



Cassini-Huygens im Saturnsystem

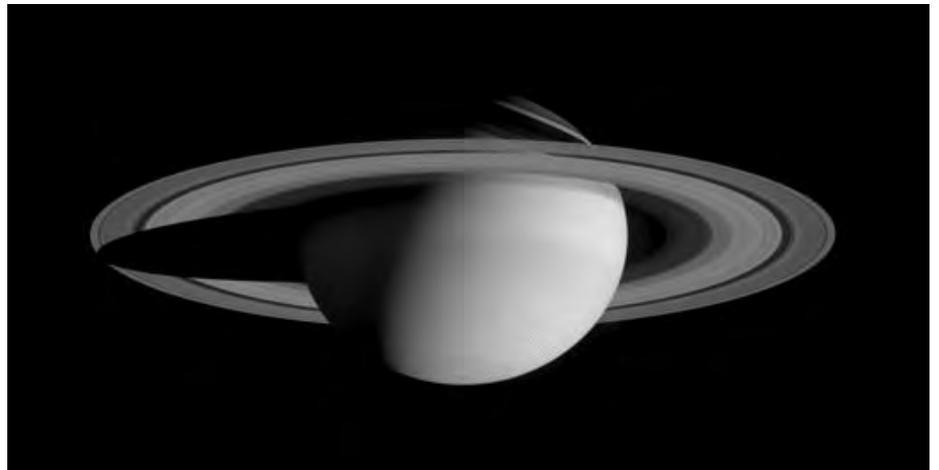
Die Raumsonde Cassini befindet sich nun seit Juli vorigen Jahres im Saturn-System. Seit damals hat Cassini bereits zahlreiche Erkenntnisse über Saturn, seine Ringe und Monde gewonnen. Auch der europäische Landeapparat Huygens wurde

erfolgreich über Titan abgeworfen und hat einiges an neuen Informationen über diesen zweitgrößten Mond im Sonnensystem mit seiner Stickstoff-Atmosphäre geliefert.

Titan-Vorbeiflug am 26. Oktober

Am 26. Oktober 2004 erfolgte ein naher Vorbeiflug am Saturnmond Titan in einer Entfernung von nur 1.200 Kilometer. Dieser Vorbeiflug war etwa 300mal näher als der am 3. Juli 2004. Insgesamt sind 45 Annäherungen an diesen großen Mond während der vier Jahre langen Mission geplant. Bei diesem aktuellen Fly-By wurden über 500 Bilder aufgenommen und zur Erde übertragen. Die Zeitverzögerung zwischen Saturn und Erde beträgt über eine Stunde und vierzehn Minuten aufgrund der großen Entfernung.

Titan besitzt eine dichte wolkenverhangene Stickstoff-Atmosphäre, darunter werden Meere aus flüssigem Methan und Ethan vermutet. Eine erste Karte der Oberfläche wurde aber bereits während der Annäherung der Cassini-Raumsonde an Saturn erstellt. Während des Fly-By wurde Titan mit 11 von Cassini's 12 Instrumenten untersucht. Ein Ziel war auch die Bestätigung des Atmosphären-Modelles, um die Huygens-Mission vorzubereiten. Die Wissenschaftler erwarteten, mehr über Titans interne Struktur, seine Oberfläche, Atmosphäre und seine Interaktion mit Saturn's Magnetosphäre zu erfahren. Vor allem Kenntnisse über die Zusammensetzung und Dichte der Atmosphäre sollten bei der Planung



Anfang Oktober 2004 lieferte Cassini eine Reihe von Saturn-Aufnahmen, die in diesem Bild kombiniert wurden. Dabei entstand die bisher am besten detaillierte Abbildung des Ringplaneten. Foto: NASA.

der Huygens-Mission helfen. Erstmals wurde auch Cassini's „Imaging Radar“ eingesetzt, das topografische Details der Oberfläche durch die dichte Wolkendecke hindurch abbilden sollte.

Zehn der eingesetzten elf Instrumente sammelten während dieser Begegnung erfolgreich Daten. Erstmals konnten Aufnahmen von seiner Oberfläche gemacht und helle und dunkle Strukturen und Muster identifiziert werden. Das Radarbild zeigt nach Ansicht der Wissenschaftler eine geologisch sehr junge Oberfläche, da nur sehr wenige Einschlagkrater gefunden wurden. Etwa ein Prozent der Oberfläche wurde in einem 120 Kilometer breiten und 1.960 Kilometer langen Streifen kartiert. Dabei wurde eine Auflösung bis zu

300 Metern pro Bildpunkt realisiert. Eine helle Oberfläche deutet auf rauhes Terrain hin, während flachere Teile eher dunkler wirken. Rückschlüsse auf feste oder flüssige Oberflächen konnten aber noch nicht getroffen werden.

Das Ionen- und Massenspektrometer stellte fest, daß in der Atmosphäre ein größerer Anteil an schweren Stickstoffionen vorhanden ist. Es wird daher vermutet, daß sich die leichteren Ionen mit der Zeit in den Weltraum verflüchtigt haben und die Atmosphäre früher dichter war. An der Oberfläche ist Titan's Atmosphäre etwa vier mal so dicht wie auf der Erde.

Ausblick auf Thetis

Zwei Tage nach dem Vorbeiflug an Titan lieferte Cassini Bilder vom Mond Thetis. Dieser Himmelskörper besitzt keine Atmosphäre und ist stark verkratert. Oft liegen jüngere Krater über älteren. Alles deutet auf eine sehr alte Oberfläche hin, da auch älteste Krater noch sichtbar sind. Es ist bekannt, daß seine Dichte in der Nähe von Wasser ist und daher ist zu vermuten, daß er zu einem großen Anteil aus Wassereis besteht. Die aktuellen Aufnahmen wurden aus einer Entfernung von 256.000 Kilometern gewonnen, für September 2005 ist ein naher Vorbeiflug geplant. Das aus den Bildern erzeugte Mosaik zeigt die rückwärtige Seite des Mondes, bezogen auf seine Umlaufrichtung.

Prometheus ertappt

Nach dem Blick auf Thetis konnte Cassini den kleinen Schäfermond



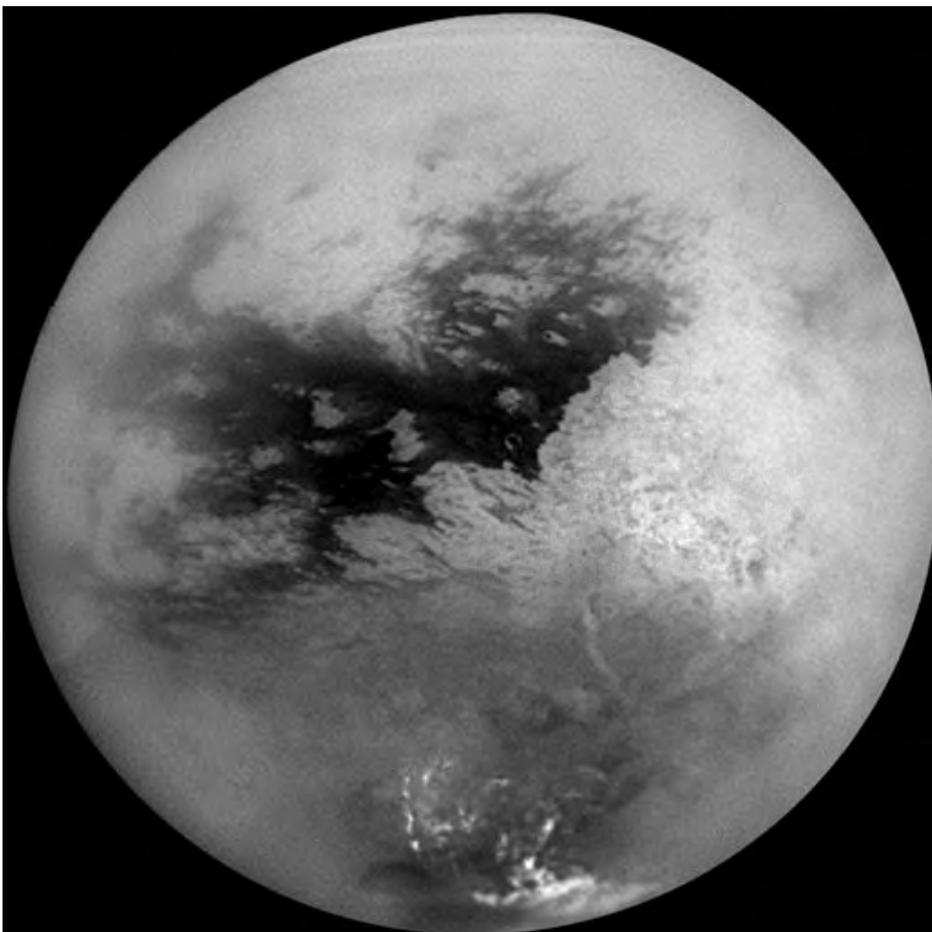
Der Saturnmond Thetis während des FlyBy am 28. Oktober 2004. Foto: NASA.

Prometheus beim „Diebstahl“ von Materie aus dem F-Ring ertappen. Ein Foto zeigt den kleinen, etwa 120 Kilometer großen Mond, verbunden durch einen dünnen Faden an Materie

mit dem F-Ring. Dieser Ring wird von Prometheus und Pandora, einem weiteren kleinen Mond, flankiert. Die Wissenschaftler sind sich noch nicht einig, wie der kleine Mond mit dem F-Ring zusammenwirkt, vermuten aber Gravitationseinflüsse, die Materie aus dem Ring zum Mond hin ziehen. Insgesamt wurden 44 Aufnahmen mit jeweils 3 Minuten zeitlichem Abstand gewonnen, die etwa eine achtel Umdrehung der F-Ring-Partikeln um Saturn darstellen. Ein interessanter Zusammenhang mit der griechischen Mythologie, in der Prometheus das Feuer von den Göttern stahl und den sterblichen Menschen übergab.

Letzte Titan-Passage vor der Huygens-Mission

Am 13. Dezember 2004 erfolgte der letzte Titan-FlyBy vor dem Abwurf der Huygens-Landesonde in einer Entfernung von rund 1.200 Kilometern. Bei dieser Begegnung sollte vor allem die Dicke der Titan-Atmosphäre genauer bestimmt werden, um letzte Optimierungen der Huygens-Abwurfsequenz vornehmen zu können. Diese Informationen sind aber auch für die Planung von zukünftigen Vorbeiflügen wichtig, um bestimmen zu können, wie nahe Cassini an Titan vorbeifliegen kann, ohne durch die Atmosphäre beein-

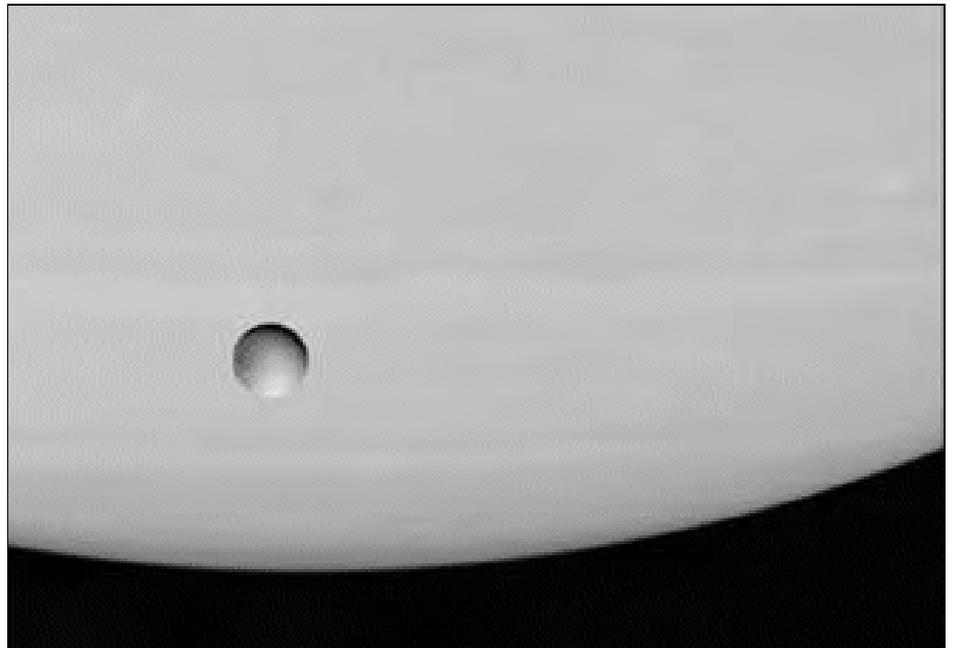


Der Saturnmond Titan am 26. Oktober 2004 beim ersten nahen Vorbeiflug. Die Aufnahme wurde aus neun Einzelbildern zusammengesetzt. Foto: NASA.

trächtig zu werden. Aufgrund dieses zweiten nahen Vorbeifluges konnten auch erste Erkenntnisse über Titan's Wetter gewonnen werden. Am 26. Oktober war der Himmel über Titan nahezu wolkenlos, während diesmal einige ausgedehnte Wolkenfelder ausgemacht wurden.

Dione vor Saturn

Einen Tag nach der Begegnung mit Titan konnte Cassini ein eindrucksvolles Bild des kleinen Mondes Dione vor dem großen Saturn aufnehmen. Zur Überraschung der Forscher zeigte Dione helle Eisklüfte, die wahrscheinlich durch tektonische Aktivitäten entstanden sind.



14. Dezember 2004: Dione vor Saturn. Foto: NASA.

Neue Erkenntnisse

Im Dezember 2004 wurden auf einer Konferenz auch neue Erkenntnisse über die Ringsysteme vorgestellt. Aufgrund Messungen des UV-Imaging-Spektrometers zeigte sich, daß die Umgebung der Saturnringe und Monde mit Eispartikeln und Atomen aus Wassermolekülen angereichert ist. Zusätzlich konnten große Fluktuationen in der Menge an Sauerstoff-Atomen festgestellt werden. Als Ursache dafür wird eine Kollision von unbekanntem, kleinen eisigen Monden

mit Saturn's E-Ring vermutet. Dadurch wurden Eispartikeln frei, die Sauerstoffatome enthielten. Nach dieser Theorie bestanden die Ringe zuerst nur aus Eis. Erst durch das Bombardement mit Meteoriten wurde die Ringmaterie mit anderen Elementen angereichert und dunkelte dadurch nach. Dies geschah in den letzten 10 bis 100 Millionen Jahren durch kleine Mondfragmente von bis zu 20 Kilometern Größe.

Huygens auf dem Weg zu Titan

Am 24. Dezember 2004 wurde die Huygens-Landesonde von Cassini getrennt. Damit begann nach dem Einschwenken in die Saturn-Umlaufbahn im Juli 2004 die zweite wichtige Phase der Gesamtmission. Huygens wurde durch die Europäische Raumfahrtagentur ESA gebaut. Während der gesamten Reise zum Saturn befand sie sich im „Schlafmodus“, erst kurz vor dem Abwurf wurde sie aktiviert, aber vorerst noch durch eine Kabelverbindung von Cassini aus mit Energie versorgt. Ab dem Zeitpunkt der Abtrennung von der Muttersonde mußte sich Huygens drei Wochen lang mit ihren eigenen Batterien versorgen, die aber nur für eine begrenzte Lebensdauer ausgelegt waren. Bis kurz nach dem Abwurf von Huygens befand sich auch Cassini auf Kollisionskurs mit Titan, um den richtigen Kurs der Landesonde sicherzustellen, die kein eigenes Triebwerk besaß. Erst nach der Trennung der beiden Sonden führte Cassini am 27. Dezember 2004 eine Kurskorrektur durch, um an Titan vorbeizufliegen. Dieses Manöver war auch dazu notwendig, um die Funkverbindung aufrechtzuerhalten. Bei der Planung der Mission war nämlich der Doppler-Effekt übersehen worden, der bei einer zu großen



Künstlerische Darstellung: Cassini beim Abwurf von Huygens. Grafik: NASA.

Geschwindigkeitsdifferenz dazu geführt hätte, daß der auf einen engen Frequenzbereich beschränkte Empfänger von Cassini die Huygens-Signale nicht mehr empfangen hätte können. Der Erfolg der Mission wäre nicht möglich geworden, wenn die beiden ESA-Mitarbeiter Claudio Sollazo und Boris Smeds dies nicht bemerkt hätten und gegen große interne Widerstände eine Überprüfung durchgesetzt hätten. Aufgrund der resultierenden Umplanung der Mission umkreiste Cassini den Saturn dreimal anstelle der ursprünglich geplanten zwei Umkreisungen und die Landung auf Titan verschob sich vom November 2004 auf den 14. Jänner 2005.

Iapetus-Vorbeiflug

Dieser Saturn-Mond zeigt quasi zwei Gesichter, da eine Seite sehr hell und die andere sehr dunkel ist. Die größte Annäherung mit Cassini erfolgte am 31. Dezember 2004 mit 123.400 Kilometern. Der nächste nahe Vorbeiflug an diesem Mond wird erst 2007 stattfinden. Iapetus besitzt einen Durchmesser von etwa 1.400 Kilometern und ist Saturn's drittgrößter Mond. Bereits der Entdecker von Iapetus, Jean-Dominique Cassini, der Namensgeber der Raumsonde, konnte feststellen, daß dieser seltsame Mond



Der Saturnmond Iapetus am 31. Dezember 2004. Foto: NASA.

zwei verschieden helle Seiten hat. Zusätzlich zu seinem Aussehen hat die Bahn von Iapetus auch eine große Inklination (Neigung) zur Ringebene und seine Dichte ist relativ gering. Die ersten Bilder von Iapetus zeigten einen seltsamen Wall, der den Mond praktisch exakt auf dem Äquator umgibt, etwa 25 Kilometer hoch und über 1.300 Kilometer lang ist. Kein

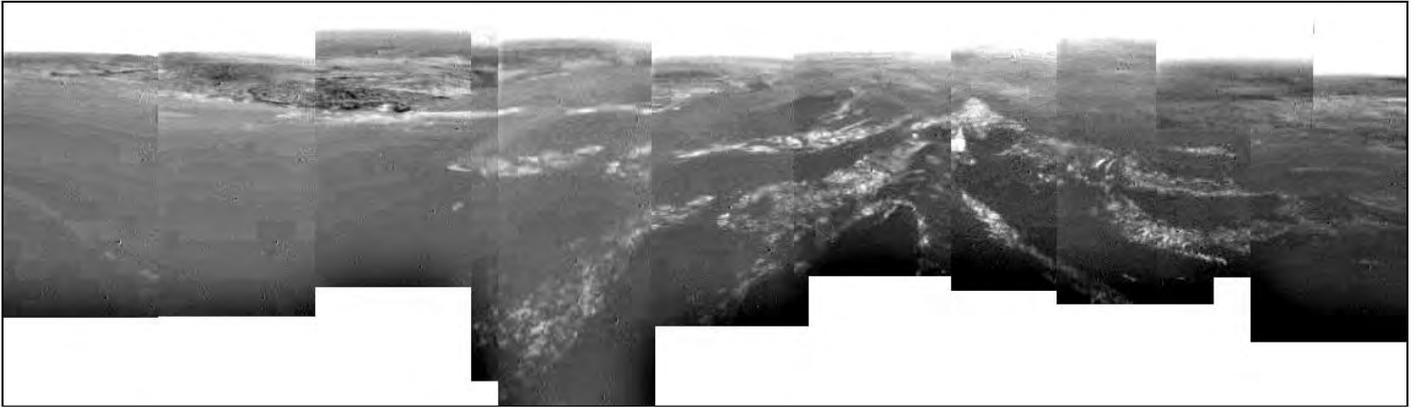
anderer Mond im Sonnensystem zeigt ein derartig auffallendes geologisches Merkmal. Auf den Aufnahmen ist auch sichtbar, daß selbst Krater in der Nähe der Hell-Dunkel-Grenze dunkle Kraterwände aufweisen, die in Richtung Pol zeigen und helle Wände in Richtung Äquator. Dies deutet auf einen äußeren Ursprung des dunklen Materials hin, das sich auf der Oberfläche von Iapetus niedergeschlagen hat.



Künstlerische Darstellung: Huygens schwebt am Fallschirm durch die Atmosphäre von Titan zur Oberfläche. Grafik: NASA.

Landung auf Titan

Der Abstieg durch die Atmosphäre und die Landung auf Titan klappte hervorragend. Huygens trat um 5.15 Uhr nachmittags (EST) in die obersten Schichten der Atmosphäre ein und setzte nach etwa zweieinhalb Stunden weich auf der Oberfläche auf. Während des Abstieges wurde die chemische Zusammensetzung der Gashülle untersucht. Leider wurden nur die Daten eines Übertragungskanales empfangen, vom zweiten Kanal wurden keine Signale registriert. Damit ging ein Teil der erhofften Meßergebnisse verloren, die wissenschaftliche Ausbeute war aber



Mosaik der Titan-Oberfläche, zusammengesetzt aus während des Abstieges gewonnenen Aufnahmen. Foto: NASA.

trotzdem enorm. Bereits kurz nach der Landung traf das erste Bild von der Umgebung auf der Erde ein, eine geröllübersäte Steinwüste. Die Sonde war doch nicht, wie vor der Landung befürchtet worden war, in einen Methansee gestürzt oder beim Aufprall beschädigt worden.

Während die Sonde am Fallschirm zu Boden schwebte, konnten auch die Windgeschwindigkeiten in der Gas-hülle von Titan gemessen werden. In den oberen Atmosphärenschichten war Huygens starken Westwinden von bis zu 400 km/h ausgesetzt, während die Winde näher bei der

Oberfläche eher einer milden Brise glichen. Für die Messung mit Hilfe des sogenannten „Doppler wind experiment“ wurden die Radiosignale der Sonde mit großen Radio-teleskopen auf der Erde gemessen. Aufgrund von Frequenzverschiebungen der Radiosignale konnte die Bewegung der Sonde in der Atmos-phäre und damit die Windgeschwin-digkeit errechnet werden. Eigentlich war das Huygens-Signal gar nicht da-für gedacht gewesen, auch auf der Erde empfangen zu werden. Es klappte hervorragend, während das eigent-liche, an Bord der Sonde befindliche Experiment keine Daten lieferte.

Saturn's Aurora

Durch die Kombination von Daten des Cassini-Orbiters mit Hubble-Aufnahmen vom Jänner 2005 konnten neue Erkenntnisse über die Aurora von Saturn gewonnen werden. Eine Aurora entsteht dann, wenn geladene Partikeln in der Polarregion in die Atmosphäre ein-dringen und mit dem Magnetfeld wechsel-wirken. Bei Kollisi-onen mit Atomen und Molekülen kommt es zu Licht-effekten, die in ihrer Gesamtheit einen leuchtenden Ring um den Pol bilden.

Hubble lieferte die UV-Aufnah-men, die dann mit den Daten von Cassini's Plasma-Spektrometer und Magnetometer kombiniert wurden. Dabei zeigte sich, daß die Aurora am Saturn oft für Tage hell aufleuchtet, während dies auf der Erde oft nur Minuten dauert. Auch die Wechsel-wirkung mit dem Sonnenwind zeigte große Unterschiede zu denen bei unser-erem Heimatplaneten beobachteten.

Großer Krater auf Titan

Beim Titan-Vorbeiflug am 15.Feb-ruar 2005 konnte das Radargerät der Cassini-Sonde einen riesigen Ein-schlagkrater auf der Oberfläche dieses Mondes abbilden. Cassini näherte sich bei dieser Passage bis auf 1.577 Kilometer der Oberfläche und sein Radarinstrument konnte detail-



Das erste Bild von der Titan-Oberfläche, versehen mit Maßstab.

Foto: ESA.



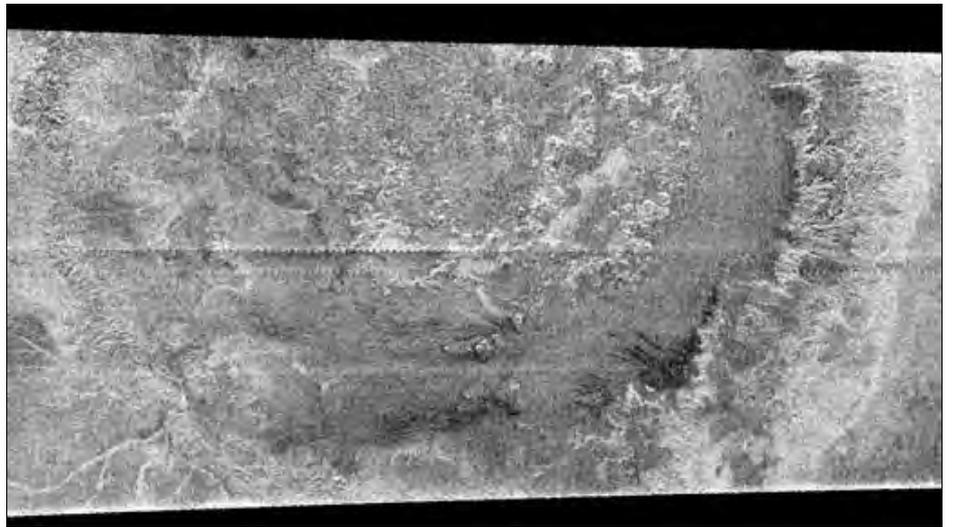
Hubble-Aufnahmen von Saturn's Aurora. Foto: NASA.

lierte Oberflächenaufnahmen liefern. Der dabei entdeckte große Krater hat einen Durchmesser von ungefähr 440 Kilometern. Das ist deswegen bemerkenswert, da bisher noch kaum Krater auf Titan festgestellt werden konnten. Wahrscheinlich ist die Oberfläche tektonisch so aktiv, daß nur derart große Oberflächenmerkmale über lange Zeit erhalten bleiben. Bei diesem Vorbeiflug konnten auch erstmals die gleichen Gebiete mit Radar und mit der Fotokamera aufgenommen werden. Auch auf den Aufnahmen im sichtbaren Licht ist dieser große Krater erkennbar, zeigt aber aufgrund der dichten Atmosphäre, die für diese Frequenzbereiche nicht so durchlässig ist, nur wenige Details.

Neben dem großen Krater, der als „Circus Maximus“ bezeichnet wurde, konnte auch einer mit etwa 60 Kilometer Größe aufgespürt werden. Zusätzlich wurden viele andere interessante Oberflächenmerkmale entdeckt, darunter etwa Kanäle mit Längen bis zu 200 Kilometern, die von den Wänden des Kraters abfließen und wahrscheinlich flüssiges Methan enthalten.

Bilder von Encladus

Einen Tag nach dem Titan-FlyBy passierte Cassini den Mond Encladus.



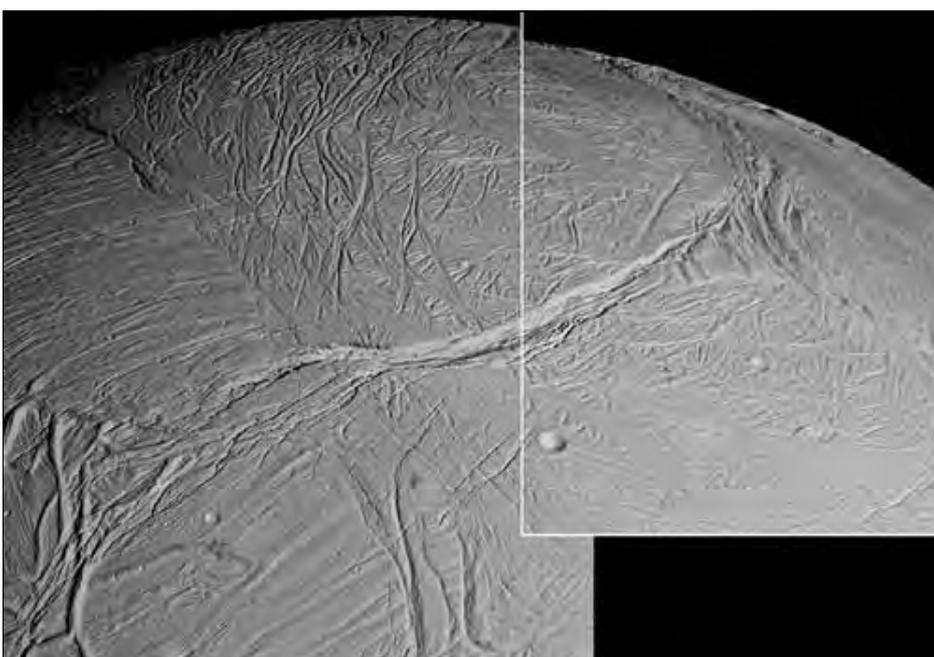
Der große Krater „Circus Maximus“ auf Titan. Foto: NASA.

Dieser Mond hat ein derart hohes Albedo (Rückstrahlvermögen), sodaß angenommen wird, daß seine Oberfläche komplett aus Wassereis besteht. Cassini kam Encladus bis auf 1.180 Kilometer nahe. Dabei konnten erstmals hochauflösende Bilder von seiner Oberfläche gewonnen werden. Bereits die Bilder von Voyager zeigten eine wechselhaftes Erscheinungsbild mit zerklüfteten Terrain und glatten Ebenen. Ebene, kraterfreie Flächen deuten auf eine geologisch junge Oberfläche hin, während Klüfte auf tektonische oder vulkanische Aktivitäten hinweisen. Die Parallelen zu den Jupitermonden Europa und Ganymed sind groß, auch bei diesen

beiden Himmelskörpern wird eine eisige Oberfläche mit darunterliegenden flüssigen Wasserschichten angenommen.

Die Meßergebnisse von Encladus deuten auf pures Wassereis hin, selbst die erwarteten Anteile an Ammoniak oder Kohlendioxid wurden nicht beobachtet. Helligkeitsunterschiede auf der Oberfläche werden wahrscheinlich nicht durch Beimengungen anderer Stoffe, sondern durch verschieden große Eiskristalle oder Altersunterschiede hervorgerufen. Eines der interessantesten Oberflächenmerkmale sind kleine dunkle Punkte, die anscheinend in Reihen parallel zu nahen Bruchlinien angeordnet sind.

Beim zweiten Vorbeiflug am 9. März 2005 konnte dann eine dünne Atmosphäre nachgewiesen werden. Diesmal erfolgte der FlyBy in nur 500 Kilometer Entfernung und dabei zeigte das Magnetometer eine Ausbuchtung im Magnetfeld, die darauf hinweist, daß das Plasma der Magnetosphäre vom Mond verlangsamt und reflektiert wird. Oszillationen des Magnetfeldes deuteten auf ionisierten Wasserdampf hin. Dieser ist wahrscheinlich Bestandteil einer dünnen Atmosphäre, gespeist aus dem Mondinneren durch vulkanische oder tektonische Aktivität. Da Encladus eher klein ist, wird angenommen, daß er diese Gashülle nicht über lange Zeit halten kann. Die Gase stammen



Spektakuläres Mosaik der Oberfläche des Saturnmondes Encladus. Foto: NASA.

daher wahrscheinlich aus dem Mondinneren und müssen ständig erneuert werden.

Neue Erkenntnisse

Ende Februar wurden dann eine Reihe von neuen Erkenntnissen veröffentlicht, die durch die in den letzten Monaten gesammelten und ausgewerteten Meßergebnisse erzielt wurden. Darunter war auch die Entdeckung eines neuen, etwa 5 Kilometer durchmessenden Mondes, der den Mond Dione begleitet und Polydeuces benannt wurde. Dieser trojanische Mond folgt Dione in einem gravitonisch stabilen Punkt, umkreist ihn aber nicht. Saturn ist derzeit der einzige Planet mit Monden, die von derartigen Trojanern begleitet werden.

Die Masse der beiden Monde Atlas und Pan konnte aufgrund deren Gravitations-Effekte auf die Saturn-Ringe näher bestimmt werden. Aus dieser Massenbestimmung folgt, daß beide Trabanten sehr porös sein müssen, praktisch nur fliegende Steinhäufchen ohne inneren Zusammenhalt. Auch die Bahn von Pan im A-Ring konnte genauer bestimmt werden. Diese Umlaufbahn ist überraschenderweise sowohl exzentrisch als auch leicht geneigt gegenüber der Ringebene, obwohl der Mond ständig mit der Ringmaterie wechselwirkt.

Weiters konnten einige neue, sehr feine Ringe in den Zwischenräumen der bereits bekannten Ringe nachgewiesen werden. Einige dieser neuen Ringe zeigen auch Anzeichen für nahe, bisher noch unentdeckte, weitere kleine Monde.

Auch vom Ringplaneten selbst konnten neue Erkenntnisse über seine Sturmsysteme und die Magnetosphäre gewonnen werden. Über seinen Ringen wurde vom Massenspektrometer molekulare Sauerstoff-Ionen nachgewiesen.

Die aufregendsten Erkenntnisse lieferten aber die Beobachtungen von Titan durch Cassini und Huygens.



Saturn in einer eindrucksvollen Aufnahme, im Vordergrund der geheimnisvolle Titan, oben rechts der zweitgrößte Saturnmond Rhea. Foto: NASA.

Dieser große Mond unterliegt scheinbar sowohl heftiger tektonischer Aktivitäten als auch wetterbedingter Erosion seiner Oberfläche. Große lineare Strukturen werden normalerweise nur durch tektonische Plattenbrüche hervorgerufen, während flußähnliche Gebilde auf flüssiges Methan hindeuten. Einer dieser „Flüsse“ in der Südpolregion ist über 1.500 Kilometer lang. Überhaupt scheinen sich diese Landschaftsmerkmale im Bereich des Südpoles zu konzentrieren. Auch Aufnahmen von Huygens zeigten mehrere Kilometer lange Kanäle, die aussahen, wie wenn sie von flüssigem Methan ausgewaschen worden wären. Interessanterweise sind auch die meisten Wolken in der Nähe des Südpoles zu sehen. Alles deutet daher auf ein heftiges Wettergeschehen in dieser Region hin, das die Oberfläche des Mondes nachhaltig verändert.

Insgesamt ist aber die Wolkenaktivität auf Titan eher gering, die Undurchsichtigkeit der Atmosphäre ist eher auf deren Zusammensetzung zurückzuführen. Aufgrund der Wol-

kenbewegungen wurde auf die vorherrschenden Windgeschwindigkeiten in großer Höhe geschlossen. Diese sogenannten Jet-Streams rotieren auf Titan scheinbar schneller als er selbst rotiert, während auf der Erde die Jet-Streams langsamer als die Erdrotation kreisen. Diese sogenannte Super-Rotation gibt es in ähnlicher Form auch auf der Venus. Bereits vor etwa einem Jahrzehnt wiesen erste Computersimulationen darauf hin, daß es diesen Effekt möglicherweise auch auf Titan gibt. Ein Nachweis war aber bisher nicht möglich, da die kleinen Titan-Wolken von der Erde aus nicht sichtbar sind.

Bisher wurden etwa 30 Prozent der Titan-Oberfläche aufgenommen, bei einer Auflösung zwischen 1 bis 10 Kilometern. In den nächsten drei Jahren sind aber noch 41 weitere Passagen geplant, bei denen Titan sicher noch wesentlich intensiver untersucht werden kann.

EF, Quellen: Presseinfos von MPG, NASA und DLR.