

## Dawn – eine Reise zu den Anfängen unseres Sonnensystems

Die Asteroiden Vesta und Ceres, die in einem Abstand von mehr als 300 Millionen Kilometern um die Sonne kreisen, könnten unterschiedlicher nicht sein: Während Vesta einst ein heißes, geschmolzenes Inneres hatte und Lava spuckte, war Ceres schon immer ein kalter Brocken, unter dessen Oberfläche sich möglicherweise gefrorenes Wasser befindet. Diese "Mini-Welten" sind Ziel der Mission Dawn der amerikanischen Welt- raumagentur NASA. Doch die Mission, die 2007 ins All startete, ist weit mehr als eine Reise zu zwei weit entfernten Himmelskörpern. Sie ist eine Zeitreise zu den Anfängen unseres Sonnensystems vor mehr als 4,5 Milliarden Jahren. Denn Vesta und Ceres gehören zu den größten Überbleibseln aus dieser frühen Phase der Planetenentwicklung. Im Juli 2011 erreicht die Raumsonde Dawn zunächst den Asteroiden Vesta, 2015 den Asteroiden Ceres.

Neben zwei weiteren wissenschaftlichen Instrumenten trägt Dawn ein Kamerasystem an Bord, das unter Leitung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung (MPS) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Planetenfor- schung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Berlin und dem Institut für Daten- technik und Kommunika- tionsnetze (IDA) in Braunschweig entwickelt und gebaut wurde.



## Die Entstehung der Planeten

Vor etwa 4,5 Milliarden Jahren sah unser Sonnensystem völlig anders aus als heute. Statt der heutigen acht Planeten drehte sich erst eine Wolke, später eine Scheibe aus Gas und Staub um die gerade entstandene Sonne. Neben Wasserstoff und Helium bestand diese "Ur-Materie" hauptsächlich aus Sauerstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Silizium, Magnesium und Eisen.

Unter dem Einfluss der Schwerkraft ballten sich mit der Zeit unregelmäßig geformte Klumpen zusammen, die schließlich Durchmesser von einigen Kilometern erreichten. Durch weitere Zusammenstöße vereinigten sich diese Brocken, wuchsen weiter und wurden zu Protoplaneten – kleiner noch als die heutigen Planeten, aber bereits von gleichförmiger Gestalt und mit einem strukturierten inneren Aufbau.

Auf ihre Umgebung wirkten die vergleichsweise großen Protoplaneten wie kosmische Staubsauger: Ihre Ge-

wichtskraft zog alle weitere Materie an, bis die Umgebung weitestgehend gereinigt war. Allein im so genannten Asteroidengürtel zwischen den Umlaufbahnen von Mars und Jupiter vollzog sich eine andere Entwicklung. Hier verhinderte der Einfluss des Proto-Jupiter, dass sich weitere Planeten bildeten. Die "Vorplaneten" Vesta und Ceres blieben deshalb in einer frühen Phase ihrer Entwicklung stehen. Ihr innerer Aufbau hat sich seit etwa 4,5 Milliarden Jahren kaum weiterentwickelt.

Das neu geborene Planetensystem veränderte sich durch den Einfluss der Sonne weiter. Durch ihre Hitze und das Bombardement aus geladenen Teilchen, die sie ins All schleudert, verloren die inneren Planeten (Merkur, Venus, Erde, Mars) ihre Gasbestandteile; zurück blieben feste Körper. Die äußeren Planeten (Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun) und ihre Monde hingegen blieben reich an Wasser.

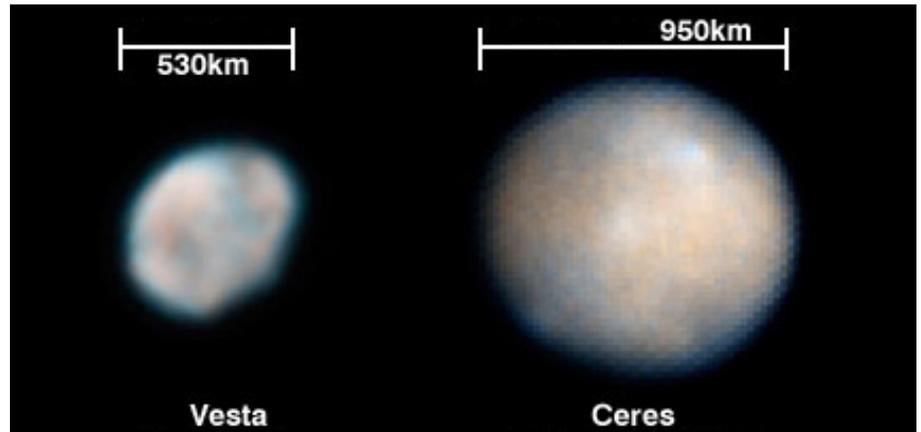
A Die Asteroiden Vesta und Ceres sind die Ziele der Raumsonde Dawn.

Grafik: NASA/JPL-Caltech/UCLA

# Vesta und Ceres – zwei ungleiche Schwestern

B Aufnahmen der Asteroiden Vesta und Ceres mit Hilfe des Weltraumteleskops Hubble.

Bild: NASA/ESA/University of Maryland/SWRI



Die Asteroiden Vesta und Ceres gehören zu den massenreichsten Objekten im Asteroidengürtel. Der Äquatordurchmesser von Vesta beträgt etwa 530 Kilometer, Ceres erstreckt sich über 950 Kilometer. Doch nicht nur wegen ihrer beachtlichen Ausmaße sind Vesta und Ceres für Wissenschaftler von Bedeutung. Forscher verblüfft vor allem, dass beide Körper völlig verschieden sind, obwohl ihre jeweiligen Entfernungen von der Sonne sich nur um etwa 60 Millionen Kilometer unterscheiden.

Während Vesta überwiegend aus festem Gestein besteht und möglicherweise einst ein heißes Inneres hatte, ist Ceres kalt und enthält wahrscheinlich leichtflüchtige Stoffe wie Wasser. Das Asteroidenpaar steht somit stellvertretend für den Übergang, der sich im Asteroidengürtel vollzieht – von den festen, inneren Planeten zu den weit entfernten Gasriesen und ihren Monden, die hauptsächlich aus Helium, Wasserstoff und Methan bestehen.

W a r u m haben sich die Planeten in d i e s e n beiden Regionen des Sonnensystems so unterschiedlich entwickelt? Und was geschah im Asteroidengürtel? Diese Fragen soll die Mission Dawn klären.

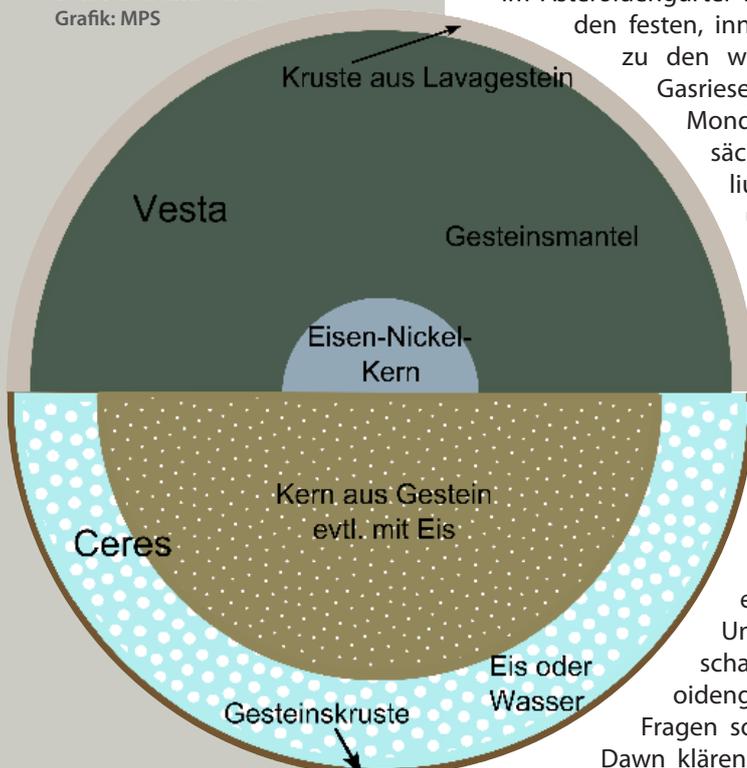
## Vesta

Der innere Aufbau von Vesta ist grob mit dem der Erde vergleichbar. Trotz seiner ellipsoiden Gestalt und dem deutlich kleineren Durchmesser besteht der Asteroid aus drei Schichten: Eine etwa 25 Kilometer dicke Lage aus erkalteter Lava überdeckt eine tiefer liegende Gesteinsschicht und einen Eisen-Nickel-Kern. Besonders das erkaltete Lavagestein an der Oberfläche deutet darauf hin, dass Vestas Inneres einst heiß und aktiv war.

Doch anders als bei der Erde erzeugen die darüberliegenden Schichten bei der deutlich kleineren Vesta nicht genügend Druck und somit Hitze, um das Innere dauerhaft in einem flüssigen Zustand zu halten. Vieles spricht dafür, dass stattdessen radioaktive Stoffe im Kern einst die nötige Hitze erzeugten. Die Explosion eines entfernten Sterns in der Frühphase unseres Sonnensystems könnte diese Stoffe in die Region des Asteroidengürtels getragen haben. Die gerade entstehende Vesta nahm dieses "Brennmaterial" auf, kühlte wegen ihrer geringen Größe jedoch schnell wieder aus.

Die Zerfallsprodukte des radioaktiven Aluminiums, die Forscher in bestimmten Meteoriten auf der Erde gefunden haben, stützen diese Theorie. Wegen ihrer sonstigen mineralogischen Zusammensetzung lassen sich diese kosmischen Brocken der Vesta zuordnen. Der gewaltige Einschlag, der gleichzeitig einen riesigen Krater an der Südseite Vestas erzeugt hat, könnte die Meteoriten einst aus ihrem Mutterasteroiden geschlagen haben. Auch die so genannten Vestoide, eine Gruppe von Asteroiden, sind vermutlich bei diesem Zusammenstoß entstanden.

C Der schematische innere Aufbau von Vesta und Ceres  
Grafik: MPS



## Ceres

Der Asteroid Ceres ist der größere der beiden ungleichen Schwestern und nahezu kugelförmig. Bisher ist nur wenig über seine Beschaffenheit und seinen Aufbau bekannt. Die geringe Dichte des Körpers deutet darauf hin, dass Ceres im Innern keinen metallischen Kern besitzt. Forscher vermuten, dass sich unter der obersten, nur einige Zentimeter dicken Schicht aus möglicherweise wasserhaltigem Tonmineral-Gestein eine Schicht aus gefrorenem Wasser – vielleicht zusätzlich eine aus flüssigem Wasser – erstreckt. Den Kern könnte ein Gemisch aus Gestein und Eis bilden. In seiner Zusammensetzung gleicht der Asteroid Ceres somit den

Jupitermonden Ganymed und Callisto. Manche Wissenschaftler glauben zudem, dass Ceres gefrorene Polkappen besitzt, die im Sommer verdunsten. Diese Theorie stützt sich auf Hinweise, dass vom Nordpol des Asteroiden eine Verbindung aus Sauerstoff und Wasserstoff entweicht.

Dies alles deutet darauf hin, dass Ceres ein kalter Körper ist, der nie einen heißen Kern besaß. Warum nicht auch Ceres (so wie Vesta) radioaktives Aluminium einfiel und sich dadurch aufheizte, ist bisher unklar. Möglicherweise ist der größere Asteroid jünger und hat so die verantwortliche Sternexplosion verpasst.

## Die lange Reise zu den Asteroiden

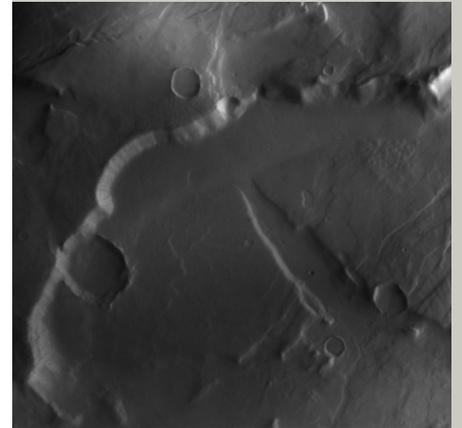
Dawn ist eine Mission der amerikanischen Weltraumagentur NASA, die vom Jet Propulsion Laboratory (JPL) durchgeführt wird. Die Dauer der Mission ist auf acht Jahre ausgelegt. Am 27. September 2007 startete die Raumsonde auf ihre lange Reise. Ihr erstes wissenschaftliches Ziel, den Asteroiden Vesta, erreicht sie im Juli 2011. Ein Jahr lang wird die Sonde den Asteroiden begleiten und dabei Schritt für Schritt in immer tiefere Umlaufbahnen vordringen. Zum Schluss werden die Sonde weniger als 200 Kilometer von der Oberfläche des Asteroiden trennen.

Den Asteroiden Ceres erreicht Dawn voraussichtlich Anfang 2015. Eine günstige Konstellation beider Asteroiden ermöglicht diese relativ kurze Flugzeit. Während der folgenden Monate nähert sich Dawn der Ceres-Oberfläche bis auf etwa 700 Kilometer.

Um Treibstoff zu sparen, flog Dawn auf ihrem Weg in den Asteroidengürtel im Februar 2009 dicht am Mars vorbei. Ein solches Manöver erlaubt es, zusätzlich "Schwung" zu holen und so an Geschwindigkeit zuzulegen. Zudem bot der Vorbeiflug eine willkommene Gelegenheit, die wissenschaftlichen Instrumente an einem vergleichsweise nahen Objekt zu testen. Die Kamera an Bord von DAWN lieferte beim Vorbeiflug detaillierte Bilder der Mars-Oberfläche (Abbildung D).

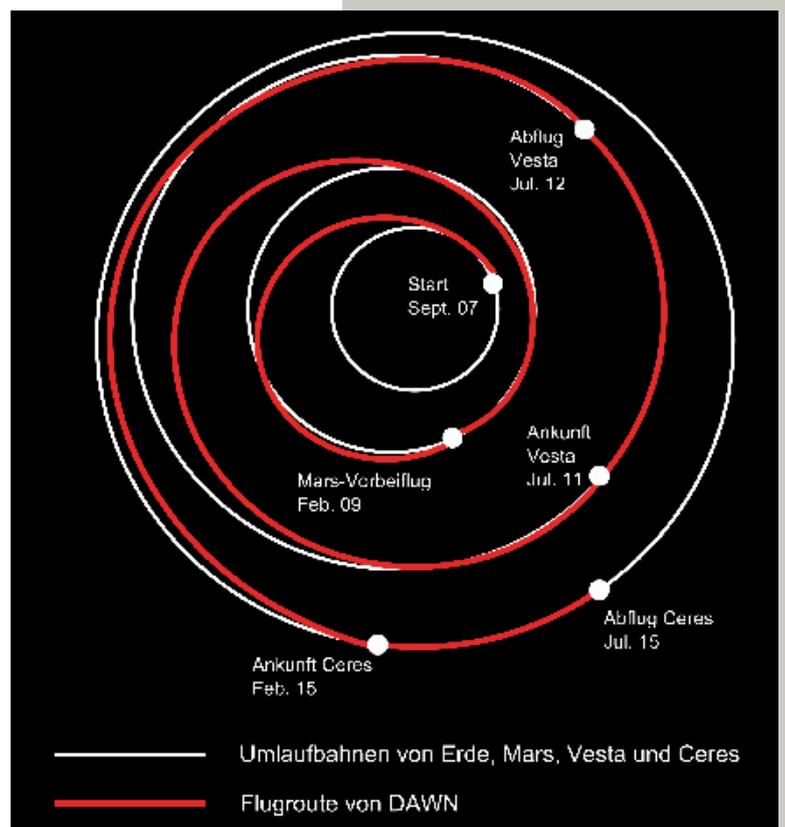
Neben dem Kamerasystem (siehe nächste Seite) trägt DAWN zwei weitere wissenschaftliche Instrumente an Bord. Der Detektor für Gamma-Strahlung und Neutronen GRaND (Gamma Ray and Neutron Detector) soll helfen, die

Elemente Sauerstoff, Magnesium, Aluminium, Silizium, Calcium, Titan und Eisen sowie einige Spurenelemente aufzuspüren. Das Instrument wurde am Los Alamos National Laboratory in New Mexiko (USA) entwickelt und wird vom Planetary Science Institute in Arizona (USA) betrieben. Das Spektrometer VIR untersucht die sichtbare und infrarote elektromagnetische Strahlung, welche die Asteroiden ins All reflektieren. Sie enthält Informationen über die mineralogische Zusammensetzung. VIR wurde von der italienischen Weltraumagentur ASI zur Verfügung gestellt und von Galileo Avionica entwickelt und gebaut.



**D** Diese Aufnahme der Marsoberfläche gelang dem Kamerasystem von DAWN beim Vorbeiflug im Februar 2009. Bild: NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA

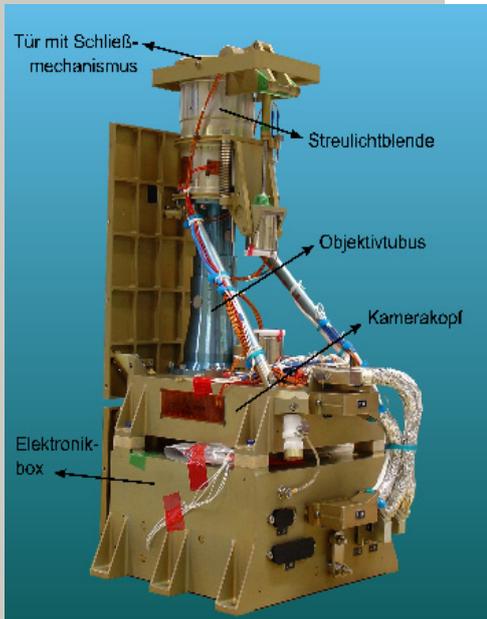
**E** Die voraussichtliche Flugroute von DAWN Grafik: MPS



# Das Kamerasystem: Die Augen von Dawn

F Die Dawn Framing Camera

Bild: MPS



Der Erfolg der Mission Dawn hängt entscheidend von den beiden Kameras, den "Augen" der Raumsonde, ab.

Zum einen helfen die Kamerabilder dabei, die Sonde zu ihrem Ziel und in eine sichere Umlaufbahn um die Asteroiden zu navigieren. Zum anderen können die Wissenschaftler Vesta und Ceres nur anhand detaillierter Aufnahmen gründlich charakterisieren. Die Raumsonde ist deshalb mit zwei identischen Kameras, Framing Camera 1 (FC1) und Framing Camera 2 (FC2), ausgestattet - nach dem Motto "doppelt hält besser". Sollte eine Kamera im Verlauf der Mission ausfallen oder beschädigt werden, kann die zweite einspringen. Die Mission wäre dadurch nicht gefährdet.

Im Asteroidengürtel warten auf die beiden Kameras vielfältige Aufgaben: Sie sollen unter anderem Größe und Form der beiden Asteroiden bestimmen, die notwendigen Daten für topografische Karten liefern, nach Staub und Monden in der Umgebung von Vesta und Ceres Ausschau halten und Risse oder andere Anzeichen ehemaliger vulkanischer Aktivität auf der Oberfläche suchen. Zudem erlauben die Aufnahmen der Kameras Rückschlüsse auf die grobe mineralogische Zusammensetzung der beiden Asteroiden. Denn das Licht, das jedes Gestein ins All reflektiert, ist eine Art Fingerabdruck: Es setzt sich aus charakteristische Wellenlängen zusammen, die es erlauben, das Gestein genau zu identifizieren.

Um diese Wellenlängen möglichst genau zu bestimmen, enthalten die Kameras je ein Filterrad mit sieben Farbfiltern. Jeder Filter greift einen anderen Wellenlängenbereich

aus dem reflektierten Licht heraus - und erzeugt so ein Bild in einem bestimmten Farbbereich.

Bevor das einfallende Licht das Filterrad erreicht, passiert es die Streulichtblende und den Objektivtubus (siehe Abbildung F). Erst der Kamerakopf enthält das Filterrad und den CCD-Chip mit der zugehörigen Front End Elektronik (FEE) zum Auslesen des Chips. Zwei Radiatoren kühlen den CCD auf -60 Grad Celsius.

Das Kamerasystem wurde unter Leitung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung entwickelt und gebaut. Das Institut für Planetenforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) steuert die Front End Elektronik sowie den CCD bei. Das Institut für Datentechnik



H Geöffnete Tür der DAWN Framing Camera

Foto: NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA

G Die Kameras FC1 und FC2 an Bord der Raumsonde DAWN

Bild: NASA/JPL-Caltech/UCLA/McREL/MPS



und Kommunikationsnetze der Technischen Universität Braunschweig lieferte die Hauptelektronik der Kamera. Das Projekt wurde finanziell von der Max-Planck-Gesellschaft, dem DLR und NASA/JPL unterstützt. Während der Mission werden die Kameras von Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau betrieben.

## Technische Daten der Kameras

Belichtungszeiten:

1 Millisekunde bis 3,5 Stunden

Gesichtsfeld: 5,5 Grad mal 5,5 Grad

Speicher: 8 GBit dRAM

CCD-Sensor: 1024 Pixel mal 1024 Pixel

Filterrad:

sieben schmalbandige und ein klarer Filter

Birgit Krummheuer,  
Andreas Nathues  
Max-Planck-Institut für  
Sonnensystemforschung  
Max-Planck-Straße 2  
37191 Katlenburg-Lindau

<http://www.dawn.mps.mpg.de>  
<http://www.mps.mpg.de>