

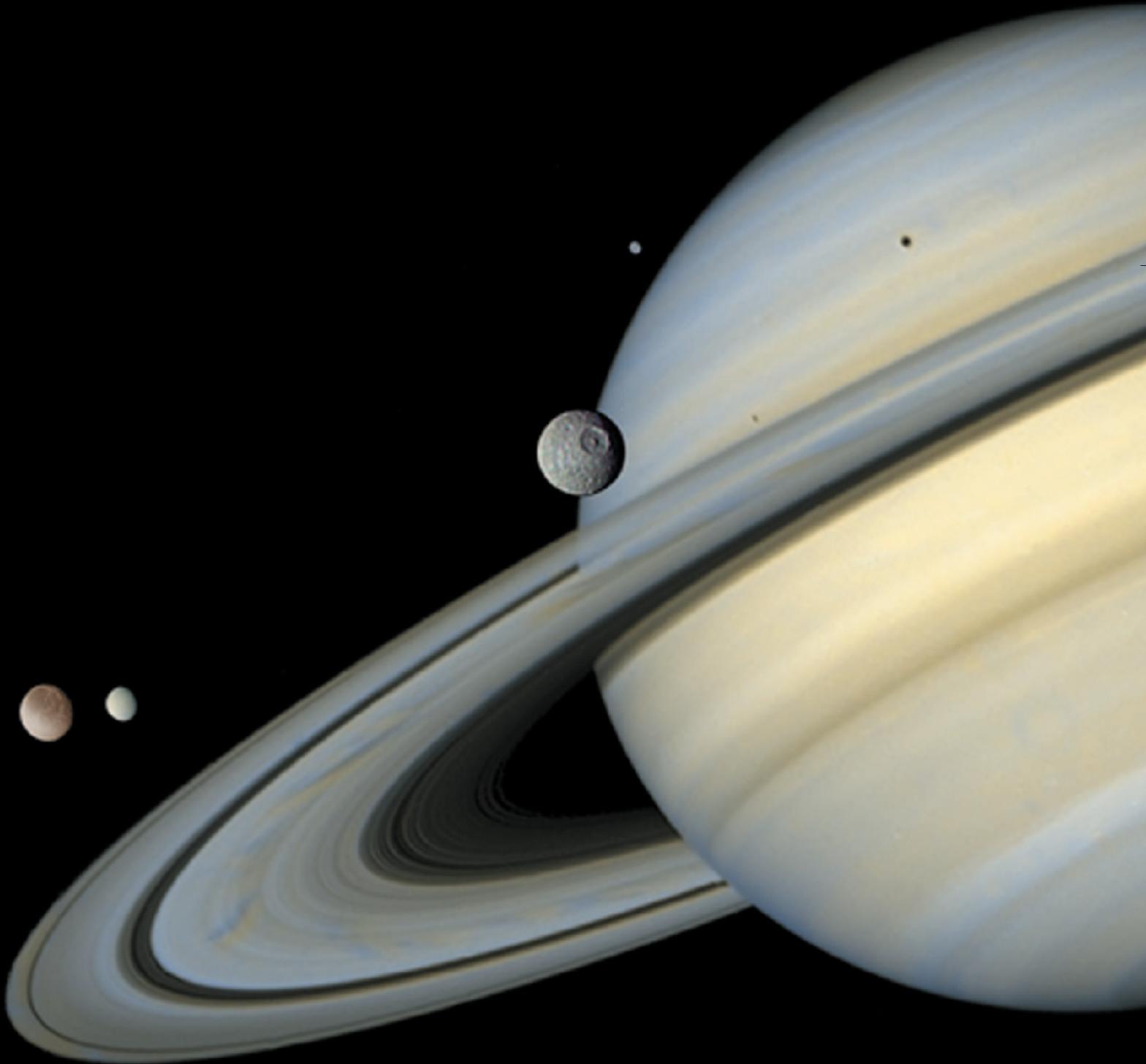


CASSINI/HUYGENS –
MISSION ZUM SATURN

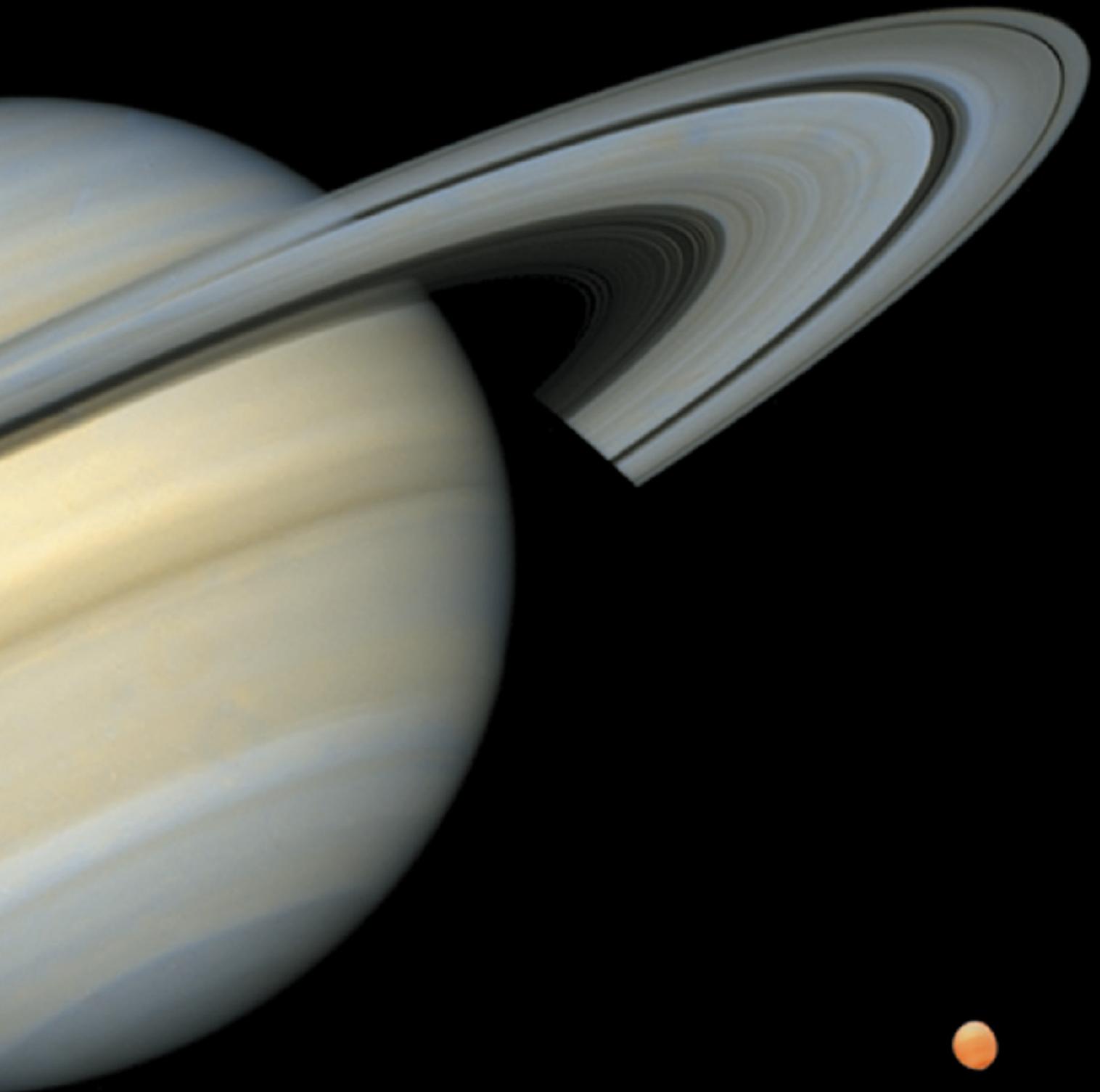


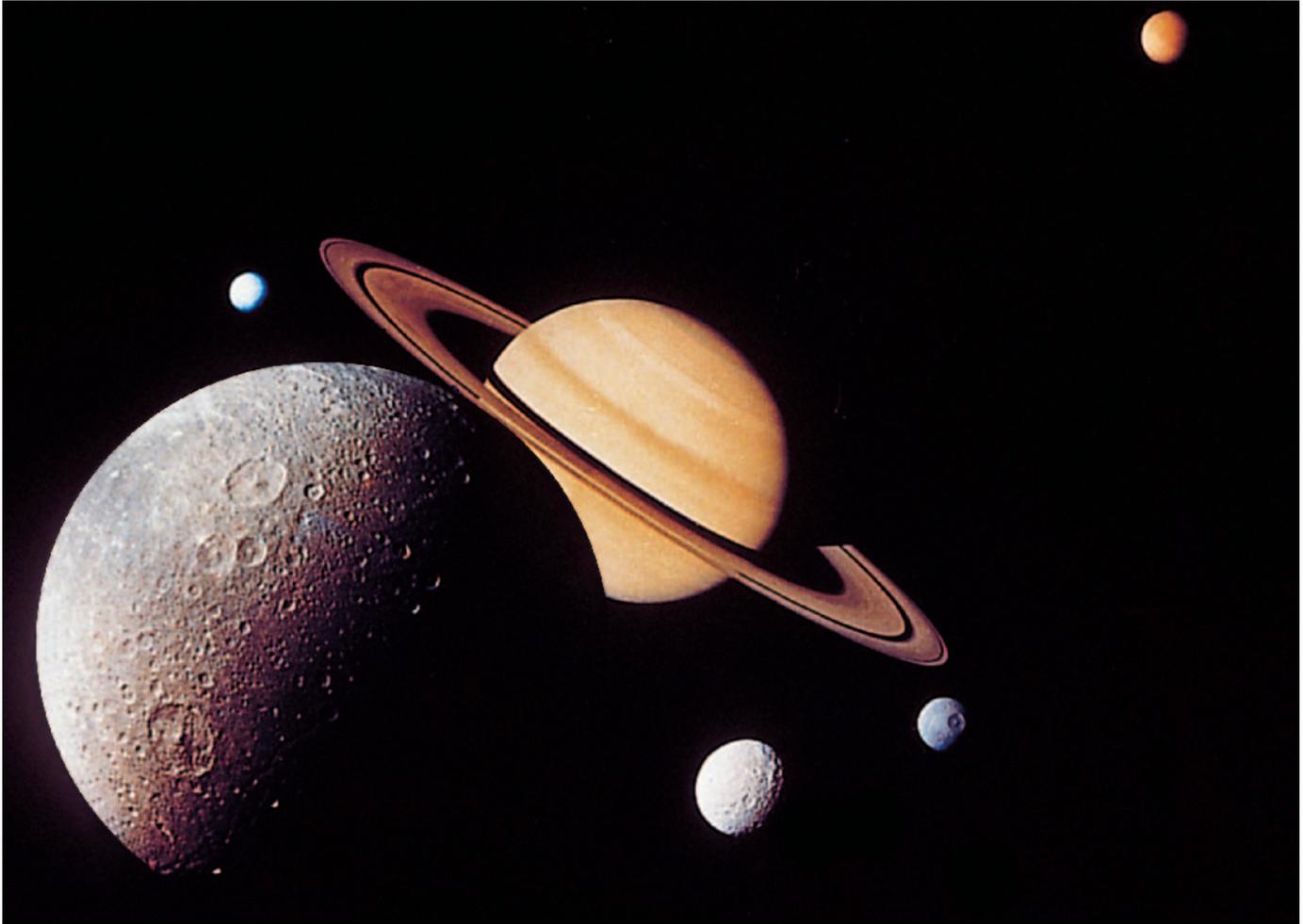
Die amerikanische Raumsonde Cassini ist das erste Raumschiff, das über einen Zeitraum von mindestens vier Jahren Atmosphäre, Ringe, Magnetosphäre und Monde des Saturn erforschen soll. Am 1. Juli 2004 hat sie den Ringplaneten erreicht. Mit an Bord ist Huygens, die in Europa entwickelte und gebaute Eintauchsonde. Sie wird im Januar 2005 auf dem größten Saturnmond, Titan, landen. Dort erwartet sie eine faszi-

nierende und weithin rätselhafte Welt. Titan ist der einzige Mond unseres Sonnensystems, der über eine dichte Atmosphäre verfügt. Auf seiner Oberfläche vermuten einige Wissenschaftler Seen aus Ethan und Methan. Cassini und Huygens legten auf ihrem Weg ins äußere Sonnensystem fast dreieinhalb Milliarden Kilometer zurück. Den notwendigen Schub für die sieben Jahre dauernde Reise erhielt das Gespann durch nahe Vorbeiflüge an den



Planeten Venus, Erde und Jupiter. Deutsche Einrichtungen sind an zahlreichen technischen Entwicklungen und wissenschaftlichen Aufgaben der Mission beteiligt - darunter auch das DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin. Die Cassini/Huygens-Mission stellt nicht nur höchste Ansprüche an das Raumschiff und dessen Instrumentierung, sondern – wegen der großen Distanz zur Erde – auch an die Missionsplanung und Sondensteuerung.





Das Saturnsystem ist eine noch kaum näher erforschte Welt aus Gas, Eis und Gestein. Die Erkenntnisse aus den ersten Beobachtungen der früheren Missionen Pioneer 11, Voyager 1 und 2, die zwischen 1979 und 1981 jeweils nur für wenige Tage nahe am Saturn vorbeiflogen, sowie Beobachtungen mit dem Weltraumteleskop Hubble haben fundamentale Fragen zur Entstehungsgeschichte und Entwicklung des Planeten, seiner Ringe und der zahlreichen Trabanten aufgeworfen. Sie bieten die Grundlage für die Konzeption der Cassini/Huygens-Mission.

Saturn

Saturn ist mit einem Äquatordurchmesser von 120.536 Kilometer der zweitgrößte Planet unseres Sonnensystems. Er wird von über 30 Monden umkreist. Sein ausgeprägtes Ringsystem ist in seiner Komplexität einzigartig im Sonnensystem. Die Saturnringe setzen sich aus Milliarden kleiner Eisbrocken zusammen – vom Staubkorn bis zu hausgroßen Blöcken – und umkreisen den Planeten in seiner Äquatorebene. Der Außendurchmesser dieser Scheibe beträgt 280.000 Kilometer; die Dicke hingegen erstreckt sich nur über wenige Kilometer.

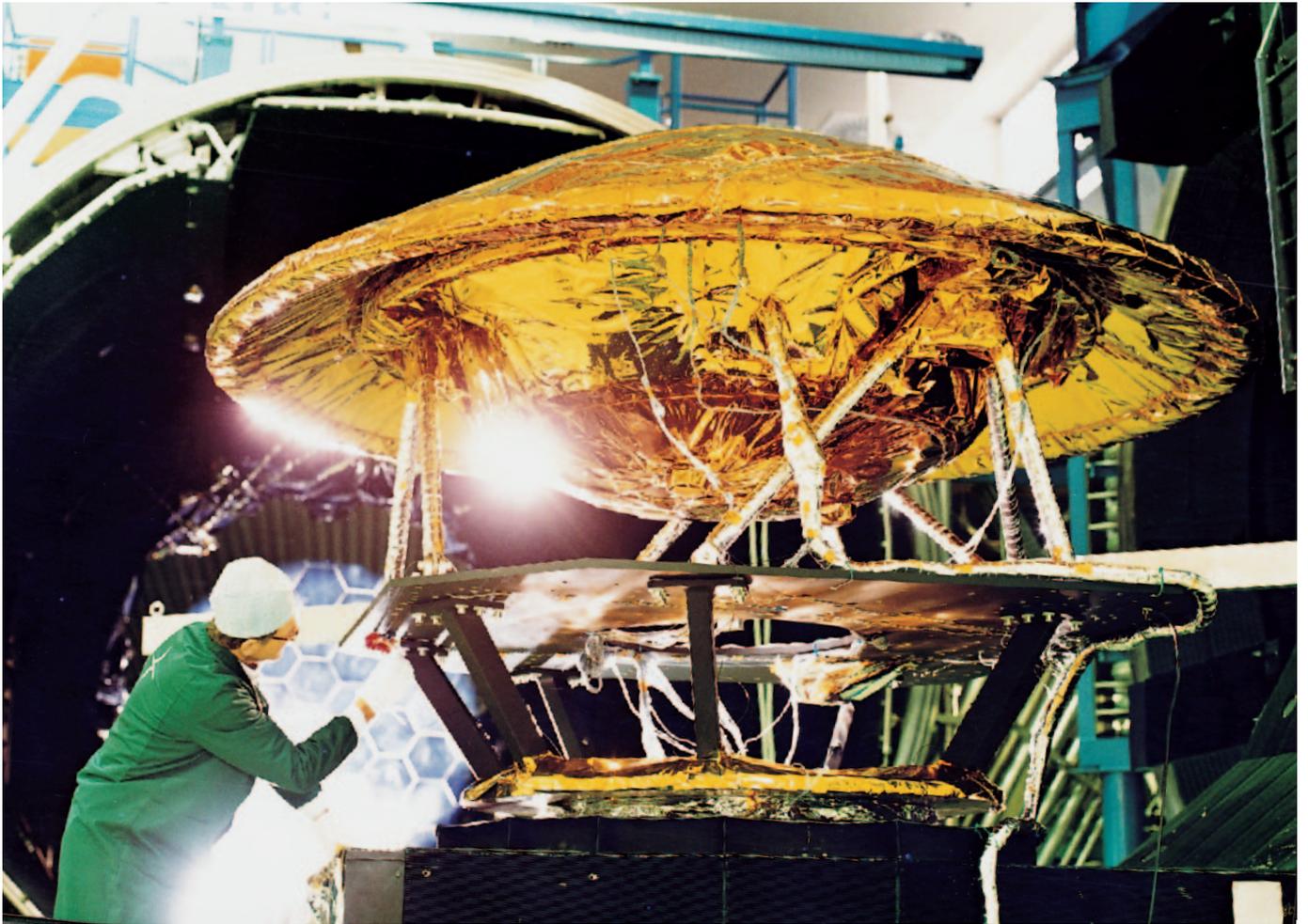
Die mittlere Entfernung von Saturn zur Sonne beträgt ungefähr das Zehnfache der Distanz der Erde zur Sonne, etwa 9,6 Astronomische Einheiten oder 1.430.000.000 Kilometer. Für einen Umlauf um die Sonne benötigt der Planet 10.747 Tage, das sind 29,5 Jahre. 900 Erdkugeln haben in ihm Platz – seine Masse ist 95-mal größer

als die der Erde. Aufgrund seiner geringen mittleren Dichte von 0,7 Gramm pro Kubikzentimeter und des größeren Durchmessers erreicht seine Anziehungskraft an der Wolkenoberfläche nur 91 Prozent der Erdanziehungskraft. In der Umgebung des Saturns liegen die Temperaturen bei minus 200 Grad Celsius. Die Winde in der Atmosphäre sind mit bis zu 1.600 Kilometer pro Stunde die stärksten, die je im Sonnensystem gemessen wurden. Hauptbestandteile der Atmosphäre sind Wasserstoff und Helium.

Titelseite: Cassini/Huygens-Sonde und Saturn.

Abb. vorhergehende Seite: Der Planet Saturn mit seinem Ringsystem und Monden.

Abb. oben: Montage der Voyager-1-Bilder von Saturn und seinen Monden. Im Uhrzeigersinn von rechts oben: Titan, Mimas, Tethys, Dione und Enceladus.



Von der Cassini-Mission erwarten die Wissenschaftler Antworten auf ganz grundlegende Fragen: Wie haben sich die Saturnringe gebildet? Welcher Prozess führte zu ihrer detaillierten Struktur? Wie und wie schnell ändern sich die Ringstrukturen und was ist der Grund dafür? Gibt es innerhalb der Ringe neben sechs bekannten Monden noch weitere Trabanten, und aus welchen Substanzen außer Wassereis bestehen die Ringpartikel? Wie sieht Saturn unterhalb der sichtbaren Wolken aus, wie entstehen und vergehen die gewaltigen schnellen Stürme in der Atmosphäre? Warum strahlt Saturn 75 Prozent mehr Energie ab, als er von der Sonne erhält? Welche Wechselwirkungen üben die Körper im Saturnsystem aufeinander aus, und welchen Einfluss hat das Magnetfeld?

Abb. oben: Huygens-Sonde. Die goldfarbene Folie, mit der die Sonde überzogen ist, schützt vor der Weltraumkälte. (Bild: Astrium GmbH)

Titan

Titan, der größte Saturnmond und der einzige Mond im Sonnensystem mit einer dichten Atmosphäre, hat einen Durchmesser von 5.150 Kilometern. Eine Aerosolschicht in 200 bis 300 Kilometer Höhe und ein hoher Methananteil in seiner Stickstoffatmosphäre machen die Gashölle des Trabanten für die Wellenlängen des sichtbaren Lichts undurchdringlich, so dass Titans Oberflächeneigenschaften noch fast völlig unbekannt sind. Wissenschaftler vermuten, dass es auf seiner Oberfläche, die vermutlich aus Wassereis besteht, Seen aus Methan und Ethan, zweier Kohlenwasserstoffverbindungen, geben könnte. In diesem Falle wäre Titan neben der Erde der einzige bekannte Körper im Sonnensystem, auf dem heute noch Oberflächen-„Gewässer“ existieren. Sogar die Möglichkeit eines Flüssigkeitskreislaufs mit „Ethanregen“ erscheint denkbar.

Nicht nur weil er als einziger Mond im Sonnensystem eine dichte Atmosphäre hat, ist er für die Forschung von besonderem Interesse, auch aufgrund seiner unbekannteren Oberflächenstrukturen stellt sich eine große Anzahl von Fragen: Wie sieht die Oberfläche des Mondes Titan aus? Wie ist die Atmosphäre des Mondes entstanden? Wie ist ihre Dynamik? Kommt es zu Regenfällen aus flüssigem Methan und Ethan, und sammeln sich diese Flüssigkeiten auf der Oberfläche in Seen oder Ozeanen? Hat Titan, ebenso wie die Erde, eine durch Flüssigkeiten verursachte Erosion; bilden sich vielleicht sogar Flüsse und Täler? Bestehen Ähnlichkeiten zwischen seiner und der frühen Erdatmosphäre – vielleicht auch in Bezug auf die Frage nach der Entstehung des Lebens?



Die kleineren Monde

Im Gegensatz zu Titan sind die anderen Saturnmonde mit Durchmessern von weniger als 1.600 Kilometern deutlich kleiner. Die Oberfläche von Rhea, dem zweitgrößten Mond, wird von Einschlagkratern dominiert. Iapetus besitzt sonderbarerweise eine helle und eine dunkle Seite. Dies ist im Sonnensystem ein einmaliger Umstand, dessen Ursache bislang ungeklärt ist. Enceladus erscheint als einer der hellsten Körper im Sonnensystem und ist fast völlig kraterfrei. Die Oberfläche muss daher relativ jung sein. Dies ist besonders bemerkenswert, da Enceladus ein eher kleiner Mond ist, vom dem eigentlich keine geologische Aktivität zu erwarten ist wie Vulkanismus oder Erosion, welche die Oberfläche immer wieder erneuern würden.

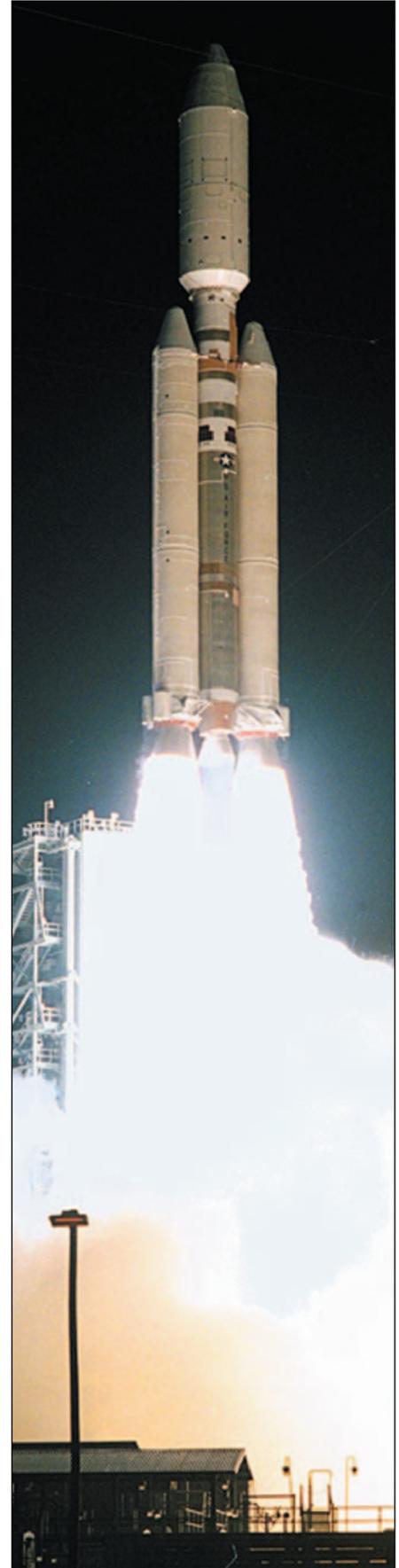
Dione zeigt auf einer Hemisphäre ein rätselhaftes Streifenmuster, das möglicherweise tektonischen Ursprungs ist. Auf der Oberfläche des Mondes Tethys wurde ein riesiges Grabensystem entdeckt, das vermutlich den gesamten Trabanten umspannt. Ein riesiger Einschlagkrater dominiert eine Halbkugel des Mondes Mimas, wobei die Höhendifferenz zwischen Kraterboden und Zentralbergspitze über 20 Kilometer beträgt. Aufgrund der chaotischen Rotation von Hyperion kann man nicht über Monate im Voraus berechnen, wann welcher Teil der Oberfläche der Sonne zugewandt sein wird. Dieser Satellit ist neben der weit außen kreisenden Phoebe der einzige Saturnmond, der keine gebundene Rotation aufweist, also Saturn nicht immer dieselbe Seite zuwendet. Janus und Epimetheus tauschen in regelmäßigem Vierjahresrhythmus ihre Umlaufbahnen aus, „springen“ also jedes mal, wenn ihre nahe beieinander liegenden Orbits sie auf direkten Kollisionskurs bringen

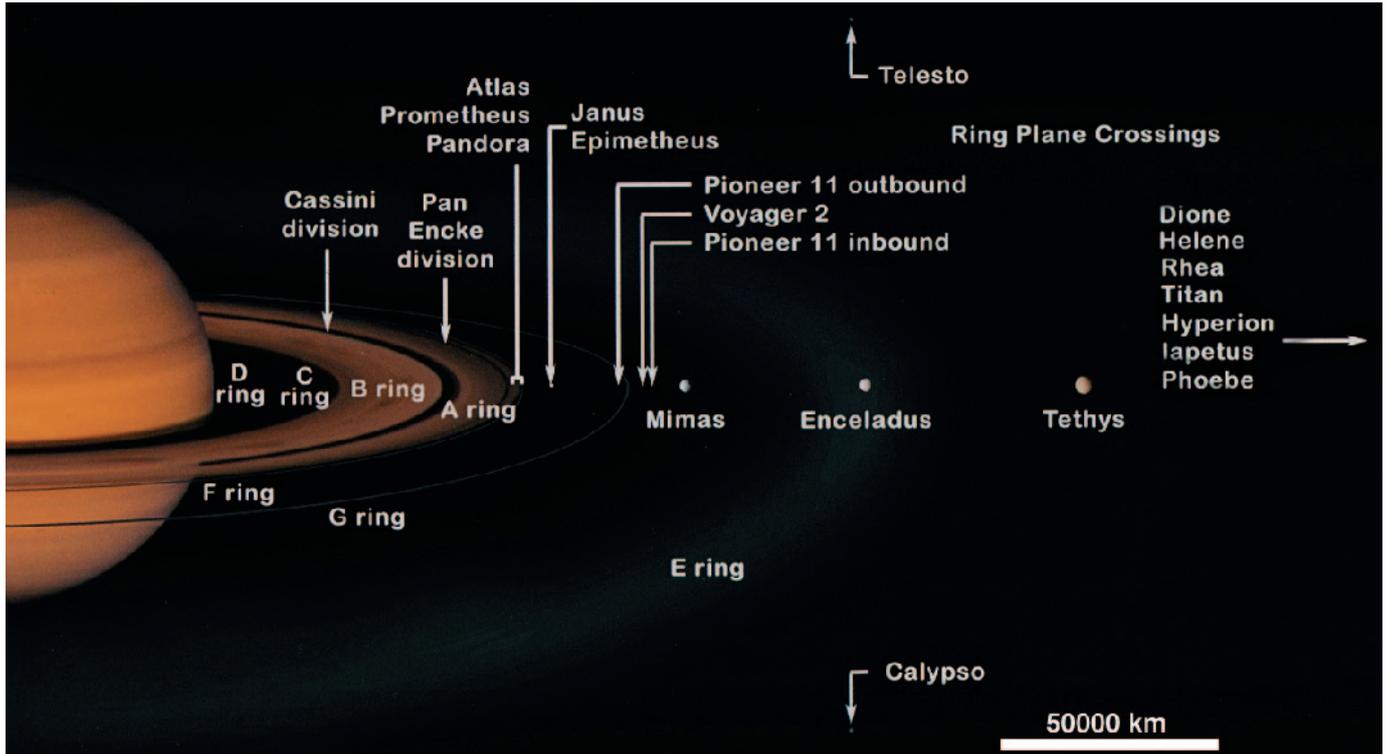
würden, infolge von ganz besonderen Bahn- und Schwerkraftverhältnissen von der eigenen Umlaufbahn auf die des Nachbartrabanten. Andere Monde wie Pan, Atlas, Prometheus und Pandora wirken als „Schäferhundmonde“ fokussierend auf einige Bereiche im Ringsystem. Pan bewegt sich sogar in einer Lücke des Ringsystems um den Planeten. Die Monde Telesto und Calypso bzw. Helene schließlich bewegen sich in den so genannten Librationspunkten L4 und L5 auf denselben Umlaufbahnen wie Tethys bzw. Dione.

Zum Verständnis des Saturnsystems ist besonders die Entstehung und Entwicklung der Monde in den 4,5 Milliarden Jahren seit der Planetenentstehung wichtig. Während der Cassini-Mission sollen unter anderem folgende Fragen geklärt werden: Gibt oder gab es auf Enceladus Eisvulkanismus? Warum ist eine Seite von Iapetus hell und die andere Seite einer der dunkelsten Orte im Sonnensystem? Welche Beziehung besteht zwischen den Saturnmonden und -ringen? Nach welcher Gesetzmäßigkeit rotiert Hyperion; ist Phoebe ein eingefangener Asteroid? Welche Formen von Eis und welche anderen Substanzen bilden die Oberflächen der Monde?

Abb. oben: Christiaan Huygens (1629-1695, rechts) entdeckte den Saturnmond Titan, Jean-Dominique Cassini (1625-1712, links) vier weitere Monde und die nach ihm benannte große Lücke in den Saturnringen. Beide Astronomen sind „Taufpaten“ für die Cassini/Huygens-Mission.

Abb. rechts: Der Start des Cassini/Huygens-Gespans mit einer Titan-4B-Rakete der US-Air Force erfolgte am 15. Oktober 1997 vom Raumfahrtzentrum Cape Canaveral in Florida.





Die neun größten Saturnmonde

Name	Durchmesser	Umlaufzeit um Saturn*	Große Bahnhalbachse**	Jahr der Entdeckung	Entdecker
Titan	5.150 km	15,945 d	1.221.850 km	1655	Huygens
Rhea	1.528 km	4,518 d	527.040 km	1672	Cassini
Iapetus	1.436 km	79,330 d	3.561.000 km	1671	Cassini
Dione	1.120 km	2,737 d	377.400 km	1684	Cassini
Tethys	1.058 km	1,888 d	294.660 km	1684	Cassini
Enceladus	500 km	1,370 d	238.020 km	1789	Herschel
Mimas	400 km	0,942 d	185.520 km	1789	Herschel
Hyperion	370 x 220 km	21,277 d	1.481.000 km	1848	Bond/Lassell
Phoebe	220 km	550 d	12.952.000 km	1898	Pickering

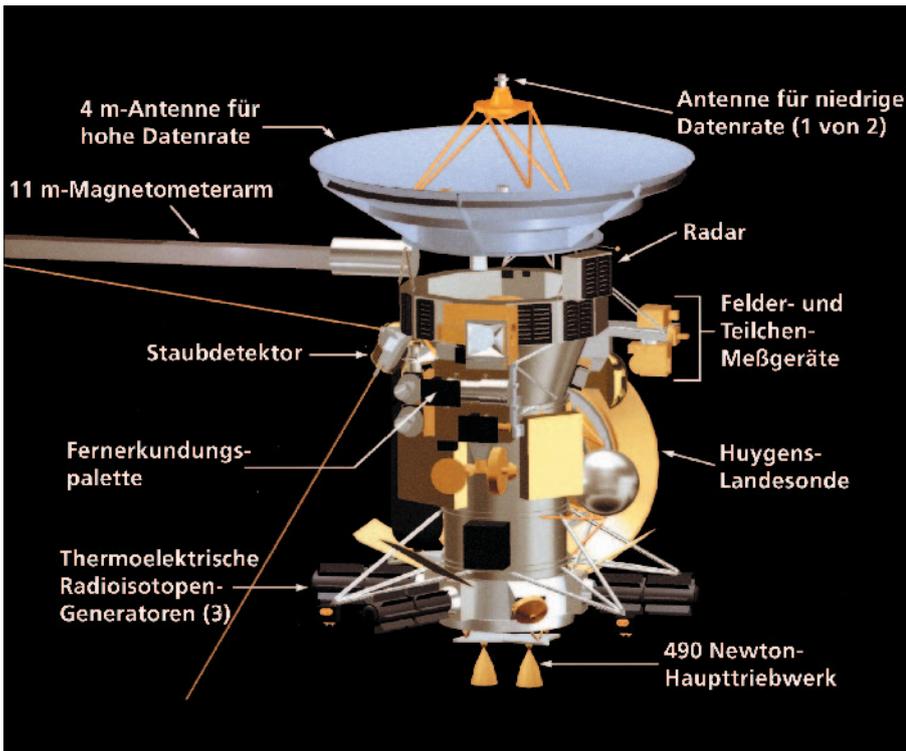
* Die Umlaufzeit des jeweiligen Mondes um Saturn, gemessen in Tagen (d), ist identisch mit seiner Eigenrotationsperiode. Ausnahmen: Hyperion (chaotische Rotation) und Phoebe (9,4 Stunden Rotationsdauer). Der Phoebe-Umlauf um Saturn erfolgt retrograd, also in umgekehrter Richtung wie die übrigen.

** Die große Bahnhalbachse entspricht der mittleren Entfernung zwischen Saturnmittelpunkt und Mondmittelpunkt. Zum Vergleich: Der mittlere Abstand zwischen Erde und Mond beträgt 384.400 Kilometer.

Abb. oben: Saturn und die kleinen Monde. Die Monde üben direkten Einfluss auf die Feinstruktur des Ringsystems aus: Atlas, Prometheus und Pandora sorgen für scharfe Begrenzungen des A und F Rings, Pan hält die Enckesche Teilung offen;

Mimas beeinflusst die Cassinische Teilung; Enceladus könnte die Quelle des sehr diffusen E-Ringes sein; Janus und Epimetheus teilen sich fast dieselbe Umlaufbahn; Telesto und Calypso laufen Tethys auf derselben Umlaufbahn in 295.000 Kilometern Abstand voraus bzw. nach.

Cassini-Orbiter – Fernerkundung im äußeren Sonnensystem



Der nahezu sieben Meter hohe Cassini-Orbiter ist eine der größten bislang gebauten interplanetaren Raumsonden. Die schüsselförmige Hauptantenne, die in Italien entwickelt wurde, hat einen Durchmesser von vier Metern. Der Magnetometerarm ist mit einer Länge von elf Metern das einzige größere Bauteil, das wesentlich über die Außenmaße hinausragt. Cassini ist 2.180 Kilogramm schwer, hinzu kamen beim Start 3.132 Kilogramm Treibstoff für Lage- und Bahnkorrekturmanöver. An Bord befinden sich zwölf wissenschaftliche Instrumente mit einer Gesamtmasse von 300 Kilogramm.

Die wissenschaftlichen Geräte – die Nutzlast des Orbiters – lassen sich in drei Gruppen einteilen: Erstens die optischen Fernerkundungsinstrumente (ORS), dann die Magnetometer- und Plasmainstrumente (MAPS), mit deren Hilfe kosmischer Staub, Moleküle, geladene Teilchen im interplanetaren Raum und im Saturnsystem analysiert werden und das Magnetfeld erforscht wird. Und drittens die Hauptantenne, die selbst Einsatz für wissenschaftliche Experimente findet.

Zwei „Solid-State-Recorder“ (SSR) nehmen als Zwischenspeicher alle Daten auf. Die Datenübertragungsrate vom Saturn zur Erde soll bis zu 190 Kilobits pro Sekunde erreichen. Die Energieversorgung der Cassini-Sonde erfolgt über Thermoelektrische Radioisotopen-Generatoren (RTGs). Drei solcher Generatoren, bei denen der radioaktive Zerfall von Plutonium Wärme und damit Strom erzeugt, sollen am Ende der Mission noch über 600 Watt Leistung liefern. Zwei Triebwerke mit je 445 Newton Schub sind am unteren Ende Cassinis angebracht. Sie dienen für größere Bahnkorrekturmanöver, sowohl während der Reise zum Saturn, zum Einschwenken in den Saturnorbit, als auch für Manöver während der vier Jahre dauernden „Saturn-Orbit-Tour“.

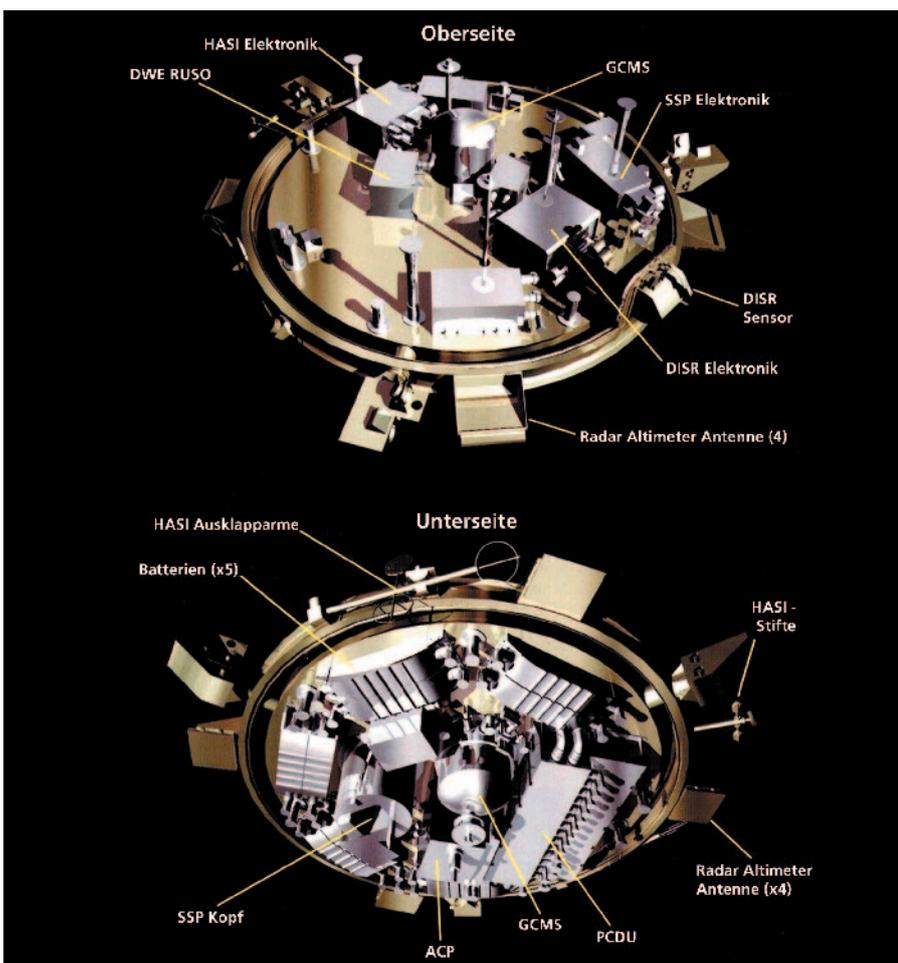
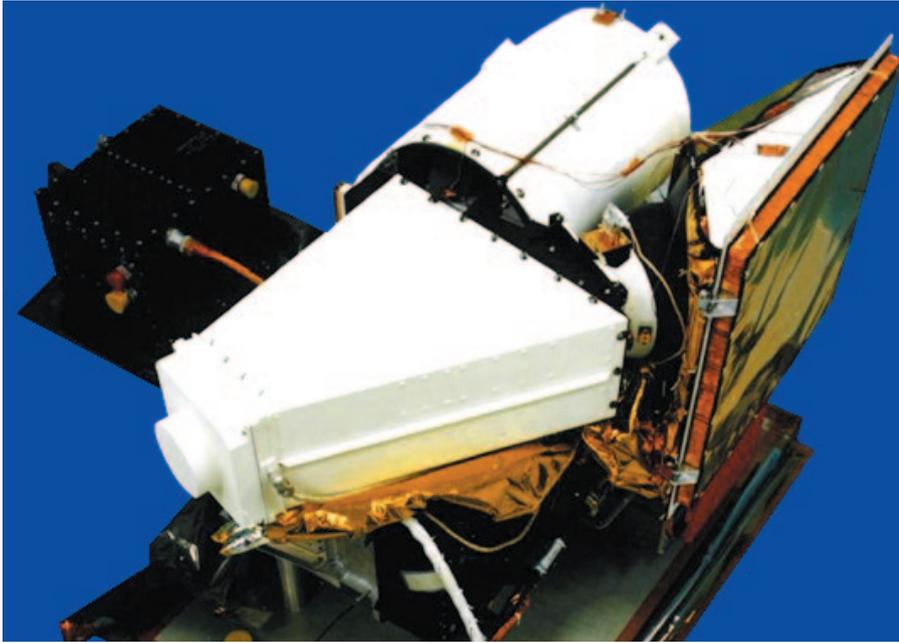


Abb. oben: Schematische Zeichnung von Cassini; mit angeflanschter Huygens-Sonde.

Abb. unten: Schematische Innenansicht der Huygens-Sonde.



Mit Huygens in eine unbekannte Welt

Die an Cassini angeflanschte Huygens-Sonde hat die Erforschung des größten Saturnmondes Titan zum Ziel und soll am 14. Januar 2005 auf dessen Oberfläche landen.

Die Sonde hat keinerlei eigenen Antrieb und auch keine Möglichkeit, Funksignale zu empfangen. Sie muss also vom Cassini-Orbiter genau auf Kurs gebracht werden, um ihre Mission erfüllen zu können. Da Titan eine dichte Atmosphäre besitzt, kann Huygens mit einem Hitzeschild und mit Fallschirmen abgebremst werden und somit völlig ohne die Hilfe von Bremsraketen auf der Oberfläche landen. Der Hitzeschutzschild muss bei Atmosphäreneintritt Temperaturen bis zu 2.000 Grad Celsius aushalten. Im Verlauf der etwa zweieinhalbstündigen Eintauch- und Landephase übertragen zwei parallel arbeitende Sender die wissenschaftlichen Daten und Bilder zum Cassini-Orbiter. Nach seiner Landung sammelt Huygens noch für mehrere Minuten Informationen von der Titanoberfläche. Auch diese Daten werden über den Orbiter zur Erde übermittelt. Die an Bord

Abb. oben: Das Spektrometer VIMS zeichnet Signale des elektromagnetischen Spektrums von den Wellenlängen des sichtbaren Licht bis ins mittlere Infrarot auf.

befindlichen wissenschaftlichen Instrumente dienen der Ermittlung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Darüber hinaus kann die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre bestimmt werden. Die Kamera „Descent Imager/Spectral Radiometer“, kurz DISR, liefert Schwarzweiß-Aufnahmen der Titanoberfläche. Ein seitlich blickendes „Kamera-Auge“ gewährleistet einen ständigen Rundblick aufgrund der Eigendrehung von Huygens. Je näher die Sonde an die Titanoberfläche herankommt, um so detailliertere Aufnahmen liefern zwei nach unten blickende Objektive. Mit dem „High Resolution Imager“ von DISR können beispielsweise aus einem Kilometer Höhe etwa zwei bis drei Meter große Objekte erkannt werden. Nach der Landung schließlich untersucht ein „Surface Science Package“ die Titanoberfläche.

Huygens ist die erste in Europa geplante und gebaute Sonde, die ins äußere Sonnensystem fliegt. Hauptauftragnehmer war der französische Raumfahrtkonzern Aerospatiale, der Zusammenbau der Einzelkomponenten erfolgte bei der Firma EADS Astrium GmbH in Ottobrunn.

Wissenschaftliche und technische Beteiligung des DLR

Das DLR in Berlin-Adlershof ist mit mehreren Gruppen von Wissenschaftlern an vier Experimenten der Cassini/

Huygens-Mission beteiligt. Dr. Ralf Jaumann ist Mitglied des VIMS-Teams, welches Aufnahmen des Spektrometers an Bord von Cassini plant und auswertet; Dr. Thomas Roatsch trägt wesentlich zur Planung von Bildsequenzen der ISS-Kamera bei mehreren Nahvorbeiflügen an Saturnmonden bei. Er bereitet die dann zur Erde übertragenen Rohdaten für das Imaging Science Team auf. An Entwicklung und Bau des Staubdetektors CDA hatte die Gruppe um Dr. Franz Lura erheblichen Anteil. Wissenschaftliche Co-Experimentatoren sind Prof. Dr. Diedrich Möhlmann und Dr. Richard Wäsch; Dr. Ralf Reulke und Professor Dr. Herbert Jahn sind am Ultraviolett-Spektrometer UVIS beteiligt. Durch diese Beteiligungen und Team-Mitgliedschaften haben DLR-Wissenschaftler unmittelbaren Zugriff zu Daten der VIMS- und UVIS-Spektrometer und des Staubdetektors auf Cassini.

Das Imaging Science Subsystem

Das „Imaging Science Subsystem“ (ISS) soll Schwarzweiß- und Farbbilder der Atmosphäre, Ringe und Monde von Saturn liefern. Die ISS-Bilder sind die Datengrundlage für die meisten geologischen Interpretationen der Oberflächen der Monde, für die Untersuchung der Dynamik der Ringe und der meteorologischen Vorgänge in den Atmosphären von Saturn und Titan. Ein Schwerpunkt des Berliner DLR-Instituts für Planetenforschung liegt in der Planung der punkt- und sekundengenauen „Zielsequenzen“, sowie in der kartographischen Bearbeitung der Bilddaten für geometrisch exakte Kartenwerke. Diese Arbeiten erfolgen in Kooperation mit der Cassini-Gruppe von Prof. Dr. Gerhard Neukum an der Freien Universität Berlin sowie dem Space Science Institute in Boulder, Colorado (U.S.A.), wo das Kameraexperiment von Dr. Carolyn Porco geleitet wird.

Die ISS-Kamera besteht aus zwei Komponenten: Der Telekamera „NAC“ (Narrow-Angle Camera) mit einer Brennweite von zwei Metern sowie der Weitwinkelkamera „WAC“ (Wide-Angle Camera), die 20 Zentimeter Brennweite aufweist. Mit der NAC können kleinräumige Oberflächen-, Ring- oder Wolkenstrukturen erfasst werden. So liefert sie aus 10.000 Kilometern Distanz Bilder mit einer räumlichen Auflösung von 60 Meter pro Bildpunkt (Pixel).

Die wissenschaftlichen Instrumente an Bord von Cassini und Huygens

Optical Remote Sensing - ORS

* **ISS**¹ – Imaging Science Subsystem; multispektrale Aufnahmen von Saturn, seinen Ringen und Monden mit zwei CCD-Kameras: NAC 0,2 - 1,1 μm ; WAC 0,38 - 1,1 μm .

* **VIMS** – Visible and Infrared Mapping Spectrometer, für die spektrale Kartierung von Zusammensetzung und Struktur der Oberflächen, Atmosphären und Ringe mit zwei Spektrometern: sichtbares Licht 0,35 - 1,07 μm ; Infrarot-Strahlung 0,85 - 5,1 μm .

* **UVIS**² – Ultraviolet Imaging Spectrograph; Spektren und Bilder von Atmosphären und Ringen (Struktur, Chemie, Zusammensetzung); Technik: zwei Spektrographen 0,056 - 0,12 μm ; 0,11 - 0,19 μm , Photometer 0,12 - 0,18 μm , HDAC 0,12 μm .

CIRS³ – Composite Infrared Spectrometer, zur Messung von Temperatur und Zusammensetzung von Oberflächen, Atmosphären, Ringen: drei Spektrometer: 7 - 9 μm ; 9 - 17 μm ; 17 - 1.000 μm .

Microwave Remote Sensing

RADAR – Cassini Radar; Radarbilder und Höhenmessungen der Titanoberfläche; Technik: SAR, Altimeter, Radiometer; 13,78 GHz Ku-Band.

RSS – Radio Science Subsystem; Daten zu Atmosphären- und Ringstruktur, Gravitationsfelder, Gravitationswellen; nutzt die Hauptantenne Cassini.

Magnetosphäre and Plasma Science – MAPS

INMS² – Ion and Neutral Mass Spectrometer; Bestimmung der Zusammensetzung von neutralen und geladenen Partikeln in der Magnetosphäre; Technik. Offene/geschl. Ionenquelle, Quadrupol-Deflektor (mit Linse), -massenanalytik, duales Detektorsystem.

CAPS – Cassini Plasma Spectrometer; Plasmauntersuchung im Saturnmagnetfeld (Zusammensetzung, Herkunft); Technik: drei Spektrometer (zwei Ionen- und ein Elektronenspektrometer).

MIMI² – Magnetospheric Imaging Instrument; globale Magnetfeld-„Fotografien“ und Magnetfeldmessungen mit drei Detektoren.

MAG^{4,5} – Dual Technique Magnetometer; Messung des Saturnmagnetfeld und seine Wechselwirkung mit Sonnenwind; Technik: Vektor/Skalar- und Fluxgate-Magnetometer.

RPWS – Radio and Plasma Wave Science; Untersuchung der elektrischen und magnetischen Felder, Elektronendichte, Temperaturmessungen; Technik: E-Feldsensor, Langmuir-Sonde.

* **CDA**⁶ – Cosmic Dust Analyzer; Aufgaben. Analyse von Eis- und Staubpartikeln im Saturnsystem; Technik: Staubdetektor bis 1 Einschlag/sec, Highrate-Detektor für bis zu 10.000 Einschläge/sec.

Huygens Probe Science Instruments

HASI⁴ – Huygens Atmospheric Structure Experiment; Untersuchung der physikalischen und elektrischen Eigenschaften der Titanatmosphäre mit Beschleunigungsmesser, Barometer, Temperatursensoren, etc.

DWE⁷ – Doppler Wind Experiment für Windstudien aufgrund der Windwirkungen auf die Sonde; Technik: Ultrastabiles Trägersignal zum Orbiter.

DISR² – Descent Imager and Spectral Radiometer: Helligkeits- und Temperaturmessungen sowie Bilder von Titans Aerosolschicht, Atmosphäre und Oberfläche; Technik: CCD für drei „Kameras“ (0,83 μm), zwei Spektrometer (0,48 - 0,96 μm) und vier Sensoren zur Beobachtung der Sonnenaureole (0,50+0,94 μm); zwei Photodioden (0,4 μm); zwei IR-Spektrometer (0,87 - 1,7 μm); ein Sonnensensor; Lampe für spektrale Messungen auf der Oberfläche.

GCMS – Gas Chromatograph/Mass Spectrometer; Bestimmung der Zusammensetzung der Titanatmosphäre und Aerosole mittels Massenspektrometer, Gassammelsystem, Gaschromatograph, Proben transportsystem.

ACP – Aerosol Collector and Pyrolyser; Untersuchung der Wolken und Aerosole in der Titanatmosphäre durch Probensammelsystem mit Ofen (Temperaturen bis 20°C, 250°C, 650°C).

SSP – Surface Science Package; Erforschung der Oberflächeneigenschaften in unmittelbarer Umgebung der Landestelle mit sieben Subsystemen zu Messung der örtlichen Beschleunigung, Neigung, Temperatur, Akustik, Leitfähigkeit, Dichte, Refraktionsindizes.

* *DLR-Beteiligungen*

1 *FU-Berlin*

2 *Max-Planck-Institut für*

Sonnensystemforschung

3 *Bergische Universität Wuppertal*

4 *Universität zu Köln*

5 *TU Braunschweig*

6 *Max-Planck-Institut für Kernphysik*

7 *Universität Bonn*



Das „Visible and Infrared Mapping Spectrometer“ (VIMS) eines der optischen Fernerkundungsinstrumente an Bord von Cassini ist das Kartier-Spektrometer VIMS. VIMS ist eine „Farb-Kamera“ mit sehr spezifischen Eigenschaften, die sowohl Signale in den sichtbaren Wellenlängen des Lichts, als auch in den infraroten Wellenlängen aufzuzeichnen vermag. Das Instrument besteht wie ISS aus zwei getrennten Komponenten – einer Kamera für das sichtbare Licht und das nahe Infrarot, und die andere Komponente für Aufzeichnungen des infraroten Spektrums.

Mit VIMS lassen sich fundamentale Fragen zur Entstehung und Entwicklung des Saturnsystems beantworten. Das Instrument ist in der Lage, die Oberfläche der Saturnmonde, die Ringe und die Wolkenhülle des Planeten und des Mondes Titan flächenhaft in

352 unterschiedlichen Wellenlängen zwischen 0,35 und 5,2 Mikrometer darzustellen, so genannten „Spektren“. Aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften von Oberfläche oder Substanzen können diese mit den entsprechenden Wellenlänge erkannt werden.

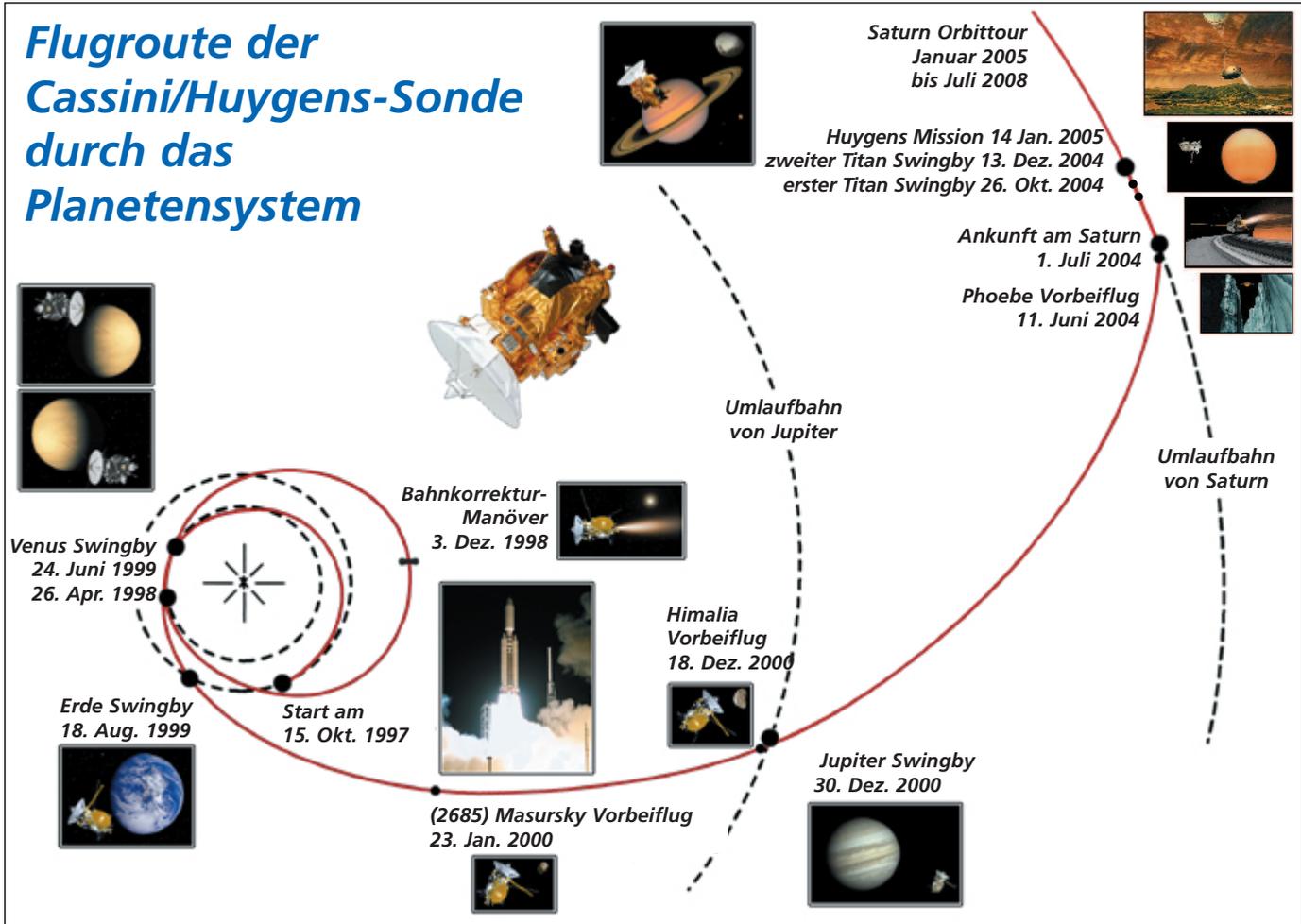
Solche Spektren eröffnen der Wissenschaft enorme Möglichkeiten in der Bestimmung von Chemie, Mineralogie und Struktur der beobachteten Objekte. VIMS ist außerdem in der Lage, nicht nur die chemischen Bestandteile der Gashülle des Mondes Titan zu analysieren, sondern kann in bestimmten Kanälen des elektromagnetischen Spektrums auch durch die Wolken dieses Mondes bis auf die Oberfläche blicken. Der Wellenlängenbereich von VIMS deckt eine große Anzahl von Eis-komponenten wie Wassereis, Trockeneis, Ammoniak-eis oder Methaneis ab. Aber auch Mineralgruppen wie Silikate

oder Oxide und Kohlenstoff sowie andere organische oder anorganische Materialien auf den Saturnmonden und den Saturnringen können identifiziert werden. Bestandteil der Aufgaben von Dr. Jaumann und seinen Mitarbeitern im VIMS Science Team ist die Kalibrierung des Instruments, die Planung von Aufnahmesequenzen sowie die wissenschaftliche Auswertung der Spektrometerdaten.

Der Ultraviolet Imaging Spectrograph (UVIS) besteht aus vier Einzelkomponenten und kann UV-Licht im Wellenlängenbereich von 0,056 bis 0,19 Mikrometer detektieren. Die Wis-

Abb. oben: Der Staubdetektor (CDA). Der große Zylinder in der Bildmitte ist die Analyse-Einheit. Darunter befindet sich der High-Rate Detector.

Flugroute der Cassini/Huygens-Sonde durch das Planetensystem



senschaftler erwarten von UVIS Informationen über die Zusammensetzung der Saturnringe und Monde sowie über Zusammensetzung, Photochemie und Temperaturen der Saturn- und Titanatmosphäre. Eine der vier UVIS-Komponenten, die Hydrogen-Deuterium Absorption Cell (HDAC), wurde am Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau entwickelt und gebaut. Sie hat die Aufgabe, das Verhältnis von Wasserstoff zu Deuterium (schwerem Wasserstoff) in den Atmosphären von Saturn in Titan zu bestimmen. Hieraus lassen sich Aussagen über Aufbau und Entwicklungsgeschichte der Körper treffen. Das DLR-Institut für Planetenforschung ist an der Softwareentwicklung und Datenauswertung beteiligt.

Der Cosmic Dust Analyzer (CDA) hat bereits auf dem Weg zum Saturn Staubpartikel im äußeren Sonnensystem eingefangen und analysiert. Er kann gleichzeitig elektrische Ladung, Geschwindigkeit, Flugrichtung und Masse einzelner Teil-

chen im interplanetaren Raum, besonders aber im Umfeld von Jupiter und Saturn, bestimmen. Erstmals ermittelt der CDA auch deren chemische Zusammensetzung. Er kann bis zu einem Treffer pro Sekunde erfassen, wobei die Masse der Partikel zwischen 10^{-15} und 10^{-9} Gramm, ihre Geschwindigkeit zwischen einem und hundert Kilometern pro Sekunde liegen muss. Die relativ hohe Staubbichte in der Nähe der Saturnringe fängt der integrierte „High Rate Detector“ (HRD) ein. Er kann bis zu 10.000 Treffer pro Sekunde messen. Die Entwicklung des CDA leitete Professor Dr. Eberhard Grün vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg. Unter Federführung des DLR-Instituts für Planetenforschung erfolgten Technologie-Entwicklung, Fertigung und Tauglichkeitstests einzelner Hardware-Komponenten des gesamten Staubanalyzers. Die Missionsplanung und Datenanalyse liegt in den Händen von Dr. Ralf Srama vom Max-Planck-Institut für Kernphysik und seinem Team.

Der Weg ins äußere Sonnensystem

Der Start des Cassini/Huygens-Gespanns mit einer Titan-4B-Rakete der US-Air Force erfolgte am 15. Oktober 1997 um 4 Uhr 34 Ortszeit in Cape Canaveral, Florida, neun Tage nach Öffnen des „Startfensters“.

Aufgrund der großen Masse der Sonde konnte Saturn mit dem Raumschiff nicht direkt anvisiert werden. Um die hierfür notwendige Geschwindigkeit zu erhalten, führte das Raumschiff zunächst Swing-by- oder Gravity-Assist-Manöver aus. Dabei nutzte die Sonde die Schwerkraft einiger Planeten aus, die sie auf höhere Geschwindigkeiten brachte.

Die erste Station war am 26. April 1998 die Venus. Dort wurde die Sonde praktisch ohne Treibstoffverbrauch um 25.000 Kilometer pro Stunde beschleunigt. Der geringste Abstand zur Venusoberfläche betrug 287 Kilometer. Am 3. Dezember 1998 zündete das



Haupttriebwerk, um Cassinis Geschwindigkeit um weitere 1.600 Kilometer pro Stunde zu erhöhen. 14 Monate nach dem Start, zum Jahreswechsel 1998/1999, fanden intensive Tests und Kalibrationen der Instrumente statt. 24. Juni 1999: Zweites Swing-by-Manöver an der Venus in 603 Kilometern Höhe. Erstmals besteht die Möglichkeit, ISS-Aufnahmen eines Planeten zu machen. Sie dienten ebenfalls der Kalibration der Instrumente. 18. August 1999: Cassini erhält einen weiteren Schub, diesmal durch die Erde. Dabei überfliegt die Sonde den Südpazifik von Westen nach Osten in 1.171 Kilometern Höhe. Kurz vor dem Vorbeiflug wird auch der Magnetometerarm ausgeklappt, sodass Kalibrationsmessungen im gut bekannten Erdmagnetfeld vorgenommen werden können. Mitte Dezember 1999 taucht Cassini in den Asteroidengürtel ein.

Nach weiteren Vorbeiflügen in größerer Distanz am Asteroiden Masursky und am Jupitermond Himalia wird die Sonde zum Jahreswechsel 2000/2001

durch den Riesenplaneten Jupiter in Richtung Reiseziel Saturn katapultiert. Mit einer Geschwindigkeit von über 42.000 Kilometern pro Stunde macht sie sich auf den weitere drei Jahre dauernden Weg zum Ringplaneten. In dieser Zeit werden die letzten Vorbereitungen für die Saturn-Beobachtungssequenzen getroffen. Ein halbes Jahr vor Erreichen eines Saturnorbits beginnen dann in rund 80 Millionen Kilometern Entfernung die systematischen Beobachtungen des Saturnsystems.

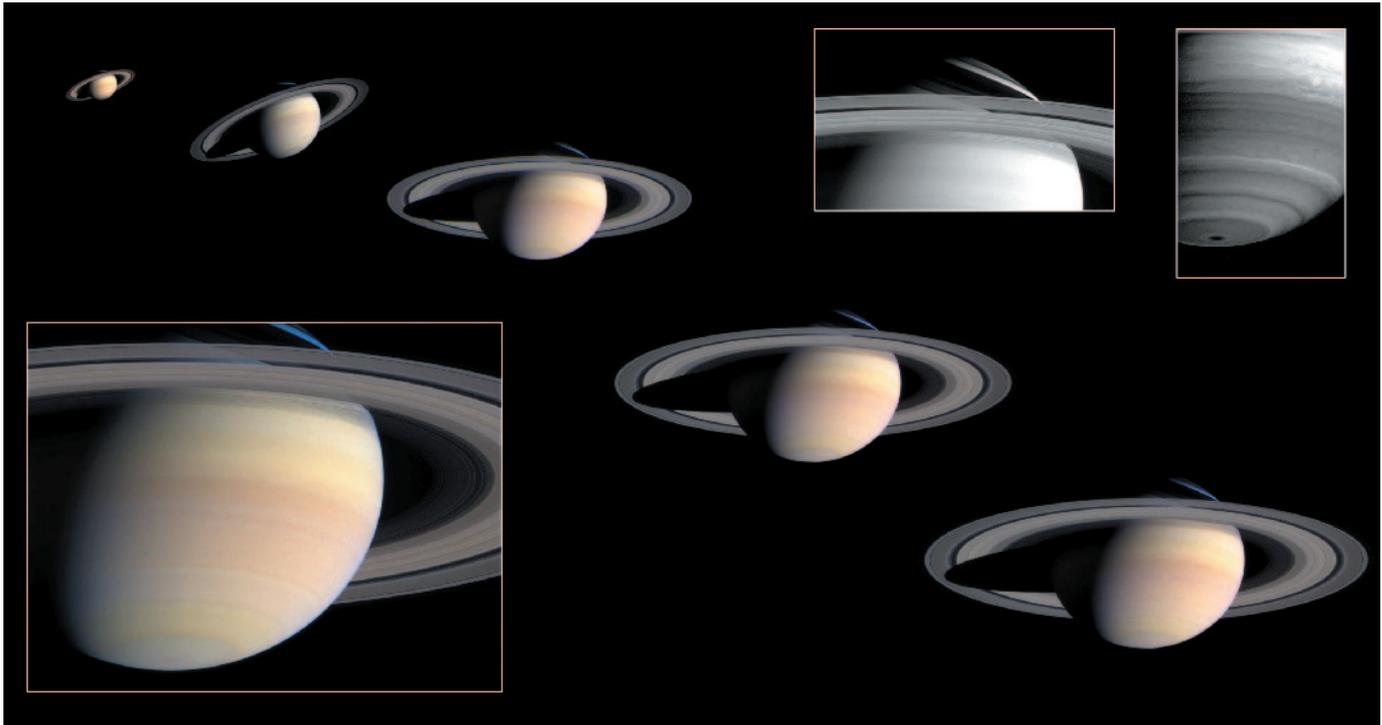
Zwischenstopp Jupiter

Während des Jupitervorbeiflugs bestand erstmals die Gelegenheit, mit Himalia einen der äußeren Jupitermonde größer als nur einen Punkt auf einem Bild zu erkennen. Außerdem konnten Jupiter selbst, seine Magnetosphäre, sein Ringsystem sowie die Galileischen Monde Io, Europa, Ganymed und Callisto in den Wochen vor und nach der größten Annäherung eingehend studiert werden. Auch für Magnetfeld-

Beobachtungen stellte der Jupiter-Vorbeiflug eine einzigartige Gelegenheit dar: Es gelang, simultan mit der Jupiter-sonde Galileo Messungen durchzuführen. Während Cassini von weit draußen die Verhältnisse am Jupiter studierte, näherte sich Galileo dem Riesenplaneten auf nur eine Million Kilometer an – eine nahezu ideale Ergänzung zweier unterschiedlicher Messreihen.

Abb. links: Die Darstellung zeigt die Flugroute der Cassini/Huygens-Sonde durch das Planetensystem. Nach fast sieben Jahren Reisezeit und Swing-by-Manövern an Venus, Erde und Jupiter erreicht das Raumschiffgespann den Planeten Saturn am 1. Juli 2004.

Abb. oben: Cassini-Aufnahme von Jupiters Wolkenoberfläche mit dem Großen Roten Fleck sowie dem Mond Io im Vordergrund, der seinen Schatten auf die Wolken wirft. Im Zeitraum zwischen Oktober 2000 und März 2001 wurden über 25.000 Jupiterbilder gewonnen.



Saturn im Visier

Mit dem Beginn des Jahres 2004 nahmen die Instrumente auf Cassini die Erkundung des Saturnsystems auf. Noch weit vom Ziel entfernt, lag die räumliche Auflösung der ersten Bilder bei 500 Kilometer pro Pixel und damit noch unterhalb der Auflösung des Weltraumteleskops Hubble für Saturn. Saturn und seine Ringe passten noch einige Zeit vollständig ins Bildfeld der Telekamera des Aufnahmesystems. Neben der wissenschaftlichen Ausbeute war vor allem die Erkenntnis wichtig, dass neben der Kamera auch alle anderen Instrumente fehlerlos funktionierten und somit der Ankunft am Ringplaneten optimistisch entgegen gesehen werden konnte.

Ein erster „unmittelbarer Kontakt“ mit dem Saturnsystem erfolgte am 11. Juni 2004 um 21.33 Uhr MESZ mit dem gezielten Nahvorbeiflug in etwas mehr als zweitausend Kilometer Entfernung am Saturnmond Phoebe – 19 Tage vor dem Einschuss in die Saturnumlaufbahn. Bereits mehr als vier Jahre vor der Ankunft am Saturn wurde dieses Rendezvous ins Auge gefasst, um den nur etwa 200 mal 220 Kilometer kleinen Mond aus nächster Nähe untersuchen zu können. Phoebe ist in der Familie der gegenwärtig bekannten 31

Saturnmonde ein sehr ungewöhnliches Mitglied. Sie umkreist in einem Abstand von fast 13 Millionen Kilometer den Saturn und ist damit dreieinhalbmal weiter vom Ringplaneten entfernt als der Mond Iapetus, der die äußere Grenze des „regulären“ Mondsystems von Saturn bildet. Phoebe bewegt sich auf ihrer Umlaufbahn retrograd, umläuft also im Gegensatz zu den meisten „prograden“ Körpern des Sonnensystems sein Zentralgestirn nicht gegen, sondern im Uhrzeigersinn. Dies legte schon früh die Vermutung nahe, dass Phoebe kein „originärer“ Saturnmond ist, sondern von der Schwerkraft Saturns eingefangen wurde.

Der Phoebe-Vorbeiflug

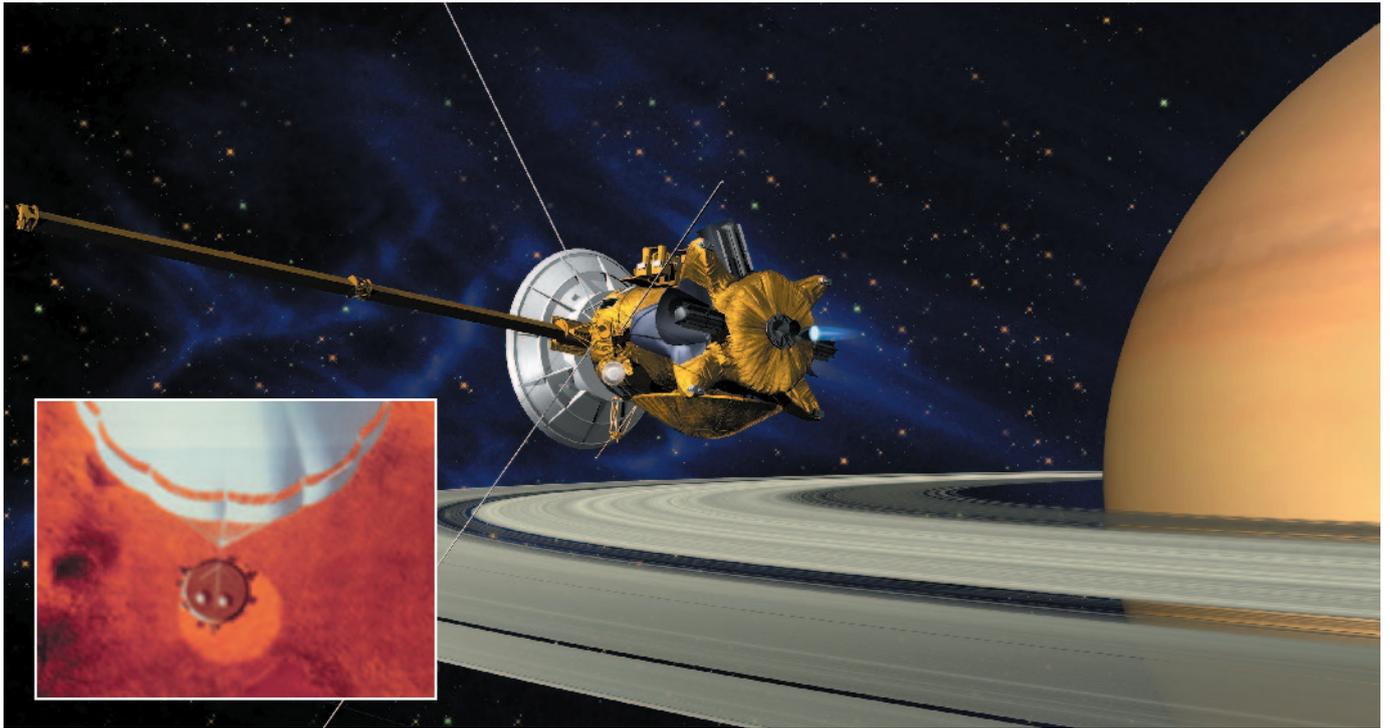
Das Raumschiff passierte Phoebe mit einer Relativgeschwindigkeit von 21.500 Kilometer pro Stunde. Die Aufnahme von Bild- und anderen Experimentdaten begann schon anderthalb Tage vor dem Moment größter Annäherung; unmittelbar nach der Passage wurde Cassini um 180 Grad gedreht, um „im Blick zurück“ nochmals mehr als einen halben Tag lang weitere Aufnahmen machen zu können. Die Instrumente lieferten mit ausgezeichneten Daten erste erstaunliche Einblicke in die „kleinen Welten“ des Saturnsystems. Sowohl das Kamerasystem als auch das abbildende Spektrometer konnten mit diesen Beobachtungen

den Mond von allen Seiten und unter verschiedenen Beleuchtungswinkeln in unterschiedlichen Auflösungen dokumentieren – für einige Monate war Phoebe der am besten erforschte kleine Körper im Saturnsystem.

Die Phoebe-Bilder zeigen eine von unzähligen Meteoriteneinschlägen übersäte Kraterlandschaft, die schon auf den ersten Blick auf eine sehr alte, Milliarden Jahre existierende Oberfläche schließen lassen. Die Daten, die das abbildende Spektrometer VIMS zur Erde übertragen hatte, deuten auf einen sehr hohen Kohlendioxidanteil in dem eisigen Körper hin, der an seiner Oberfläche von einer dunkleren Staubschicht bedeckt ist. Einige große Einschlagkrater von über 50 Kilometer Durchmesser geben Anlass zu der Vermutung, dass weitere Saturnmonde mit ähnlichen Umlaufbahnen um den Planeten ihren Ursprung in ausgeworfenem Material von Phoebe haben.

Die letzten zwölf Millionen Kilometer

Nach dem Phoebe-Vorbeiflug waren es für Cassini/Huygens nur noch 19 Tage bis zur Ankunft am Saturn. Die Sonde befindet sich auf diesem letzten Reiseabschnitt etwa in der Ekliptikebene, also auf einer hypothetischen „Scheibe“ im Raum, die durch die Erdbahn um



die Sonne definiert ist. Da die Äquatorebene Saturns um 26 Grad gegen die Ekliptik geneigt ist, erfolgt die Ankunft am Planeten auf einer geneigten Bahn. Bahnmechanisch ist dies ein sehr glücklicher Umstand, denn dadurch kann die Missionsleitung Cassini bis auf 20.000 Kilometer an die Wolkenoberfläche heranfliegen lassen, ohne dass die Ringe im Wege stünden. Und je näher Cassini an das Schwerezentrum, also den Planetenmittelpunkt herangeführt werden kann, umso effektiver kann das Abbremsmanöver mit dem Haupttriebwerk (Schubkraft: 445 Newton) gestaltet werden.

Cassini/Huygens nähert sich dem Saturn über seine Morgenseite. Der südliche Teil der Ringe ist zu diesem Zeitpunkt von der Sonne beleuchtet. 30. Juni 2004: Wenige Stunden vor der Ankunft passiert die Sonde etwa 20.000 Kilometer außerhalb des Ringsystems und 100.000 Kilometer über den Wolken Saturns die Ringebene durch eine Lücke von Süden nach Norden, sodass Cassini über die unbeleuchtete Nordseite der Ringe fliegt. In den folgenden Stunden nähert sich die Sonde Saturn bis auf 20.530 Kilometer.

1. Juli 2004 (MESZ): Cassini schwenkt in einen Saturnorbit ein. Dies erfolgt durch eine Zündung des Bremstrieb-

werks, das die Sonde um fast 2.200 Kilometer pro Stunde abbremsst, sodass sie im Schwerefeld Saturns gefangen bleibt. Anschließend wird der einmalige Blick auf das Ringsystem für wissenschaftliche Untersuchungen genutzt. Möglicherweise können Einzelheiten von bis zu 100 Meter Größe von der ISS-Kamera erfasst werden. Cassini befindet sich auf seiner ersten Umlaufbahn um Saturn: 3,5 Milliarden Reisekilometer, zurückgelegt in 2.451 Tagen, knapp sieben Jahre, liegen seit dem Start hinter dem Raumschiff.

Die Periode der ersten Umlaufbahn beträgt 119 Tage. Bereits einen Tag nach dem Einschwenken in die Umlaufbahn von Saturn fliegt Cassini in 339.000 Kilometer Höhe über die Südhalbkugel des großen Mondes Titan hinweg. Diese Gelegenheit dient ISS, VIMS und den anderen Fernerkundungsinstrumenten als Generalprobe für das „Hindurchsehen“ durch die Atmosphäre dieses Mondes und dem späteren Ausfindigmachen des Durchstoßpunktes von Huygens bzw. der Landestelle auf der flüssigen oder festen Titanoberfläche.

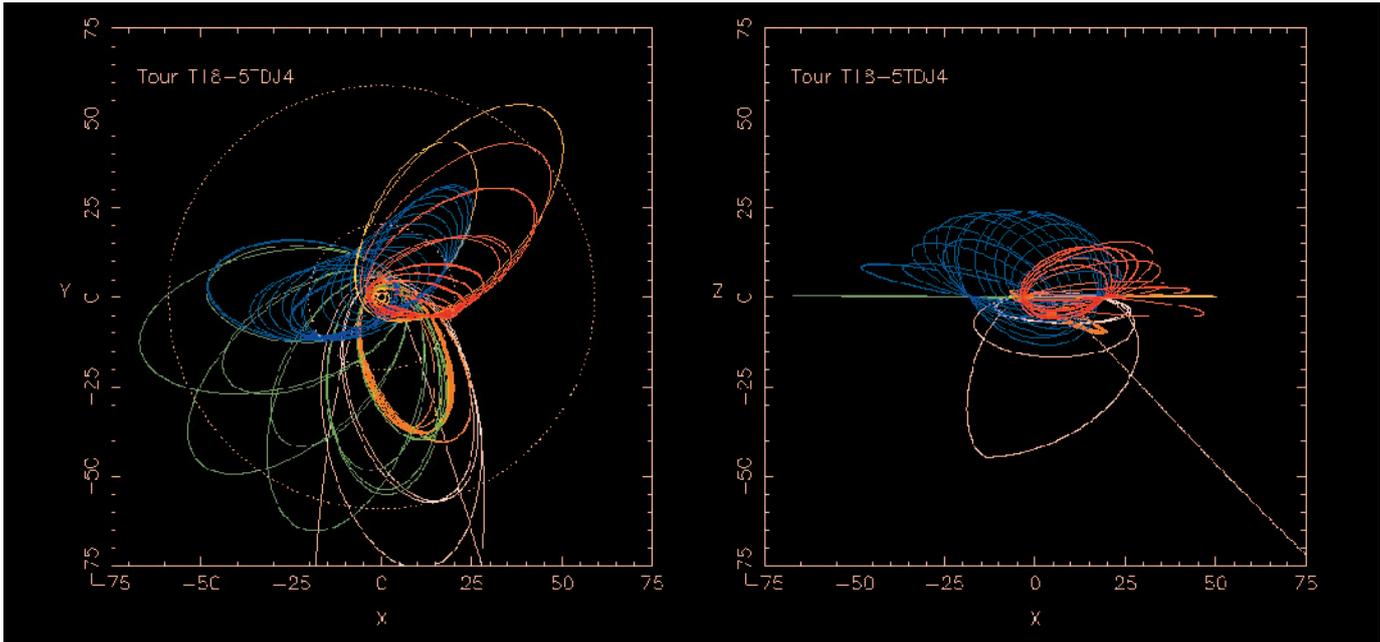
27. August 2004: Cassini erreicht den saturnfernsten Punkt seiner ersten Umlaufbahn. Noch einmal zündet das Triebwerk, um Titan diesmal direkt anfliegen zu können. Alle Konzentration richtet sich jetzt auf die nahende

Huygens-Mission. Im November wird das Gespann auf Kollisionskurs mit Titan gebracht. Die Huygens-Sonde besitzt keinen eigenen Raketenantrieb. Durch einen „Drehteller“, über den sie mit Cassini befestigt ist, wird die Sonde auf sieben Umdrehungen pro Minute in Rotation versetzt und am 25. Dezember 2004 mit leichtem Federdruck und einer Relativgeschwindigkeit zu Cassini von einem Kilometer pro Stunde auf einen eigenständigen Kurs in Richtung Titan gebracht. Huygens ist drehstabilisiert und nicht steuerbar – und daher auf ein perfektes Ausrichten der Flugbahn durch den Orbiter angewiesen. ISS-Aufnahmen der sich langsam vom Orbiter entfernenden Eintauchsonde können helfen, die Präzision des Aussetzens zu überprüfen und damit die Koordinaten der Atmos-

Abb. links: Während der Annäherung an Saturn fotografierte Cassini fast täglich den im Bildfeld größer werdenden Planeten.

Abb. oben: Einschuss der Cassini/Huygens-Sonde in die Umlaufbahn von Saturn.

Abb. im Bild oben: Die Huygens-Sonde kurz vor der Landung. Eine kalibrierte Lampe, welche einen kleinen Teil der Mondoberfläche beleuchtet, erlaubt chemisch-mineralogische Untersuchungen des Titanbodens.



phären-Eintrittsstelle genauer vorherzusagen. Zwei Tage nach dem Aussetzen zündet Cassini sein Triebwerk, um auf Empfangsposition für Huygens zu gehen.

Der große Tag von Huygens

Am 14. Januar 2005, 2648 Tage nach dem Start und knapp drei Wochen nach dem Abtrennen, tritt Huygens in Aktion. Etwa 15 Minuten vor dem Eintritt in die Titanatmosphäre „erwacht“ die Bordelektronik. Huygens taucht mit rund 22.000 Kilometern pro Stunde in die Gashölle Titans ein und wird zunächst aerodynamisch abgebremst. Anschließend öffnen sich nacheinander drei Fallschirme, und Huygens bleiben noch gut zweieinhalb Stunden für den Weg zur Oberfläche. Die Daten der wissenschaftlichen Instrumente sollen in dieser Zeit unser Wissen über Titan dramatisch erweitern. Die Aufzeichnungen werden zum Orbiter gefunkt und dort zur Sicherheit vierfach zwischengespeichert. Die Landegeschwindigkeit wurde mit

Abb. oben: Darstellung der Reiseroute Cassinis im Saturnsystem von 2004 bis 2008. Links die Draufsicht auf den Nordpol des Planeten, rechts der Blick in der Äquatorebene. RS: Abstand in Saturnradien.

Abb. rechts: Die fünf Saturnmonde Dione, Enceladus, Hyperion, Iapetus und Rhea (im Uhrzeigersinn von links beginnend).

etwa 20 Kilometern pro Stunde berechnet. Die Sonde ist sowohl für eine Landung auf Festland als auch in einem möglichen Ethan-See ausgelegt. Insgesamt drei Stunden sind für den wissenschaftlichen Teil der Huygens-Mission geplant, danach wendet der Orbiter seine Hauptantenne von Titan weg. Die Stromversorgung durch Batterien auf Huygens geht jetzt zur Neige und die tiefen Außentemperaturen von rund minus 180 Grad Celsius setzen der Bordelektronik so zu, dass sie von selbst ihren Dienst einstellen wird. Die Huygens-Sonde und der geborstene Hitzeschutzschild verbleiben nach ihrer Mission „für immer“ auf der Titanoberfläche.

Cassini ohne Huygens

Sobald die rund fünf für Huygens reservierten Stunden abgelaufen sind, dreht Cassini seine große Antenne zur Erde und beginnt mit der Datenübertragung. Danach werden weitere wissenschaftliche Untersuchungen der Titanatmosphäre und -oberfläche mit Hilfe der Fernerkundungsinstrumente durchgeführt. Während der Orbiter zum Zeitpunkt der Huygens-Mission noch mehrere Zehntausend Kilometer von Titan entfernt war, nähert er sich jetzt bis auf 1.200 Kilometer der Oberfläche. Dieser erste gezielte Vorbeiflug wird T01 genannt. Jetzt besteht erstmals die Gelegenheit, die Huygens-Landestelle und ihre Umgebung vom Weltraum aus aufzunehmen, sofern ISS mit seinen Infrarot- und Polarisationsfiltern durch die

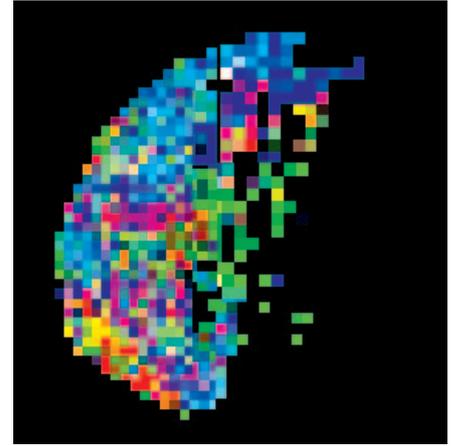


Atmosphäre hindurchsehen kann. Zudem soll VIMS im infraroten Spektralbereich die Atmosphäre durchdringen und die Landestelle beobachten.

Titan ist der einzige Saturnmond, der von Cassini für Gravity-Assist-Manöver benutzt werden kann, da alle anderen Monde zu wenig Masse besitzen, um bei nahen Vorbeiflügen die Raumfahrtbahn signifikant zu beeinflussen. Deshalb ist es bei der Saturn-Orbit-Tour unbedingt notwendig, dass Cassini bei jedem Titanvorbeiflug auf eine Titan-Rückkehrbahn gelangt. Im Zeitraum von Juli 2004 bis August 2008 wird Cassini 78 Saturnumkreisungen ausführen und dabei 45 mal in die Nähe von Titan kommen (Vorbeiflüge T01 bis T44).

Der Weg durch das Saturnsystem

Die Flugroute der Sonde durch das Saturnsystem richtet sich nach den Anforderungen und Wünschen der beteiligten



Wissenschaftler, die ihre Beobachtungen und Untersuchungen verschiedenen Objekten und Fragestellungen widmen. So besteht beispielsweise der Wunsch nach großen Bahnneigungen, damit die Polgenden Saturns besser erforscht werden können. Die an den Ringen interessierten Wissenschaftler wünschen verschiedene Bahngeometrien, damit die Ringe unter vielen verschiedenen Beleuchtungsbedingungen studiert werden können. Die Geologen und Physiker, die sich für die Monde interessieren, bevorzugen Touren mit vielen nahen Vorbeiflügen an diesen Körpern, was am besten mit Flugbahnen in der Äquatorebene des Planeten möglich ist. Viele Wissenschaftler sind auch daran interessiert, Saturn und seine Umgebung von allen Seiten, das heißt von der sonnenzugewandten und auch der Morgen- und Abendseite zu studieren. Im günstigsten Falle bedeutet das, dass die Apsidenlinie (das ist die Verbindungslinie von saturnfernstem und saturnnächstem Punkt) der Cassini-Flugbahn im Laufe der vierjährigen Tour eine vollständige Umkreisung um Saturn ausführt. Durch einen bahnmekanischen Trick, der erst 1994 entdeckt wurde und als 180-Grad-Transfer bezeichnet wird, lässt sich dieses Manöver tatsächlich beinahe vollständig durchführen.

Im ersten Jahr der Orbit-Tour wird sich Cassini vor allem über der Morgenseite von Saturn befinden. Die Umlaufperiode der Raumsonde um den Planeten beträgt im Frühjahr/Sommer 2005 für einige Monate etwa zwei bis drei Wochen. Danach rückt die unbeleuchtete Nachtseite immer mehr ins Bildfeld, und die Umlaufdauer wird wieder etwas erhöht. Zwischen Herbst 2006 und Frühjahr 2007 wird die Bahninklination angehoben

und gleichzeitig durch den 180-Grad-Transfer die Apsidenlinie zur Abendseite hin gedreht. In dieser Zeit beträgt Cassini Umlaufperiode fast konstant 16 Tage und ist damit gleichlang wie die Umlaufzeit von Titan um Saturn. Im Sommer 2007 – jetzt wieder bei niedriger Bahnneigung – wird der saturnfernste Punkt der Cassinibahn nach außen verschoben, um den einzigen gezielten Iapetus-Vorbeiflug durchführen zu können.

Anschließend geht die Apsidenliniendrehung weiter, die Bahninklination wird ein letztes Mal angehoben und die Umlaufperiode zunehmend verkürzt. Anfang 2008 wird ein Cassini-Umlauf etwa eineinhalb Wochen dauern, und ab Mai 2008 wird die Umlaufperiode auf nur noch sieben Tage verkürzt sein. Cassini befindet sich schließlich zum Ende seiner vierjährigen Mission auf einer Bahn mit einer Inklination von 75 Grad, die im saturnfernsten Punkt über der unbeleuchteten Seite Saturns an die Umlaufbahn Titans heranreicht. Im saturnnächsten Bahnpunkt hingegen, der über der dunklen Saturnseite liegt, kommt Cassini dann fast bis an das Ringsystem heran. Rund 1,7 Milliarden Kilometer soll die Raumsonde im Saturnsystem zurücklegen.

Außer den Saturn- und Titanbeobachtungen wird Cassini insgesamt sieben nahe Vorbeiflüge an den Saturnmonden Enceladus, Dione, Rhea, Hyperion und Iapetus durchführen. Die Vorbeiflughöhen betragen 100 bis 1.400 Kilometer; die besten Bildauflösungen können dabei bis zu zehn Meter pro Pixel erreichen.

In relativ geringer Distanz werden etwa ein dutzend weitere Vorbeiflüge an den Eismonden und den kleinen Monden erfolgen; da die so genannte „Referenz-

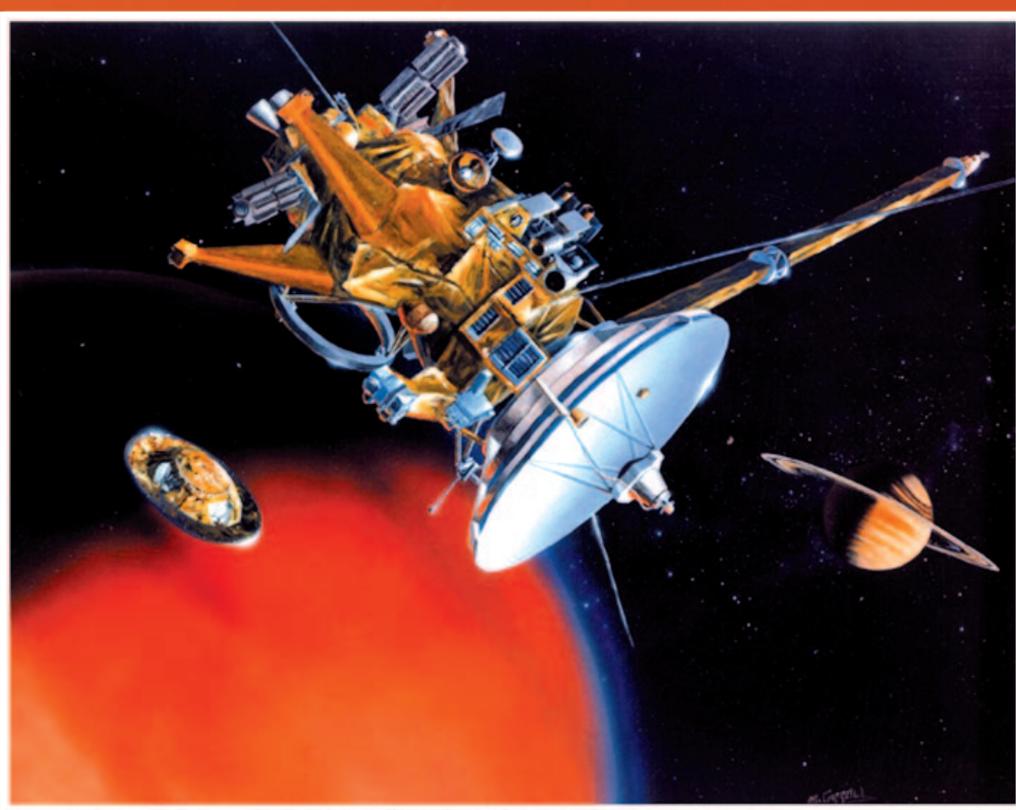
Flugbahn“ noch nicht endgültig festgelegt ist, können zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine genauen Zahlen angegeben werden. Insgesamt wird Cassini aber über 80 Mal näher als 100.000 Kilometer an einen Saturnmond herankommen. Den beiden Voyager-Sonden gelang dies nur bei fünf Monden.

Ein letztes Treffen mit Titan

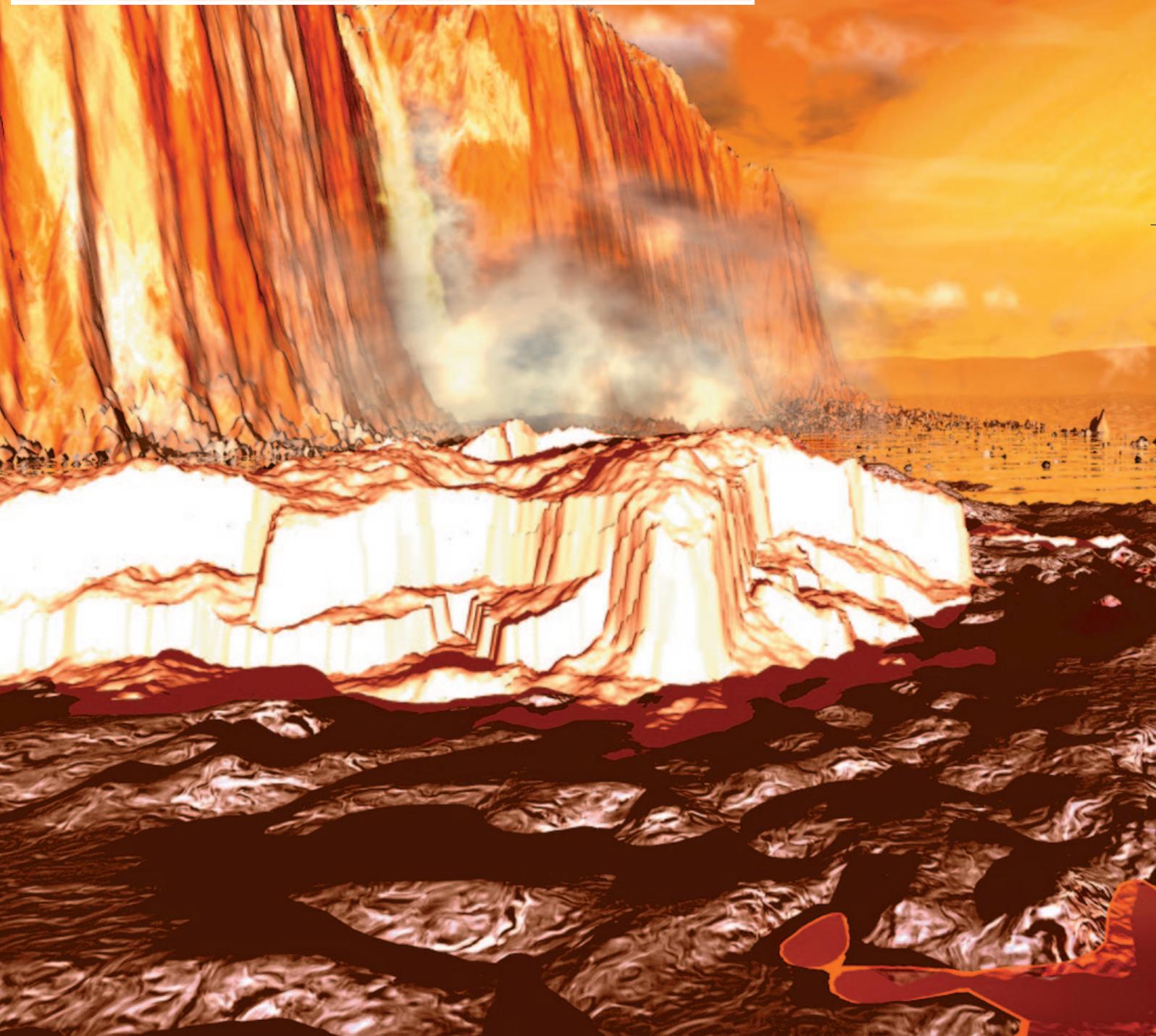
Am Ende der Mission wird sich Cassini auf einer Titan-Rückkehrbahn befinden, die das Raumschiff Ende Juli 2008 während der 78. Saturnumkreisung wieder nahe an diesen Mond heranführen wird (T45-Vorbeiflug). Sollten noch Treibstoffreserven vorhanden sein, steht einer weiteren Mission im Prinzip nichts im Wege. Als eine besonders spannende Variante wird ein späteres Einschwenken in einen Titan-Orbit genannt. Eine solche Option böte die Möglichkeit, Titan vollständig mit ISS oder zumindest mit dem Radarsystem zu kartieren. Diese wird während der Primärmission nicht möglich sein, da trotz der 44 Titanpassagen höchstens etwa ein Viertel seiner Oberfläche vom Radar in guter Auflösung erfasst werden können.

Die Cassini-Huygens-Mission steht unter der Federführung der ESA und der NASA.

Abb. oben: Die von Einschlagkratern übersäte Oberfläche des Trabanten Phoebe sind die ersten Nahaufnahmen von Cassini im Saturnsystem. In den Spektrometerdaten von VIMS (rechts) sieht man den Anteil an Wassereis (blau) und Eisen (rot) an der Phoebe-Oberfläche. Grüne Punkte weisen auf ein noch nicht identifiziertes Material hin.



Künstlerische Darstellung der Landung der Huygens-Sonde auf Titan. Wie die Oberfläche des Saturnmondes tatsächlich aussieht, wird erst die Mission zeigen, denn Titan ist von einer dichten und undurchsichtigen Atmosphäre umhüllt. Auch die Anordnung der Landesonde mit abgesprengtem Hitzeschild (Mitte), der Cassini-Sonde (rechts im Bild) sowie dem großen Planeten Saturn im Hintergrund ist hier nur stilisiert und nicht dem authentischen Missionsszenario entsprechend wiedergegeben.





Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Das DLR ist das nationale Zentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. So betreibt das DLR umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in nationaler und internationaler Kooperation. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrtagentur im Auftrag der Bundesregierung für die Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig.

Mit ca. 5.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern verfügt das DLR über acht Standorte in Köln-Porz (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Göttingen, Lampoldshausen, Oberpfaffenhofen und Stuttgart sowie Büros in Brüssel, Paris und Washington.



DLR

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

Presse und Öffentlichkeitsarbeit
D-51170 Köln

www.dlr.de

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**