gaspra was not destined to remain the only crater-strewn 'rock' presented to the public in high definition. Since then, another seven asteroids have been studied at very close range: Ida, Mathilde, Braille, Annefrank, Eros, Šteins, and Lutetia have made appearances on the TV and computer screens, as did Itokawa, on which a space probe was even able to land and take a sample of its surface.

The objective of NASA's Dawn mission is to investigate two asteroids, Vesta and Ceres, with unprecedented thoroughness. The two are the most massive objects in the asteroid belt and are two of the last major unexplored bodies in the inner Solar System. Having a diameter of almost one thousand kilometres, Ceres is the largest known asteroid, and in 2006 it was reclassified and is now considered a dwarf planet, along with Pluto.

Next to a spectrometer and a gamma ray and neutron detector, Dawn carries a German camera system whose development and construction was coordinated by the Max Planck Institute of Solar System Research (MPS), implemented in cooperation with the Institute of Planetary Research of the German Aerospace Centre (DLR), and sponsored by the DLR Space Administration. This camera not only serves to chart out and explore the asteroids; it is also indispensable in navigating the probe. In the period from 2012 to 2015, Dawn will be the first interplanetary mission to leave its orbit

als erste interplanetare Mission den Orbit eines Körpers (Vesta) wieder verlassen, um anschließend ein zweites Objekt (Ceres) wiederum aus einer Umlaufbahn zu untersuchen. Dabei spielt ein neuartiges, solar-elektrisches Antriebssystem – der sogenannte Ionenantrieb – eine entscheidende Rolle.

Für die Planetenforschung ist Dawn eine außergewöhnlich spannende Mission, Vesta und Ceres sind Zeugen jener Zeit, in der sich unsere Planeten – inklusive der Erde – bildeten. Seit ihrer Entstehung vor viereinhalb Milliarden Jahren haben sich die beiden Körper vermutlich kaum mehr verändert. Sie sind die idealen Forschungsobjekte, um einen Blick weit in die Vergangenheit zu werfen, quasi zurück in die „Morgendämmerung“ (Dawn) unserer kosmischen Heimat.

Neben dem faszinierenden Blick in die Entstehungszeit des Sonnensystems geht die Mission der aktuellen Frage nach, wie Asteroiden in ihrer Struktur und ihrer Zusammensetzung beschaffen sind. Immer wieder kreuzen auch kleinere kosmische Irrläufer die Bahn der Erde um die Sonne und kollidieren mit unserem Planeten. Durch die Untersuchung der größeren Mutterasteroiden wollen die Planetenforscher mehr über diese kleinen Körper und ihr Gefahrenpotenzial für die Erde lernen.

around one body (Vesta) and investigate another object (Ceres), again from orbit. In this manoeuvre, its ion motor, an innovative solar-electric propulsion system, will be playing a crucial part.

To planetary researchers, Dawn is an extraordinarily thrilling mission, for Vesta and Ceres are witnesses of those times when our planets, including Earth, originally formed. It is thought that the two bodies have hardly changed at all since their formation four and half billion years ago. They make ideal objects for scientists who want to take a look at our distant past, at the 'dawn' of our cosmic home.

In addition to catching a fascinating glimpse of the birth of the Solar System, the mission pursues the topical question of what the structure and composition of the asteroids might be. Again and again, relatively small cosmic 'rogues' cross the Earth's orbit around the Sun and collide with our planet. By investigating the larger parent asteroids, planetary researchers intend to learn more about these small bodies and their potential threat to Earth.



Ida, ein Asteroid des Hauptgürtels, ist der erste kleine Körper, bei dem ein Mond entdeckt wurde, Dactyl (zu sehen rechts oben im Bild).

Ida, situated in the asteroid main belt, is the first small body discovered to have a natural satellite, Dactyl (shown on the upper right).

Geburt und Entwicklung des Sonnensystems

Birth and Evolution of the Solar System



Vesta und Ceres sind kleine Körper. Aus solchen Fragmenten entstanden einst die Planeten des Sonnensystems. Dargestellt sind beide Körper im Größenvergleich zum Mars. *Vesta and Ceres resemble small bodies. Once, the planets of the Solar System probably formed out of such fragments. Both asteroids are shown here on the same scale as Mars.*

Aus einer Akkretionsscheibe aus Staub und Gas bildete sich vor 4,56 Milliarden Jahren unser Sonnensystem. Kleine Verklumpungen wuchsen darin zu immer größeren Planetesimalen und schließlich zu Planeten zusammen (künstlerische Darstellung). *4.56 billion years ago, our Solar System formed from an accretion disc of dust and gas. In it small accumulations of material came together, to form planetesimals, which eventually grew into large planets.*

Vor 4,56 Milliarden Jahren bildete sich unser Sonnensystem aus einer gewaltigen Scheibe aus Staub und Gas, die immer schneller um ihren Mittelpunkt rotierte. Der Großteil dieser hauptsächlich aus Helium und Wasserstoff bestehenden Masse formte sich zu einem gewaltigen Zentralgestirn: der Sonne. Im Inneren des jungen Planetensystems ließ die Sonne alles verdampfen bis auf Gesteins- und Metallpartikel, aus denen die erdähnlichen Planeten Merkur, Venus und Mars sowie die Erde entstanden. Zum äußeren Rand der Scheibe hin blieb es kalt genug, dass sich Eispanzer und Gashüllen um die Gesteinskerne der späteren Riesenplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun und ihrer Monde legten.

Die Entstehung der Planeten begann sehr langsam. Wie Flocken klumpten kleine Teilchen zusammen. Die immer massereicheren Brocken zogen sich aufgrund ihrer Schwerkraft gegenseitig an und wuchsen zu sogenannten Planetesimalen heran, aus denen sich die heute bekannten Planeten bildeten. Zwischen Mars und Jupiter stockte diese Entwicklung. Die Gravitation des übermächtigen Gasriesen hinderte dort Gesteins- und Eisfragmente daran, über die Masse von Vesta und Ceres anzuwachsen. So blieben in einem etwa zweihundert Millionen Kilometer breiten Gürtel aus Asteroiden unzählige urzeitliche Überreste bis heute erhalten. Ein Glücksfall für die Wissenschaft und Ansporn für das Dawn-Projekt.

4.56 billion years ago, our Solar System formed from an enormous disc of dust and gas which rotated about its centre at ever-increasing speed. Composed mainly of helium and hydrogen, most of this mass contracted into a gigantic central luminary, the Sun. In the interior of the young planetary system, the Sun turned everything into vapour except for the particles of rock and metal from which the terrestrial planets Mercury, Venus, Mars, and the Earth evolved. Towards the outer edge of the disc, it was cold enough to allow ice shells and atmospheres to envelop the rocky cores of what was to become the group of the giant gas planets, Jupiter, Saturn, Uranus, and Neptune, and their moons.

Planetary evolution was a very slow process at first. Small particles began to stick together like snowflakes. As the mass of these lumps increased, they were mutually attracted by their gravitation, and merged into so-called planetesimals which eventually formed the planets as we know them today. In the space between the orbits of Mars and Jupiter, this agglomeration process could continue only up to a point: the pull of gas-giant Jupiter's tremendous gravitation prevented fragments of rock and ice from growing any larger in mass than Vesta or Ceres. Thus, innumerable primeval remnants were preserved in what is now a two hundred million kilometre wide belt of asteroids. A treasure-trove for scientists and the motivation for the Dawn project.

Ganz spurlos sind die vergangenen vier-einhalb Milliarden Jahre am Asteroidengürtel nicht vorübergegangen. Immer wieder kollidierten Objekte untereinander. Größere Körper wurden in kleinere zerlegt und manche sogar aus ihrer Bahn ins innere Sonnensystem katapultiert. Es kam regelmäßig zu Einschlägen auf den inneren Planeten Mars, Venus, Merkur und auch die Erde und der Mond blieben von diesen kosmischen Kollisionen nicht verschont. Längst haben die Kräfte von Erosion, Verwitterung und Plattentektonik die meisten Spuren auf der Erdoberfläche verwischt, zumal zwei Drittel der Erde von Ozeanen bedeckt sind. Die verbliebenen knapp 200 Meteoritenkrater auf der Erde sind geradezu eine Rarität. Doch auf dem nahen Mond ist die bewegte Vergangenheit noch immer deutlich sichtbar. In der Kruste des Trabanten sind wie in einem Archiv der Erdgeschichte unzählige große und kleine Einschlagskrater verewigt.

Für die Entwicklung des Lebens auf der Erde war der Einschlag eines etwa zehn Kilometer großen Objekts vor 65 Millionen Jahren besonders gravierend. Die Wissenschaftler sind sich heute nahezu einig, dass dieses Ereignis am Ende der Kreidezeit zum Aussterben der Dinosaurier führte. Vor etwa 250 Millionen Jahren kam es an der Grenze der Erdzeitalter Perm und Trias zu einem noch größeren, vermutlich durch einen Asteroideneinschlag verursachten „Faunenschnitt“, bei dem mehr als zwei Drittel aller Tierarten von der Erde verschwanden. Noch heute treffen alle paar hundert Jahre vergleichsweise kleine Asteroiden mit einer Größe von über 30 Metern die Erde. Objekte ab dieser Größe überstehen die enorme Reibung in der Erdatmosphäre und durchdringen sie. Zuletzt kam es 1908 am Fluss Steinige Tunguska in den russischen Weiten Sibiriens zu solch einem Ereignis.

Die Dawn-Asteroiden Vesta und Ceres überstanden die unzähligen Kollisionen der vergangenen vier-einhalb Milliarden Jahre und bewegen sich auf stabilen Bahnen um die Sonne. Sie sind zwei der besterhaltenen embryonalen Planeten unseres Sonnensystems.

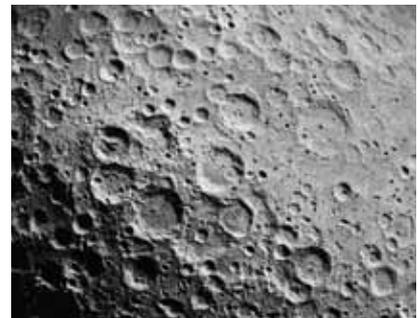
Of course, the four and a half billion years did not leave the asteroid belt entirely untouched. Again and again, objects collided, larger bodies were fragmented, and some were even catapulted from their path into the inner Solar System. The inner planets – Mars, Venus, and Mercury – were regularly hit by these cosmic impacts, as were the Earth and its Moon. On the surface of the Earth, most of the traces have long since been obliterated by erosion, weathering, and plate tectonics, and two thirds of the surface are covered by oceans anyway. The 200 or so meteorite craters that remain on Earth are rarities indeed. On our nearby Moon, on the other hand, the traces of a turbulent past can still be seen clearly. The crust of our satellite preserves innumerable large and small impact craters, acting as an archive of Earth's history.

65 million years ago, the evolution of life on Earth was affected particularly severely by the impact of an object about ten kilometres in size. Today, there is almost general agreement among scientists that this event led to the extinction of the dinosaurs at the end of the Cretaceous. About 250 million years ago, at the boundary between the Permian and Triassic periods, an even greater extinction event, again probably initiated by an asteroid impact, caused more than two thirds of all animal species to disappear from the face of the Earth. Even today, Earth is hit by comparatively small asteroids more than 30 metres in size at intervals of a few hundred years. Objects of this size or larger are able to withstand the enormous friction of the Earth's atmosphere, and penetrate it. The last event of this kind happened in 1908 at the Stony Tunguska river in the Russian plains of Siberia.

Having survived innumerable collisions in the last four and a half billion years, the Dawn asteroids Vesta and Ceres move around the Sun on stable paths. They are two of the best-preserved embryonic planets in our Solar System.



Aufgrund der umwälzenden Kräfte der Erosion, Verwitterung und Plattentektonik sind nur wenige Einschlagskrater auf der Erde erhalten geblieben. Der markanteste ist der Barringer-Krater in Arizona. Er hat einen Durchmesser von 1.100 Metern. On Earth only a few impact craters have been preserved against the cataclysmic forces of erosion, weathering and plate tectonics. The most distinctive is the Barringer Crater in Arizona. It has a diameter of 1,100 metres.



Der Mond zeigt die bewegte Geschichte der nahen Erde. Wie in einem Archiv sind in seiner Kruste unzählige Einschlagskrater verewigt. The Moon shows the turbulent past of nearby Earth. Like an archive, its crust preserves innumerable impact craters.

Vesta und Ceres

Vesta and Ceres



Giuseppe Piazzi



Heinrich Wilhelm Matthias Olbers



Ein Stück des vermutlich von Vesta stammenden Eucrit-Meteoriten Millbillillie, der am 15. Oktober 1960 im Wiluna District in West-Australien niederging.
A piece of the eucrit meteorite Millbillillie which descended on October 15, 1960, in the Wiluna District, Western Australia. The meteorite probably originated from Vesta.

In der nördlichen Hemisphäre Vestas befinden sich drei zusammenhängende Krater. Die Anordnung wurde von den Wissenschaftlern „Schneemann“ getauft.
In the northern hemisphere of Vesta three linked craters are located. The set was called "snowman" by the scientists.

Es war in der Neujahrsnacht 1801 in Palermo – in der damals südlichsten Sternwarte Europas –, als der italienische Astronom Giuseppe Piazzi den Zwergplaneten Ceres entdeckte. Zuvor hatten sich die Gelehrten des 18. Jahrhunderts über die auffallende Lücke zwischen Mars und Jupiter gewundert, sollte doch nach der empirischen Titius-Bodeschen ‚Regel‘ zu den Planetenabständen genau dort ein Planet zu finden sein. Mit tausend Kilometer Durchmesser war Ceres allerdings zu klein, um diese Lücke allein zu schließen. So fahndeten deutsche Astronomen weiter. Zusammengeschlossen in einer „Himmelspolizei“ ging ihnen ein Objekt nach dem anderen ins Netz. Vesta wurde 1807 von dem Bremer Arzt und Astronomen Heinrich Olbers entdeckt. Ende des 19. Jahrhunderts blickten die Astronomen stolz auf 463 verzeichnete Asteroiden. Anstatt eines Planeten jenseits des Mars hatten sie den Asteroidengürtel des Sonnensystems gefunden. Heute sind darin nahezu eine halbe Million Objekte bekannt.

Asteroiden, auch Kleinplaneten genannt, unterscheiden sich voneinander stark in Form und Größe. Die uns näher bekannten sind von Kratern übersät, in fast allen Fällen ungleichmäßig geformte Körper und können sogar kleinste Monde an sich binden. Die meisten unter ihnen haben einen Durchmesser von 20 bis 100 Kilometer, wenige bis 500 Kilometer, doch keiner übertrifft Ceres, der mehr als ein Drittel der gesamten Masse des Asteroidengürtels auf sich vereint.

Vesta ist mit 460 bis 580 Kilometer der drittgrößte Asteroid. Er dreht sich in fünf Stunden und 20 Minuten um die eigene Achse und benötigt 3,6 Erdenjahre für einen Umlauf um die Sonne. Da dieser Asteroid mit 380 Millionen Kilometer (2,34 Astronomische Einheiten; eine AE entspricht dem Abstand der Erde von der Sonne, also 150 Millionen Kilometer) der Sonne relativ nahe ist, sind die leichten Bestandteile des Gesteinskörpers aus der Kruste verdampft und aufgrund seiner geringen Gravitation ins Weltall entwichen. Zurückgeblieben ist vermutlich nur ein sehr geringer Anteil Wassereis, weshalb Planetenforscher Vesta als „trocken“ bezeichnen.

It was in Palermo, in the night of the New Year of 1801, that the Italian astronomer Giuseppe Piazzi discovered the dwarf planet Ceres at what was then Europe's southernmost observatory. Before this discovery, the scholars of the 18th century had been marvelling at the conspicuous gap between Mars and Jupiter, for according to the empirical Titius-Bode 'law' which predicts the positions of planetary orbits, this was exactly where another planet should have been. Measuring one thousand kilometres in diameter, Ceres was too small to close this gap on its own, so German astronomers kept trawling. As a 'celestial police', they spotted one object after another. Vesta was discovered in 1807 by Heinrich Olbers, a physician and astronomer of Bremen. By the end of the 19th century, astronomers were looking proudly at 463 registered asteroids. Instead of a planet beyond Mars, they had discovered the main asteroid belt of the Solar System, which is now known to hold nearly half a million known objects.

Asteroids, also known as micro-planets, vary greatly in shape and size. Those better known to us are bodies pockmarked by craters and are almost always of irregular shape. Some of them have even captured their own minute moons. Most of them have diameters between 20 and 100 kilometres, a few up to 500 Kilometres but none outrank Ceres, which embodies more than one third of the total mass in the asteroid belt.

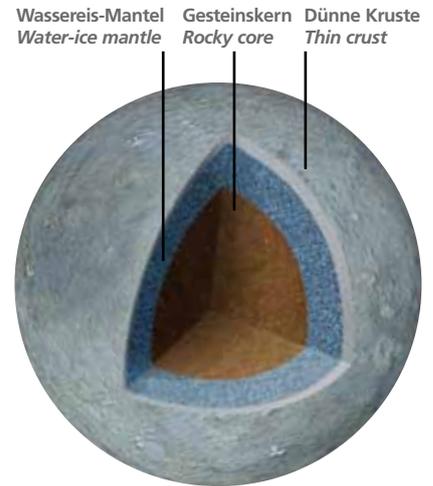
Measuring 460 to 580 kilometres in diameter, Vesta is the third largest asteroid. It rotates around its axis in five hours and 20 minutes and takes 3.6 Earth years to complete an orbit around the Sun. As the distance between this asteroid and the Sun is relatively short at 380 million kilometres (2.34 astronomical units; one AU corresponds to the distance between the Earth and the Sun, 150 million kilometres), the lighter elements have evaporated from its crust and escaped into space due to its low gravity. Very probably, only a very small proportion of water ice has remained behind, which is why planetary researchers call Vesta a 'dry' body.

Spektroskopische Beobachtungen mit Teleskopen zeigen, dass die Kruste Vestas aus verschiedenen Gesteinsarten besteht. Am Südpol hat die Kollision mit einem anderen Asteroiden einen riesigen Einschlagskrater von 460 Kilometern Durchmesser und etwa 13 Kilometern Tiefe hinterlassen. Planetenforscher gehen davon aus, dass der Einschlag mindestens 50 kleinere Asteroiden erzeugte, die nun als „Vestoiden“ ihre Bahn um die Sonne ziehen. Einzelne Fragmente sind ziemlich sicher sogar bis auf die Erde gelangt. Darauf deuten verschiedene Meteoritenfunde in der Antarktis hin.

Ceres umläuft die Sonne in 4,6 Erdenjahren und rotiert in etwas mehr als neun Stunden um die eigene Achse. Mit etwa 415 Millionen Kilometern (2,77 AE) hat er eine deutlich größere Entfernung zur Sonne als Vesta. Die geringere Sonneneinstrahlung gab seiner Entstehung dort einen anderen Verlauf. Anstatt vollständig zu verdampfen, bildete ein Großteil der leichten und flüchtigen Elemente Bestandteile des Asteroiden. Vermutlich weist Ceres einen beachtlichen Wasseranteil von 15 bis 25 Prozent auf und wird so auch als „nasser“ Asteroid bezeichnet. Planetenforscher schätzen, dass das Eis in einer 100 Kilometer dicken Schicht im Mantel unter der Kruste verborgen ist. Zudem könnte es auf dem Zwergplaneten eine dünne Atmosphäre geben: Astrobiologen spekulieren sogar über einstiges einfaches Leben auf Ceres.

Spectroscopic observations by telescope have shown that Vesta's crust is made up of various types of rock. At its south pole, a collision with another asteroid has left an enormous impact crater measuring 460 kilometres in diameter and about 13 kilometres in depth. Planetary researchers assume that at least 50 smaller asteroids were generated by the impact and are now following their own paths around the Sun as 'Vestoids'. Some scattered fragments very likely have reached Earth, as indicated by various meteorites found in the Antarctic.

Ceres orbits the Sun in 4.6 Earth years, rotating around its axis in a little over nine hours. At about 415 million kilometres (2.77 AU), its distance from the Sun is significantly greater than that of Vesta. Because solar irradiation at Ceres is less intense, its evolution took a different course. Instead of evaporating completely, a large proportion of the lighter, volatile elements are still present in the asteroid. A considerable proportion of 15 to 25 per cent, of the mass of Ceres may be water, which is why it is called a 'wet' asteroid. Planetary researchers think that the ice may be hidden in the mantle below the crust in a 100 kilometre thick layer. Moreover, the dwarf planet might have a thin atmosphere, and astrobiologists even speculate that it once may have harboured primitive life.



Asteroid 1 Ceres / Asteroid 1 Ceres

Daten zum Asteroiden 4 Vesta

Masse	3,0 x 10 ²⁰ kg	Mass	3.0 x 10 ²⁰ kg
Größe	578 x 560 x 458 km	Dimensions	578 x 560 x 458 km
Dichte	3,9 g/cm ³	Density	3.9 g/cm ³
Rotationsperiode	5,34 Stunden	Rotation period	5.34 hours
Orbitalperiode	3,63 Jahre	Orbital period	3.63 years
Durchschnittliche Entfernung von der Sonne	353,3 Mio. km	Average distance from the Sun	353.3 Mill. km

Data of asteroid 4 Vesta

Daten zum Asteroiden 1 Ceres

Masse	8,7 x 10 ²⁰ kg	Mass	8.7 x 10 ²⁰ kg
Größe	974 x 974 x 910 km	Dimensions	974 x 974 x 910 km
Dichte	1,98 g/cm ³	Density	1.98 g/cm ³
Rotationsperiode	9,08 Stunden	Rotation period	9.08 hours
Orbitalperiode	4,6 Jahre	Orbital period	4.6 years
Durchschnittliche Entfernung von der Sonne	413,9 Mio. km	Average distance from the Sun	413.9 Mill. km

Data of asteroid 1 Ceres

Start der Dawn-Mission: Am Morgen des 27. September 2007 hob die Raumsonde mit einer Delta-II-Rakete vom Weltraumbahnhof in Cape Canaveral, Florida ab. *Launch of the Dawn Mission: In the morning of September 27, 2007, the spacecraft took off on a Delta II rocket from the Cape Canaveral spaceport in Florida.*



Die Dawn-Mission

The Dawn Mission

Am 27. September 2007 startete Dawn mit einer Delta-II-Rakete vom Weltraumbahnhof in Cape Canaveral. An Bord trägt die NASA-Sonde ein Spektrometer, einen Gammastrahlen- und Neutronendetektor sowie ein deutsches Kamerasystem. Auf dem Weg in den Asteroidengürtel passierte Dawn im Februar 2009 den Mars in kurzer Distanz, um mit dem dadurch gewonnenen zusätzlichen „Schwung“ das erste Missionsziel Vesta ins Visier zu nehmen. Bereits im Anflug auf Vesta kam die Kamera der Raumsonde zum Einsatz, um die Umgebung nach Staub und möglichen kleinen Monden abzusuchen. Die eigentliche Erkundung der Oberfläche begann in 16.000 Kilometer Entfernung, als Dawn am 15. Juli 2011 auf eine Umlaufbahn um den Asteroiden einschwenkte. Ein Jahr lang untersucht Dawn das zweitschwerste Objekt des Asteroidengürtels. Die Sonde kreist dabei – infolge mehrerer Bremsmanöver – immer tiefer über der Oberfläche. Drei Beobachtungsphasen folgen aufeinander.

Die erste Phase nutzt einen Orbit von 2.420 Kilometern über der Oberfläche mit einer Umlaufzeit von 68 Stunden. Dort werden Bilder des gesamten Asteroiden aufgenommen sowie eine Spektralanalyse durchgeführt. Aus den Einzelbildern wird ein erstes dreidimensionales Modell Vestas erstellt. Die Spektralanalyse gibt Aufschluss über die mineralogische Zusammensetzung der obersten Asteroidenschicht.

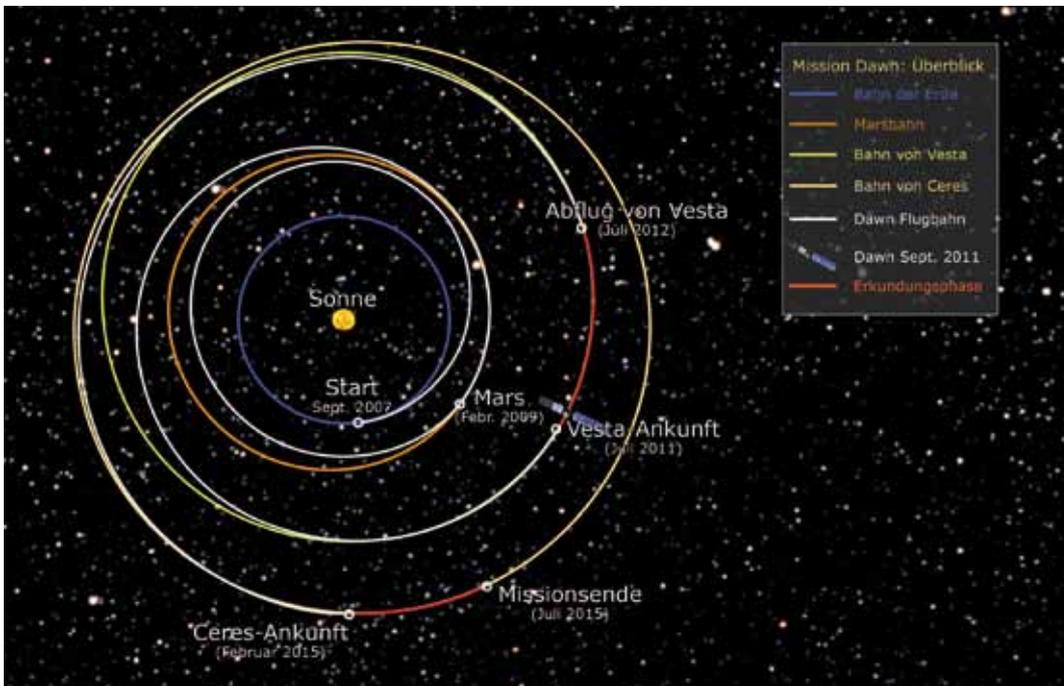
In der zweiten Phase umkreist Dawn den Asteroiden in zwölf Stunden auf einem Orbit in 670 Kilometer Höhe über der Oberfläche. Von dort aus werden insbesondere hochaufgelöste Bilder gesammelt, die die detaillierte Analyse geologischer Formationen erlauben. Phase drei führt die Sonde bis auf 180 Kilometer an die Oberfläche heran auf einen Orbit, in dem Dawn in nur vier Stunden Vesta umrundet. In dieser Phase haben die Messungen des Gammastrahlen- und Neutronendetektors Priorität. Aus den gewonnenen Daten soll die Beschaffenheit der Oberfläche detailliert bestimmt werden.

On September 27 2007, Dawn took off from the Cape Canaveral spaceport on a Delta II rocket. Its payload consists of a spectrometer, a gamma ray and neutron detector, and a German camera system. On its way to the asteroid belt, Dawn flew by Mars at a short distance in February 2009, gaining additional momentum for the journey to the first destination of its mission, Vesta. During the approach to Vesta, the space probe's camera was already busy scanning the vicinity for dust and possible small moons. Surface exploration properly began at a distance of 16,000 kilometres when Dawn was spiraling into an orbit around the asteroid on July 15, 2011. For one year, Dawn will study the second heaviest object in the asteroid belt, executing several braking manoeuvres to lower its orbit gradually. Altogether, there will be three successive phases of observation.

In the first phase, the probe will fly 2,420 kilometres above the surface in an orbit with a period of 68 hours, taking pictures of the entire asteroid and running a spectral analysis. The pictures will eventually be amalgamated into a tentative 3-D model of Vesta. The spectral analysis will reveal the mineralogical composition of the top layer of the asteroid's surface.

In the second phase, Dawn will circle the asteroid in 12 hours at an altitude of 670 kilometres above the surface. From this orbit, it will acquire high-resolution images that permit analysing geologic formations in detail. In phase three, Dawn will descend to an altitude of 180 kilometres above the surface, completing a full circle around Vesta in no more than four hours. In this phase, priority will be given to the measurements of the gamma ray and neutron detector. The resultant data will be used to determine the exact condition of the surface.

In July 2012, having explored Vesta, Dawn will head for Ceres, which is somewhat farther away from the Sun.



Die Dawn-Mission
The Dawn Mission

Von der Erde gestartet absolviert Dawn einen Vorbeiflug am Mars, um zwei Jahre später in den Orbit um Vesta einzutreten. Ein Stück begleitet die Sonde den Asteroiden auf seinem Weg. Anschließend verlässt sie Vesta in Richtung Ceres. *Launched from Earth Dawn makes a Mars-flyby to enter an orbit around Vesta two years later. The spacecraft accompanies the asteroid a short way. Afterwards it leaves Vesta in Ceres direction.*

Nach der Erkundung von Vesta wird Dawn im Juli 2012 Kurs auf den noch etwas weiter von der Sonne entfernten Ceres nehmen. In knapp drei Jahren umläuft die Sonde auf einer Auswärtsspirale zu drei Vierteln unser Zentralgestirn, um im Februar 2015 den größten und schwersten aller Asteroiden zu erreichen. Wie schon zuvor bei Vesta wird Dawn im Anflug die nähere Umgebung von Ceres untersuchen. Die genaue Erkundung von Ceres unterteilt sich ebenfalls in drei Phasen. Bis hinunter auf 690 Kilometer wird sich Dawn der Oberfläche des Zwergplaneten nähern. Anschließend soll die Sonde mindestens fünfzig Jahre auf einer stabilen Bahn in einer Art „Quarantäne“ um Ceres kreisen. Die Planetenforscher wollen dadurch verhindern, dass irdische Mikroben, die möglicherweise der Sonde anhaften, auf die Oberfläche von Ceres gelangen. Denn sollten dort eines Tages Spuren einfachen Lebens entdeckt werden, sollte das auf keinen Fall ein Import von der Erde sein.

Dawn ist bereits die neunte Mission im Discovery-Programm der NASA, das sich durch kosteneffiziente Projekte mit einem vergleichsweise geringen Budget von rund 500 Millionen US-Dollar auszeichnet. Geleitet wird die Mission vom Jet Propulsion Laboratory (JPL) der amerikanischen Weltraumbehörde. Das JPL ist ebenfalls eine Abteilung des California Institute of Technology in Pasadena. Die University of California in Los Angeles ist für den wissenschaftlichen Teil der Mission verantwortlich.

Following an outward spiral, the probe will complete three quarters of an orbit around our central star in a little less than three years, reaching the largest and heaviest of all asteroids in February 2015. As in the case of Vesta, Dawn will examine the vicinity of Ceres during its approach. The detailed exploration of Ceres will also be subdivided into three phases. Dawn will come as close as 690 kilometres to the surface of the dwarf planet. At that altitude, the probe will continue circling around Ceres for at least 50 years, remaining in a stable orbit in a kind of 'quarantine'. By this, planetary researchers intend to keep the surface of Ceres from being contaminated by any terrestrial microbes that might be carried by the probe. For if traces of primitive life should indeed be discovered there, they should not be terrestrial imports.

Dawn is the ninth mission in NASA's Discovery programme which is distinguished by cost-efficient projects with a comparatively low budget of around 500 million US dollars. The mission is coordinated by the American space agency's Jet Propulsion Laboratory (JPL), which is also a department of the California Institute of Technology at Pasadena. The University of California at Los Angeles is responsible for the scientific part of the mission.



Dawn ist eine Mission im Discovery-Programm der NASA und dabei ein herausragendes Beispiel transatlantischer Kooperation mit Partnern in Deutschland und Italien. Die wissenschaftliche Leitung der Mission liegt bei der University of California in Los Angeles. Dawn ist eine mission in NASA's Discovery programme and thereby an outstanding example of transatlantic co-operation with partners in Germany and Italy. The scientific leadership is situated at the University of California at Los Angeles.

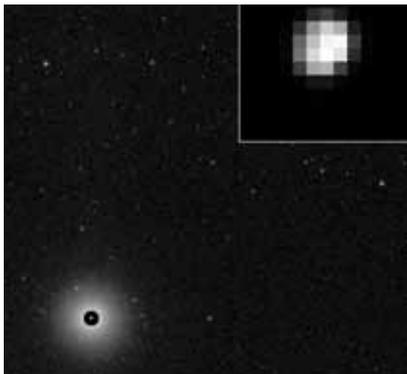
Deutsche Kamera an Bord *German Camera on Board*

Künstlerische Darstellung der Dawn-Sonde beim Verlassen der Erdumlaufbahn. Die beiden baugleichen Framing Cameras befinden sich auf der Oberseite am vorderen Rand des Satellitenbus'.
Artist's rendition of the Dawn satellite during its departure from Earth orbit. The two redundant Framing Cameras can be located on top of the satellite bus at the front edge.



Dawn trägt mit einem Kamerasystem „Made in Germany“ einen bedeutenden deutschen Beitrag. Die Kamera ist eigentlich ein Zwillingsspaar, denn gleich zwei baugleiche Modelle wurden auf der Raumsonde installiert – ein wichtiger Sicherheitsfaktor, denn sollte eine der beiden Kameras ausfallen, würde immer noch die zweite den reibungslosen Verlauf der Mission gewährleisten.

The camera system which Dawn carries constitutes a major German contribution. Properly speaking, the camera is a pair of twins because two instruments of identical construction were installed in the space probe – an important backup feature to ensure that, if one of the two cameras should fail, there would still be another for the mission to continue smoothly.



Das erste Ziel von Dawn, der Asteroid Vesta, aus 975.000 Kilometer Entfernung aufgenommen. Diese Bilder der Framing Camera dienten der optischen Navigation der Raumsonde.
Dawn's first target, asteroid Vesta, imaged from a distance of 975,000 kilometres: these Framing Camera images were used for optical navigation of the spacecraft.

Die hohe Zuverlässigkeit wird im doppelten Sinne benötigt, da zwei entscheidende Aufgaben vom Kamerasystem übernommen werden. Zum einen erfasst es hochpräzise die Oberfläche der Zielasteroiden, zum anderen ist es ein unerlässliches Hilfsmittel zur Navigation der Raumsonde, denn Vesta und Ceres werden von Dawn jeweils auf „Sichtkontakt“ angeflogen.

There are two reasons for such high reliability, for the camera system has two crucial tasks to perform. One is to survey the surface of the target asteroids with a high degree of precision; the other is to assist with the space probe's navigation. Cameras are indispensable because Dawn approaches both Vesta and Ceres 'by sight'.

Die Kamera ist ein erstklassiges Instrument für die Kartierung und Untersuchung unregelmäßiger und kraterübersäter Oberflächen. Aus verschiedenen Entfernungen zu Vesta und später zu Ceres sammelt sie Bilddaten aus unterschiedlichsten Blickwinkeln zur Oberfläche. Ein Filterrad ermöglicht dabei neben einem panchromatischen Filter sieben verschiedene engbandige Farbkanäle, wobei sichtbares und nahes infrarotes Licht in den Wellenlängen zwischen 450 und 920 Nanometern erfasst werden.

The camera is a first-rate instrument for mapping and examining irregular, crater-strewn surfaces. Observing Vesta and, later on, Ceres from various distances, it gathers image data from a wide range of angles relative to the surface. A filter wheel permits taking images besides a clear filter in seven different narrow-band colour channels in both visible and near-infrared light at wavelengths between 450 and 920 nanometres.

Der Kameraaufbau unterteilt sich jeweils in eine Fokalebene mit Aufnahmesensor und ein darüber liegendes Teleskop mit einer Brennweite von 150 Millimetern, so wie einer darunter liegenden Elektronikbox, die eine Datenverarbeitungseinheit mit Datenspeicher enthält. Da das Herzstück des Instruments ein digitaler Flächensensor mit 1.024 x 1.024 Pixeln ist, wird das Kamerasystem als „Framing Camera“ (FC) bezeichnet. Die Entwicklung und Umsetzung des deutschen Beitrags zur Dawn-Mission beruht auf einer intensiven und weitreichenden Kooperation deutscher Forschungseinrichtungen und Unternehmen.

Unter der Federführung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung (MPS) in Katlenburg-Lindau wurde die „Framing Camera“ in Kooperation mit dem DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof und dem Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze der Technischen Universität Braunschweig entwickelt und gebaut. Am MPS wurde das Kameragehäuse, inklusive des Filterrads, des Verschlussdeckels und der Elektronikbox entwickelt sowie das Gesamtsystem auf Weltraumtauglichkeit getestet. Das MPS ist im Rahmen der Gesamtleitung des Experiments ebenso für den Betrieb der Kamera während der gesamten Mission verantwortlich. Die Aufnahmeplanung erfolgt in Koordination mit dem DLR-Institut für Planetenforschung, wo sämtliche Bilddaten und Bildprodukte archiviert werden.

Im DLR wurde die elektronische Einheit der Kamera mit den lichtempfindlichen Sensoren und der Ausleseelektronik entwickelt und gebaut. Die Firma Kayser-Threde lieferte die Optik des Sensorteils. Das Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze beteiligte sich mit dem Modul zur Datenverarbeitung.

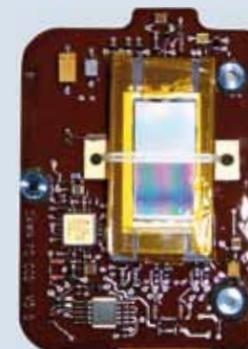
Die „Framing Camera“ basiert auf der Entwicklung von Instrumenten auf den europäischen Missionen Rosetta, Venus Express und Mars Express. An der Dawn-Mission sind deutsche Wissenschaftler vom DLR, dem MPS, der Freien Universität Berlin und der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster beteiligt.

Each camera consists of an image sensor in the focal plane, a telescope with a focal length of 150 millimetres above, and an electronics box containing a data processing and memory unit below. Because the core of the instrument consists of a digital flat panel sensor of 1,024 x 1,024 pixels, it is called a framing camera (FC). Germany's contribution to the Dawn mission was developed and implemented as an intensive and extensive cooperation between German research institutes and enterprises.

The framing camera was developed and built by the Max Planck Institute of Solar System Research (MPS) at Katlenburg-Lindau in cooperation with the DLR Institute of Planetary Research at Berlin-Adlershof and the Institute of Data Technology and Communication Networks at Braunschweig Technical University. The camera casing including the filter wheel, the shutter cover, and the electronics box were developed and spacequalified at the MPS. In charge of principal project management, the MPS, is also responsible for the operation of the camera during the entire mission. All imaging is scheduled in consultation with the DLR Institute of Planetary Research in Berlin-Adlershof, where all image data and products are archived.

The camera's electronic unit together with the light-sensitive sensors and the readout electronics were developed and built at DLR. While Kayser-Threde supplied the lens system of the sensor component, the Institute of Data Technology and Communication Networks provided the data processing module.

The framing camera is based on technology developed for instruments carried on the European missions Rosetta, Venus Express and Mars Express. German scientists from DLR, the MPS, the Free University of Berlin, and Münster University participate in the Dawn mission.



Eine von zwei baugleichen ‚Framing Cameras‘ vor der Integration in die Dawn-Raumsonde (Bild oben); Hauptplatine der Kamera-Elektronik (links) und CCD-Platine des Detektors (rechts) der Auslese-Elektronik für die Kamera (mittleres Bild); Nahaufnahme der CCD-Platine mit dem 1.024 mal 1.024 großen Aufnahmesensor und dem dahinter geschalteten, bedeckten Ladungsübertragungssensor (Bild unten).
One of two identical Framing Cameras before its integration in the Dawn spacecraft (top); main-electronics board of the camera (left) and detector CCD board (right) of the camera's front-end electronics (middle); close-up of the CCD board with its 1,024 by 1,024 pixel imaging sensor and the covered frame-transfer CCD connected to it (bottom image).

Asteroiden in 3D – Datenprozessierung im DLR

Asteroids in 3-D – Data Processing at DLR

Die Dawn „Framing Camera“ wird die Oberflächen von Vesta und Ceres aus verschiedenen Perspektiven und unter wechselnden Lichtverhältnissen aufnehmen. Diese Aufnahmen sind die Grundlage für 3D-Modelle der Asteroiden.

Während zweidimensionale Bilder von Planetengeologen meist nur für qualitative Aussagen herangezogen werden können, ermöglicht ihnen die dritte Dimension, geologische Formationen detailliert quantitativ zu analysieren. Beispielsweise interessiert die Forscher, wie steil die Abhänge einer bergigen Oberfläche sind, um auf die Viskosität des vorhandenen Gesteinsmaterials zu schließen. So können längst vergangene vulkanische Aktivitäten aufgedeckt werden und Rückschlüsse auf die mineralogische Zusammensetzung der einstigen Lavaströme werden möglich. Spannend ist zudem die exakte dreidimensionale Vermessung der unzähligen Krater eines Asteroiden. Anhand ihrer Form und der Höhe ihrer Ränder können die Wissenschaftler die Wucht des früheren Einschlags, die Masse des Projektils sowie die Beschaffenheit des Zielgebiets nachvollziehen.

Das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung stellt die zur weiteren Verarbeitung benötigten, systematisch korrigierten Rohbilddaten der „Framing Camera“ bereit. Am DLR-Institut für Planetenforschung entstehen daraus die dreidimensionalen Bildprodukte zur

Dawn's framing camera will photograph the surfaces of Vesta and Ceres from a variety of perspectives and under varying light conditions. These images will form the basis for 3-D models of the two asteroids.

While, in most cases, two-dimensional images provide nothing but qualitative information, the third dimension permits planetary geologists to analyse details of geologic formations quantitatively. Thus, for example, researchers are interested in learning how steep the slopes of a mountainous surface are, from which they can draw conclusions regarding the viscosity of the rocky material. This provides an indication of any volcanic activity of the distant past and permits conclusions regarding the mineralogical composition of ancient lava flows. Another thrilling piece of research will be to make exact three-dimensional surveys of the innumerable craters on an asteroid, because the shape and height of a crater's rim enables scientists to reconstruct the force of the ancient impact, the mass of the projectile, and the condition of the impact area.

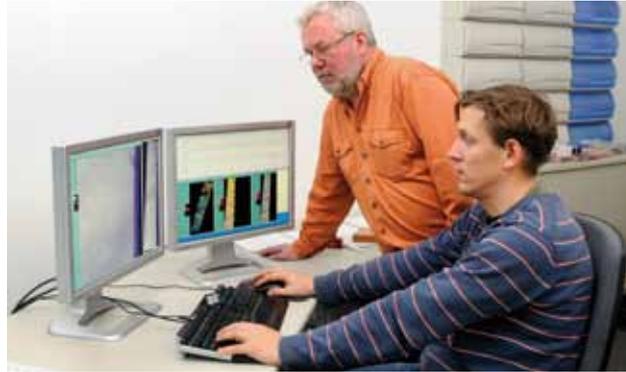
The Max Planck Institute of Solar System Research provides the systematically corrected raw image data of the framing camera that are needed for further processing. The DLR Institute of Planetary Research processes these data into three-dimensional image products required for mapping and studying Vesta and Ceres scientifically. The stereo software used in the process has stood the test of time, having been used for many years to generate three-dimensional maps of the Moon, Mars, and Mercury. All image data from the two 'Dawn asteroids' are collected and archived by DLR to be integrated in NASA's Planetary Data System (PDS) at a later stage.

Hauptaufgabe der Wissenschaftler im DLR-Institut für Planetenforschung ist es, den Dawn-Bilddaten exakte Koordinaten zuzuweisen und hochpräzise Bildkarten und Atlanten von Vesta und Ceres zu erstellen.
The main task of the scientists in DLR's Institute of Planetary Research is to determine exact coordinates for all image data and facilitating the production of high-precision image maps and atlases of Vesta and Ceres.

Kartierung und wissenschaftlichen Untersuchung von Vesta und Ceres. Die dabei verwendete Stereo-Software ist vielfach erprobt. Sie wird bereits seit Jahren bei der dreidimensionalen Kartierung von Mond, Mars und Merkur eingesetzt. Sämtliche Bilddaten der beiden „Dawn-Asteroiden“ werden im DLR gesammelt und gespeichert und später ins Planetary Data System (PDS) der NASA überführt.

Für die dreidimensionale Bilddatenprozessierung nutzen die Forscher des DLR sogenannte stereo-photogrammetrische Methoden. Die Photogrammetrie verwendet die Informationen von mindestens zwei Aufnahmen derselben Region des Asteroiden aus verschiedenen Perspektiven. Diese Stereodaten werden so prozessiert, dass für jedes Pixel eine Höheninformation abgeleitet werden kann, die dann in ein detailliertes dreidimensionales Geländemodell einfließt. Die Information über die mit jedem Orbit der Sonde wechselnden Perspektiven auf die Oberfläche werden während der Stereoverarbeitung jeweils berücksichtigt und weiter verbessert. Dabei hängt die Genauigkeit des entstehenden 3D-Modells auch von der hochpräzisen Kalibrierung der „Framing Camera“ ab, die vor dem Start mit großer Sorgfalt durchgeführt wurde. Im fertigen Modell können schließlich Details mit weniger als zehn Meter Höhenunterschied abgebildet werden.

Vor dem ersten realen Vesta-Einsatz wurde die Stereo-Software einem umfassenden Test unterzogen. Grundlage waren Simulationen von Aufnahmen des Asteroiden, die das Jet Propulsion Laboratory der NASA aus früheren „verwaschenen“ Hubble-Bildern Vestas erstellt hatte. Daraus entwickelten die DLR-Forscher – bereits vor der Ankunft Dawns bei Vesta – ein entsprechendes virtuelles 3D-Modell des Asteroiden.



To process these three-dimensional image data, DLR's researchers use so-called stereo-photogrammetric methods. Photogrammetry uses the information contained in at least two images of the same region of an asteroid taken from different perspectives. These stereo images are processed so as to obtain elevation data of every single pixel, from which a detailed three-dimensional terrain model is developed. Any information about the probe's perspective of the surface, which changes with every orbit, is factored in and improved during stereo processing. The accuracy of the resultant 3-D models depends, among other things, on calibration of the framing camera, which was carried out with great care and precision before the launch. Once complete, the model will show details down to less than ten metres in elevation difference.

Before its first real-life application to Vesta, the stereo software was tested comprehensively, using simulated images of the asteroid generated by NASA's Jet Propulsion Laboratory from earlier, blurred pictures of Vesta taken by the Hubble Space Telescope. From these, DLR researchers developed a virtual 3-D model of the asteroid even before Dawn arrived at Vesta.

DLR-Wissenschaftler berechnen die genaue Form von Vesta und Ceres und dreidimensionale Geländemodelle der Oberflächen der Asteroiden.

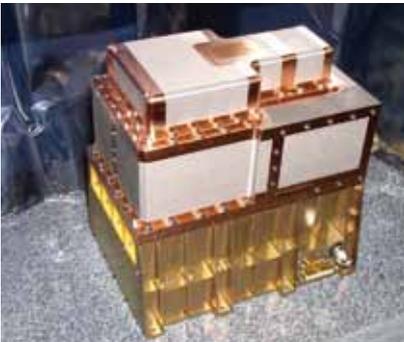
DLR scientists calculate precise shape models of Vesta and Ceres, and three-dimensional terrain models of the surfaces of the asteroids.

Weitere Instrumente

Other Instruments



Das abbildende Spektrometer VIR (Visual and Infrared Spectrometer) des nationalen italienischen Instituts für Astrophysik (INAF) und der italienischen Raumfahrtagentur ASI. *The imaging spectrometer VIR (Visual and Infrared Spectrometer) of the National Italian Institute of Astrophysics and the Italian Space Agency ASI.*



Der Gammastrahlen- und Neutronendetektor GRaND (Gamma Ray and Neutron Detector) des US-amerikanischen National Laboratory in Los Alamos. *The Gamma Ray and Neutron Detector GRaND built by the American Los Alamos National Laboratory.*

Die Raumsonde Dawn trägt insgesamt drei wissenschaftliche Experimente an Bord. Neben dem Kamerasystem werden Messungen mit einem Spektrometer und einem Gammastrahlen- und Neutronendetektor durchgeführt. Zusätzlich nutzen die Forscher Radiowellen des Funkverkehrs der Sonde zur Vermessung des Schwerefelds der Asteroiden.

Das Spektrometer für sichtbares Licht und infrarote Strahlung (VIR) ist – neben dem deutschen Kamerasystem – der zweite europäische Beitrag zur US-amerikanischen Dawn-Mission. Das Spektrometer vermisst die asteroideneigene Wärmestrahlung (Infrarot) sowie das vom Asteroiden reflektierte Sonnenlicht in Wellenlängen des sichtbaren Lichts und des nahen Infrarot. Aus diesen Daten können die Wissenschaftler viel über die chemische und mineralogische Zusammensetzung von Gestein, Staub und Eis auf der Oberfläche der Asteroiden lernen.

Herz des Spektrometers ist eine Anordnung von Quecksilber-Cadmium-Tellur-Photodioden, die auf minus 203 Grad Celsius heruntergekühlt sind. Diese Dioden können infrarote Strahlung zwischen 0,95 und 5,0 Mikrometer Wellenlänge erfassen – das ist der Bereich mit den meisten „Farb-Fingerabdrücken“ gesteinsbildender Minerale. Ein CCD-Chip erfasst zusätzlich das an UV und Infrarot angrenzende sichtbare Licht zwischen 0,25 und 1,0 Mikrometer.

Das Dawn-Spektrometer VIR wurde federführend vom italienischen Istituto Nazionale Di Astrofisica (INAF) in Rom mit Unterstützung der Agenzia Spaziale Italiana (ASI) entwickelt. VIR ist eine technische Modifikation der Spektrometer auf Rosetta und Venus Express. Zudem nutzt es wesentliche technische Details des Spektrometers für sichtbares und infrarotes Licht, welches auf dem Saturn-orbiter Cassini eingesetzt wird.

The Dawn space probe carries a total of three scientific experiments. In addition to the camera system, there are a spectrometer and a gamma ray and neutron detector. In addition, researchers use the probe's radio communication waves to measure the asteroid's gravitational field.

Next to the German camera system, the spectrometer for visual and infrared light (VIR) represents Europe's second contribution to the American Dawn mission. It measures the asteroid's own heat (infrared) radiation as well as the sunlight reflected by it in the visible light and near-infrared ranges. These datasets tell scientists a great deal about the chemical and mineralogical composition of the rock, dust, and ice on the surface of the asteroid.

At the heart of the spectrometer there is an array of mercury-cadmium-tellurium photodiodes that is kept at minus 203 degrees Celsius. These diodes are capable of sensing infrared radiation of a wavelength between 0.95 and 5.0 micrometres, the range that carries most of the 'colour fingerprints' of rock-forming minerals. In addition, a CCD chip detects visible light between 0.25 and 1.0 micrometres, a range sandwiched between the UV and the infrared.

The development of Dawn's VIR spectrometer was coordinated by the Italian Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) based in Rome with the support of the Agenzia Spaziale Italiana (ASI). Technically, VIR is a modified version of the spectrometers installed in Rosetta and Venus Express. Moreover, it incorporates essential technical details of the visible and infrared light spectrometer on the Saturn orbiter, Cassini.

The gamma ray and neutron detector (GRaND) similarly serves to explore the chemical composition of the surfaces of Vesta and Ceres. Specifically, scientists expect GRaND to provide information

Der Gammastrahlen- und Neutronendetektor (GRaND) vermisst ebenfalls die chemische Zusammensetzung der Oberflächen von Vesta und Ceres. Insbesondere wollen die Wissenschaftler mit GRaND erfahren, wie häufig radioaktive Elemente auf beiden Asteroiden vorkommen und wie hoch der Wasseranteil beider Körper ist. Der Detektor vermisst zum einen Neutronen und Gammastrahlung, die beim immerwährenden Aufprall kosmischer Strahlung auf die ungeschützten Asteroiden frei werden. Zum anderen detektiert er Gammastrahlung, die beim spontanen Zerfall radioaktiver Elemente entsteht.

GRaND erfasst die Gammastrahlung mit Hilfe eines Bismut-Germanium-Kristalls. Das elektronische Wechselwirkungssignal der Strahlung im Kristall ist sehr schwach und wird durch einen Photoelektronenvervielfacher verstärkt. Zusätzlich wird ein Cadmium-Zink-Tellur-Halbleiterkristall getestet.

Die Neutronen werden mit Hilfe spezieller Szintillatoren erfasst: Durchquert ein Neutron solch einen Szintillator, entsteht Gammastrahlung, die ebenfalls mit Hilfe der Kristalle des Detektors erfasst wird.

Das Dawn-Instrument GRaND wurde vom US-amerikanischen Los Alamos National Laboratory (LANL) entwickelt und gebaut. Seine technische Konfiguration basiert auf ähnlichen Instrumenten, die zuvor auf den NASA-Missionen Lunar Prospector und Mars Odyssey zum Einsatz kamen.

Mittels Gravimetrie sollen u.a. die Masse, das Schwerfeld und die Rotationsachse von Vesta und Ceres bestimmt werden. Dazu werden die Radiosignale der Raumsonde mit Hilfe der Empfangsstationen am Boden in einem speziellen Verfahren ausgewertet.

about the abundance of radioactive elements on the two asteroids and their respective water content. On the one hand, the detector measures the neutrons and the gamma radiation released by the incessant bombardment of the unprotected asteroids by cosmic rays. On the other hand, it detects the gamma radiation generated by the spontaneous decay of radioactive elements.

To measure gamma radiation, GRaND uses a bismuth-germanium crystal. Since the electronic interaction signal of the radiation in the crystal is very weak, it is amplified by a photo-electron multiplier. A cadmium-zinc-tellurium semiconductor crystal is being tested as well.

Neutrons are detected by special scintillators: a neutron passing through such a scintillator releases gamma radiation that is also registered by the detector's crystals.

The GRaND instrument on Dawn was developed and built by the American Los Alamos National Laboratory (LANL). Its technical configuration is based on instruments similar to those previously flown on NASA's Lunar Prospector and Mars Odyssey missions.

Gravimetric methods will be used, among other things, to determine the mass, gravitational field, and spin axis of Vesta and Ceres. Receiving stations will be applying a special method to evaluate the space probe's radio signals on the ground.

Die Steuerung von Dawn und der Empfang der Daten erfolgt über die drei 70-Meter-Antennen der NASA in Goldstone (Kalifornien), Madrid und Canberra (Bild). The communication with Dawn and the downlink of data is done with NASA's three 70 metre deep-space antennas in Goldstone (California), Madrid, and Canberra (image).



Das Ionen-Triebwerk

The Ion Propulsion System

Dawn wird im Unterschied zu den meisten interplanetaren Sonden nicht durch einen chemischen Raketenmotor angetrieben, sondern durch einen vergleichsweise sparsamen elektrischen Ionenantrieb, der seine Energie von der Sonne bezieht. Erstmals wurde dieses innovative Antriebskonzept, das sich besonders für Langstreckenflüge eignet, 1998 bei der NASA-Mission Deep Space 1 zum Kometen Borrelly eingesetzt. 2004 testeten die Europäer erfolgreich einen eigenen Ionenantrieb auf der Mondsonde Smart-1. Beide Missionen waren wichtige technische Demonstrationen für die weitere Entwicklung elektrischer Raumflugantriebe.

Unlike most other interplanetary probes, Dawn is powered not by a chemical rocket engine but by a far more economical electric ion drive that draws its energy from the Sun. This innovative propulsion concept, which is particularly well suited for long-distance flights, was used for the first time in 1998 on NASA's Deep Space 1 mission to the comet Borrelly. In 2004, the Europeans successfully tested their own ion propulsion system on the



Das Ionentriebwerk von Dawn verbraucht maximal 2.500 Watt. Zur Erzeugung des Stroms in bis zu 420 Millionen Kilometern Sonnenentfernung hat die Sonde große Solarpaneele mit einer Spannweite von 20 Metern.

Dawn's ion-propulsion system needs as much as 2,500 Watts. The solar panels that generate the electricity for the spacecraft to distances as far away from the sun as 420 million kilometres have a wingspan of 20 metres.

Bereits in den 1930er Jahren hatte Werner von Braun erwogen, einen Flugkörper elektrisch anzutreiben. Der später für die NASA tätige deutsche Ingenieur war überzeugt davon, dass Menschen eines Tages „elektrisch zum Mars fliegen“ würden. Da ein solcher Antrieb zu schwach ist, um das Gewicht einer Raumkapsel von der Erde zu heben, geriet die Idee in den ersten Jahrzehnten des Raumfahrtzeitalters in Vergessenheit. Erst der Einsatz kleiner, unbemannter Sonden machte den Ionenantrieb attraktiv.

Im Ionen-Motor werden Elektronen in ein Magnetfeld geschossen, in dem sich das Edelgas Xenon befindet. Wenn ein Xenon-Atom getroffen wird, verliert es eines seiner negativ geladenen Elektronen und wird zum positiv geladenen Ion. Die Xenon-Ionen werden durch das vorhandene Magnetfeld jeweils mit einem kleinen Rückstoß aus der Antriebsdüse herausgeschleudert. Der resultierende Schub ist nicht größer als der Druck, den ein Blatt Papier auf eine ausgestreckte Handfläche ausübt – winzig im Vergleich zu chemischen Raketenmotoren und doch wirkungsvoll.

Smart-1 Moon probe. Both missions were valuable technical demonstrators for the on-going development of electric space propulsion systems.

As early as the 1930s, Wernher von Braun thought of powering a spacecraft by electricity. The German engineer, who later worked for NASA, was convinced that one day people would 'fly electrically to Mars'. As such drives are too weak to lift the weight of a space capsule up from Earth, the idea was not pursued in the first decades of the space age. The ion drive became attractive only when small, automated probes began to be used.

In an ion drive, electrons are fired into a magnetic field that contains xenon, an inert gas. Whenever a xenon atom is hit, it sheds one of its negatively-charged electrons and turns into a positively-charged ion. These xenon ions are ejected from the drive jet by the magnetic field, generating a slight recoil. The resultant thrust is no greater than the pressure exerted by a sheet of paper on the palm of a hand – minute compared to that of chemical rocket engines, but effective.

Das Geheimnis liegt in der Ausdauer der Ionen-Technik. Während chemische Triebwerke nur für einige Minuten zünden und in dieser kurzen Zeit ihren Schub entfalten, können elektrische Triebwerke über Wochen oder sogar Monate laufen und einen Raumflugkörper in kleinen Schritten immer schneller werden lassen. Theoretisch kann so auf einer langen interplanetaren Reise der Schub der stärksten Trägerraketen übertroffen werden.

Der Schlüssel für die Ausdauer ionengetriebener Raumschiffe ist der geringe Treibstoffverbrauch. Dawn benötigt während einer 24-stündigen Zündung nur 250 Gramm Xenon. Am Ende der Mission wird das Ionen-Triebwerk 50.000 Betriebsstunden mit nur 425 Kilogramm mitgeführten Xenongas in Betrieb gewesen sein. Jedes Kilogramm Treibstoff hat dann zehnmal soviel Schub erzeugt, wie es ein Kilogramm Wasserstoff und Sauerstoff im konventionellen Raketenmotor vermocht hätten.

Bereits auf dem Weg zu Vesta hat Dawn den größten Geschwindigkeitszuwachs erlangt, den je ein interplanetares Raumschiff geschafft hat. Alle Beschleunigungs- und Bremsmanöver bis hin zum niedrigsten Orbit um Ceres zusammengerechnet werden Dawns drei Ionen-Triebwerke über die gesamte Reise etwa 2000 Betriebsstage sammeln und dabei die Geschwindigkeit der Sonde um 38.620 Kilometer pro Stunde ändern – das ist im Vergleich zur konventionellen Technologie chemischer Triebwerke annähernd der Schub einer amerikanischen Delta-II-Rakete.

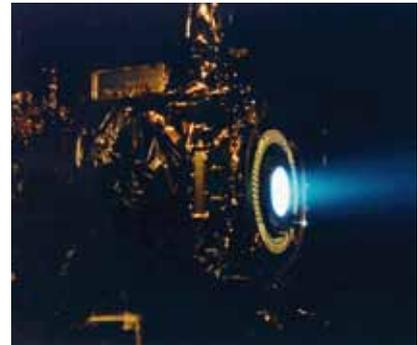
Die Sparsamkeit des Ionenantriebs ermöglicht eine anspruchsvolle Bahnführung für Dawn, die im gesetzten Kostenrahmen mit einem chemischen Triebwerk nicht möglich wäre. Zum ersten Mal in der Raumfahrtgeschichte wird die Sonde den Orbit zweier Himmelskörper nacheinander ansteuern. Vesta und später Ceres werden die Sonde anfangs auf eine mehrere tausend Kilometer entfernte Umlaufbahn lenken. Von dort aus wird sie sich mit gezündetem Ionenantrieb auf einer Einwärtsspirale jeweils über viele Wochen ihrem Zielobjekt nähern.

The secret lies in the endurance of the ion technology. While chemical drives operate for no more than a few minutes, generating their thrust in this brief period of time, electric propulsion systems can run for weeks and even months, very gradually accelerating a spacecraft to ever-increasing velocities. On a long interplanetary journey, their thrust may theoretically even exceed that of the most powerful launcher.

The key to the endurance of ion-powered spacecrafts lies in their low fuel consumption. During a 24-hour firing period, Dawn uses up no more than 250 grams of xenon. At the end of the mission, the ion drive will have been running for 50,000 hours on no more than 425 kilograms of xenon gas, with each kilogram of fuel generating ten times the thrust produced by burning one kilogram of hydrogen and oxygen in a conventional rocket engine.

On its way to Vesta, Dawn obtained the greatest velocity increase ever achieved by an interplanetary spacecraft. Adding all speed-up and slow-down manoeuvres up to the lowest orbit around Ceres together, Dawn's three ion engines are expected to accumulate over the whole journey 2,000 days of operation for a total change in velocity of 38,620 kilometres per hour, which nearly equals, in comparison to common chemical engines, the thrust of an American Delta II rocket.

The fuel economy of the ion drive enables Dawn to follow an ambitious trajectory, that wouldn't be possible with a chemical engine within the cost limits imposed. For the first time in the history of astronautics, the probe will orbit two planetary bodies in succession. Vesta and, later on, Ceres, will initially guide the probe into an orbit at a distance of several thousand kilometres. Firing its ion drive, it will then spend many weeks edging closer to its target object on an inward spiral.



Das Ionen-Triebwerk während eines Testlaufs mit dem charakteristischen blauen Strahl der in einem Magnetfeld beschleunigten Xenon-Ionen.
Dawn's ion-propulsion system during a test run with its characteristic blue jet of xenon ions accelerated in an electromagnetic field.



Die in diesem Tank mitgeführten 450 Kilogramm des Edelgases Xenon reichen für etwa 50.000 Betriebsstunden aus.
A total of 450 kilograms of the inert gas xenon are sufficient for about 50,000 hours of engine burns.

Missionsdaten

Mission Data

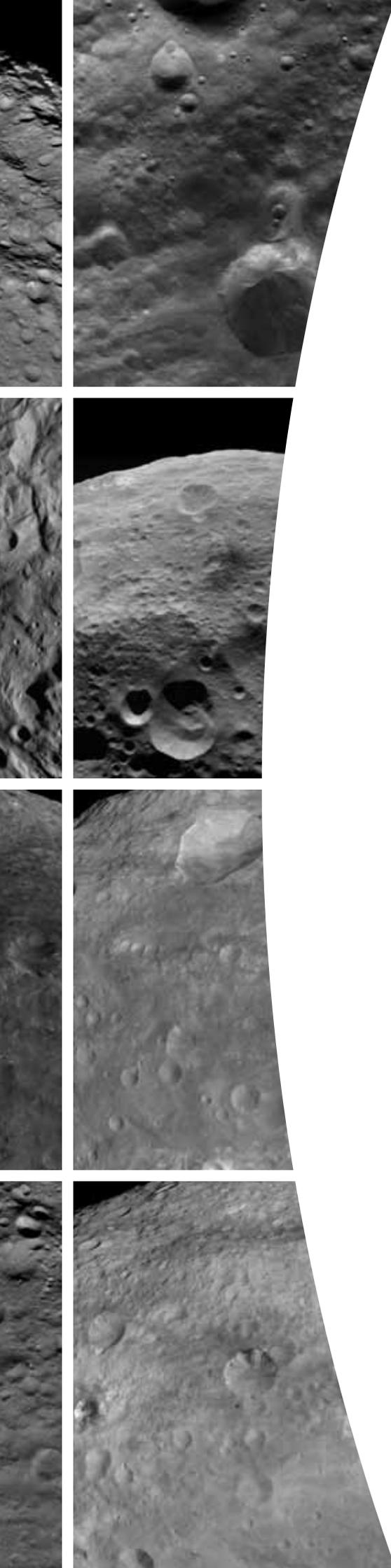
Kerndaten der Mission

- Start: 27. September 2007, Cape Canaveral
- Trägerrakete: Delta 2925H
- Vorbeiflug am Mars: Februar 2009
- Ankunft bei Vesta: Juli 2011
- Ankunft bei Ceres: Februar 2015
- Bodenempfangsstation: Canberra, Madrid, Goldstone
- Bodenkontrollstation: Jet Propulsion Laboratory, Pasadena
- Vesta Orbit: polare Umlaufbahn in 2.420 bis 180 km Höhe
- Ceres Orbit: polare Umlaufbahn in 5.920 bis 480 km Höhe
- Antrieb der Sonde: 3 Xenon-Ionen-Triebwerke
- Gewicht der Sonde: 1.250 kg
- Abmessungen: Höhe ca. 2 m, Spannweite ca. 20 m
- Energieversorgung: Gallium-Arsenid Sonnenkollektoren, 10 kW an der Erde, 1 kW an Ceres

Data of the Mission

- *Launch: September 27, 2007, Cape Canaveral*
- *Launcher: Delta 2925H*
- *Mars fly-by: February 2009*
- *Arrival at Vesta: July 2011*
- *Arrival at Ceres: February 2015*
- *Ground receiving stations: Canberra, Madrid, Goldstone*
- *Ground control station: Jet Propulsion Laboratory, Pasadena*
- *Vesta orbit: polar, 2,420 to 180 km altitude*
- *Ceres orbit: polar, 5,920 to 480 km altitude*
- *Probe propulsion system: 3 xenon-ion engines*
- *Probe weight: 1,250 kg*
- *Dimensions: height, c. 2 m; span, c. 20 m*
- *Power supply: gallium-arsenide solar collectors, 10 kW on Earth, 1 kW at Ceres*

Start der Mission Dawn am 27. September 2007 um 7.34 Uhr Ortszeit vom Weltraumbahnhof Cape Canaveral in Florida mit einer Delta II Heavy 2925H-9.5 Rakete und einer Star 48-Oberstufe.
Launch of the Dawn mission at September 27, 2007, on 7:34 local time from Cape Canaveral spaceport in Florida with a Delta II Heavy 2925H-9.5 rocket including a Star 48 upper stage.



Erste Impressionen der Oberfläche Vestas, aufgenommen mit der Dawn Framing Camera aus einer Höhe von 2.420 Kilometern.
First impressions of Vesta's surface, imaged by Dawn's Framing Camera from an altitude of 2,420 kilometres.

Quellenangaben/References

Bildnachweis/Image credits

DLR

Manuela Köhler
Max-Planck-Institut
für Sonnensystemforschung
NASA
NASA/George Shelton
NASA/JPL

NASA/JPL/MSSS/ESA/DLR
NASA/JPL-Caltech
NASA/JPL-Caltech/JAXA/ESA
NASA/JPL-Caltech/UCLA/McREL
NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA
NASA/JPL/DLR
NASA/JPL/Johns Hopkins University/
Space Telescope Science Institute
SELEX GALILEO-ASI-INAF
Stefan Seip
UCLA

Seiten/Pages

1, 11 oben/top, 13 Mitte/middle und
unten/bottom

15 oben/top

13 oben/top

7 unten/bottom, 10, 11 Mitte/middle
20/21

4 oben/top, 12 oben/top, 19 oben/top,
19 unten/bottom

6 oben/top

4 unten/bottom, 6 unten/bottom, 17

2/3

18

9, 12 unten/bottom, 14/15 unten/bottom

5

6 oben/top

16 oben/top

7 oben/top

16 unten/bottom

Impressum/Imprint

Herausgeber/ Published by

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

German Aerospace Center
Member of the Helmholtz Association

Institut für Planetenforschung/*Institute of Planetary Research*

Anschrift/Address

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

Redaktion/Editor

Prof. Dr. Ralf Jaumann, Falk Dambowski, Ulrich Köhler,
Susanne Pieth; Leif Allendorf (Textentwürfe/draft text)

Übersetzung/ Translation

Marion Becker-Dalhoff, Alfter

Gestaltung/Design

ziller design, Mülheim an der Ruhr

Druck/Printed by

K+L Druckenplus GmbH, Berlin

Drucklegung/ First Impression

Berlin, September 2011/*Berlin, September 2011*

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige Verwendung nur nach
vorheriger Absprache mit dem DLR gestattet.

*This brochure may be reprinted in whole or in part or otherwise
used commercially only by previous agreement with the DLR.*

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, 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 15 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.900 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

DLR at a Glance

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

Approximately 6,900 people are employed at fifteen locations in Germany: Cologne (headquarters), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also operates offices in Brussels, Paris, and Washington D.C.



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

German Aerospace Center
Member of the Helmholtz Association

Institute of Planetary Research
Rutherfordstraße 2
D-12489 Berlin-Adlershof

www.DLR.de