

Titan lüftet Geheimnisse

Von Men J. Schmidt*

Seit Oktober 2004 ist die amerikanisch-europäische Raumsonde Cassini über 20-mal nahe am Saturnmond Titan vorbeigeflogen. Die Sonde hat diese bis dahin unbekannte Welt mit verschiedenen Instrumenten untersucht und viele Geheimnisse des Titans entschlüsselt.

Bereits vor Start der Cassini-Huygens-Mission hatte man die Existenz von Seen auf Titan erwartet. Bei den ersten nahen Vorbeiflügen erlebten Astronomen allerdings eine handfeste Überraschung: Von stehenden Gewässern war nichts zu sehen. Erst spätere Vorbeiflüge zeigten die so lange erwarteten Seen. Jetzt, zweieinhalb Jahre später – zur Halbzeit der Cassini-Mission – hat sich das Bild vom grössten Saturnmond völlig gewandelt.

Der Saturnmond Titan gehört zu den Objekten in unserem Sonnensystem, auf die Astronomen ein besonderes Augenmerk geworfen haben. Er ist der grösste Mond des Planeten Saturn. Mit einem Durchmesser von 5150 km (Erdmond: 3476 km) ist er nach dem Jupiter-Trabanten Ganymed der zweitgrösste Mond im Sonnensystem und grösser als der Planet Merkur. Entdeckt wurde er 1655 vom holländischen Astronomen Christiaan Huygens. Titan umkreist Saturn in einem mittleren Abstand von 1,2 Mio. km und benötigt für einen Umlauf etwas mehr als 15 Tage.

Komplexes Wettergeschehen

Titan ist der einzige Mond im Sonnensystem mit einer dichten Atmosphäre, die den direkten Blick auf die Oberfläche verhindert. Sie besteht zum Grossteil aus Stickstoff, Argon, Methan sowie Spuren von Äthan, Propan, Methylacetylen und anderen Elementen. Wie auf der Erde gibt es einen hydrologischen Kreislauf, bei dem allerdings nicht Wasser, sondern Methan – der zweithäufigste Bestandteil der Titan-Atmosphäre – zwischen Oberfläche und Atmosphäre zirkuliert. Sollten also die Vorstellungen, die man sich vom zweitgrössten Mond unseres Sonnensystems gemacht hatte, falsch gewesen sein? In den



NASA-ESA/Archiv Schmidt

Die ESA Landekapsel Huygens landete am 14. Januar 2005 erfolgreich auf dem Saturnmond Titan.

vergangenen Monaten hat sich herausgestellt, dass dem nicht so ist. Das Bild, das sich langsam vom Wettergeschehen auf dem Titan herausschält, ist allerdings komplizierter als gedacht. Dies zeigte sich auch dank den Daten des Synthetischen Apertur Radars (SAR) an Bord der Cassini-Raumsonde. Mit dem Instrument «Radar Mapper» ist es möglich, die im optischen Bereich undurchsichtige Atmosphäre des Mondes Titan zu durchdringen und Bilder mit einer Auflösung von 300 m zu gewinnen.

Phänomene wie auf der Erde

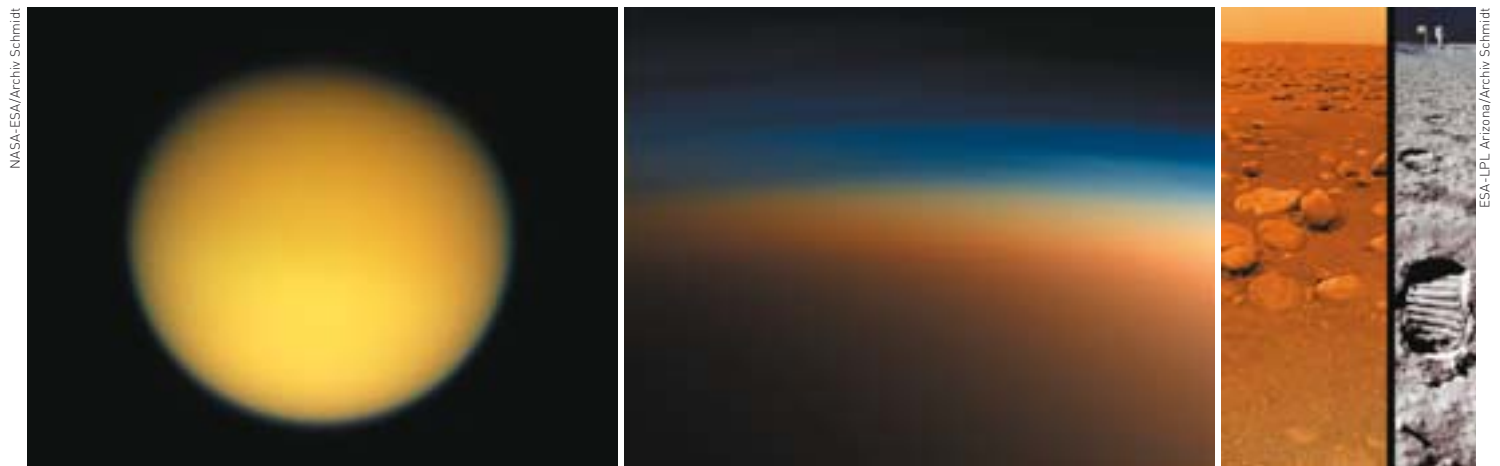
Steve Wall ist der stellvertretende Leiter des wissenschaftlichen Radarteams der Raumsonde Cassini. Jahrelang hat er gespannt gewartet, was die Radarwellen auf dem in eine dicke Wolkenschicht gehüllten Saturnmond Titan entdecken würden: «The most surprising thing to us as scientists is that Titan is so much like the Earth.» Das Team um den Forscher am NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) im kalifornischen Pasadena stellt überrascht fest, dass auf Titan vor allem Phänomene ablaufen, die es auch auf der Erde gibt: «Wir haben Vulkane entdeckt – allerdings speien sie kein Magma wie auf der Erde, sondern Methan oder andere Kohlenwasserstoffe. Es gibt einige wenige Einschlagskrater von Meteoriten und lange Dünenketten, die der

Wind zusammengetragen hat. Wir sind fast sicher, dass es auf Titan Regen gibt – vermutlich regnet flüssiges Methan aus der Atmosphäre aus. Wir haben Flussbetten und Seen entdeckt und klare Spuren von Erosion. Wir glauben sogar, Anzeichen für Tektonik gefunden zu haben. Titan hat vermutlich eine der erdähnlichsten Oberflächen im gesamten Sonnensystem.»

Existenz von Seen

Als die Cassini-Sonde am 24. Oktober 2004 zum ersten Mal in 1200 km Entfernung am Titan vorbeiflog, sahen die Astronomen nichts von den vermuteten Seen in der Äquatorregion. Erst als Cassini am 22. Juli 2006 in der Nähe des Nordpols vorbeiflog, wurden stehende Gewässer entdeckt. Die Astronomen konzentrierten die nächsten Vorbeiflüge auf polarnahe Regionen und fanden prompt weitere Seen. Auch beim Vorbeiflug am 9. Oktober 2006 hat die Cassini-Sonde erneut Seen entdeckt. Sie weisen abermals verblüffende Ähnlichkeiten zu irdischen Seenlandschaften auf. Die von der internationalen Sonde Cassini entdeckten Seen haben eine Länge von zehn bis 100 km. Zudem wurden verästelte Flussläufe entdeckt, die in die Seen münden und es sind auch deutlich Küstenlinien zu erkennen. Vermutlich trocknen die Seen periodisch aus und füllen sich dann wieder mit Methan oder

- (l.) Der zweitgrösste Mond im Sonnensystem ist Titan, der einzige Mond mit einer dichten undurchsichtigen Atmosphäre.
 (m.) Dunstschichten (blau) in der Hochatmosphäre des Titan verhindern den direkten Blick zur Oberfläche.
 (r.) «Kieselsteine» aus gefrorenen Kohlenwasserstoffen und Wassereis zeigt das Bild der ESA Landekapsel Huygens nach der Landung auf Titans Oberfläche.



Ethan. Weitere Beobachtungen über einen längeren Zeitraum werden nötig sein, um hier Gewissheit zu erhalten.

Geschwister der Erde

Gemütlich und einladend klingt das Bild von Titan nicht gerade, welches durch die Erkenntnisse der Cassini-Raumsonde langsam Gestalt annimmt. Auf die minus 180 °C kalte Oberfläche des Saturnmondes nieselt ein beständiger dünner Regen aus flüssigem Methan. Die Wolken, die Titan verhüllen, rühren von Stürmen her, die um den unwirtlichen Mond ziehen. Doch mit jedem fieseln, kalten Detail sind die Wissenschaftler mehr vom Titan fasziniert. Denn er erinnert sie wie kein zweiter Himmelskörper an die Verhältnisse auf der Erde, wenngleich aus ferner Vergangenheit.

Weil die Atmosphäre des Mondes 1,5-mal dichter und viel kühler als jene der Erde ist, laufen die Wetterprozesse in völlig anderen Massstäben ab. Länger als ein Titanjahr – das so lang ist wie knapp 30 Erdenjahre – dauert es, bis die Atmosphäre auf saisonale Erwärmung reagiert. Da dem Mond Ozeane fehlen, können diese auch nicht wie auf der Erde als Klimamotoren fungieren.

Im Modell von Hueso und Sánchez-Lavega genügen kleine Temperaturunterschiede von rund einem halben Grad Celsius und geringe Aufwinde, um die Bildung jener gewaltigen Kumuluswolken anzuschieben, die für die Atmosphäre des Titans so charakteristisch sind. Das Wettermodell hat eine Auflösung von einem halben Kilometer. Mit ihm konnten die Wissenschaftler auch heftige Stürme mit überraschend starkem Niederschlag

plausibel erklären. Niederschlag hatten Wissenschaftler der Europäischen Weltraumorganisation ESA zwar auf dem Mond vermutet, konnten ihn aber zumindest an der Landestelle von «Huygens» nicht nachweisen.

Konstanter Kreislauf

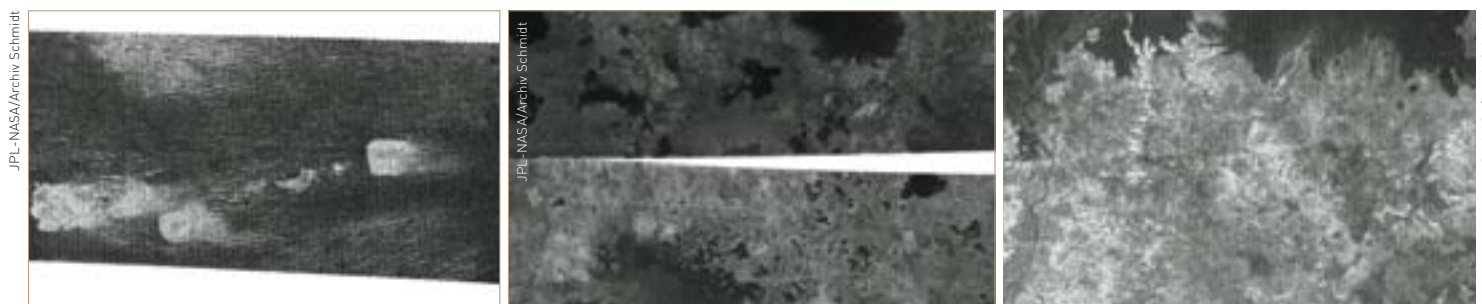
Wolkenbildung und Niederschläge hängen von den – nach irdischen Massstäben – langsam wechselnden Jahreszeiten auf dem Mond ab. Über einen langen Zeitraum haben sich die Wolken aufgebaut, die jetzt über Titans Südhälfte ausregnen. «Während der Trockenzeiten verdunsten Flüsse und meter-tiefe Seen wieder», schreibt die Planetenforscherin Caitlin Griffith von der University of Arizona.

In den Regionen um die nördlichen und südlichen Wendekreise des Mondes fällt hin-

- (l.) Mercatorprojektion der Titanoberfläche, die Streifen wurden mit dem Cassini Radar Instrument untersucht. Krater, Flussbette, Seen, Berge und Dünen wurden dabei entdeckt. (m.) Ein ganzes System von Flussläufen wurde mit dem Cassini Radar auf Titans Oberfläche entdeckt. (r.) Mäanderförmig schlängeln sich die Flussbette durch die Hügellandschaft in der Xanadu-Region auf Titan.



(l.) Westlich der Region Xanadu entdeckte die Cassini-Raumsonde riesige Sanddünen-Felder. Ihre Zusammensetzung ist allerdings noch unklar.
 (m.) Endlich, am 22. Juli 2006 wurden die ersten Kohlewasserstoff-Seen in den nördlichen Breiten des Mondes Titan entdeckt. Das Radarbild zeigt eine ganze Gruppe von Methanseen.
 (r.) Weitere Seen, eine ganze Seeplatte von über 100 km Ausdehnung wurden am 9. Oktober durch das Cassini Radarinstrument in Nordpolnähe entdeckt.



gegen während des grössten Teils des Jahres ein feiner Nieselregen. Dort sind die untersten Atmosphärenschichten dermassen gesättigt, dass kleine Tröpfchen eines Methan-Stickstoff-Gemischs ausregnen und nach Berechnungen der Kölner Wissenschaftler auch den Boden des Mondes erreichen. «Das passt zur dunstig-feuchten Oberfläche, die Huygens an der Landestelle vorfand», schreibt Griffith. Für flüssiges Wasser ist es auf dem Saturnmond zu kalt. Die von Huygens gemessene Oberflächentemperatur von minus 180 °C erlaubt aber Regen, Flüsse und Seen aus Methan.

Dünen und Berge aus Ethan

Die Radaraufnahmen der Cassini-Sonde, welche am 30. April 2006 gewonnen wurden, zeigen auch, dass eine helle, Xanadu genannte Region von dunkleren Arealen umgeben ist. Die Astronomen konnten in diesen Bereichen Dünen, Berge, Täler und sogar Fluss-

läufe ausmachen, wie die Wissenschaftler des Jet Propulsion Laboratory (JPL) mitteilten. «Überraschenderweise zeigt diese kalte, weit entfernte Region geologische Eigenschaften, die jenen auf der Erde bemerkenswert ähneln», meint Jonathan Lunine, Wissenschaftler an der Universität von Arizona. «Weil Titan nur äusserst wenig Sonnenlicht erhält und viel kleiner und kälter ist als die Erde, ist Xanadu eine Gegend, wo Flüsse sich in sonnenlose Ozeane ergiessen.»

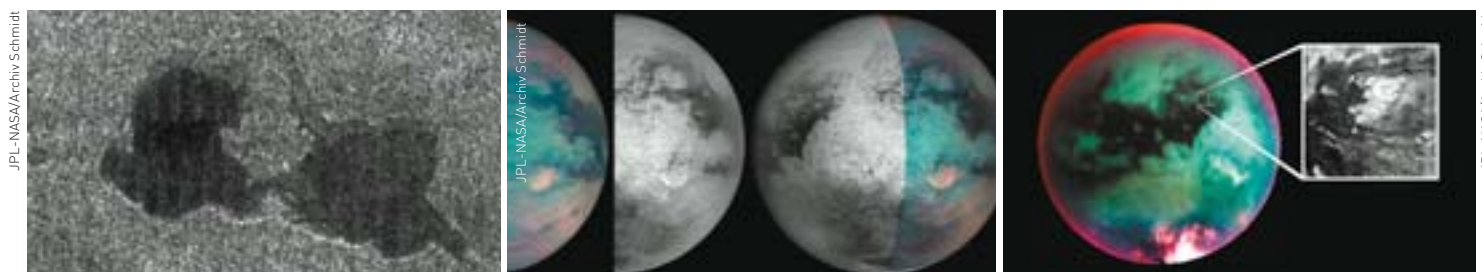
Fachleute gehen davon aus, dass in der Xanadu-Region flüssiges Methan als Regen fällt oder als Quellen an die Oberfläche tritt, wo es sich zu regelrechten Flüssen sammelt. Diese Ströme würden laut der NASA Material mit sich führen, das sich schliesslich an anderer Stelle auf dem Titan in Form von Sanddünen anhäuft. Woraus die als Sanddünen interpretierte Formationen bestehen, ist noch nicht mit Sicherheit bekannt. Eine Erklärung dafür hat der Wissenschaftler Do-

nald Hunten von der University of Arizona. Noch vor kurzem hatten einige Planetenforscher erwartet, einen kilometertiefen Ozean aus Ethan auf dem Saturnmond Titan zu finden. Tatsächlich ist dessen Oberfläche von grossen Mengen der Verbindung bedeckt, ist Hunton überzeugt. Allerdings geht sie nicht in flüssiger Form nieder, sondern gebunden an Smogpartikel. Aus eben diesen Partikeln könnten auch die kürzlich auf Titan entdeckten Dünen bestehen, schreibt Donald Hunten von der University of Arizona im Magazin «Nature». Seiner Überschlagsrechnung zufolge ist der Titan von einer mehr als zwei Kilometer mächtigen Schicht ethanhaltiger, unter dem eigenen Gewicht zusammengepresster Körnchen bedeckt.

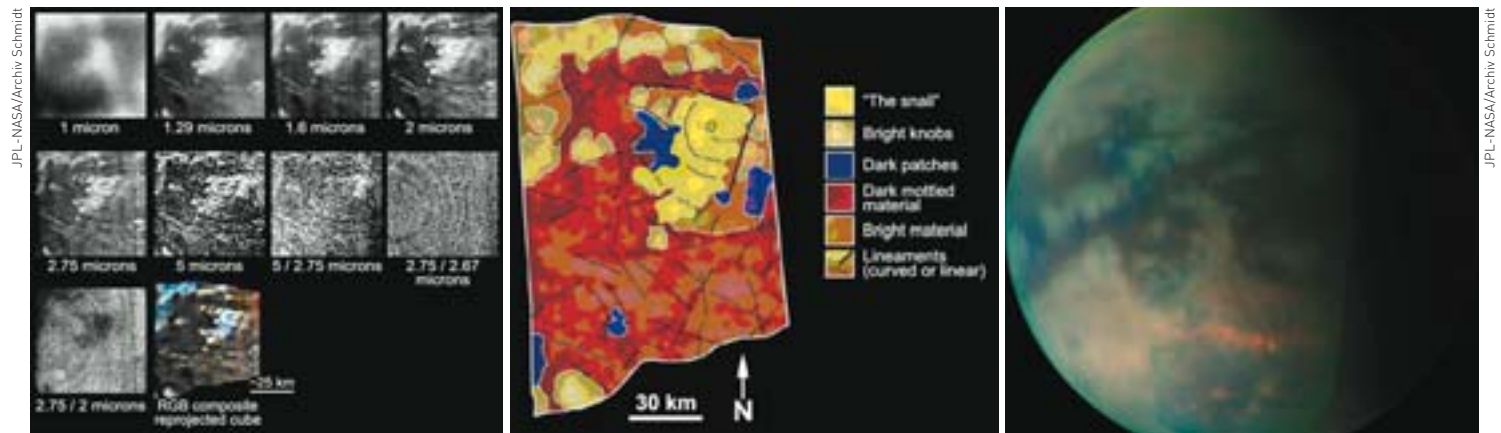
Aktive Eisvulkane?

Bereits im Juli 2004 entdeckte die Raumsonde Cassini in der Atmosphäre des Saturn-

(l.) «Küssende Seen» zeigt dieses Radarbild vom 9. Oktober 2006. Die beiden Methanseen sind miteinander verbunden, im Weiteren sind Zu- und Abflüsse zu erkennen. (m.) Der rätselhafte rote Fleck wurde schon 2004 entdeckt und verändert seither seine Grösse und sein Aussehen. Ist es ein aktiver Vulkan? Die Forscher sind sich darin nicht einig. (r.) Compositaufnahme des Mondes Titan durch Kombination von verschiedenen Filtern im Infraroten und Ultravioletten Bereich. Rot: Hochatmosphäre im UV-Licht, grün: Titans Oberfläche. Der Bildausschnitt zeigt den möglicherweise ersten Kryovulkan auf dem Saturnmond.



(l.) Bildserie des potenziellen Kryovulkans auf Titan, aufgenommen in verschiedenen Wellenbereichen des Infrarotspektrums. Die 30 km grosse und schneckenförmige Struktur stellt vermutlich einen Eisvulkankegel dar. (m.) Geologische Karte mit Erklärungen zum Eisvulkan. (r.) In südlichen Breiten wurden erstmals Ethanwolken (rot) gesichtet. Man nimmt an, dass es in diesen Breitengraden Methanschauer gibt.



monds Titan einen hellen Fleck: eine Wolke? Nebel am Boden? Oder eine Gegend vulkanischer Aktivität? Seinerzeit wurden einige Erklärungen für möglich gehalten für den Fleck mit einem Durchmesser von rund 400 km südöstlich der grösseren, ebenfalls recht hellen Region Xanadu. Der Fleck wird immer wieder heller und dunkler: Im März 2005 leuchtete er doppelt so hell wie bei seiner Entdeckung im Sommer 2004. Bis zum November 2005 dimmte er sich wieder auf seine einstige Helligkeit ab, einen Monat später strahlte er schon wieder stärker. Während der helleren Phasen wuchs der Fleck immer auch auf die doppelte Fläche: von 70000 auf 140000 km². Eine Wolke könne das nicht sein, meint Astronom Nelson vom Jet Propulsion Laboratory. Wolken lösten sich innerhalb von Stunden oder Tagen auf und hätten markante Farben. Auch Bodennebel schliesst der Planetenforscher aus. Stattdessen deutet Nelson die Beobachtungen als Zeichen eines Vulkanausbruchs. Doch nicht alle Kollegen glauben daran.

Robert Brown zum Beispiel, einer der Leiter der Cassini-Huygens-Mission, hält die Schwankungen des Flecks lediglich für eine «Illusion, die durch Dunst in der Atmosphäre des Titans hervorgerufen wurde». Es gebe noch immer keine endgültigen Indizien für aktive Vulkane auf dem Titan. «Es gibt nicht einmal verlockende Beweise dafür», sagte Brown der Zeitschrift New Scientist.

Ozean unter Oberfläche?

Auf dem Saturnmond Titan gibt es offenbar doch einen grossen Ozean. Das vermuten Wissenschaftler zwar schon länger. Nun berichten französische Forscher von der Université de Nantes im Fachjournal Nature, dass sich der gesuchte Ozean unter einer Eiskruste verbirgt, die zehn bis hundert Kilometer dick ist.

Das Team um Gabriel Tobie erstellte aus den Daten von Huygens und seinem Mutterschiff Cassini ein geologisches Modell des Titans. Demzufolge liegt zwischen dem steinigen Kern des Mondes und der festen Kruste aus gefrorenem Grubengas (Methan) und Eis ein grosses Reservoir aus Wasser und Ammoniak. «Mit diesem Modell können wir den Anteil von Methan und Stickstoff in der Atmosphäre erklären», sagt Tobie.

Mehr als neunzig Prozent der Atmosphäre des Titans besteht aus Stickstoff; Methan macht nur sechs Prozent aus. Tobie und seine Kollegen glauben, dass der Stickstoff aus dem Ammoniak-Meer stammt und dass das Methan aus der Eiskruste entweicht. Ihrem Modell zufolge sammelt sich das Methan von Zeit zu Zeit an der Unterseite der Kruste zu einer gigantischen Blase und gelangt bei einem grossen Ausbruch in die Atmosphäre. Zurzeit dringen Methan und Stickstoff durch Risse im Eis an die Oberfläche. Das Methan spielt auf Titan dabei eine ähnliche Rolle wie das Wasser auf der Erde. ■

*Men J. Schmidt, Projektleiter Produktentwicklung, Fisba Optik AG, 9016 St. Gallen
Informationen: www.spacescience.ch

Mission Cassini-Huygens

Die Mission Cassini-Huygens ist ein Gemeinschaftsvorhaben der NASA, der ESA und der italienischen Raumfahrtagentur ASI. Das Jet Propulsion Laboratory (JPL), eine Abteilung des California Institute of Technology in Pasadena, leitet die Mission im Auftrag des NASA-Büros für Weltraumwissenschaft in Washington. Der Cassini-Orbiter wurde vom JPL entworfen, entwickelt und gebaut. Der Orbiter ist die bisher grösste und komplexeste Weltraumsonde und führt zwölf wissenschaftliche Instrumente mit sich, die von amerikanischen und internationalen Forscherteams zur Durchführung detaillierter Beobachtungen von Saturn, Titan, den eishaltigen Monden, dem Ringsystem und der umgebenden Magnetosphäre entwickelt worden sind. Zwei der Instrumente des Orbiters wurden in Europa hergestellt.