



2005 – Das Jahr der Saturnmonde

Die Erkundung des Saturnsystems durch CASSINI geht ins zweite Jahr

VON TILMANN DENK

Die Raumsonde CASSINI umkreist Saturn bereits seit Juli 2004, und in diesem Zeitraum wurde nicht nur die HUYGENS-Mission absolviert, sondern es wurden auch schon viele Beobachtungen der Saturnatmosphäre, Magnetosphäre, Ringe und Monde erfolgreich durchgeführt. Nachdem die ersten Umläufe noch mehrere Monate dauerten, liegt die Umlaufperiode von CASSINI um Saturn momentan bei etwa 18 Tagen.

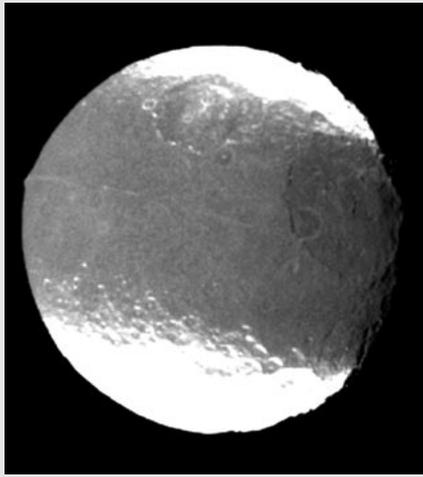
Das Jahr 2005 ist für die Erforschung der mittelgroßen Saturnmonde Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Hyperion und Iapetus durch CASSINI besonders wichtig. Auch der große Mond Titan, der aber nicht Gegenstand dieses Aufsatzes ist, wird acht Mal angeflogen. Die Raumsonde befindet sich während der gesamten zwölf Monate

über der »Morgenseite« von Saturn. Zwischen Mitte Februar (Titan-Vorbeiflug »T3«) und Ende März umkreiste CASSINI Saturn in dessen Äquatorebene, eine für die Beobachtung der Monde besonders günstige Geometrie. In der Zeit von Anfang April (»T4«) bis Anfang September (»T7«) wurde die Bahnneigung während der so genannten Periode der »Early incli-

ned orbits« auf bis zu 22 Grad angehoben. In diesem Zeitraum werden die Ringe intensiv studiert.

Anfang Mai wurde ein bislang unbekannter Mond in der Keeler-Teilung des A-Rings entdeckt. Dieser vorläufig als S/2005 S 1 bezeichnete Satellit ist der 47. bekannte Saturnmond. Für die mittelgroßen Monde ergeben sich Gelegenheiten zur Beobachtung der hohen südlichen Breiten. Für kommenden Herbst, wenn CASSINI in die Äquatorebene des Saturn zurückkehrt, sind allein vier gezielte Vorbeiflüge an großen Saturnmonden geplant. Dann beginnt auch die Rotation der Apsidenlinie (die Verbindungslinie vom saturnfernsten zum saturnnächsten Punkt der Bahn von CASSINI) hin zur Nachtseite des Ringplaneten. Der Ringplanet wird in den Bildern am Jahresen-

▲ Dione wirkt trotz seiner 1130 km Durchmesser vor der riesigen Saturnkugel winzig. (Alle Abbildungen: NASA/JPL/SSI)



▶ Abb. 1: Fünf Ansichten des gigantischen Bergrückens auf Iapetus, der genau den Äquator markiert. In allen Bildern weist der Blick in südwestliche Richtung.

◀ Abb. 2: Diese stark kontrastverstärkte Aufnahme von Iapetus, die nur wenige Stunden nach dem Absetzen von HUYGENS für die optische Navigation gewonnen wurde, führte zur Entdeckung des Bergrückens.

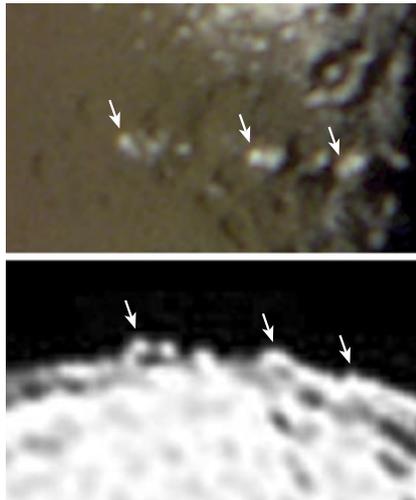
de und mehr noch im kommenden Jahr immer mehr als Sichel, das Ringsystem als Strich erscheinen. Erst Mitte Juli 2006 (»T16«-Vorbeiflug) wird CASSINI die Äquator- und Ringebene wieder verlassen.

Erfolgreiche Iapetus-Beobachtungen

Das Jahr 2005 begann für die Monde-Forschung mit Beobachtungen von Iapetus in der Silvesternacht (siehe auch SuW 1/2005, S. 22 ff., und SuW 3/2005, S. 8). Sie verliefen zu 100 Prozent erfolgreich, auch wurden alle geplanten 288 Aufnahmen der Kamera zur Erde übertragen. Sie zeigen den nördlichen Teil der vorausseilenden Hemisphäre, die zum größten Teil von dunklem Material bedeckt ist. Die schärfsten Bilder erreichen eine Auflösung von 730 Metern pro Bildpunkt oder Pixel. Auch sind weite Teile des gigantischen Bergrückens sehr schön zu sehen (Abb. 1).

Dieser Gebirgszug wurde erst wenige Tage zuvor in Aufnahmen vom 25. Dezember entdeckt (Abb. 2). Er verläuft im dunklen Gebiet exakt am Äquator und erhebt sich bis zu 20 Kilometer über die unmittelbare Umgebung im saturnabgewandten Teil der vorausseilenden Hemisphäre. Er stellt somit eine östliche Fortsetzung der einzeln stehenden, zum Teil über 20 Kilometer hohen Berge dar, die von unserer Arbeitsgruppe im Jahr 1999 in Bildern der Raumsonde VOYAGER 2 auf der saturnabgewandten Hemisphäre entdeckt wurden (Abb. 3).

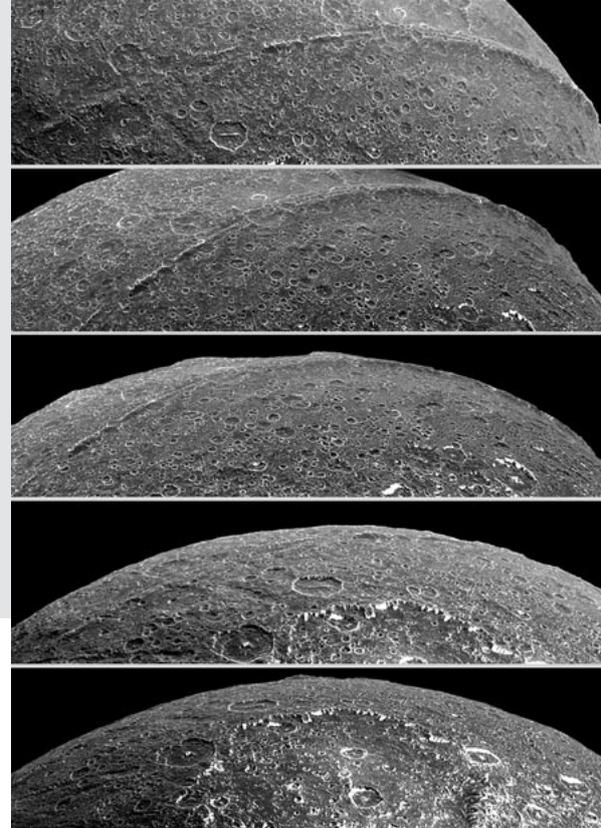
Iapetus erwies sich als ein Mond der Extreme. Seine dunkle Hemisphäre ist wie das helle Gebiet stark mit Einschlagskratern übersät. Unseren Zählungen nach dürfte Iapetus die älteste Oberfläche, zumindest im inneren Saturnsystem, aufweisen. Auch der Berg Rücken ist stark mit Kratern bedeckt, teilweise sogar von Einschlägen völlig zertrümmert. Die Form von Iapetus ist keine Kugel, sondern eher ein biaxiales (rotationssymmetrisches)



Ellipsoid, dessen Durchmesser von Pol zu Pol etwa 1425 Kilometer und am Äquator etwa 1490 Kilometer beträgt. Diese Werte konnten bislang aber nur ungefähr, auf plusminus fünf Kilometer genau, bestimmt werden, da mindestens fünf gigantische Impaktbecken mit Durchmessern zwischen 400 und 850 Kilometern die globale Form von Iapetus stark »verbeulen«. Dazu kommen noch andere Einflüsse auf die globale Form, beispielsweise durch den Berg Rücken.

Daten des Infrarot-Spektrometers CIRS lassen darauf schließen, dass im Verlauf eines Tag-Nacht-Zyklus auf Iapetus, der 79,3 Erdtage dauert, die Temperaturen auf der Oberfläche um bis zu 60 Grad Celsius schwanken. Die »heißeste« Region, im dunklen Gebiet am Äquator, erreicht bis -160 Grad Celsius. Dies könnte nach einer neuen Theorie von John Spencer vom Southwest Research Institute in Boulder, Colorado, ausreichen, dass im Laufe von Jahrmillionen helle Eispartikel zu den Polen wandern und somit eine dunkle Materialschicht zurückließen.

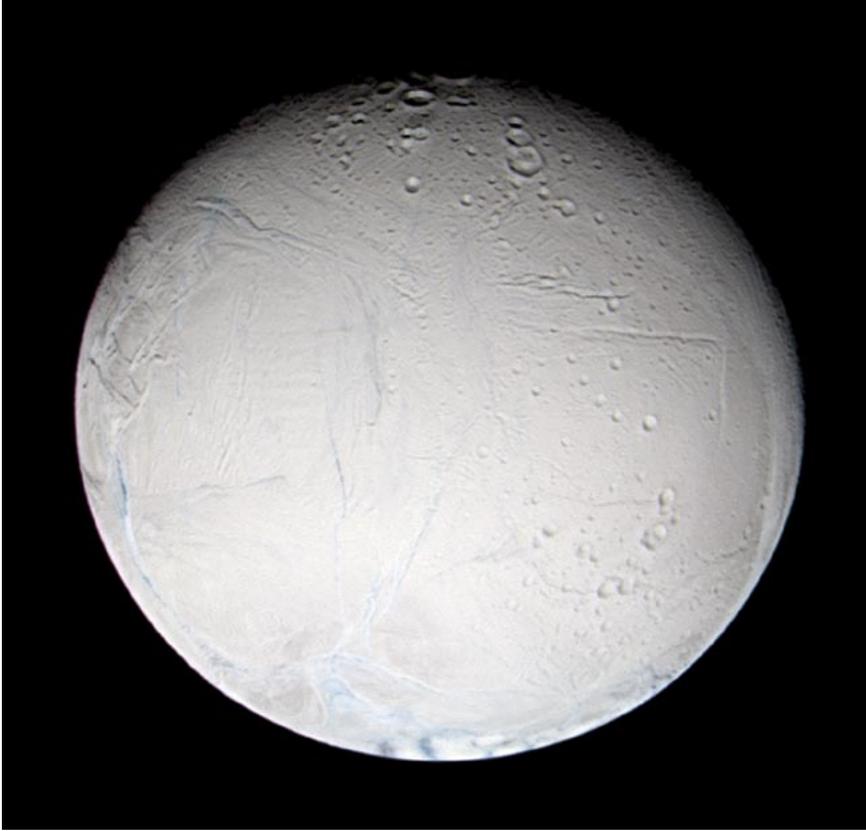
Dies ist eine von zwei neuen Hypothesen im »Zoo« der Erklärungsversuche für die Existenz der extremen Hell-Dunkel-Dichotomie auf Iapetus. Die andere



◀ Abb. 3: Die »VOYAGER-Berge« in einer Aufnahme von CASSINI vom Oktober 2004 (oben) und von VOYAGER-2 vom August 1981 (unten). Diese erst 1999 entdeckten Berge befinden sich ebenfalls am Äquator und stellen eine Verlängerung des Bergrückens auf der saturnabgewandten Seite in Richtung Westen dar.

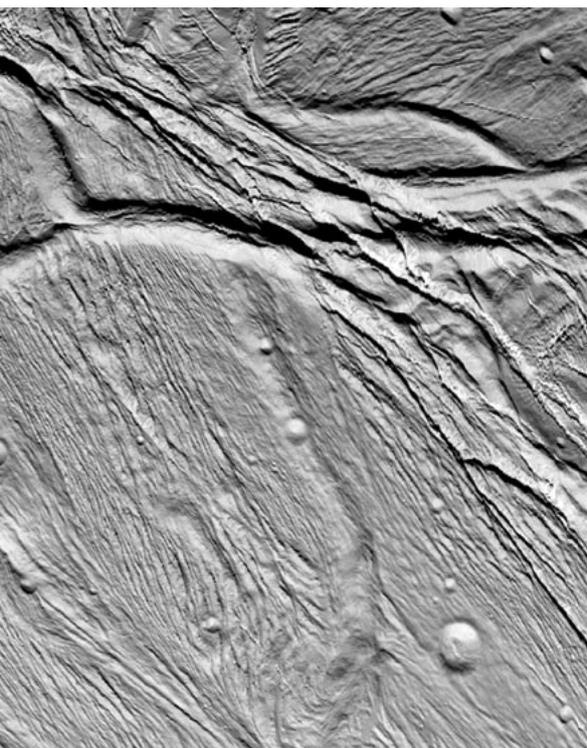
vermutet, dass der Berg Rücken als vulkanisches Zentrum dunkles Material ausgeworfen haben könnte. Dagegen spricht aber, dass keine Wärmequelle für vulkanische Aktivität weit und breit in Sicht ist, sowie das hohe Alter der Oberfläche. Die neuen Daten von CASSINI haben bis jetzt weder einer neuen noch einer der (zahlreichen) alten Entstehungsthesen zum Durchbruch verholfen. Voraussichtlich werden wir weitere Beobachtungen abwarten müssen, insbesondere von Regionen auf der Heckseite. Dennoch konnten mit den Daten von Silvester viele interessante Schlussfolgerungen gezogen werden.

So findet sich im beobachteten Teil der dunklen Hemisphäre kein einziger Einschlag, der helles Untergrundmaterial ausgebaggert hätte. Andererseits gibt es tief im dunklen Gebiet helle, polwärtsweisende Krater ränder, die an der oberen Kante keine Schichtung zeigen. Letzteres kann als Hinweis darauf ausgelegt werden, dass die dunkle Schicht eher dünn, die Materialdecke weniger als ein Kilometer mächtig ist. Unterstützt wird diese Annahme von Radarbeobachtungen aus den Jahren 2002 und 2003 von der Erde aus, welche im Wellenlängenbereich von



▲ Abb. 4: Globales Falschfarbenmosaik von Enceladus, aufgenommen Mitte Februar 2005 durch Infrarot-, Grün- und Ultraviolett-Filter. Im Infrarotlicht zeigten sich erstmals deutliche Farben auf diesem eigentlich als einheitlich weiß bekannten Mond.

▼ Abb. 5: Mehr als ein Kilometer hohe Bergrücken auf Enceladus erinnern an die Oberfläche des Jupitermonds Europa. Die Auflösung dieses Bildes vom Vorbeiflug in Orbit 3 beträgt 63 m.



12.6 Zentimeter keine deutliche Differenz in den Iapetus-Hemisphären feststellen konnten. Ist es denkbar, dass die dunkle Schicht nur wenige Zentimeter oder gar Millimeter dick ist? Die Beobachtungen mit dem RADAR-Instrument von CASSINI bei einer Wellenlänge von 2.2 Zentimeter könnten hier einen wichtigen Beitrag leisten, ihre schwierige Kalibrierung war jedoch zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

Wenn aber die dunkle Schicht eher dünn ist, muss sie später geformt worden sein. Oder ihre Bildung war noch nicht abgeschlossen, nachdem die letzten größeren Meteoriten Iapetus getroffen hatten. Interessant ist in diesem Zusammenhang der »Landslide-crater«, ein etwa 120 Kilometer durchmessender Einschlagskrater, der fast zur Hälfte von einem großen Erdrutsch bedeckt ist (siehe SuW 3/2005, S. 9, Abb. b). Am Kraterboden findet sich kein einziger kleinerer Krater, was darauf hindeutet, dass er relativ spät gebildet wurde. Andererseits sind sowohl der Krater als auch der Erdrutsch homogen und vollständig von dunklem Material bedeckt.

Bedeutet dies, dass die Bildung des dunklen Materials auf der Iapetus-Oberfläche noch heute andauert? Damit würden die »Phoebe-Theorien« gestärkt, welche eine kontinuierliche Nachlieferung von »Feinstaub« aus dem äußeren Saturnsystem durch Phoebe und die anderen retrograd umlaufenden Monde fordern. Andererseits werden durch die neuen Daten die Probleme der »Phoebe-Thesen« nicht gemildert.

So stellen sich nach wie vor die Fragen, wie die komplexe Hell-Dunkel-Struktur

in der Übergangszone im Äquatorbereich entstand, warum die rötlichen äußeren Monde nicht auch die graue Phoebe rot eingestaubt haben, warum die Polregionen nicht auch dunkel sind, warum die prograd umlaufenden äußeren Monde nicht die Heckseite von Iapetus eindunkeln, oder warum die Monde Callisto (Jupiter) und Oberon (Uranus) keine vergleichbare Dichotomie aufweisen.

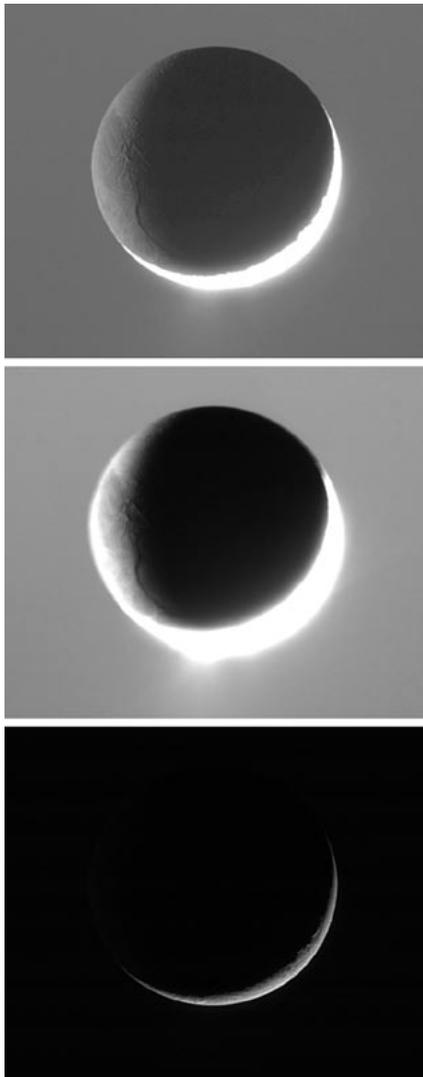
Für den kommenden Oktober (Abstand 415 000 km), Januar 2006 (873 000 km) und April 2006 (602 000 km) sind weitere Bilder von Iapetus aus größeren Distanzen geplant, welche die Übergangsgebiete auf der saturnzugewandten Seite sowie die Südpolregion genauer als bislang zeigen sollen. Gezielt wird Iapetus dann am 10. September 2007 angeflogen, wenn CASSINI der Oberfläche und auch dem Bergrücken auf fast 1000 Kilometer nahekommt. Hier wird erstmals beinahe die gesamte helle Hemisphäre einschließlich der komplexen Übergangsregion am Äquator auf der saturnabgewandten Seite in hoher Auflösung zu sehen sein.

Nach den Iapetus-Beobachtungen folgte am 14. Januar die HUYGENS-Mission auf Titan, die trotz mancher Unregelmäßigkeiten wie der Umkehr der Rotationsrichtung aufgrund falsch angebrachter *Spin vanes* oder dem Verlust der Daten des A-Kanals höchst erfolgreich verlief. Der spannende Tag der Landung wurde bereits in SuW 3/2005 auf Seite 22 ff. geschildert, und erste Ergebnisse wurden in SuW 4/2005, Seite 30 ff. vorgestellt. Der erste wissenschaftliche Report wurde in der Zeitschrift *Nature* Anfang Juni veröffentlicht (vgl. *Nature* 435, S. 786 ff.). Unmittelbar im Anschluss geplante Aufnahmen von Mimas, Rhea und Enceladus durch CASSINI (vgl. SuW 1/2005, S. 28) konnten planmäßig ausgeführt werden.

Enceladus zum Ersten...

In den nachfolgenden Wochen war der sehr helle Mond Enceladus gleich zweimal an der Reihe, zunächst am 17. Februar unmittelbar nach der Titan-Passage »T3«. Die meisten geplanten Aufnahmen erreichten die Erde, und Enceladus wurde auch erfreulich gut getroffen. Beim höchst aufgelösten Mosaik betrug die Verschiebung gegenüber dem Plan weniger als das halbe Bildfeld der Telekamera nach Norden und weniger als ein Bildfeld nach Osten (Abb. 4).

Die Auflösung dieser Bilder liegt zwischen 175 und 87 Meter pro Pixel, eine weitere Aufnahme erreicht 63 Meter pro Pixel. Zu sehen sind Teile der saturnzugewandten Hemisphäre und der Heckseite von Enceladus, also Bereiche, die zu einem großen Teil auch im besten Enceladus-Mosaik von VOYAGER 2 zu sehen wa-



◀ Abb. 6: Zehn Sekunden (oben) und 100 Sekunden (Mitte) lang belichtete Aufnahmen der Enceladus-Sichel (unten) zeigen in der Nähe des Südpols eine Struktur, die als Eruptionsfontäne interpretiert werden könnte. Wahrscheinlich handelt es sich aber um Streulicht in der Kamera.

▲ Abb. 7: Hochaufgelöste Ansicht von Enceladus aus Orbit 4. Die Flanken der Gräben könnten durch grobkörniges Eis in dieser Falschfarbendarstellung blau wirken, während die weiten Ebenen von feinen Eispartikeln aus dem E-Ring bedeckt sein dürften.

ren. Die Bilder von CASSINI zeigen sowohl stark verkraterte als auch sehr kraterarme Regionen, die nach den Beobachtungen von VOYAGER als »Smooth plains« (glatte Ebenen) bezeichnet wurden.

Tatsächlich sind sie aber alles andere als glatt und eben, und enthalten auch viele kleinere Krater, die in den Bildern von VOYAGER nicht aufgelöst werden konnten und darauf hinweisen, dass die bislang als »jung« klassifizierten Regionen auf Enceladus durchaus auch einige Milliarden Jahre alt sein könnten. Einige Erhebungen und Bergrücken erreichen über einen Kilometer Höhe. Die Bergrücken erinnern an Strukturen auf dem Mond Europa, allerdings treten sie nicht wie bei diesem als Doppelbergrücken auf. Neben diesen Erhebungen finden sich auch zahlreiche Gräben und Furchen; einem Raumfahrer würde sich eine wilde Landschaft darbieten (Abb. 5).

Das Ultraviolett-Spektrometer beobachtete den im UV hellen Stern λ Scorpii (Shaula), wie er hinter Enceladus verschwand und kurze Zeit später wieder auftauchte. Der Lichtabfall im Moment der Bedeckung war aber so abrupt, dass keine Atmosphäre nachgewiesen werden

konnte. Die Daten des Infrarotspektrometers VIMS zeigen, dass die Oberfläche von Enceladus praktisch aus purem Wassereis besteht. Dasselbe gilt für die Partikel des E-Rings von Saturn, welche der Staubdetektor CDA (CASSINI Dust Analyser) einfind und analysierte.

Die Quelle des E-Rings wird schon lange vor allem bei Enceladus vermutet, wobei sowohl eine geysirartige Aktivität als auch eine »Selbsterhaltung« – auftreffende Partikel schlagen andere aus dem Eis heraus; dadurch bleibt der Partikelring erhalten – als Mechanismen vorgeschlagen wurden. Interessanterweise passte das vom CDA gemessene »Staubprofil« weder zur einen noch zur anderen Hypothese, so dass eine Entscheidung aussteht. In Bildern der Telekamera, welche Enceladus als Sichel zeigen, wurde übrigens ein potenzieller Kandidat für einen Geysir gefunden, allerdings dürfte Streulicht in der Kamera die wahrscheinliche Ursache dieser diffusen Struktur in Südpolnähe sein (Abb. 6).

Die zuvor nur sehr ungenau bekannte mittlere Dichte von Enceladus konnte bei diesem Vorbeiflug endlich festgenagelt werden: Sie beträgt 1.61 Gramm pro Ku-

bikzentimeter und liegt damit zwar am unteren Rand der erwarteten Werte, ist aber immer noch deutlich höher als bei den anderen Saturnmonden mit Ausnahme der Monde Titan und Phoebe.

Enceladus zum Zweiten...

In Orbit 4, also nur einen Umlauf später, näherte sich CASSINI erneut Enceladus an, diesmal bis auf 500 Kilometer über der Heckseite. Das höchstauflöste globale Bildmosaik dieses gezielten Vorbeiflugs besitzt eine räumliche Auflösung zwischen 188 und 89 Meter pro Pixel, die schärfste Aufnahme erreicht sogar 25 Meter pro Pixel. Leider gingen alle Aufnahmen der Weitwinkelkamera (WAC) wegen einer technischen Störung verloren. Das Mosaik der Telekamera (NAC) wurde in den drei Farben Ultraviolett, Grün und Infrarot aufgenommen. Dies offenbarte interessante Strukturen. Während der größte Teil der Oberfläche weiß erscheint, zeigen die steilen Wände der Gräben oft eine blaue Farbe. Möglicherweise sehen wir hier grobkörniges Wassereis, während die flacheren Regionen von sehr feinkörnigem Eis aus dem E-Ring bedeckt sein dürften (Abb. 7).

Die Magnetfeldmessgeräte wiesen eine Anomalie im Saturnmagnetfeld nach, die auf Ionen in unmittelbarer Nähe von Enceladus zurückgeführt wird. Bedeutet dies, dass Enceladus vielleicht doch eine sehr dünne Atmosphäre besitzt?

... und Enceladus zum Dritten

Aufgrund dieser Entdeckung wurde die Flugbahn von CASSINI kurzfristig leicht verändert: Die nächste Enceladus-Passage, die am 14. Juli stattfinden soll, wurde von 1000 Kilometer Überflughöhe auf 170 Kilometer abgesenkt! Dabei wurde auch wieder eine Sternbedeckung ins Programm aufgenommen, die vom UVIS-Instrument beobachtet werden soll. Sowohl die Felder- und Partikel-Instrumente als auch das UV-Spektrometer dürften dann eine eindeutige Antwort auf die neue Frage nach einer möglichen Enceladus-Atmosphäre liefern.

Für die Kamera sind Bilder der Heckseite geplant, die höchste Auflösung soll um die 50 Meter pro Pixel betragen. 21 Minuten vor der größten Annäherung, noch etwa 9000 Kilometer von Enceladus entfernt, wird CASSINI dann so gedreht, dass die Orientierung der Sonde im Raum für die Beobachtung der Sternbedeckung von γ Orionis (Bellatrix) und die Atmosphärenmessungen der Felder- und Partikel-Instrumente gleichermaßen optimiert ist. Mit etwas Glück könnten mit der Weitwinkelkamera als Nebenprodukt ein paar Aufnahmen gelingen, die

zwischen 10 und 20 Meter große Details zeigen.

Nur wenige Stunden vor dem Enceladus-Vorbeiflug nähert sich CASSINI dem Mond Rhea bis auf 179000 Kilometer an. Mehr als elf Stunden sind an Beobachtungszeit hierfür reserviert, so dass der südliche Teil der saturnabgewandten Hemisphäre sowie die komplette Südpolregion Rheas von allen vier Fernerkundungsinstrumenten ausgiebig studiert werden können. CASSINI wird dabei den 78. südlichen Breitengrad überfliegen.

»Sommermonde«

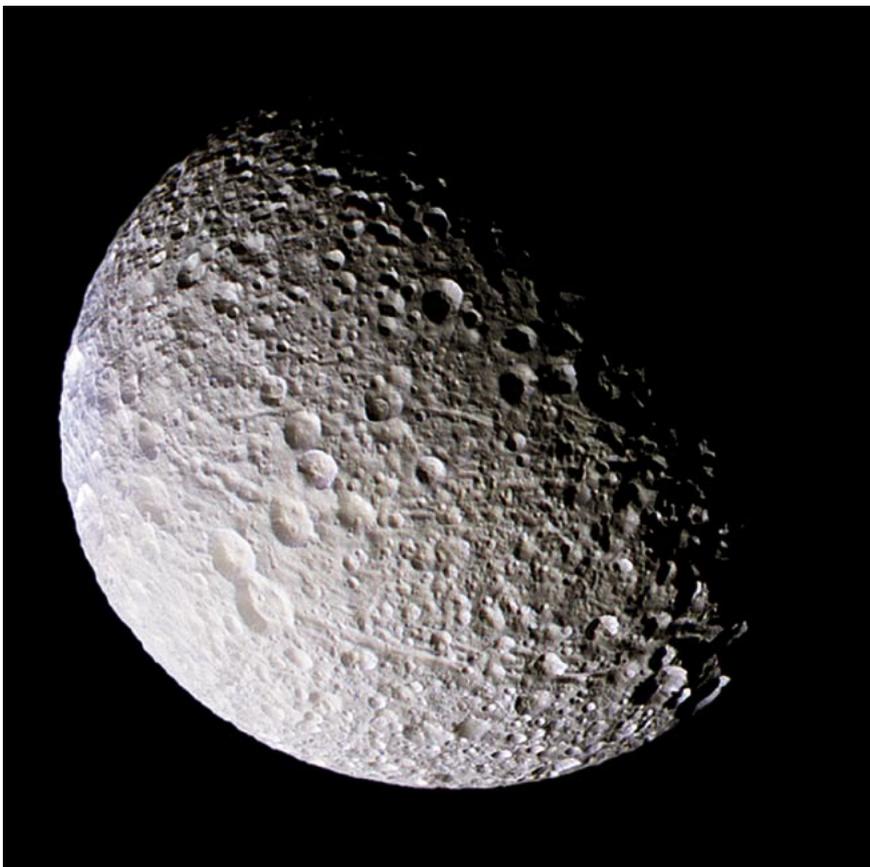
Der Sommer 2005 soll viele wichtige Beobachtungen der Monde aus größeren Distanzen bringen. Am 2. August wird CASSINI in 62700 Kilometer Abstand über der Heckseite von Mimas vorbeifliegen, so nahe wie während der gesamten Mission nicht mehr. Bei dieser Gelegenheit kann der 400 Kilometer große Mond mit bis zu 380 Meter pro Pixel Bildauflösung fotografiert werden. Es ist das einzige Mal, dass Mimas größer als das Gesichtsfeld der Telekamera erscheinen wird. Anders als die anderen großen Saturnmonde wird Mimas somit während der ganzen Primärmission nur in mittlerer Auflösung zu beobachten sein (Abb. 8).

Kurz zuvor und danach werden auch Dione und Rhea beobachtet. CASSINI nähert sich diesen beiden Saturnsatelliten bis auf 151000 Kilometer (Dione) bzw. 211000 Kilometer (Rhea) an. Einige Be-

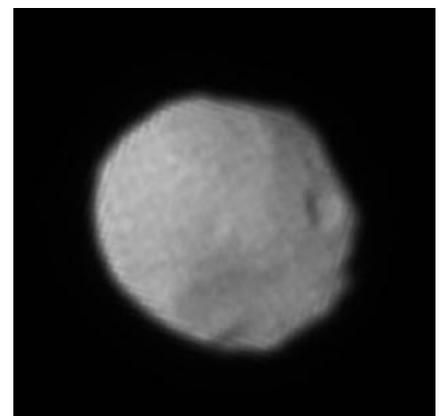
reiche, vor allem in Südpolnähe, können dabei für beide Monde detailgenauer untersucht werden als im Verlauf der restlichen Mission.

Am 5. September fliegt CASSINI am äußeren Schäfermond des F-Rings, Pandora, in 51000 Kilometer Abstand vorbei, die geplanten Aufnahmen sollen die nördliche Heckseite mit 300 Meter pro Pixel Detailauflösung zeigen. Bei einem Durchmesser von $60 \text{ km} \times 110 \text{ km}$ und einem moderaten Phasenwinkel von 60 Grad wird dieser Mond in den Bildern eine stattliche Größe erreichen (Abb. 9).

Diese sind um den Zeitpunkt der größten Annäherung herum geplant, was durchaus nicht selbstverständlich ist. Häufig haben andere Aktivitäten Vorrang, immerhin finden diese nahen Vorbeiflüge nur zu Zeiten statt, in denen sich CASSINI auch nahe am Saturn und den Ringen befindet. Schwerer wiegen oft noch operationelle Beschränkungen. So kann beispielsweise nicht einfach ein *Downlink* (Datenübertragung zur Erde) oder gar ein Bahnmanöver unterbrochen werden. Oder wenn sich ein kleiner Mond am anderen Ende des Himmels von CASSINI befindet, würde eine Drehung hin- und zurück für nur einen Schnappschuss schon über eine Stunde verschlingen und wahrscheinlich eine vielstündige Atmosphären- oder Ringebeobachtung zerreißen. Schließlich ergibt sich vor allem für die Ringmonde die Schwierigkeit, dass zum Zeitpunkt der Planung (meist vor 2004) ihre genaue Po-



◀ Abb. 8: Teile der Heckseite und der saturnzugewandten Seite von Mimas im infraroten, grünen und ultravioletten Licht bei einer Bildauflösung von $\frac{1}{2}$ km. Die Einschlagsstruktur am Bildrand könnte später als die anderen Krater entstanden sein.



▲ Abb. 9: Die bislang schärfste Aufnahme des äußeren F-Ring-Schäfermondes Pandora stammt von Mitte Mai und zeigt bis zu zwei Kilometer große Details.



▲ Abb. 10: Epimetheus, der Mond den die Sonde PIONEER 11 im Jahr 1979 um nur wenige Tausend Kilometer verfehlte, zeigt verschiedene Farben auf seiner Oberfläche. Die Bildauflösung beträgt 450 m/pxl.

▶ Abb. 11: CASSINI-Aufnahme des Zentrums der saturnzugewandten Hemisphäre von Tethys mit dem großen Grabensystem Ithaca Chasma. Der Graben ist hier teilweise bis zu 110 km breit.



sition noch gar nicht bekannt und somit kein optimales Eintakten möglich war.

Viele Monde waren damals noch nicht einmal entdeckt. Daher kommt es häufig vor, dass Aufnahmen der kleinen Monde nicht zum optimalen Zeitpunkt vorgenommen werden können, trotz der wiederholt in die Planung eingebauten »Retargetables«. Das sind »Platzhalter«, bei denen der anvisierte Mond erst wenige Wochen vor der Beobachtung festgelegt wird. Allein eine Verschiebung um eine halbe Stunde kann schon einen Distanzunterschied von über 15 000 Kilometern ausmachen. In den kommenden Jahren wird es aber dennoch sehr gute Beobachtungen der Ringmonde geben. Die beste wird am 3. Dezember 2007 ein ungezielter Epimetheus-Vorbeiflug (Abb. 10) in nur 6400 Kilometern Distanz sein; aus diesem Abstand kann die Kamera 40 Meter große Einzelheiten auflösen.

Die 17. Saturnumkreisung: Drei Monde in drei Wochen

Zu Herbstbeginn wird CASSINI die drei Monde Tethys, Hyperion und Dione innerhalb einer einzigen Saturnumkreisung gezielt anfliegen. Eine solche Konstellation

wird es während der nominellen CASSINI-Orbit-Tour nur einmal geben. Und sie war zunächst gar nicht so geplant. Die Möglichkeit, den ursprünglich für 30 000 Kilometer Abstand geplanten Tethys-Vorbeiflug auf eine Distanz von 1500 Kilometern abzusenken, wurde nämlich erst Anfang des Jahres zufällig entdeckt, als man nach Möglichkeiten suchte, dem E-Ring von Saturn etwas auszuweichen.

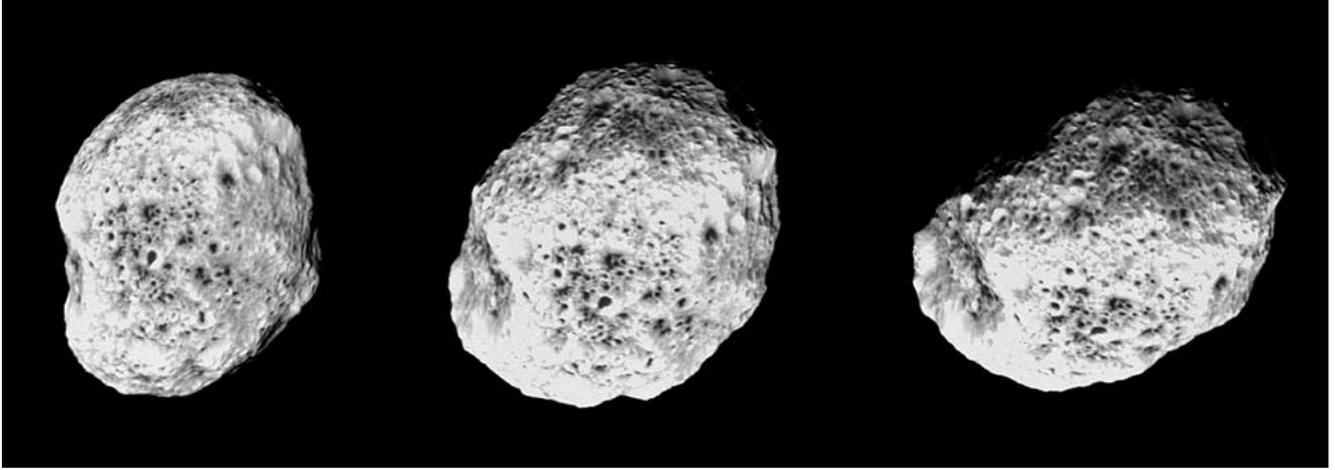
Inzwischen wurde die Passage des E-Rings als unbedenklich eingestuft, aber die Aussicht, mit nur geringem Treibstoffaufwand so nahe an Tethys heranzukommen, führte dennoch zur Entscheidung, die Referenzflugbahn zu verändern. Gleichzeitig wurde auch die Überflughöhe von Hyperion von 1000 Kilometer auf 500 Kilometer halbiert. Dies könnte den Magnetfeldmessgeräten zugute kommen, welche die Auswirkungen von Hyperion auf das Saturnmagnetfeld studieren wollen.

Zwei Nachteile hat diese neue Flugbahn allerdings: Zum einen vergrößerte sich die minimale Mimas-Distanz Anfang August um fast 14 000 Kilometer, und zum anderen kann die Enceladus-Passage am 11. Oktober in 49 100 Kilometern

Abstand nicht mehr genutzt werden. Um den Treibstoffverbrauch gering zu halten, musste nämlich das Periapsis-Bahnmanöver um etwa 9½ Stunden vorgezogen werden, so dass es jetzt genau in das Zeitfenster fällt, welches den ursprünglich geplanten Enceladus-Beobachtungen vorbehalten war.

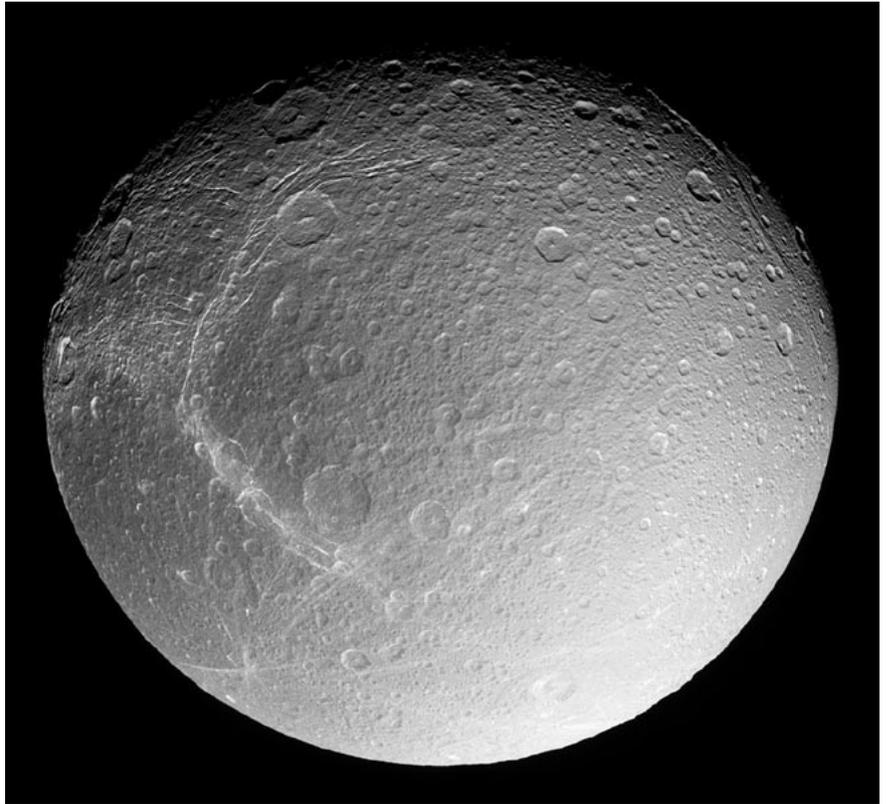
Die Tethys-Beobachtungen am 24. September unmittelbar nach Mitternacht beinhalten zwei globale 3×3-Mosaik, welche die gesamte saturnzugewandte Seite dieses Mondes einschließlich des prominenten Grabensystems Ithaca Chasma dreidimensional zeigen sollen (Abb. 11). Die Perspektive ist dabei sehr ähnlich zum besten VOYAGER-Bild von Tethys aus dem Jahr 1981. In noch höherer Auflösung (bis 110 m/pxl) sind Aufnahmen der Südpolregion von Tethys geplant. Eine Sternbedeckung von β Tauri (Alnath) wird unmittelbar um die größte Annäherung herum beobachtet.

Die bislang bei weitem schärfsten Aufnahmen von Hyperion wurden Mitte Juni gewonnen, als CASSINI bis zu einem Kilometer große Details aufnehmen konnte. Wegen eines Fehlers bei der Modellierung der Oberflächenhelligkeit sind leider fast



▲ Abb. 12: Ein erster scharfer Blick auf Hyperion gelang am 10. und 11. Juni 2005. Hyperion ist einer der größten unregelmäßig geformten Körper im Sonnensystem, rotiert chaotisch und umkreist Saturn exakt dreimal in dem Zeitraum, in dem Titan Saturn viermal umrundet.

▶ Abb. 13: Die hier gezeigte saturnabgewandte Hemisphäre von Dione wird auch beim gezielten Vorbeiflug am 11. Oktober zu sehen sein.



alle Bilder überbelichtet. Dennoch sind die durch einen UV-Filter aufgenommenen Bilder gut brauchbar (Abb. 12). Sie zeigen einen von Kratern übersäten Körper, dessen Oberfläche vom Aussehen her an einen Schwamm erinnert. Viele Krater weisen dunkle Böden auf.

Wirklich nahe heran an diesen seltsamen »Kartoffelmond« kommt CASSINI dann in der Nacht vom 25. zum 26. September, nur $47\frac{3}{4}$ Stunden nach der Tethys-Passage. Da Hyperion zwar langsam, aber chaotisch rotiert, ist schwer vorhersehbar, welche Hemisphäre in den Aufnahmen zu sehen sein wird. Während des Vorbeiflugs wie auch bei der Juni-Passage wird Sonnenlicht auf die vorauseilende Seite fallen. Würde Hyperion wie die anständigen Saturnmonde synchron rotieren, wären ähnliche Hemisphären beobachtbar. Vielleicht werden wir aber doch ganz andere Regionen sehen als in den Aufnahmen vom Juni?

Als dritter Mond in nur drei Wochen wird am Abend des 11. Oktober Dione in 500 Kilometer Distanz zur Oberfläche passiert, wenn CASSINI wieder in Richtung Saturn zurückfällt. Wie schon bei Phoebe und Iapetus liegt auch bei diesem Vorbeiflug die Planungsverantwortung für die Kamerabeobachtungen bei unserer Arbeitsgruppe an der Freien Universität und beim DLR in Berlin. Der Anflug erfolgt bei niedrigem Phasenwinkel über der saturnabgewandten Seite (Abb. 13). Nördliche Teile dieser Hemisphäre konnten bereits im vergangenen Dezember recht

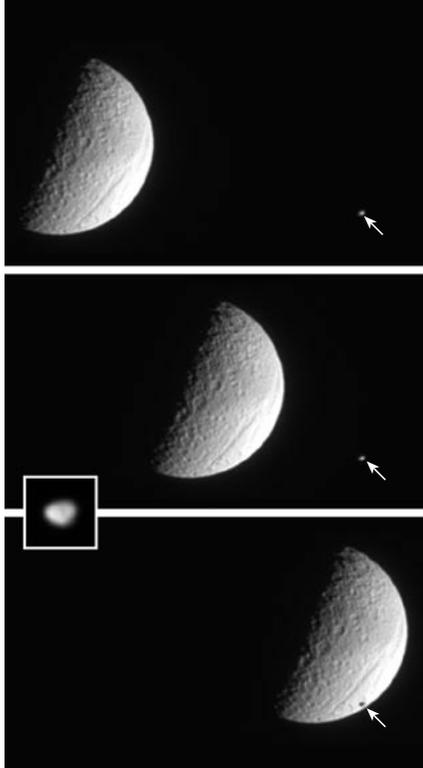
gut beobachtet werden. Während des Anflugs wird Dione von CASSINI aus gesehen vor der Saturnkugel vorbeiziehen. Diones Position vor dem Hintergrund der nördlichen Saturnatmosphäre, auf der die Schatten der Ringe sichtbar sein werden, verspricht auch ästhetisch sehr eindrucksvolle Bilder.

Die Beobachtungen mit den Kameras bestimmen die Ausrichtung von CASSINI in den beiden Stunden vor der größten Annäherung. Zunächst wird die gesamte sichtbare Hemisphäre von Dione mit einer Auflösung zwischen 350 und 135 Meter pro Pixel fotografiert. Später folgen dann Aufnahmen mit bis zu 30 Meter pro Pixel vom westlichen Rand. Dort befinden sich Gebiete, die in der Vergangenheit besonderen tektonischen Verformungen unterworfen waren. Acht Minuten vor der größten Annäherung übernimmt das CASSINI-Plasma-Spektrometer (CAPS) die Lageregelung.

CASSINI verfolgt dann nicht mehr die Oberfläche von Dione, sondern wird auf

eine Position am Himmel fixiert, die so gewählt ist, dass die Felder- und Partikelinstrumente geladene Teilchen, welche vom Saturnmagnetfeld heran transportiert werden, gut messen werden können. Die Sekundärachse wird so eingestellt, dass Dione wenige Minuten vor der größten Annäherung nochmals durch die Bildfelder der Fernerkundungsinstrumente wandert. Gut 15 Minuten später übernimmt erneut die Kamera und nimmt wieder die »Verfolgung« von Dione auf. Dione ist jetzt als Sichel zu sehen, und einige der geologisch interessantesten, auf der Heckseite gelegenen Gebiete können im Saturnlicht beobachtet werden.

Die Dione-Sequenzen der Fernerkundungsinstrumente enden 90 Minuten nach der größten Annäherung. Anschließend folgt eine halbstündige Drehung zum kleinen Mond Telesto, der auf derselben Umlaufbahn wie Tethys um Saturn kreist, allerdings um 60 Grad voraus. Aus etwa 10 000 Kilometer Distanz werden die schärfsten Aufnahmen der ge-



▲ Abb. 14: Der kleine Mond Telessto (Pfeile und Inset) mit einem Durchmesser von etwa 25 km × 35 km eilt Tethys in dessen Bahn um 60° voraus. Bei dieser Aufnahmesequenz schob er sich zwischen Tethys und die Sonde CASSINI.

▶ Abb. 15: Rhea ist der zweitgrößte Saturnmond und zeigt neben zahllosen Einschlagskratern auch Anzeichen früherer tektonischer Aktivität. Ende November kann die hier gezeigte Heckseite mit erheblich besserer Auflösung beobachtet werden.



pro Pixel bei kleinem Phasenwinkel vorgelesen, das zwei Stunden vor der größten Annäherung abgeschlossen wird.

Rhea ist der vierte Mond (Abb. 15), für den die Kameraplanung von uns durchgeführt wird. Über einen Zeitraum von 3½ Stunden um die größte Annäherung herum richtet CASSINI seine Hauptantenne für die Bestimmung des inneren Aufbaus zur Erde. Die Sekundärachse soll wie schon bei den Dione- und Tethys-Vorbeifügen so gewählt werden, dass der Mond für kurze Zeit durch die Gesichtsfelder der Kameras zieht und Aufnahmen mit Detailgenauigkeiten besser als 100 Meter pro Pixel ermöglichen soll. Nach dem Vorbeiflug, wenn Rhea nur noch als Sichel sichtbar ist, sollen auch Radarbeobachtungen gemacht werden.

Mit Abschluss des Jahres 2005 wird CASSINI bereits sieben von neun geplanten gezielten Vorbeifügen an den mittelgroßen Saturnmonden absolviert haben. Lediglich Iapetus im September 2007 und Enceladus im März 2008 stehen noch auf dem Programm. Dazu kommen einige besonders wichtige ungezielte Passagen zum Beispiel an Tethys (ca. 16000 km), Rhea (ca. 5100 km) und Dione (ca. 61000 km) im Sommer 2007, oder der schon erwähnte Vorbeiflug an Epimetheus im Dezember 2007. Aber auch aus größerer Entfernung wird CASSINI die Monde regelmäßig weiter beobachten.

Titan wird bis Ende 2005 zehnmal angefliegen. Für 2006 sind 13, für 2007 17 und für 2008 (bis Ende Juli) sechs gezielte Titan-Passagen geplant, die sowohl der Forschung als auch der Bahnkorrektur dienen. Der erste von 21 in nur 950 Kilometern Höhe geplanten Vorbeifügen war dabei für Juli 2006 vorgesehen. Wegen der großen Ausdehnung der Titan-

Atmosphäre wird dieser Minimalabstand aber aller Voraussicht nach auf über 1000 Kilometer angehoben werden müssen, eine Entscheidung darüber soll im Herbst gefällt werden. Dadurch werden sich in den kommenden Jahren weitere kleinere Abweichungen von der ursprünglich geplanten Flugbahn ergeben; dies wird sicherlich beträchtliche Auswirkungen auf die ungezielten Vorbeifüge an den mittelgroßen und kleinen Monden nach sich ziehen.

Neben den Monden wird die Raumsonde natürlich auch das Ringsystem und das komplexe Wettergeschehen in der Saturnatmosphäre beobachten. Auch die Erkundung der Magnetosphäre und der mit ihr verbundenen geladenen Partikel und ihre Wechselwirkungen mit dem Ringsystem und den Monden wird fortgesetzt. Das Saturnsystem wird somit auch in den nächsten Jahren im Mittelpunkt der Erforschung des äußeren Sonnensystems stehen. □

Detaillierte Informationen zu den einzelnen Vorbeifügen an den Monden finden sich unter www.SuW-online.de.



Dipl.-Ing. Tilmann Denk studierte Luft- und Raumfahrttechnik in Stuttgart. Seit 2003 arbeitet er an der FU in Berlin-Lankwitz in der Arbeitsgruppe von Prof.

Gerhard Neukum. Zur Zeit ist er hauptsächlich mit der Planung der CASSINI-Beobachtungen für die Monde beschäftigt.

samen Mission von diesem nur etwa 30 Kilometer großen Satelliten fast das halbe Bildfeld der Telekamera ausfüllen, CASSINI soll 27 Minuten lang Teile der saturnabgewandten Seite sowie der Heckseite im Blick haben. Daran schließen noch einmal Beobachtungen von Dione an, zuerst mit dem RADAR-Instrument, gefolgt von einer Bahnverfolgung von CASSINI zur Bestimmung der Masse von Dione.

Rhea im November

Der gezielte Vorbeiflug in 500 Kilometer Distanz am zweitgrößten Saturnmond bildet den Abschluss des »Monde-Jahres 2005« von CASSINI. Obwohl diese Passage primär der Bestimmung der Masse und des inneren Aufbaus von Rhea mit Hilfe des Doppler-Effekts vorbehalten ist, sind auch mehrere Zeitfenster für die Beobachtung mit den Fernerkundungsinstrumenten eingeplant. Für die Kamera ist unter anderem ein 4 × 4-Mosaik der saturnabgewandten Seite mit einer Bildauflösung zwischen 480 und 330 Meter