

Kartierung der Saturn-Eismonde: Erste Ergebnisse der amerikanisch/europäischen Cassini/Huygens Mission

TH. ROATSCH, M. WÄHLISCH, F. SCHOLTEN, A. HOFFMEISTER, K.-D. MATZ, T. DENK, G. NEUKUM, P. THOMAS, P. HELFENSTEIN & C. PORCO

Keywords: cartography, Saturn, icy satellites, Cassini/Huygens mission

Zusammenfassung: Neue regionale, hoch auflösende und globale Bildmosaiken von den Saturnmonden Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Iapetus und Phoebe wurden aus Satellitenbildern der *Voyager*- und *Cassini*-Mission hergestellt. Diese globalen Mosaike werden für die wissenschaftliche Interpretation und für die Planung zukünftiger Vorbeiflüge im Verlauf der aktuellen *Cassini*-Mission genutzt. Aus den Mosaiken werden druckfertige Karten produziert.

Summary: *Cartography of Saturn's Icy Satellites – First Results of the Cassini/Huygens Mission.* Images of the icy Saturnian satellites Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Iapetus, and Phoebe, derived by the *Voyager* and *Cassini* cameras are used to produce new local high-resolution image mosaics as well as global mosaics, valuable both for scientific interpretation and for planning of future *Cassini* flybys. Furthermore, these global mosaics can be extended to standard cartographic products.

1 Einleitung

Das Saturnsystem besteht aus 47 Monden verschiedener Größe. Der Artikel befasst sich mit der Kartierung der Eismonde von mittlerer Größe: Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Iapetus und Phoebe.

Voyager1 und *Voyager2* nahmen während ihres Fluges durch das Saturnsystem 1980 und 1981 eine Vielzahl von Bildern auf (<http://www.jpl.nasa.gov/voyager>, SMITH et al. 1982). Diese Bilder sind die Grundlage für die Planung der Aufnahmesequenzen der ISS (Imaging Science Subsystem) Kamera während der aktuellen *Cassini*-Mission (<http://saturn.jpl.nasa.gov>). In Vorbereitung auf die *Cassini*-Mission wurden deshalb *Voyager*-Bildmosaiken und druckbare *Voyager*-Karten hergestellt. Sie geben den Wissenschaftlern darüber Auskunft, welche Gebiete auf den einzelnen Monden wissenschaftlich am interessantesten sind und welche Auflösungen bereits vorliegen.

Es ist erklärtes wissenschaftliches Ziel des *Cassini* Kamera Teams, die Eismonde mittlerer Größe global in 1 km Auflösung zu kartieren. Deshalb werden Bilder nicht nur während naher Vorbeiflüge, sondern auch aus größerer Entfernung aufgenommen, um die Abdeckung der Monde zu vervollständigen (PORCO et al. 2004).

Tab. 1: *Cassini*-Vorbeiflüge 2004/2005.

Saturnmond	Datum des Vorbeifluges	Flughöhe [km]
Phoebe	11. 6. 2004	2.070
Iapetus	31. 12. 2004	123.400
Enceladus	17. 2. 2005	1.260
Enceladus	9. 3. 2005	500
Enceladus	14. 7. 2005	170
Mimas	2. 8. 2005	61.150
Tethys	24. 9. 2005	1.500
Hyperion	26. 9. 2005	500
Dione	11. 10. 2005	500
Rhea	26. 11. 2005	500

Während der nominalen Mission gibt es nahe Vorbeiflüge an allen Monden mittlerer Größe mit Ausnahme von Mimas. Begonnen wurde mit Phoebe im Juni 2004 und Iapetus im Dezember 2004, gefolgt von drei Vorbeiflügen an Enceladus im Februar, März und Juli 2005 (siehe Tab. 1, PORCO et al. 2005a, b).

Die Datenprozessierung von *Voyager*-Bildern und die Produkte werden im Kapitel 2 beschrieben. Kapitel 3 befasst sich mit der Datenprozessierung von *Cassini*-Bildern und deren Ergebnissen.

2 Die *Voyager*-Mission

2.1 Prozessierung der Einzelbilder

Das ebenfalls *ISS* genannte Kamera System von *Voyager1* und *Voyager2* mit je einer Weit- und Schmalwinkelkomponente (Brennweiten: 200 bzw. 1500 mm) war mit einem Filtrerrad bestehend aus schmalbandigen und panchromatischen Filtern ausgestattet. Ausschließlich Bilder, die mit dem panchromatischen Filter aufgenommen wurden, wurden für die Erstellung von Mosaiken und Karten verwendet. Die Originalbilder der *Voyager*-Mission sind im Internet über das „*Planetary Data System (PDS) Imaging Node*“ der NASA erhältlich (<http://pds-imaging.jpl.nasa.gov>). Der erste Schritt in der Datenverarbeitung war die Umwandlung der Bilder, die im so genannten *PDS*-Format vorliegen, in das *VICAR*-Format (*Video Image Communication and Retrieval*) der NASA, da die gesamte Bildverarbeitung bis einschließlich der Mosaikherstellung mithilfe von *VICAR*-Programmen durchgeführt wird (<http://rushmore.jpl.nasa.gov/vicar.html>).

Der Hauptteil der kartographischen Software besteht aus *C*-Programmen, die unter Verwendung von *VICAR*-Subroutinen am DLR in Zusammenarbeit mit der TU Berlin in Vorbereitung auf die Missionen *Mars96* und *Mars Express* entwickelt wurden (siehe SCHOLTEN 1996 und SCHOLTEN et al. 2005). Nach der Formatumwandlung erfolgte die Korrektur der radiometrischen und geometrischen Kamerafehler auf der Grundlage

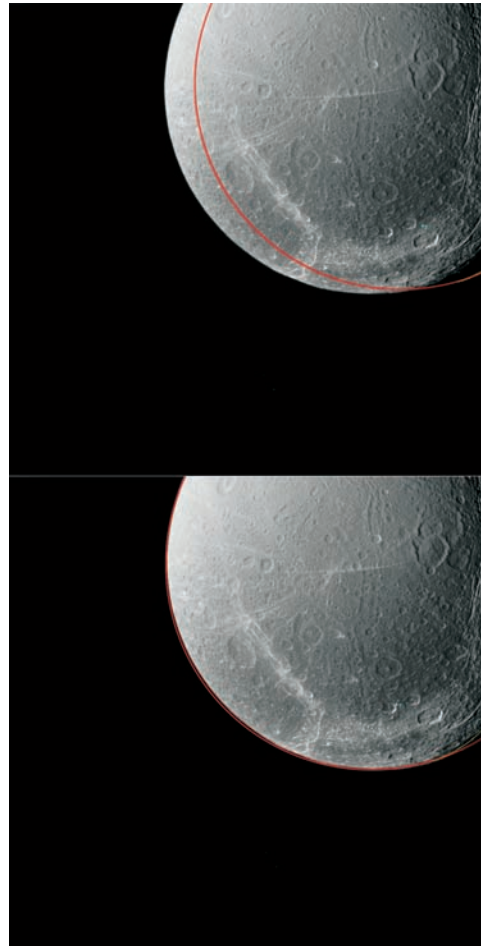


Abb. 1: Berechneter Planetenrand auf einem Bild des Saturnmondes Dione (oben) und interaktiv korrigierte Position des Planetenrandes im Dione-Bild (unten).

von vor dem Start im Labor ermittelten Kalibrationsdaten der *Voyager1* und *Voyager2* *ISS*-Kameras.

Vor der Zusammenfassung der Einzelbilder in ein Mosaik wurde jedes Bild kartenprojiziert. Dazu bedurfte es einer Verbesserung der Bahn- und Lagedaten, da die originalen Orientierungsdaten zu ungenau sind, um ein nahtloses Mosaik zu erhalten. DAVIES und KATAYAMA führten für *Voyager*-Bilder verschiedener Saturnmonde jeweils einen globalen Bündelblockausgleich durch und verbesserten dadurch die Orien-

tierungsdaten (DAVIES & KATAYAMA 1983a, b, c, 1984). Diese Daten wurden für die Kartenprojektion benutzt. Die Lagedaten anderer Bilder, für die keine verbesserten Bahn- und Lagedaten vorlagen, wurden mit einer „Limb-fit“ Software verbessert: Mit Hilfe der originalen Orientierungsdaten wurde die Lage des Planetenrandes im Bild berechnet. Durch zweidimensionales Verschieben des berechneten Planetenrandes zu dem tatsächlich aufgenommenen, wurden die Lagedaten verbessert und gespeichert (siehe Abb. 1).

Die Kartenprojektion erfolgte dann in zwei Schritten:

- Ermittlung des Durchstoßpunktes des Sichtstrahls auf der Oberfläche einer Kugel oder eines dreiaxialen Ellipsoids, in Abhängigkeit von der Form des Mondes. Diese ist in den Dokumenten der *Internationalen Astronomischen Vereinigung (IAU)* definiert (SEIDELMANN et al. 2002).

- Projektion der ermittelten Länge und Breite auf der Planetenoberfläche in eine Karte, wobei für alle Monde eine Kugel als Referenzkörper benutzt wurde. Die Wahl einer Kugel als Referenzkörper erfolgte aus Gründen der Einfachheit und Vergleichbarkeit. Es wurde der jeweilige im *IAU* Report angegebene mittlere Radius des Saturnmondes benutzt (siehe Tab. 2). Da alle bisherigen Mosaik- und Karten der Saturnmonde in einem der beiden von der *IAU* definierten Koordinatensysteme vorliegen, in planeto-

graphischer Breite und westlicher Länge, wurde dieses Koordinatensystem für alle Mosaik- und Karten beibehalten. Da eine Kugeloberfläche zur Referenz gewählt wurde, sind die planetozentrischen und planetographischen Breiten identisch.

2.2 Mosaik- und Karten

Nach der Projektion aller Einzelbilder wurden sie zu einem homogenem Mosaik zusammengefügt. Die globalen Mosaik- und Karten wurden in normal zylindrischer Kartenprojektion mit dem Nullmeridian in der Mosaikmitte erstellt. Besondere Aufmerksamkeit galt den sehr unterschiedlichen Bodenpixelauflösungen (es handelt sich um Bilder von Vorbeiflügen, nicht um Orbitbilder) und den variierenden Beleuchtungsbedingungen der Einzelbilder. Es wurde sorgfältig darauf geachtet, dass weder Bildinformation noch Kontrast an den Bildgrenzen verloren gehen.

Die Wahl der Auflösung der digitalen *Voyager*-Mosaik richtete sich nach der besten Bodenpixelauflösung der Einzelbilder und wurde auf eine ganze Zahl in Pixel/Grad gerundet. Dies entspricht den „Standard Cartographic Products“ vom United States Geological Survey (USGS, <http://astrogeology.usgs.gov/Projects/SaturnSatellites/>).

Bei der Herstellung der druckbaren Karten auf der Grundlage der Mosaik- und Karten wurden

Tab. 2: Auflösung und Maßstab der digitalen *Voyager*-Mosaik- und Karten. Auf die Anfertigung einer Iapetus-Karte wurde auf Grund der mangelnden Auflösung des Mosaiks verzichtet.

	Mittlerer Radius [km]	Auflösung der globalen digitalen Mosaik- [Pixel/Grad]	Auflösung der globalen digitalen Mosaik- [km/Pixel]	Kartenmaßstab	Druckauflösung der druckbaren Karten [Pixel/mm]
Dione	560,0	10	0,97738	1 : 5 000 000	5,1
Enceladus	249,4	10	0,43529	1 : 2 000 000	4,6
Iapetus	718,0	2,5	5,01250	-	-
Mimas	198,6	5	0,69325	1 : 2 000 000	2,9
Rhea	764,0	20	0,66672	1 : 5 000 000	7,5
Tethys	529,8	5	1,84936	1 : 5 000 000	2,7

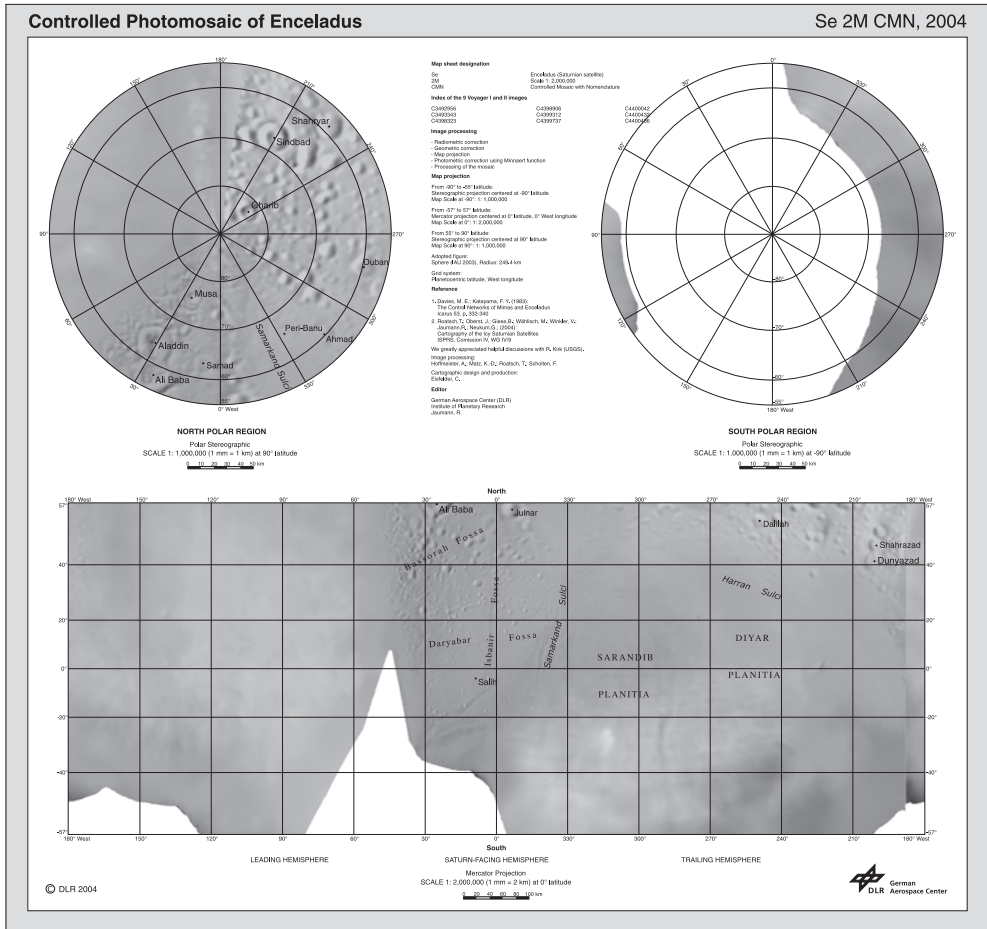


Abb. 2: Voyager Karte von Enceladus im Maßstab 1:2 000 000. Der Maßstab bezieht sich auf die Mercator-Karte am Äquator, die Polkarten sind im Maßstab 1 : 1 000 000.

Tab. 3: Auflösung und Maßstab der digitalen Cassini-Mosaik und Karten.

	Mittlerer Radius [km]	Auflösung der digitalen globalen Mosaik [Pixel/Grad]	Auflösung der digitalen globalen Mosaik [km/Pixel]	Kartenmaßstab der druckbaren Karten	Druckauflösung der druckbaren Karten [Pixel/mm]
Dione	562,3	10	0,98140		
Enceladus	252,31	40	0,11009	1 : 500.000	4,5 (in Arbeit)
Iapetus	734,5	20	0,64097		
Mimas	198,6	5	0,69324		
Phoebe	106,8	8	0,23300	1 : 1.000 000	4,3
Rhea	764,5	20	0,66715		
Tethys	536,3	5	1,87204		

die gleichen Blattansichten, Standards und ein ähnliches Design wie in den *Voyager*-Karten des USGS benutzt. Diese Standards werden ausführlich in GREELEY & BATSON (1990) beschrieben und sind weit verbreitet in der planetaren Kartographie. Auf einem Kartenblatt wird der Planet oder Mond global abgebildet, dabei werden konforme (winkel-treue) Projektionen verwendet: von -57° bis $+57^\circ$ die *Mercator*-Projektion und von $+/-55^\circ$ polwärts die stereographische Projektion (siehe Abb. 2 als Beispiel). Alle bis dato von der IAU definierten Namen wurden in die Karte integriert, entsprechend den Angaben unter <http://planetarynames.wr.usgs.gov>.

Tab. 2 zeigt die Auflösung der digitalen Mosaik und den Kartenmaßstab der druckbaren *Voyager*-Karten (ROATSCH et al. 2004).

3 Die *Cassini*-Mission

3.1 Prozessierung der Einzelbilder

Die *Cassini* ISS Kamera besteht aus zwei Kameras, die eine (NAC, Narrow Angle Camera) hat ein hochauflösendes Spiegelteleskop (Brennweite 2000 mm, Öffnungswinkel 0.35°), die andere (WAC, Wide Angle Camera) ein Weitwinkelobjektiv (Brennweite 200 mm, Öffnungswinkel 3.5°). Jede Kamera ist mit zwei Filterrädern ausgerüstet, die damit möglichen Filterkombinationen decken das elektromagnetische Spektrum von 0.2 bis 1.1 Mikrometer ab. Das Herzstück der Kameras bilden CCD-Detektoren mit 1024×1024 Pixel à 12 Mikrometer. Das elektronische Gesamtsystem erlaubt viele Varianten der Datenaufnahme, z. B. bei der Makropixel-Bildung und bei der Datenkompression.

Die Datenverarbeitung der *Cassini*-Bilder ähnelt der Verarbeitung der *Voyager*-Daten (siehe Kapitel 2.1). Es wurden vorrangig Bilder der NAC verwendet, zur Füllung von Lücken auch einige Bilder der Weitwinkelkamera. Nur Bilder der panchromatischen Filter CLEAR1 und CLEAR2 und des Schmalbandfilters GREEN wurden benutzt, da diese Bilder einen ähnlichen Kon-

trast zeigen. Nach der automatischen radiometrischen und geometrischen Korrektur der Einzelbilder folgte die Kartenprojektion mit den originalen Bahndaten und korrigierten Lagedaten: Da noch keine ausgeglichenen Bahn- und Lagedaten vorliegen, wurden ausgehend von den originalen Orientierungsdaten von *SPICE* die Lagedaten mithilfe der „Limb-fit“-Technik (siehe Kapitel 2.1) verbessert. Bei der Verschiebung des Planetenrandes wurden Abweichungen bis zu ca. 70 Pixel, meistens aber unter 20 Pixel gemessen. Man kann davon ausgehen, dass die absolute Bahngenaugigkeit bei ca. 500 m, die absolute Lagegenauigkeit bei ca. 1 mrad liegt. Ein globaler Bündelblockausgleich zur gleichzeitigen Verbesserung von Bahn- und Lagedaten war nicht Ziel dieser Arbeit. Als kartographische Grundlagen, wie die Wahl des Koordinatensystems und Form des Referenzkörpers, wurden dieselben benutzt wie bei der Kartenprojektion der *Voyager*-Bilder, entsprechend der Empfehlung des USGS (KIRK et al. 1998). Anstelle der im IAU-Report angegebenen Radien wurden neu berechnete dreiachsige Modelle benutzt (siehe Tab. 3, THOMAS 2005). Im Unterschied zur *Voyager*-Datenverarbeitung wurde jedes einzelne Bild photometrisch mit der Henyey-Greenstein Funktion korrigiert (HAPKE 1993). Die Funktionsparameter wurden aus VERBISCHER & VEVERKA (1992, 1994, 1998) bzw. SIMONELLI et al. (1999) entnommen.

3.2 Mosaik und Karten

Da bis zum Ende der *Cassini*-Mission kontinuierlich neue Bilder aufgenommen werden, ist die Mosaikherstellung ein laufender Prozess. Ausgangspunkt für die globalen Mosaik sind die Mosaik der *Voyager*-Mission (siehe Abb. 3a), die nach und nach durch höher aufgelöste Teilmosaik ersetzt werden (siehe Abb. 3b). Insbesondere nach nahen Vorbeifügen mit hoch auflösenden Aufnahmen werden die vorliegenden Mosaik aktualisiert. Die aktuellen Mosaik werden dann jeweils dem ISS-Team zur Verfügung gestellt, aber auch zur Planung benutzt (siehe Abb. 3c).

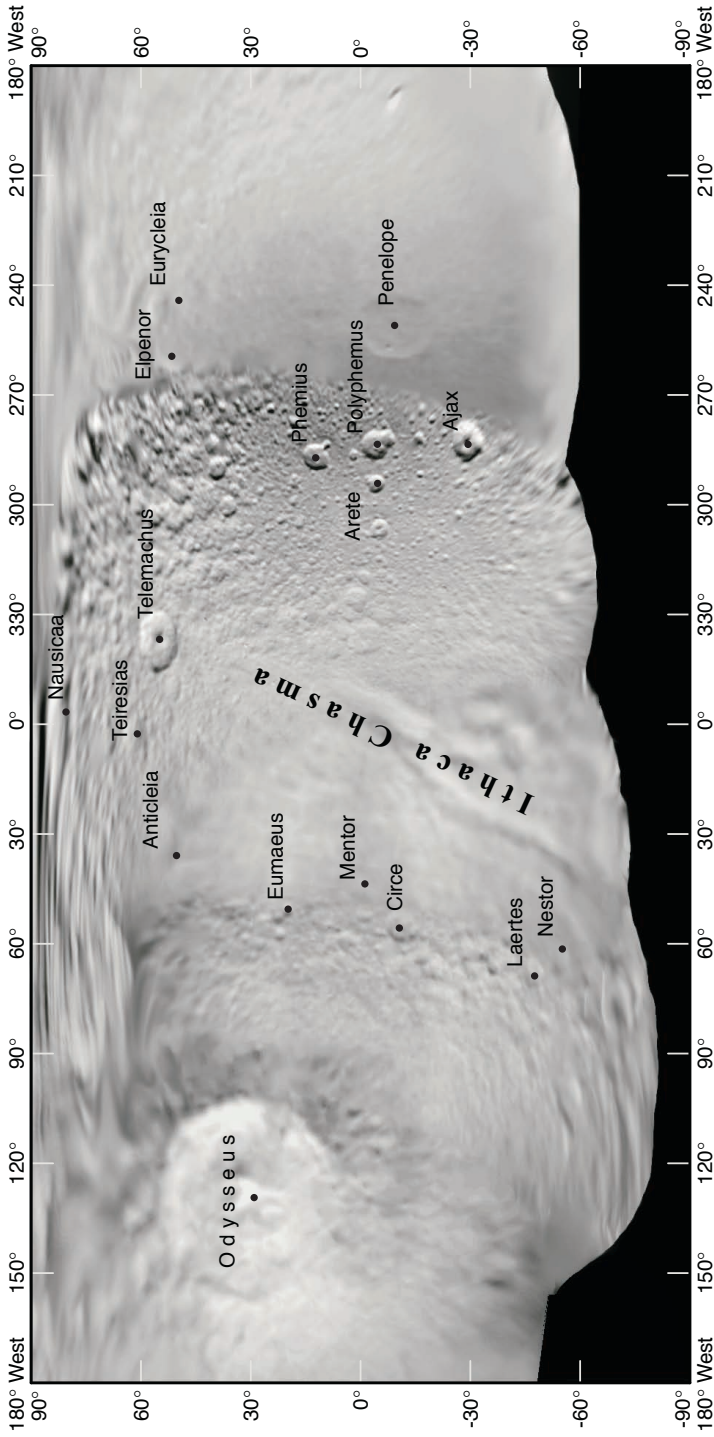


Abb. 3a: Globales digitales Mosaik von Tethys aus Voyager-Daten.

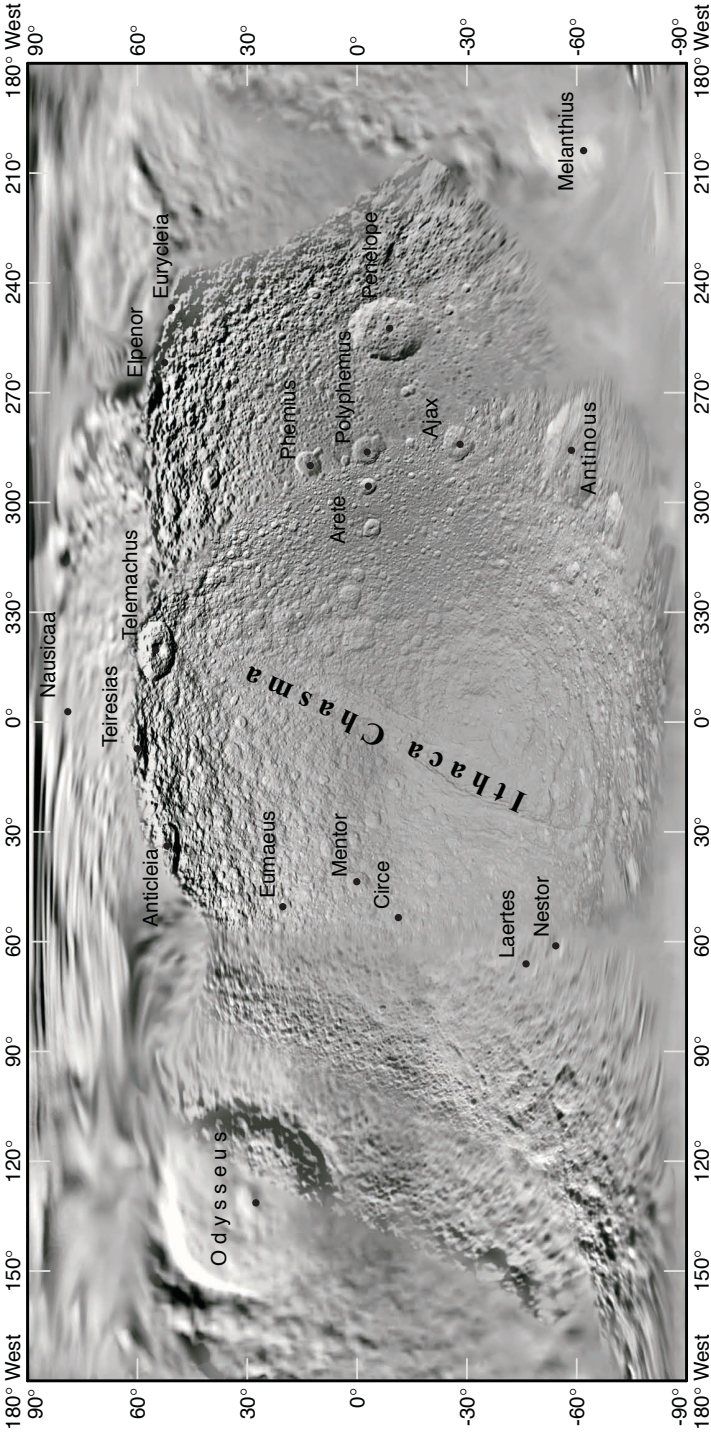


Abb. 3b: Globales digitales Mosaik von Tethys aus Cassini- und Voyager-Daten, hergestellt nach dem Vorbeiflug im September 2005.

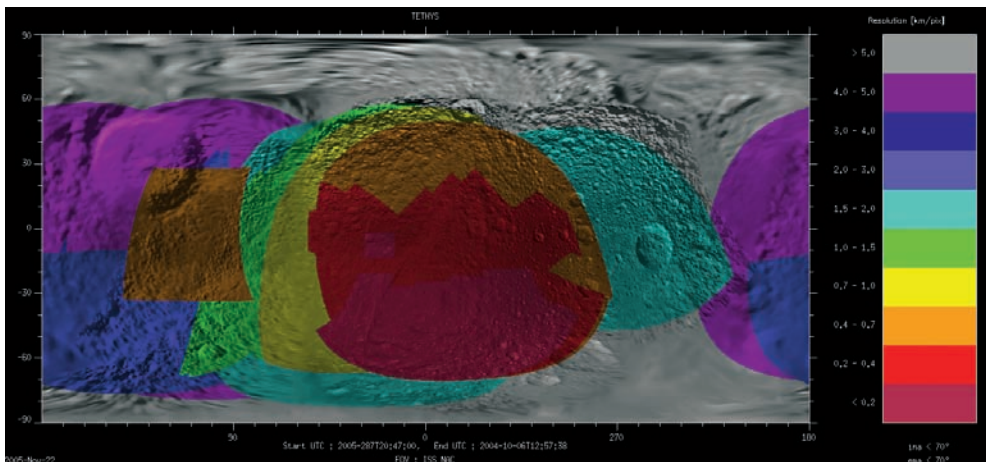


Abb. 3c: Globales digitales Mosaik von Tethys, das die geplante Bildabdeckung des Mondes bis zum Ende der nominalen *Cassini*-Mission zeigt.

Die Auflösung der globalen Mosaik richtet sich nach der Bodenpixelauflösung der Mehrzahl der hoch auflösenden Bilder. Für einige Regionen, die besonders hoch auflösend aufgenommen worden sind, wurden Teilmosaik erstellt (siehe Abb. 4).

Es gibt bis jetzt nur einen abgeschlossenen hoch auflösenden Datensatz, den vom Saturnmond Phoebe. Auch von Enceladus sind bis 2008 keine weiteren hoch auflösenden Bilder zu erwarten. Es wurde deshalb damit begonnen, Standardkartenwerke von diesen beiden Monden herzustellen. Tab. 3 zeigt die Auflösung der Mosaik und Karten. Das digitale globale Mosaik von Phoebe besteht aus 41 Einzelbildern der ISS-NAC und hat eine Auflösung von 0,233 km/Pixel, obwohl einige Bilder eine Auflösung bis zu 0,07 km/Pixel erreichen. Das Kartenblatt beinhaltet drei separate Karten, den äquatorialen Teil (von -57° bis $+57^\circ$) in Mercator-Projektion im Maßstab 1:1 000 000 und zwei stereographische Projektionen für Nord- und Südpol ab 55° polwärts. Die Projektionen sind konform, die einzelnen Blattschnitte überlappen, und der Maßstab der Polkarten wurde so gewählt, dass der Umfang der Polkreise der Breite der Mercator-Projektion entspricht (siehe Abb. 5). Damit wurde der von GREELEY und BATSON vorgelegte Standard beibehalten.

Die Benennung der geologischen Einheiten erfolgte vorläufig durch das *Cassini*-ISS Team, die einzelnen Namen sind bei der IAU eingereicht und müssen noch bestätigt werden. Ein regionales Orthobild von Phoebe auf der Grundlage eines errechneten Höhenmodells ist Gegenstand einer anderen Arbeit (GIESE et al. 2005).

Das zu erstellende Kartenwerk von Enceladus ist im Maßstab von 1:500 000 geplant und wie folgt konzipiert: 15 einzelne Blätter entsprechend dem Vorschlag des USGS für größere Monde (GREELEY & BATSON 1990, KIRK 1997, 2002, 2003). Der äquatoriale Teil (von -21° bis $+21^\circ$) ist in Mercatorprojektion mit einem normalem Schnittzylinder bei $-13^\circ/+13^\circ$ geplant, die Regionen zwischen dem äquatorialen Teil und den Polen in Lambert Konischer Projektion mit den Standardparallelen bei -30° und -62° (bzw. $+30^\circ$ und 62°). Die Polregionen in Stereographischer Projektion beginnen bei $-/+65^\circ$ (siehe Abb. 6).

4 Ausblick

Die *Cassini*-Sonde setzt ihre Mission durch das Saturnsystem planmäßig bis 2008 mit weiteren nahen Vorbeifügen an Tethys, Dione, Rhea, Iapetus und Enceladus fort. Die kommenden Daten werden zur Vervoll-

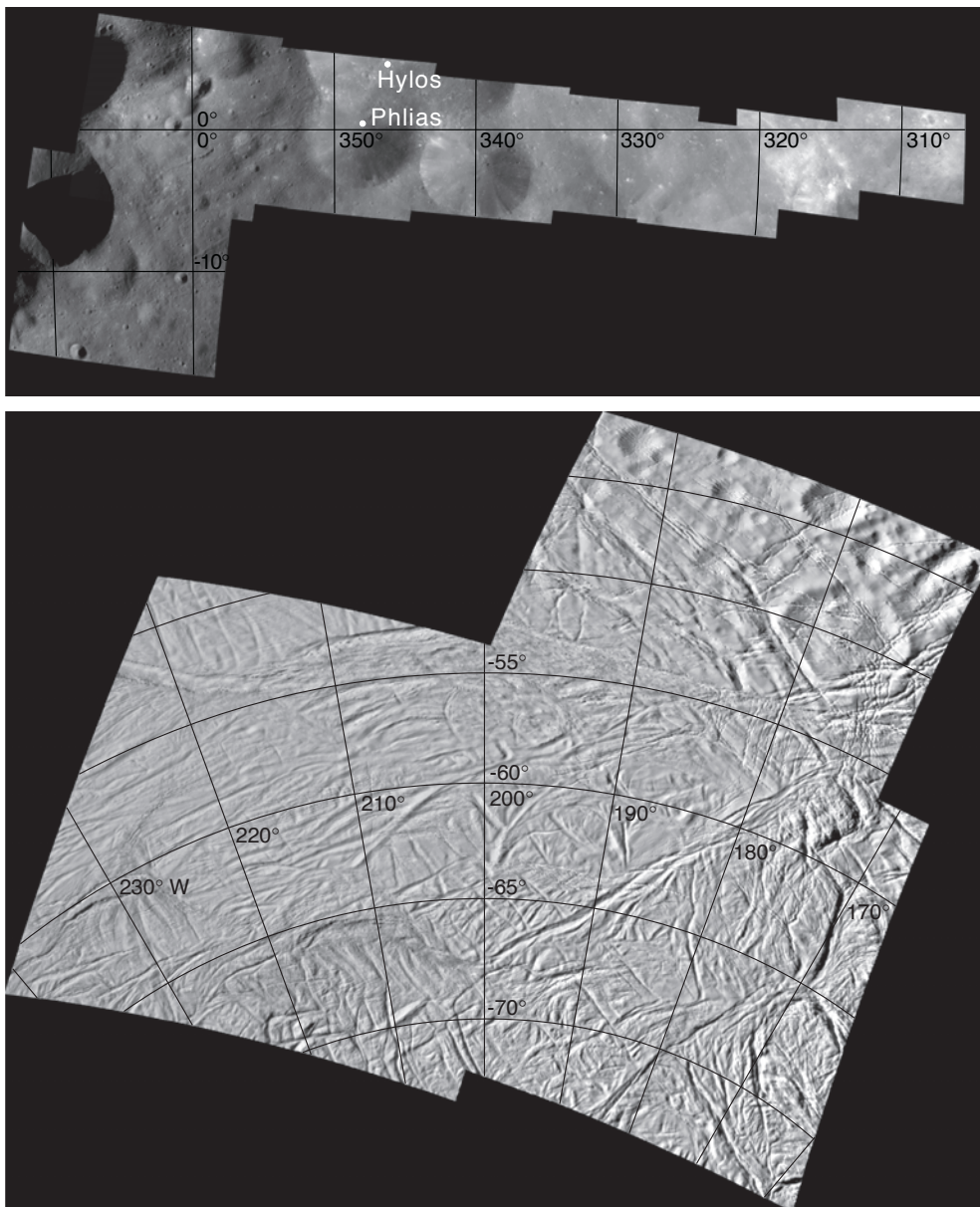


Abb. 4: Hoch auflösendes Phoebe-Mosaik (oben, aus 7 Aufnahmen) mit einer digitalen Auflösung von 10 m/Pixel, in sinusoidaler Projektion und einer Ausdehnung von 17.5° S bis 8.2° N und von 13.4° W bis 305.4° W. Enceladus-Mosaik (unten, 47 Aufnahmen der ISS-NAC) mit einer digitalen Auflösung von 70 m/Pixel, in Südpol-ständiger Orthographischer Projektion und einer Ausdehnung von 73° S bis 41° S und von 173° W bis 241° W.

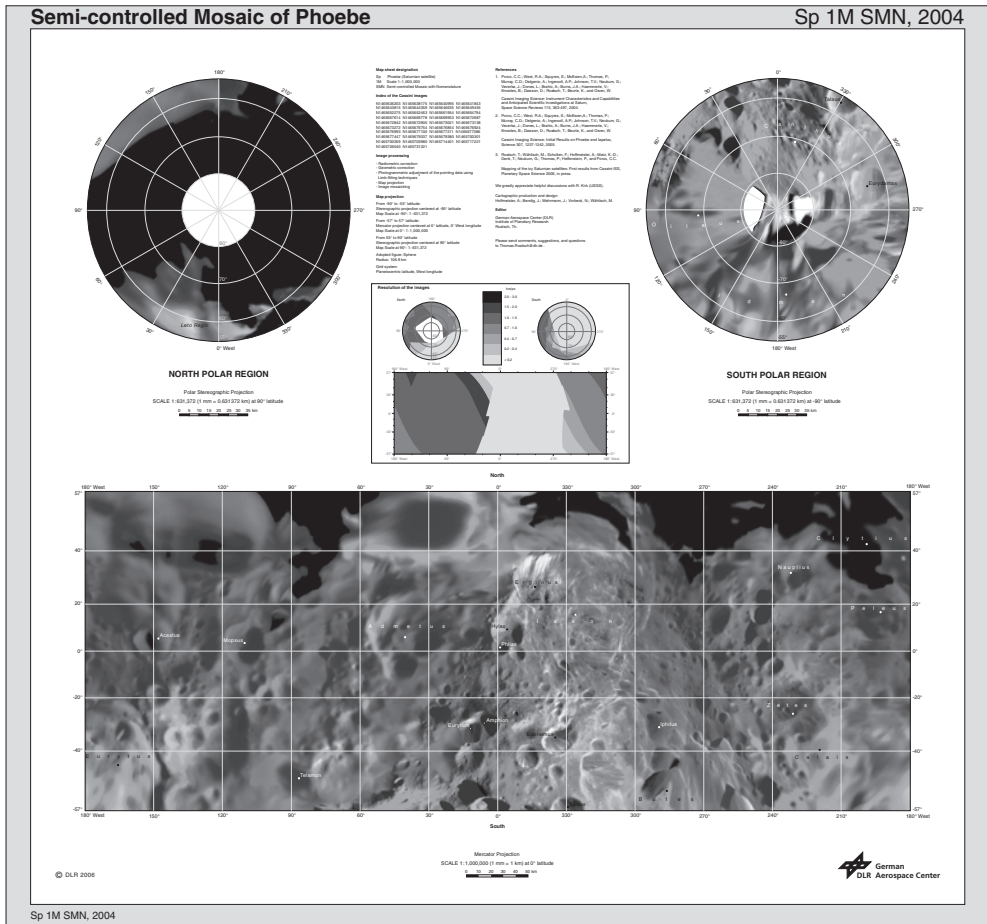


Abb. 5: Phoebe-Karte im Maßstab 1 : 1 000 000 (Äquatorregion) bzw. 1 : 631 372 (Polregionen).

ständigung der bisherigen Mosaik- und Karten benutzt. Nach Beendigung der Datenerfassung wird es möglich sein, ein globales geodätisches Kontrollnetz für die einzelnen Saturnmonde neu zu rechnen und Orthophotomosaik zu erstellen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei RANDY KIRK (USGS) für die überaus hilfreiche Diskussion über die kartographischen Standards bei der Erstellung von Produkten aus Cassini-Bildern und bei der Begutachtung von Voyager- und Cassini-Karten.

Literatur

DAVIES, M.E. & KATAYAMA, F.Y., 1983a: The control networks of Mimas and Enceladus. – *Icarus* **1983** (53): 332–340.

DAVIES, M.E. & KATAYAMA, F.Y., 1983b: The control networks of Tethys and Dione. – *Journal Geophysical Research* **1983** (88): 8729–8735.

DAVIES, M.E. & KATAYAMA, F.Y., 1983c: The control network of Rhea. – *Icarus* **1983** (56): 603–610.

DAVIES, M.E. & KATAYAMA, F.Y., 1984: The control network of Iapetus. – *Icarus* **1984** (59): 199–204.

HAPKE, B., 1993: *Theory of Reflectance Spectroscopy*. – *Topics in Remote Sensing* **3**: 272; Cambridge University Press.

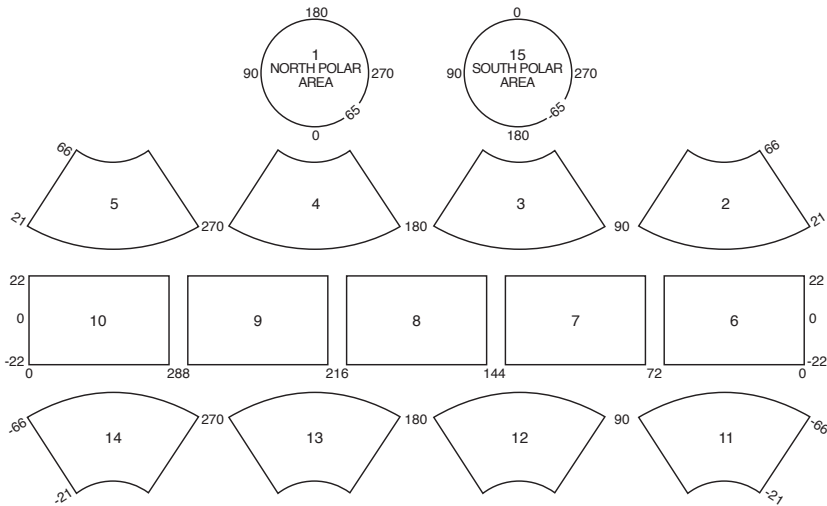


Abb. 6: Blattschnitt des hoch auflösenden Kartenwerkes von Enceladus im Maßstab 1:500 000.

- GIESE, B. et al., 2005: Phoebe, stereo image analysis of Cassini-ISS observations and implications. – Eingereicht in Planetary Space Science.
- GREELEY, R. & BATSON, G., 1990: Planetary Mapping. – Cambridge University Press.
- KIRK, R.L. et al., 1998: Digital Maps of the Saturnian Satellites. – First Steps in Cartographic Support of the Cassini Mission, Jupiter after Galileo, Saturn before Cassini Conference, Nantes, Frankreich (unveröffentlicht).
- KIRK, R., 1997, 2002, 2003: Präsentation in der Cassini Surfaces Working Group (unveröffentlicht).
- PORCO, C. C. et al., 2004: Cassini Imaging Science: Instrument Characteristics and Anticipated Scientific Investigations at Saturn. – Space Science Review **115**: 363–497.
- PORCO, C. C. et al., 2005a: Cassini Imaging Science: Initial Results on Phoebe and Iapetus. – Science **2005** (307): 1237–1242.
- PORCO, C. C. et al., 2005b: Cassini Images the Active South Pole of Enceladus. – Eingereicht in Science.
- ROATSCH, T. et al., 2004: Cartography of The Icy Saturnian Satellites. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXV, Part B4: 879–884, Istanbul.
- SCHOLTEN, F., 1996: Automated Generation of Coloured Orthoimages and Image Mosaics Using HRSC and WAOSS Image Data of the Mars96 Mission. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B2: 351–356, Wien.
- SCHOLTEN, F. et al., 2005: Mars Express HRSC Data Processing – Methods and Operational Aspects. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing **71** (10): 1143–1152.
- SEIDELMANN, P.K. et al., 2002: Report of the IAU/ IAG Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements of the Planets, and Satellites: 2000. – Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy **82**: 83–110.
- SIMONELLI, D. P. et al., 1999: Phoebe: Albedo Map and Photometric Properties. – Icarus **1999** (138): 249–258.
- SMITH, B. A. et al., 1982: A new look at the Saturn system: The *Voyager 2* images. – Science **1982** (215): 504–537.
- THOMAS, P., 2005: Präsentation auf dem Cassini-ISS Team Meeting, Florenz, Italien.
- VERBISCHER, A. & VEVERKA, J., 1992: Mimas: Photometric roughness and albedo map. – Icarus **1992** (99): 63–69.
- VERBISCHER, A. & VEVERKA, J., 1994: A Photometric Study of Enceladus. – Icarus **1994** (110): 155–164.
- VERBISCHER, A. & VEVERKA, J., 1989: Albedo dichotomy of Rhea: Hapke analysis of Voyager photometry. – Icarus **1989** (82): 336–353.

Anschriften der Autoren:

Dr. THOMAS ROATSCH
Dipl.-Phys. MARITA WÄHLISCH
Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN
ANGELIKA HOFFMEISTER
Dipl.-Math. KLAUS-DIETER MATZ
Institut für Planetenforschung
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
(DLR), 12489 Berlin
Tel.: ++49-30-67055-339 (T. ROATSCH)
Fax: ++49-30-67055-402
e-mail: Vorname.Nachname@dlr.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM
Dipl.-Ing. TILMANN DENK
Freie Universität Berlin
Institut für Geologische Wissenschaften, Fernerkundung der Erde und der Planeten, Malteserstr.
74-100, 12249 Berlin
Tel.: ++49-30-83870-579 (G. NEUKUM)
Fax: ++49-30-83870-118
e-mail: gneukum,denk@zedat.fu-berlin.de

Dr. PETER THOMAS
Dr. PAUL HELFENSTEIN
Cornell University, Space Science Building, Ithaca, NY 14853, USA
e-mail: helfenst@astro.cornell.edu,
thomas@baritone.astro.cornell.edu

Dr. CAROLYN C. PORCO
Cassini Imaging Central Laboratory for Operations (CICLOPS), Space Science Institute 4750 Walnut Street
Boulder, Colorado 80301 USA
e-mail: carolyn@ciclops.org

Manuskript eingereicht: November 2005
Angenommen: November 2005