

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 65 (2007)
Heft: 342

Artikel: Erfolgreiche Saturnmission Cassini-Huygens (Teil 1) : geheimnisvoller Saturnmond Titan
Autor: Schmidt, Men J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-898080>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Erfolgreiche Saturnmission Cassini-Huygens (Teil 1)

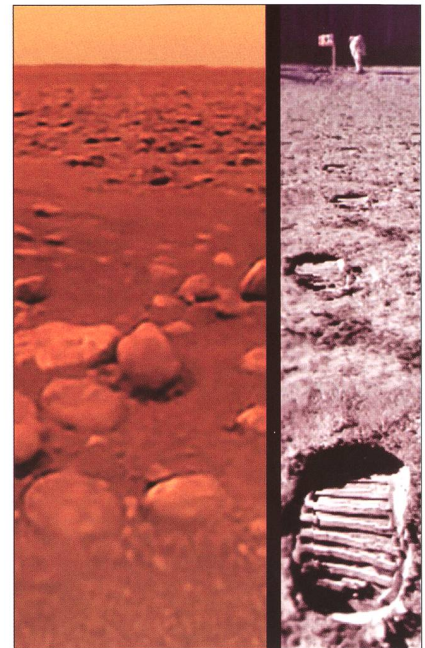
Geheimnisvoller Saturnmond Titan

Von Men J. Schmidt

Seit Oktober 2004 ist die amerikanisch - europäische Raumsonde Cassini über 30 mal sehr nahe am Saturnmond Titan vorbei geflogen und hat diese bis dahin unbekannte Welt mit verschiedenen Instrumenten im sichtbaren, ultravioletten, infraroten und Radarbereich 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 am Titan, erlebten Astronomen allerdings eine handfeste Überraschung. Von stehenden Gewässern war nichts zu sehen. Erst spätere Vorbeiflüge zeigten dann doch die so lange erwarteten Seen. Jetzt, dreieinhalb Jahre später, hat sich das Bild vom grössten Saturnmond völlig gewan-

delt. Mit der Ankunft am Saturn am 1. Juli 2004 hat die lange Reise des Cassini-Raumschiffs durch das Saturn-System begonnen. Insgesamt 76 Mal wird Cassini den Saturn umkreisen. Dabei wird es 52 nahe Vorbeiflüge an sieben der 60 Saturnmonde absolvieren. Für seine Orbits um Saturn muss das Raumschiff 45 so genannte Swing-By-Manöver an Titan durchführen, die ihm zusätzlich Schwung verleihen.

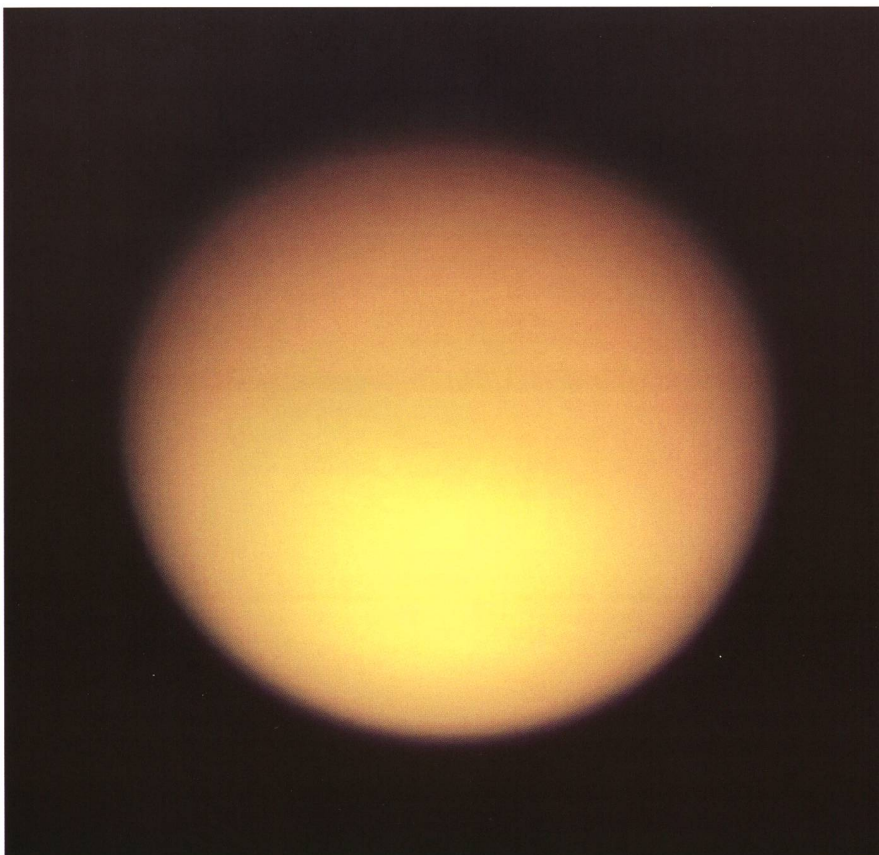


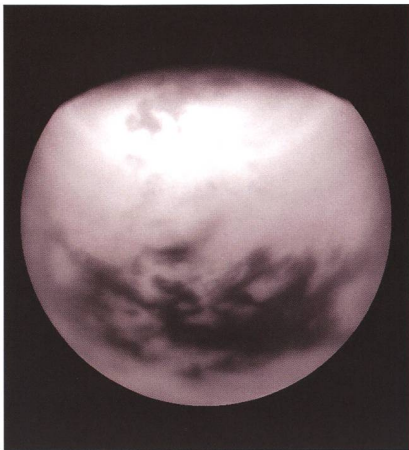
Figur 1: «Kieselsteine» aus gefrorenen Kohlenwasserstoffe und Wassereis zeigt das Bild der ESA Landekapsel Huygens nach der Landung auf Titans Oberfläche. (Bild: ESA-LPL Arizona / Archiv Schmidt)

Bei diesen Manövern nähert sich Cassini bis zu 950 Kilometer der Titan-Oberfläche, so dass das Cassini-Radar (RADAR), das die Atmosphäre des Mondes durchdringen kann, eine hochauflösende Kartierung der Oberfläche ermöglicht. 20 Tage nach ihrer Abtrennung von der Muttersonde Cassini am 25. Dezember 2004 hat Huygens nach einem Alleinflug über 4 Millionen km die äußere Atmosphäre des Titans erreicht. Um 11.13 Uhr MEZ begann sie in etwa 1 270 km Höhe über Titan ihren Abstieg durch dessen dunstige Wolkendecke. In den folgenden drei Minuten musste die Sonde zunächst von 18 000 auf 1400 km/h abbrem- sen.

Mit Hilfe einer Reihe von Fallschirmen wurde ihre Geschwindigkeit dann auf unter 300 km/h verringert. In rund 160 km Entfernung von der Oberfläche konnten die wissenschaftlichen Instrumente der Sonde ausgefahren und der Atmosphäre des Titans ausgesetzt werden. In

Figur 2: Der zweitgrösste Mond im Sonnensystem ist Titan, der einzige Mond mit einer dichten undurchsichtigen Atmosphäre. (Bild: JPL-NASA / Archiv Schmidt)





Figur. 4: Mit dem ISS Kamerasystem gelang diese sehr detailreiche Ansicht der Titanhalbkugel im nahen Infrarotbereich. In Polnähe sind ausgedehnte Seen zu erkennen, die dunklen Stellen in der Äquatorregion ist von gigantischen Sanddünen aus gefrorenen Kohlenwasserstoffpartikeln bedeckt. (Bild: JPL-NASA / Archiv Schmidt)

120 km Höhe wurde der Hauptfallschirm abgeworfen und durch einen kleineren ersetzt, um den Abstieg fortzusetzen; Huygens' Aufsetzen auf der Oberfläche des Titan war für 13.34 Uhr MEZ vorgesehen. Die ersten wissenschaftlichen Daten erreichten das Europäische Raumflugkontrollzentrum (ESOC) in Darmstadt um 17.19 Uhr MEZ. Huygens ist der erste erfolgreiche Versuch der Menschheit, eine Sonde in einer anderen Welt im fernen Sonnensystem zu landen. «Dies ist eine großartige Leistung für Europa und seine amerikanischen Partner bei dem ehrgeizigen Unterfangen, das System des Saturn zu erforschen»,

sagte ESA-Generaldirektor Jean-Jacques Dordain. Mit Huygens wurde erstmals vor Ort eine gründliche Analyse der Chemie der Titanatmosphäre vorgenommen, auch hat die Sonde die ersten Photos von der verborgenen Oberfläche des Titan aufgenommen und einen detaillierten «Wetterbericht» erstellt.

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 5.150 Kilometern (Erdmond: 3.476) ist er nach dem Jupiter-Trabant Ganymed der zweitgrößte Mond im Sonnensystem und größer als der Planet Merkur. Das Bild, das sich langsam vom Wettergeschehen auf dem Titan herauschält, ist allerdings komplizierter als gedacht. Dazu beigetragen haben im Wesentlichen auch die Daten des Synthetischen Apertur Radars (SAR) an Bord der Cassini Raumsonde. Mit diesem Radar Mapper genannten Instrument ist es möglich, die im optischen Bereich undurchsichtige Atmosphäre des Mondes Titan zu durchdringen und Bilder mit einer Auflösung von mittlerweile 300 Metern zu gewinnen. «Wir haben Vulkane entdeckt – allerdings speien die 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 Flussbette und Seen entdeckt und klare Spuren von Erosion. Wir glauben sogar Anzeichen für Tektonik gefunden zu haben. Titan

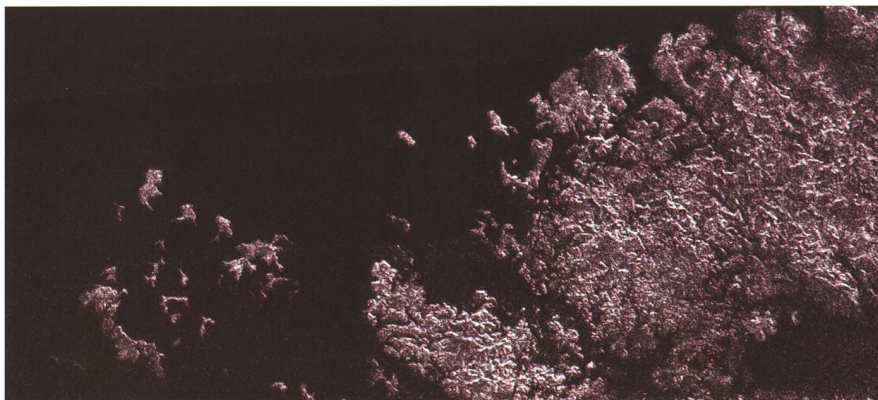
hat vermutlich eine der erdähnlichsten Oberflächen im gesamten Sonnensystem.»

Die Mission im Überblick

Die Cassini-Huygens-Mission ist eines der ehrgeizigsten Projekte, die jemals im Rahmen der Planetenerforschung unternommen wurden. Gestartet am 15. Oktober 1997, war die amerikanisch-europäische Planeten-sonde Cassini-Huygens fast sieben Jahre im Weltraum unterwegs zu Saturn, dem zweitgrößten Planeten unseres Sonnensystems. Die Sonde hat Mitte 2004 den riesigen Gasplaneten erreicht. Zurückgelegte Flugstrecke: rund 3,5 Milliarden Kilometer. Bislang sind drei amerikanische Raumsonden an Saturn vorbeigeflogen: Pioneer 11 (maximale Annäherung 20 800 Kilometer), Voyager 1 (maximale Annäherung 38 000 Kilometer) und Voyager 2 (maximale Annäherung 124 000 Kilometer). Cassini-Huygens soll vier Jahre lang das Saturn-System erforschen.

Die Mission besteht aus zwei Teilen: der Raumsonde Cassini und der europäischen Landesonde Huygens. Die Raumsonde wird Saturn bis nächstes Jahre 76 Mal umkreisen. Dabei wird sie den Planeten, sein Ringsystem, seine Magnetosphäre und sieben seiner 60 bekannten Monde viel genauer erforschen, als dies mit allen bisherigen Raumsonden und Teleskopbeobachtungen möglich war. Die Landesonde Huygens wurde am 25. Dezember 2004 von der Hauptsonde Cassini abgetrennt und hat am 14. Januar 2005 in einer dreistündigen Mission die Atmosphäre und Oberfläche des größten Saturnmondes Titan erfolgreich untersucht.

Die Sonde ist ausgestattet mit einem breiten Spektrum an Kameras und Instrumenten, die es der Sonde ermöglichen, akkurate Messungen und detaillierte Aufnahmen von der Atmosphäre des Planeten Saturn zu machen. Das Cassini-Huygens Projekt besteht aus dem Cassini Orbiter, der von der NASA gefertigt wird, und dem Huygens Lander, der von der europäischen Weltraumorganisation ESA entwickelt wurde. Damit die Sonde den Saturn am 1. Juli 2004 erreichen konnte, flog die Sonde zweimal an der Venus und jeweils einmal an der Erde und dem Jupiter vorbei und wurde durch die Gravitationskräfte der



Figur. 4: Ein Methansee von über 250 Kilometern Ausdehnung, durchsetzt von zahlreichen Inseln, wurde am 12. Mai 2007 durch das Cassini Radarinstrument in Nordpolnähe entdeckt. Bild: JPL-NASA / Archiv Schmidt Schmidt)

Die Cassini-Experimente im Überblick

■ Imaging science subsystem	Zum Aufnehmen von Bildern im sichtbaren, nahen ultravioletten und nahen infraroten Bereich.
■ Cassini radar	Um die Oberfläche von Titan zu kartographieren.
■ Radio science subsystem	Sucht nach Gravitationswellen im Universum und studiert die Atmosphäre, die Ringe und das Gravitationsfeld von Saturn und seinen Monden.
■ Ion and neutral mass spectrometer	Begutachtet neutrale und geladene Partikel nahe Titan, Saturn und den restlichen Eiswelten, um mehr über die Atmosphären und Ionosphären herauszufinden.
■ Visible and infrared mapping spectrometer	Bestimmt die chemische Zusammensetzung der Oberfläche, der Atmosphäre, der Ringe von Saturn durch das Messen der Farben im sichtbaren Bereich und der Infrarotstrahlung.
■ Composite infrared spectrometer	Untersucht die Temperatur und die Zusammensetzung.
■ Cosmic dust analyzer	Studiert die Eis- und Staubpartikel im Saturnsystem.
■ Radio and plasma wave spectrometer	Erforscht Plasmawellen und natürliche Emissionen von Radiowellen.
■ Cassini plasma spectrometer	Erforscht das Plasma, speziell das des Magnetfeldes.
■ Ultraviolet imaging spectrograph	Misst die ultraviolette Strahlung der Atmosphäre und der Ringe.
■ Magnetospheric imaging instrument	Zeichnet die Magnetosphäre von Saturn auf und misst die Interaktion mit dem Sonnenwind.
■ Dual technique magnetometer	studiert das magnetische Feld und dessen Wechselwirkung mit dem Sonnenwind.



mit 6 Instrumenten ausgestattet. Die Cassini Experimente sind in der nebenstehenden Tabelle zusammengefasst.

Sechs europäische Instrumente auf Huygens

Die sechs Instrumente an Bord der Huygens-Sonde dienen im Wesentlichen der Messung von Temperatur, Druck sowie Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen in der Titanatmosphäre. Außerdem können beim Flug durch die Atmosphäre Proben der Titanluft genommen und mit Hilfe eines Gas-Chromatographen chemisch und physikalisch auf ihre Zusammensetzung hin analysiert werden. Eine seitwärts blickende Optik erlaubt infolge der Eigendrehung von Huygens einen permanenten Rundblick, der mittels der DISR-Kamera (Descent Imager /Spectral Radiometer) in Schwarz-Weiß-Bildern festgehalten wird, die immer kleinere Details zeigen, je tiefer die Sonde sinkt. Ein weiteres Experiment mit deutscher Beteiligung, das «Huygens Atmospheric Structure Instrument» (HASI), soll während des 90-minütigen Abstiegs die physikalischen und elektrischen Eigenschaften der Titanatmosphäre untersuchen. Instrumente des «Surface Science Package» (SSP) werden physikalische Parameter der Mondoberfläche messen, beispielsweise die Wucht beim Aufschlag auf der Oberfläche, die Neigung der Sonde gegen die Normalrichtung sowie die optischen Eigenschaften, Temperatur und Wärmekapazität des Oberflächenmaterials.

Titan, ein Mond mit Atmosphäre

1655 von dem niederländischen Astronomen Christiaan Huygens entdeckt, ist Titan der größte der 60 bisher bekannten Saturnmonde. Mit seinen 5150 Kilometer Durchmesser ist Titan der zweitgrößte Mond unseres gesamten Sonnensystems – nur der Jupitermond Ganymed übertrifft ihn mit seinen 5262 Kilometer Durchmesser.

Titan besitzt als einziger Mond in unserem gesamten Sonnensystem eine Atmosphäre. Das macht ihn für

Planeten zusätzlich beschleunigt. Benannt sind der Orbiter und der Lander nach zwei berühmten Astronomen, die sich intensiv mit dem Saturn und seinen zahlreichen Monden beschäftigt haben. Der Orbiter ist nach dem italienisch-französischen Astronomen Jean-Dominique Cassini (Geburtsname Giovanni Cassini) benannt, der die Saturnmonde Iapetus, Dione, Rhea und Tethys in dem Zeitraum von 1671-1684 entdeckte und die Eigenschaften des Ringsystems näher untersuchte, daher trägt auch die größte Ringspalte den Namen Cassini. Der Lander ist nach dem holländischen Astronomen Christiaan Huygens benannt, der den größten Saturnmond Titan 1655 entdeckte. Während seiner Forschungsreise durch das Saturn-System wird Cassini mindestens sechs nahe Vorbeiflüge an vier weiteren Saturnmonden machen: Iapetus, Enceladus, Dione und Rhea. Diese Monde wurden

ausgewählt, weil die Forscher aufgrund früherer Daten vermuten, dass diese Monde Hinweise auf die Entstehung des Saturn-Systems und vielleicht auch auf die Entstehung unseres Sonnensystems enthalten könnten. Cassinis Mission endet am 30. Juni 2008, vier Jahre nach der Ankunft am Saturn und 33 Tage nach dem letzten Titan-Vorbeiflug, der am 28. Mai 2008 stattfinden soll. Cassini und Huygens sind ausgestattet für 27 verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen. Dazu ist der Cassini-Orbiter mit 12 Instrumenten und der Huygens-Lander

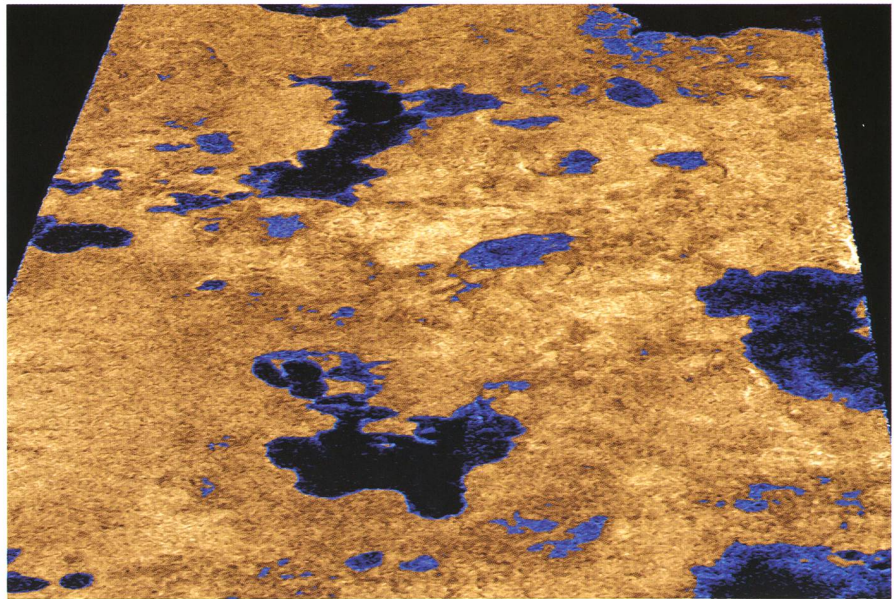


die Wissenschaftler zu einem besonders interessanten und faszinierenden Forschungsobjekt. Aufgrund einer Aerosolschicht (eine Schicht kleinster Schwebeteilchen aus Kohlenwasserstoffen) in 200 bis 300 Meter Höhe und einem hohen Methananteil in seiner Stickstoffatmosphäre ist diese für Teleskope und Kameras undurchdringlich. Diese besteht zum Großteil aus Stickstoff, sowie Argon, Methan sowie Spuren von u. a. Äthan, Propan, Methylacetylen. Wie die Erde, besitzt der Titan eine dichte Atmosphäre, die hauptsächlich aus Stickstoff besteht. Neben dem weit entfernten Pluto, ist Titan der letzte große Körper im Sonnensystem, von dessen Oberfläche bis zur Huygens-Landung fast nichts bekannt war. Dabei handelt es sich immerhin um eine Fläche von der Größe Afrikas, Asiens und Europas zusammen.

Der Saturnmond ist für die Forscher wie eine Zeitreise zurück in die Vergangenheit unseres Planeten, die ihnen einen Blick auf die «Ur-Erde» ermöglichen könnte. Titan und unsere Erde sind die einzigen Körper in unserem Sonnensystem, die von Stickstoff dominierte Atmosphären aufweisen, wobei der Stickstoff-Anteil in der Titan-Atmosphäre mit 94% höher ist als der in der Erdatmosphäre. Die Wissenschaftler vermuten, dass Titans Atmosphäre der frühen Erdatmosphäre ähnelt. Mit der Erforschung des Titans hoffen sie, Hinweise darauf zu finden, wie sich die «primitive» Erde zu einem Planeten entwickeln konnte, auf dem Leben entstanden ist.

Erster Blick auf eine rätselhafte Welt

Nachdem der Cassini-Orbiter den Saturnmond Titan intensiv unter die Lupe genommen hat, präsentiert das Team des «Imaging Science Subsystem» (ISS) eine erste Zwischenbilanz, aus der hervorgeht, dass Titan einst ein höchst dynamischer Himmelskörper war. Die erste Sichtung der Daten vom nahen Vorbeiflug der Raumsonde Cassini am Saturnmond Titan, am 26. Oktober 2004 zeigte den Wissenschaftlern, dass einfache, schnelle Erklärungen bei Titan versagen. Es gibt keinen vergleichbaren Körper im Sonnensystem. Trotzdem können ein paar erste Aussagen wenige Stunden nach Empfang der Bilder und Daten gemacht werden.



Figur. 5: Endlich, am 22. Juli 2006 wurden die ersten Kohlenwasserstoffseen in den nördlichen Breiten des Mondes Titan entdeckt. Das Radarbild oben zeigt eine ganze Gruppe von Methanseen. (Bild: JPL-NASA / Archiv Schmidt)

Es gibt unter der Dunstschicht Wolken, jedoch viel weniger als man sich erhofft hatte. Nur in der Nähe der Pole gibt es ein knapp 1000 km grosses bewölktes Gebiet. Dies ist offenbar seit den allerersten Aufnahmen vom Juli deutlich gewachsen. Sonst sind nur ganz vereinzelt Wolken auszumachen. Aus was die Wolken bestehen, ist unklar. Jedenfalls muss die Tröpfchen- oder Partikelgrösse die Grösse der Dunstteilchen (Grössenordnung Mikrometer) deutlich übertreffen.

Auf der Oberfläche sind dunkle und helle Gebiete auszumachen, die z.T. durch scharfe Grenzen geteilt sind. Einschlagkrater sind kaum zu sehen. Ebenso fehlen deutliche Schatten. Dies bedeutet, dass die Titanoberfläche an keiner der beobachteten Stellen eine hügelige Topografie aufweist. Die Oberfläche ist geologisch gesehen jung. Linienartige Strukturen konnten auch beobachtet werden. Doch müssen erst Stereodaten und Radardaten die Oberflächentopografie genauer vermessen, bevor genauere Aussagen über die Oberfläche und ihre Umgestaltungsprozesse gemacht werden können. Möglicherweise werden Krater durch aus der Atmosphäre ausfallende Partikel mit der Zeit zugedeckt.

Die hellen und dunklen Gebiete scheinen in den Infrarotspektren ähnlich auszusehen. Dies würde auf eine mindestens im Grundsatz ähnli-

che chemische Zusammensetzung schliessen lassen. Die Wissenschaftler werden jedoch Zeit brauchen, um in den Spektren zwischen Oberfläche und Atmosphäre unterscheiden zu können.

Während der grössten Annäherung (1200 km) durchflog Cassini die äussersten Bereiche der Titanatmosphäre. So konnte mit einem Massenspektrometer einige Moleküle beobachtet werden. Die Isotopenverteilung lässt als vorläufiges Resultat darauf schliessen, dass Titan in seiner Geschichte 3/4 seiner ursprünglichen Atmosphäre bereits verloren hat. Negativ verlief anfänglich auch die Suche nach Flüssigkeiten (Methanseen).

Trotz diverser Fly-by-Flüge einiger Raumsonden und Observationssequenzen erdgebundener und orbitaler Sternwarten verbirgt Titan seine Geheimnisse hinter einer scheinbar undurchdringlichen Dunstglocke aus Methan und anderen Kohlenwasserstoffen. Was darunter ist, bleibt nebulös. Im Juli, Oktober und Dezember des letzten Jahres sowie im Januar, Februar, März und April dieses Jahres wagte der Saturn-Orbiter Cassini einen Blick hinter die graue Kulisse. Während mehrerer Vorbeiflüge schoss die Sonde mit der ISS-Kamera aussagekräftige Bilder, deren Auswertung noch lange nicht abgeschlossen ist. Jetzt veröffentlichte das ISS-Team in der Fachzeitschrift Nature die ersten wissenschaftlich ausgewerteten Daten. Alles in allem

deuten sie auf einen bizarren Mond hin, der einst sehr aktiv und dynamisch war. Dank der Vorbeiflüge konnte Cassini dem Mond noch weitere, höchst interessante Geheimnisse entlocken, wie die Forscher berichten...

Ein dichter, orange-brauner, höchst bizarr geformter Wolkenteppich schleppt sich scheinbar mühsam in einer Höhe von 400 Kilometern über die Oberfläche des Saturnmondes Titan hinweg. Vereinzelte Wolken sind hier selten. Der Dunst aus Stickstoff, Methan und anderen Kohlenwasserstoffen, der das wahre Antlitz des «mystischen» Gebildes seit jeher vollkommen bedeckt, ist sehr dick. Wie es unterhalb dieses trüben Schleiers aussieht und woraus die Oberfläche sowie die Atmosphäre des größten Begleiters des Saturn im Einzelnen besteht, konnten bislang selbst fantasievolle Astronomen bestenfalls nur erahnen.

Dies änderte sich an Weihnachten 2004 als die europäische Landekapsel Huygens vom Mutterschiff Cassini getrennt wurde und auf Kollisionskurs zum Mond Titan geschickt wurde.

Ein Traum erfüllt sich für ESA-Wissenschaftler

«Alle Huygens-Wissenschaftler sind begeistert. Das lange Warten hat sich gelohnt», meinte der Huygens-Missionsleiter der ESA, Dr. Jean-Pierre Lebreton im ESA-Kontrollzentrum in Darmstadt.

Einer der Hauptgründe für die Entsendung von Huygens zum Titan ist die Möglichkeit, dass dessen stickstoff- und methanreiche Atmosphäre und seine Oberfläche chemische Eigenschaften aufweisen, die denen der Erde in ihrem frühen Stadium ähneln. In Kombination mit den Beobachtungen der Muttersonde Cassini wird Huygens völlig neue Erkenntnisse über den geheimnisvollen Saturnmond liefern.

Huygens Doppler-Wind-Experimente erfolgreich

Radioastronomen konnten ein erstes Profil der Windgeschwindigkeiten auf dem Titan aus dem Trägersignal von Huygens ableiten, das das Green-Bank-Teleskop (USA) aufgezeichnet hatte. In 50 Kilometer Höhe über dem Titan stellten sie einen «zonal positiv gerichteten

Wind» (auf Deutsch: in Titan-Ostrichtung) mit einer Geschwindigkeit von 40 bis 50 Meter pro Sekunde fest, die bis zur Oberfläche bis auf wenige Meter pro Sekunde sank. Demnach bewegt sich die Atmosphäre tatsächlich schneller als der Mond selbst. Diese «Superrotation» zu messen, war das Hauptziel des DWE-Experiments.

Die Daten stammen aus ersten Auswertungen des Doppler-Wind-Experiments (DWE) der Universität Bonn unter Leitung von Dr. Michael Bird: Der Sender des Datenkanals A von Huygens strahlte sein Trägersignal mit einer bekannten Frequenz im Gigahertz-Bereich aus, die durch Verwendung eines neuartigen, in der Raumfahrt erstmals eingesetzt-



Figur. 5: Diese Echtfarb-Aufnahme zeigt Titans höhere Atmosphäre. (Bild: JPL-NASA)

Der Wind bläst mit 45 Metern pro Sekunde, das entspricht rechnerisch knapp Windstärke 14. Solche Orkanwinde sind zwar in mittleren Höhen nichts Besonderes, aber doch mehr als theoretisch vorausberechnet. In noch höheren Schichten der Atmosphäre spielten sich beim Abstieg bizarre Dinge ab, der Dopplersignatur nach zu urteilen.

Speziell zu dem Zeitpunkt, als sich der dritte und letzte Fallschirm entfaltete, kam es zu dramatischen Sprüngen im Trägersignal. Dazu passen auch frühere Meldungen über die Auswertung von Daten anderer Experimente, wonach die Sonde in der oberen Atmosphäre heftiger durchgeschüttelt wurde, als die Wissenschaftler vorher erwartet hatten. Dies muss die schwierigste Phase des Abstiegs gewesen sein, aber Huygens überstand sie mit Bravour.

ten Oszillators auf Rubidiumbasis extrem genau eingehalten wurde. Die Frequenzschwankungen, die während des Abstiegs auftraten, resultierten also allein aus dem Dopplereffekt des Signals, hervorgerufen durch Änderungen der Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger. Damit können selbst kleinste Effekte erfasst werden, wie etwa die Drehung der Sonde um sich selbst. Dank hoch entwickelter Auswertungssoftware kann der momentane räumliche Bewegungszustand und die Position der Sonde erstaunlich genau bestimmt werden.

Als Empfänger war am 14. Januar eigentlich die «Muttersonde» Cassini eingeplant, deren Kanal-A-Empfänger für das DWE ebenfalls speziell aufgerüstet worden war. Durch ein Missgeschick, für das die ESA laut eigener Angabe selbst verantwort-

lich ist, war dieser Empfänger allerdings nicht eingeschaltet worden. Zum Glück hatten aber zahlreiche Radioteleskope auf der Erde das Signal von Huygens ebenfalls empfangen und aufzeichnen können, allen voran das Green-Bank-Teleskop (USA). Und da die Bewegung der Erde im Raum ebenso bekannt ist wie die von Cassini, ist es offenbar trotz der Schwäche des Signals auch so möglich, den für die Messungen interessanten Doppleranteil mathematisch auszufiltern. Bis zu 90 Prozent der ursprünglich erhofften Daten sollen rekonstruierbar sein.

Eiskalte Landung

Zweieinhalb Stunden lang hat Huygens auf der Titanoberfläche gemessen, sehr viel länger als die Wissenschaftler je zu hoffen gewagt hatten. Auch wenn ein Datenkanal für die Übermittlung ausfiel, haben genügend Informationen die Erde erreicht, um ein genaueres Bild von den Vorgängen auf dem Saturnmond zu geben. Martin Tomasko von der Universität in Arizona, der Erbauer der Huygens-Kamera: «Wir sehen helle Bergketten, die etwa 100 Meter hoch sind – und wir sehen viele Hinweise auf Regen. Der dunkle Stoff in den Tälern ist Material aus organischer Chemie. Vermutlich fallen Smogpartikel aus der Atmosphäre aus und bedecken die ganze Landschaft. Regen aus Methan wäscht den Dreck dann in die Täler. Vielleicht hat es noch einen Tag vor der Landung geregnet. Die Berge sind nicht aus Silikatgestein wie auf der Erde, sondern aus steinhart gefrorenem Wassereis.» Viele Prozesse wie wir sie von der Erde kennen, haben entsprechendes auf dem Titan, allerdings mit ganz anderen Bestandteilen. Berge bestehen nicht aus Gestein, sondern aus Wasser. Dafür fließt kein Wasser, sondern Methan über die Oberfläche. Offenbar gibt

es sogar Vulkane, aber die spucken keine Lava, sondern Ammoniak und schmutziges Eis. Darauf deutet die verblüffende Entdeckung des Edelgases Argon 40. Neben Methan und Stickstoff konnten die Wissenschaftler Argon 40 und Ammoniak in der Atmosphäre ausfindig machen, was für eine Vulkantätigkeit spricht, doch statt Lava spuckt der titanische Vulkan Wassereis, statt Staub wirbelt er Kohlwasserstoffteilchen in die Methan-Atmosphäre.

Rollentausch: Methan statt Wasser

«Wir können die hohen Methankonzentrationen in Bodennähe nachweisen, das ist also eine entflammbare Naturgas-Welt, eine außergewöhnliche Sache», erklärte der Atmosphärenfachmann Toby Owen. Die Wissenschaftler gehen davon aus, dass aus dem Boden des Saturnmondes immer neues Methan austritt, können sich den Vorgang aber noch nicht genau erklären. Das auf der Erde als Grubengas bekannte Methan ist eine organische Verbindung, die bei den Temperaturen auf dem Titan – unter minus 170 Grad – flüssig oder gasförmig vorkommt. Nach den ersten Auswertungen ist der geheimnisvolle Mond bereits eine «uns alle begeisternde Welt», so Lebreton.

Steinhart ist die Titanoberfläche dennoch nicht, das zeigen die Huygens-Messungen ebenfalls. John Zarnecki von der Open University in Großbritannien: «Auf der Unterseite der Kapsel ist ein Dorn, der sich bei der Landung als erstes in den Titanboden bohrte. Für einen Moment musste der Dorn starken Widerstand überwinden, danach waren die Kräfte eher gering.» Die Forscher vermuten, dass der Boden am Landeplatz von Huygens eine Konsistenz von nassem Sand oder Lehm hat, der von einer dünnen Kruste bedeckt ist. Un-

terhalb dieser Kruste kommt offenbar sehr schnell flüssiges Methan zum Vorschein. Toby Owen von der Universität von Hawaii: «Das ist hier nicht wie auf dem Mars, wo die Flüssigkeiten, die die Landschaft geformt haben, jetzt tief im Boden eingefroren sind. Titan ist ein Planet, auf dem die Flüssigkeiten noch vorhanden sind. Wir sind in einem Sumpfgebiet gelandet.»

«Wir besitzen nun den Schlüssel, um zu verstehen, was die Landschaft des Titan formt», sagt Martin Tomasko von der Universität von Arizona. «Die geologischen Daten über Niederschlag, Erosion und flussähnliche Aktivitäten sagen uns, dass die physikalischen Prozesse, die den Titan gestalten, weitgehend die gleichen sind wie auf der Erde.» Dort, wo «Huygens» am 14. Januar 2005 gelandet ist, «sieht es aus wie in einem ausgetrockneten Flussbett in Arizona», fügt «Huygens»-Projektleiter Jean-Pierre Lebreton hinzu. Vor allem Wetter und Geologie des Titan, wo Temperaturen unter minus 170 Grad Celsius herrschen, ähnlich offenbar den Verhältnissen auf der Erde. Kleine Bäche mündeten in Flüsse, die wiederum in grosse Seen flössen, erklärte die Esa. Diese verfügten über Untiefen und Inseln. Allerdings fliesse in den Flüssen auf Titan kein Wasser, sondern flüssiges Methan. Derzeit erschienen die Flüsse und Seen zwar ausgetrocknet, doch habe es offenbar vor nicht allzu langer Zeit geregnet.

Die Fortsetzung dieses Beitrags lesen Sie in der nächsten **orion**-Ausgabe Anfang Dezember.

Men J. Schmidt

Projektleiter Produktentwicklung
FISBA OPTIK AG
Rorschacherstrasse 268
CH-9016 St. Gallen

men.schmidt@fisba.ch
www.fisba.com
www.space-science.ch

Literaturverzeichnis

- Zeitschrift "NATURE" versch. Ausgaben 2004 - 2007
- Zeitschrift "New Scientist" versch. Ausgaben 2004 - 2007
- "Journal of Geophysical Research"
- Wissenschaftsjournal "Science" Mai 2007
- Press Releases NASA-JPL versch. 1997 - 2007
- Press Releases ESA versch. 1997 - 2007
- Presse Informationen Oerlikon Space 2004
- Pressemitteilungen des DLR versch. 2005/2006