

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 65 (2007)  
**Heft:** 343

**Artikel:** Erfolgreiche Saturnmission Cassini-Huygens (Teil 2) : Saturnmond Titan : Bruder der Erde  
**Autor:** Schmidt, Men J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-898092>

### **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:** 02.02.2025

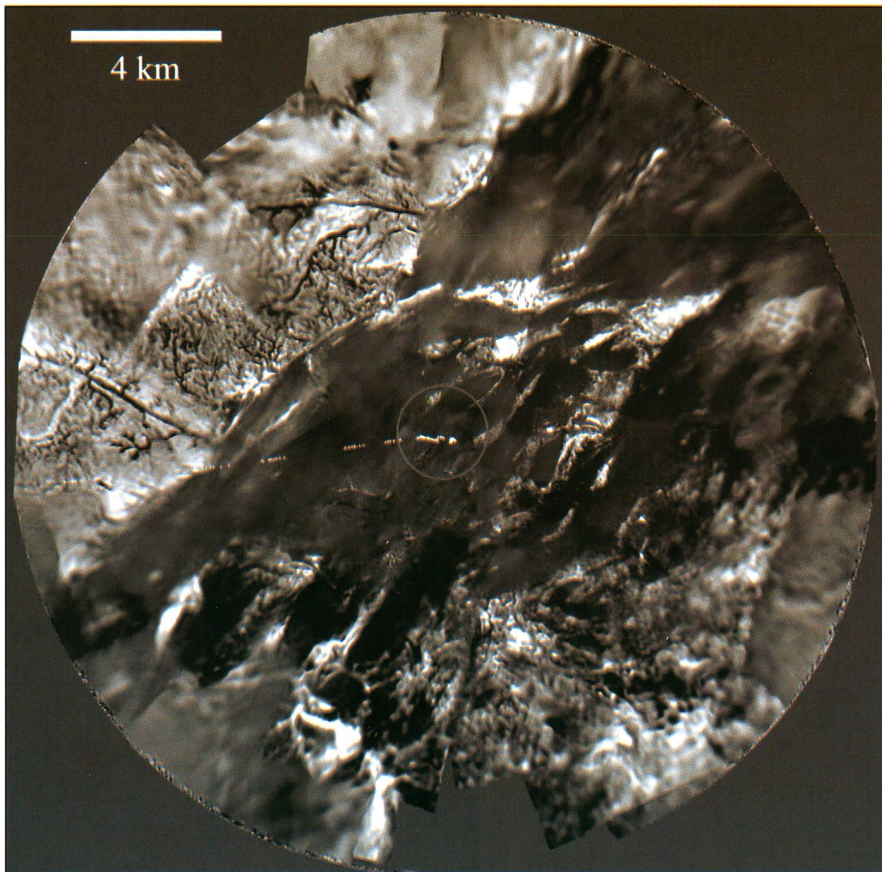
**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Erfolgreiche Saturnmission Cassini-Huygens (Teil 2)

# Saturnmond Titan; Bruder der Erde

■ Von Men J. Schmidt

*Die Wissenschaftler staunten nicht schlecht, als der Huygens-Lander während seines Absinkens in der Titanatmosphäre Strukturen filmte, die an Küstenlinien und Flussläufe auf der Erde erinnerten. Tatsächlich ähnelt der grösste Saturnmond in mancherlei Hinsicht unserer Erde, wie der nachfolgende Bericht deutlich macht.*



Titans «Wasser» ist flüssiges Methan,  $\text{CH}_4$ , besser bekannt als natürliches Gas auf der Erde. Gewöhnliches Erd-Wasser,  $\text{H}_2\text{O}$ , wäre auf Titan gefroren, da die Oberflächentemperatur  $170^\circ\text{C}$  unter Null beträgt. Methan dagegen ist unter diesen Bedingungen eine leicht fließende Flüssigkeit, die nicht anfällig für Frost ist. Jonathan Lunine, ein Professor an

der University of Arizona, ist ein Mitglied des Huygens Missionsteams. Er und seine Kollegen glauben, dass der Huygens-Lander auf Titans Äquivalent zu Arizona landete, einem zumeist trockenen Gebiet mit einer kurzen, aber intensiven und feuchten Jahreszeit. «Die Flussläufe in der Nähe der Huygens Sonde sehen derzeit leer aus», sagt

Lunine, aber er glaubt, dass dort erst vor kurzem Flüssigkeit vorhanden war. Kleine Felsen, die an der Landestelle verstreut herum liegen, weisen eindeutig darauf hin: Sie sind glatt und rund geschliffen wie Felsen in Flüssen auf der Erde und «sie liegen in kleinen Vertiefungen, gegraben eindeutig durch fließende Flüssigkeit.» Die Quelle dieser Feuchtigkeit könnte Regen sein. Titans Atmosphäre ist «feucht», gemeint ist, reich an Methan. Niemand weiss, wie oft es dort regnet, «aber wenn es regnet», erklärt Lunine, «könnte der hohe Anteil an Dampf in der Atmosphäre, verglichen mit der Erdatmosphäre, sehr intensive Regenfälle hervorbringen.»

Und vielleicht auch Regenbögen. «Die Zutaten die man für einen Regenbogen benötigt, sind Sonnenlicht und Regentropfen. Titan hat beides», sagt der Atmosphärenoptik-Spezialist Les Cowley. Auf der Erde bilden sich Regenbögen, wenn Sonnenlicht auf transparente Wassertropfchen trifft. Jeder Tropfen funktioniert wie ein Prisma und teilt Licht in das bekannte Farbspektrum auf. Auf Titan würden sich Regenbögen bilden, wenn Sonnenlicht auf Methan-Tröpfchen trifft, die wie Wassertropfen, transparent sind. «Ein Methan-Regenbogen wäre allerdings grösser als ein Wasser-Regenbogen», bemerkt Cowley, «mit einem Primärradius von mindestens  $49^\circ$ , im Gegensatz zu  $42,5^\circ$  bei Wasser. Dies liegt daran, dass der Brechungsindex von flüssigem Methan (1,29) sich von dem von Wasser (1,33) unterscheidet.» Die Reihenfolge der Farben jedoch wäre gleich: Innen blau und rot an der Aussenseite, mit einem insgesamt orangenen Farbton, der durch Titans orangefarbenen Himmel hervorgerufen wird.

◀ *Der zweitgrösste Mond im Sonnensystem ist Titan, der einzige Mond mit einer dichten undurchsichtigen Atmosphäre.*

*(Bild: JPL-NASA / Archiv Schmidt)*

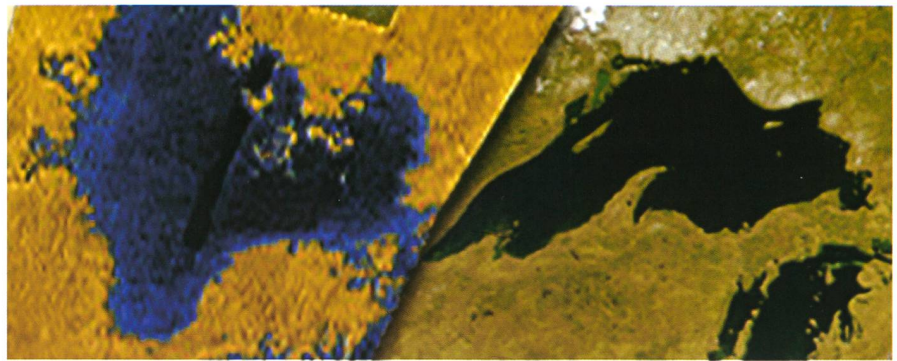
Wie auf der Erde gibt es einen hydrologischen Kreislauf, bei dem allerdings nicht Wasser, sondern Methan – der zweithäufigste Bestandteil der Titan-Atmosphäre – zwischen Oberfläche und Atmosphäre zirkuliert. Sollten also die Vorstellungen, die man sich vom zweitgrössten Mond unseres Sonnensystems gemacht hatte, falsch gewesen sein? In den

einen etwas längeren Weg hatte. Pérez-Ayúcal und Kollegen vermuteten, dass die Überlagerung dieser direkten und indirekten Wellen die Intensitätsschwankungen erklären könnten. Die Computermodelle der Forscher bestätigten diese Vermutung nicht nur, sie zeigten auch, dass die Stärke des Effekts empfindlich von der Gestalt der Oberfläche abhängt. Indem der Winkel zwischen Huygens und Cassini immer flacher wurde, wanderte der anfänglich einen Meter von Huygens entfernte Reflexionspunkt in eine Entfernung von rund zwei Kilometern. Um die Schwankungen der Signalstärke akkurat reproduzieren zu können, mussten die Forscher von einer relativ ebenen Oberfläche mit einem Belag aus fünf bis zehn Zentimeter grossen Kieseln ausgehen.

«Huygens war nicht darauf ausgelegt, den Bodenkontakt unbedingt überstehen zu müssen», erläutert Pérez-Ayúcal, «daher hatten wir niemals darüber nachgedacht, wie wohl das Signal von der Oberfläche aussehen würde.» Nach Ansicht des Forschers könnte der Beugungseffekt auch bei anderen Landemissionen zusätzliche Information liefern. «Dazu braucht es keine spezielle Ausrüstung, nur das übliche Kommunikationssystem.»

### Irdisches Aussehen und doch völlig anders

Gemütlich und einladend klingt das Bild von Titan nicht gerade, welches durch die Erkenntnisse der Cassini-Raumsonde langsam Gestalt annimmt. Auf die minus 180 Grad Celsius kalte Oberfläche des Saturnmondes Titan 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, wenn gleich aus ferner Vergangenheit. Bereits vor dem Start der Cassini-Huygens Mission hatte man die Existenz von Seen auf Titan erwartet. Als die Cassini-Sonde am 24. Oktober 2004 zum ersten Mal in 1200 Kilometern Entfernung am Titan vorbeiflog, erlebten Astronomen allerdings eine handfeste Überraschung. Von stehenden Gewässern war



^ Dieses Tête-à-Tête-Foto zeigt ein Cassini-Radarbild (links) vom grössten je gefundenen See aus flüssigem Methan in der Nähe des Nordpols von Titan. Verglichen wird die Aufnahme mit dem Lake Superior (rechts). (Bild: NASA/JPL/GSFC)

nichts zu sehen. Man hatte diese in der Äquatorregion vermutet, allerdings konnten dort keinerlei Anzeichen davon gefunden werden. Erst als Cassini am 22. Juli 2006 in der Nähe des Nordpols vorbei flog wurden Seen entdeckt. Nun wusste man, wo man suchen musste: Folgerichtig konzentrierte man die nächsten Vorbeiflüge auf polarnahe Regionen und prompt wurden weitere Seen gefunden. Beim Titan-Vorbeiflug am 9. Oktober 2006 hat die Cassini-Sonde weitere Seen auf Titan entdeckt. Sie weisen abermals verblüffende Ähnlichkeiten zu irdischen Seenlandschaften auf. Es gebe eine richtige Häufung derartiger Seen in der Nähe des Titan-Nordpols, berichteten die Forscher. Die von der internationalen Sonde Cassini entdeckten Seen haben eine Länge von zehn bis 100 Kilometer. Zudem wurden verästelte Flussläufe entdeckt, welche 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 Ethan.

Wenige Tage zuvor hatte eine andere Forschergruppe gemeldet, die Landschaft in der Xanadu-Region des Himmelskörpers habe durchaus Ähnlichkeiten mit Formationen auf der Erdoberfläche. Hügelketten waren schon auf Bildern von der Landung der Raumsonde «Huygens» zu erkennen gewesen. Das Mutterschiff «Cassini» hatte Dünen auf dem Mond entdeckt.

Nun veröffentlichen gleich zwei Teams Aufsätze mit neuen Erkenntnissen über das Wetter auf dem Saturnmond in der Wissenschaftszeitung «Nature»: Vom «Methan-Nieselregen» am Boden des Mondes berichten Tetsuya Tokano von der Uni-

versität Köln und seine Kollegen. «Methanstürme» als Urheber der Schauer beschreiben R. Hueso und A. Sánchez-Lavega von der Universidad del País Vasco im spanischen Bilbao.

### Bruder der Erde

«Der Titan wird oft wie ein Bruder der Erde betrachtet, weil es auf beiden Himmelskörpern Regenwetter und von Flüssen geformte Landschaften gibt», schreibt die Planetenforscherin Caitlin Griffith von der University of Arizona in einem Kommentar in derselben «Nature»-Ausgabe. Doch sie betont: Je mehr der Mensch diese Gemeinsamkeiten untersuche, desto mehr erscheine der Titan ihm doch als eine «faszinierend fremdartige Welt».

Weil die Atmosphäre des Mondes 1.5 Mal dichter und viel kühler als jene der Erde ist, laufen die Wetterprozesse hier in völlig anderen Dimensionen ab. Länger als ein Saturnjahr – das wiederum so lang dauert 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 wolkige 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 plausi-

vergangenen Monaten hat sich herausgestellt, dass dem nicht so ist. 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:

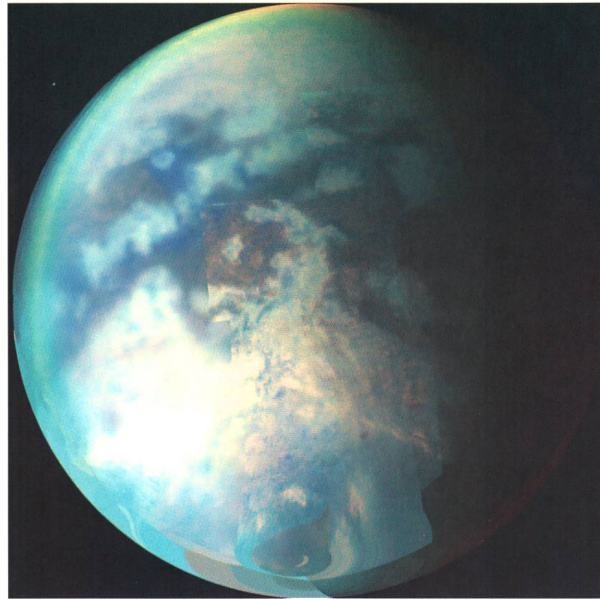
*«The most surprising thing to us as scientists is that Titan is so much like the Earth.»*

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.

### Kieselsteine am Landeplatz

Nach ihrer Landung auf dem Saturnmond Titan hatte die Sonde Huygens Bilder von «Kieselsteinen» zur Erde gesandt. Anhand der Radiosignale des Landegeräts konnte ein europäisch-amerikanisches Team nun die Grösse dieser Objekte bestimmen.

Vermutlich aus steinhartem Wasseris, durchsetzt mit Kohlenwasserstoffen bestehend, sind die Kiesel im Umkreis der Landestelle fünf bis zehn Zentimeter gross. Die ESA-Forscher erfuhren dies durch Zufall, denn Funkwellen von Huygens gelangten nicht nur auf direktem Wege zu Cassini ins Weltall, sondern wur-



◀ Dieses Komposit-Bild entstand durch Aufnahmen, die am 9. und 25. Oktober 2006 gemacht wurden. Rein vom Aussehen her, sind Ähnlichkeiten mit der Erde durchaus erkennbar. (Bild: NASA/JPL/University of Arizona)

den auch von der Umgebung reflektiert und nach oben geworfen. Cassini fing die Reflexionen ebenso auf wie die Originalsignale. Mit ein wenig Tüftelei konnte sich Miguel Pérez-Ayúcar vom Huygens-Team der ESA aus den winzigen Unterschieden einen Eindruck von der Oberfläche an der Landestelle machen.

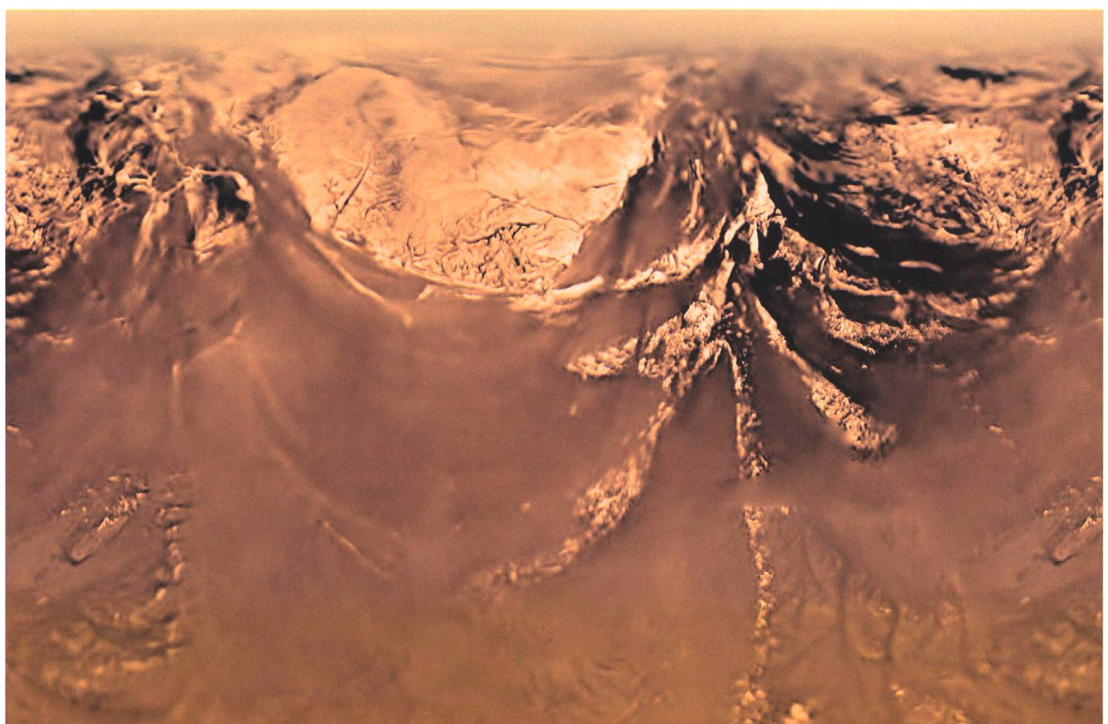
Pérez-Ayúcar vom European Space Research and Technology Center der ESA in Noordwijk und seine Kollegen schliessen ihre Vermutung aus wiederholten Intensitätsschwankungen der Radiosignale. Verantwortlich für diesen Effekt wäre demnach die Reflexion der Radiowellen an der Oberfläche des

Mondes, schreiben die Forscher im «Journal of Geophysical Research».

### Radiosignale erklären Oberflächenbeschaffenheit

Huygens hatte 71 Minuten lang Signale mit einer Wellenlänge von 14,3 Zentimeter (2098 Megahertz) an die Saturnsonde Cassini geschickt. Diese zog derweil über den Kopf des Landegeräts hinweg und verschwand schließlich hinter dem Horizont Titans. Ein Teil der Radiowellen lief direkt zu der Sonde, während ein anderer zunächst am Boden reflektiert wurde und daher

Während ihres Absinkens durch die Titanatmosphäre nahm der Huygens-Lander seinen Landeplatz aus ganz unterschiedlichen Höhen auf. Das Bild rechts zeigt ihn aus 15 Kilometer Entfernung. Da sich das Landegerät um seine eigene Achse drehte, konnten spektakuläre Panoramen aufgenommen werden. (Bild: NASA / JPL/University of Arizona)



bel erklären. Den hatten Wissenschaftler der Europäischen Welt- raumorganisation 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 metertiefe Seen wieder», schreibt Griffith.

In den Regionen um die nördlichen und südlichen Wendekreise des Mondes herum fällt hingegen 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 zu die dunstig-feuchten Oberfläche, die «Huygens» an der Landestelle vorfand», schreibt Griffith. Dort liegt das europäische Landemodul inmitten von fünf bis zehn Zentimeter großen «Kieselsteinen».

Auf dem Saturnmond Titan fällt permanent Nieselregen aus flüssigem Methan. Das schliessen Forscher um Tetsuya Tokano von der Universität Köln aus den Beobachtungen der europäischen Landesonde «Huygens», die am 14 Januar 2005 auf dem eisigen Trabanten erfolgreich niedergegangen war.

«Der Regen entsteht ähnlich wie bei unserem Wasserkreislauf auf der Erde», erläuterte Tokano. Titan ist damit, soweit bekannt, abgesehen von der Erde der einzige Ort im Sonnensystem, wo Regen auf den Boden fällt, wie der britische «New Scientist» berichtet.

«Der Nieselregen ist kontinuierlich und hält wahrscheinlich mehrere Jahre an», erklärte Tokano. Trotz relativ kleiner Niederschlagsmengen halte das Methan die Oberfläche des Mondes feucht und beeinflusse damit aktiv ihre Struktur. «Bisher haben wir durch Teleskope immer nur Wolken gesehen. Mit Hilfe der Daten konnten wir jetzt auch Regen feststellen.»

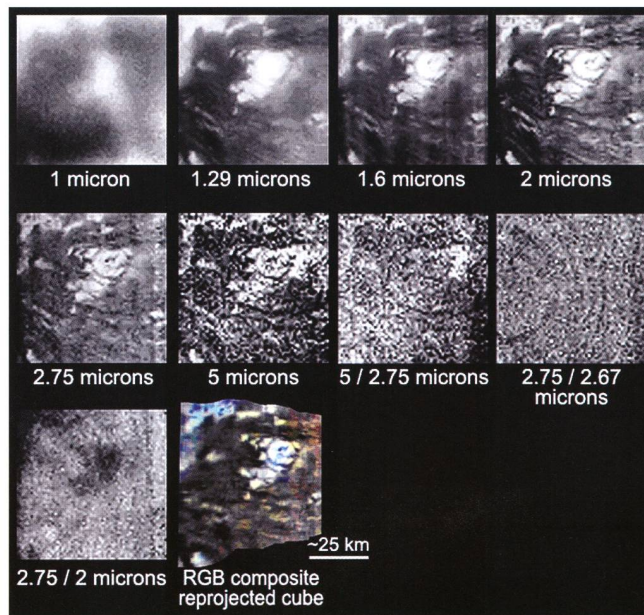
**Heftige Methanschauer**

Es gebe auf Titan offenbar einen Methan-Kreislauf zwischen Boden und Atmosphäre, sagte Tokano. Ein solcher Methan-Kreislauf sei bisher auf keinem Planeten gefunden worden. Forscher hatten angesichts der Flüsse und Seen auf dem Titan bereits über möglichen Flüssiggasregen spekuliert. Ende Juli 2006 hatte die US-Raumfahrtbehörde NASA Radarbilder der «Huygens»-Mutter- sonde «Cassini» veröffentlicht, die nach Deutung der Forscher grosse Seen flüssiger Kohlenwasserstoffe wie Methan zeigen. Für grosse Formationen wie Flussläufe und Seen reicht der Nieselregen vermutlich nicht aus, sein Niederschlag beträgt dem «New Scientist» zufolge nur 50 Millimeter im Jahr.

Zusätzliche Flüssigkeit könnten daher heftige Regenstürme liefern, die einem theoretischen Modell zufolge über den Saturnmond toben. Die Wissenschaftler Ricardo Hueso und Agustin Sanchez-Lavega von der Universität Bilbao stellen ihr Rechenmodell in der Wissenschafts-

spannende neue Erkenntnisse gegeben. Schon länger war bekannt, dass sich in den tieferen Regionen der Titanatmosphäre – in der Höhe von mehreren hundert Kilometern – organische Aerosole befinden, so genannte Tholine. Diese bilden sich dadurch, dass einfache Moleküle wie Methan und Stickstoff, die sich in den oberen Atmosphärenschichten befinden, durch UV-Strahlung und hochenergetische Teilchen aktiviert werden. Es wird angenommen, dass diese Tholine verantwortlich sind für den leicht orangefarbenen Nebel, der die Oberfläche Titans bedeckt.

In einer neuen Studie von Ergebnissen, die drei Spektrometer an Bord von Cassini gemessen haben, ist nun herausgefunden worden, dass sich Tholine auch in höheren Schichten der Titanatmosphäre gebildet haben, auf über 1000 km. Wissenschaftler des Southwest Research Institute (SwRI), der Universität von Kansas, des University College London und der University of Texas, San Antonio, haben die Ergebnisse ihrer Untersuchungen am



◀ Bildserie des potentiellen Kryovulkans auf Titan, aufgenommen in verschiedenen Wellenlängen des Infrarotspektrums. Die 30 Kilometer grosse und schneckenförmige Struktur stellt vermutlich einen Eisvulkankegel dar. (Bild: JPL-NASA / Archiv Schmidt)

Zeitschrift «Nature» vor. Unter bestimmten Bedingungen bilden sich demnach innerhalb weniger Stunden in einer Höhe von etwa 30 Kilometern dicke Wolken und es komme zu sturmartigen Methan-Schauern, heißt es in dem Artikel.

**Atmosphärenchemie**

Auch über die Atmosphärenchemie des Saturnmondes Titan hat es

11. Mai 2007 im renommierten Wissenschaftsjournal «Science» veröffentlicht.

«Tholine sind sehr grosse, komplexe Moleküle, von denen angenommen wird, dass einige ihrer Komponenten chemische Vorläufer von Leben sind», sagt SwRI-Wissenschaftler Dr. Hunter Waite, Leiter des Cassini Ionen-Neutral-Massen- spektrometer (INMS)-Teams. «Ein näheres Verständnis ihres Bildungs-

mechanismus kann wertvolle Erkenntnisse liefern in der Suche nach dem Ursprung des Lebens im Sonnensystem.»

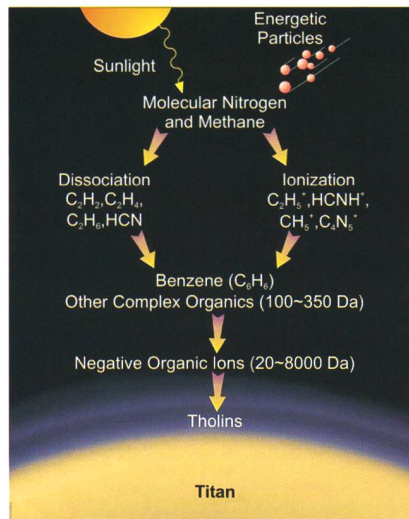
Bei den ersten Fly-bys von Cassini beim Titan hat das INMS eine Atmosphäre entdeckt, die vorwiegend aus Stickstoff und Methan besteht. Bei späteren Messungen wurde allerdings die Anwesenheit von Benzen und polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen festgestellt, welche die Grundbausteine aromatischer Kohlenwasserstoffe darstellen. Gleichzeitig detektierten zwei andere Sensoren, die zur Cassini Plasma Spectrometer (CAPS)-Apparatur gehören, das Ion Beam Spectrometer (IBS) und das Electron Spectrometer (ELS), grosse positiv und negativ geladene Ionen. Angenommen wird der folgende Reaktionsmechanismus:

Nachdem die UV-Strahlung und die hochenergetischen Teilchen die einfachen Moleküle Stickstoff und Methan aktivieren, bilden diese kleine Moleküle wie Cyanwasserstoff sowie kleine Ionen, aus denen sich dann polycyclische Aromaten sowie Nitrile bilden. Hieraus entstehen grosse negativ geladene Teilchen, die als Aerosole in der Titanatmosphäre auftreten und aus denen sich die Tholine bilden, die sich schliesslich auf der Titanoberfläche niederlassen.

«Die negativ geladenen Ionen waren eine grosse Überraschung», sagte Dr. David Young, ebenfalls SwRI-Wissenschaftler und Leiter des CAPS-Forschungsprojektes. «Vermutlich spielen sie eine unerwartete Rolle in der Bildung von Tholinen aus kohlenstoff- und stickstoffhaltigen Verbindungen. Auch überrascht uns die grosse Anzahl negativer Ionen, die Cassini während seiner Vorbeiflüge so nah über der Oberfläche gefunden hat», so Andrew Coates, Wissenschaftler beim Mullard Space Science Laboratory, University College London. «Diese neuentdeckte, wichtige hohe Konzentration repräsentiert eine hochsignifikante Proportion der gesamten Ionosphäre an diesen Orten.»

«Unsere Analyse lässt vermuten, dass sich erst ionische Verbindungen bilden, die dann reagieren zu elektrisch neutralen Molekülen. Aus diesen entstehen dann die komplexen negativ geladenen Ionen, die das ELS entdeckt hat», fügt Waite hinzu.

«Zukünftige Missionen zum Titan sollten sich auf eine komplette chemi-



Vermutetes Schema der Tholine-Bildung auf dem Titan. (Bild: JPL-NASA / Archiv Schmidt)

sche Analyse der Titanoberfläche konzentrieren, inklusiv von Isotopen», sagt Sushil Atreya, Direktor vom Planetary Science Laboratory, University of Michigan, in Ann Arbor. «Wer weiss, vielleicht finden wir ja noch Moleküle, die eine Vorstufe von Leben sein könnten.»

### 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 Wissenschaftler konnten in diesen Bereichen Dünen, Berge und Täler und sogar Flussläufe 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. «Obwohl Titan nur äusserst wenig Sonnenlicht erhält und viel kleiner und kälter ist als die Erde, ist Xanadu eine Gegend, wo Flüsse sich in die nicht besonnten 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 Donald 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 Hunten 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 Saturnmonds Titan einen hellen Fleck: Eine Wolke? Nebel am Boden? Oder eine Gegend vulkanischer Aktivität? Seinerzeit wurden einige Erklärungen für den Fleck möglich gehalten, der mit einem Durchmesser von rund 400 Kilometern südöstlich der grösseren, ebenfalls recht hellen Region Xanadu, liegt.

«Wir haben einen aktiven Vulkan gesehen», behauptet nun der US-Astronom Robert Nelson, nachdem er Daten eines «Cassini»-Spektrometers ausgewertet hat. Dass es Vulkane auf dem Saturnmond gibt, hatten bereits frühere Radarmessungen erahnen lassen. Ob diese aktiv sind, konnte bislang jedoch noch nicht bewiesen werden. Der Fleck zeige wirklich den Standort eines Vulkans, und die regelmässigen Aufhellungen seien Eruptionen, erklärte Nelson kürzlich auf einer Tagung der American Astronomical Society.

Der Titan-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 an: Von 70'000 auf 140'000 Quadratkilometer.

Eine Wolke könne das nicht sein, meint Astronom Nelson vom Jet Propulsion Laboratory. Wolken würden sich innerhalb von Stunden oder Tagen auflösen und markante Farben haben. 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 keinen endgültigen Indizien für aktive Vulkane auf dem Titan. «Es existieren nicht einmal verlockende Beweise dafür», sagte Brown der Zeitschrift «New Scientist». Jason Barnes von der University of Arizona moniert:

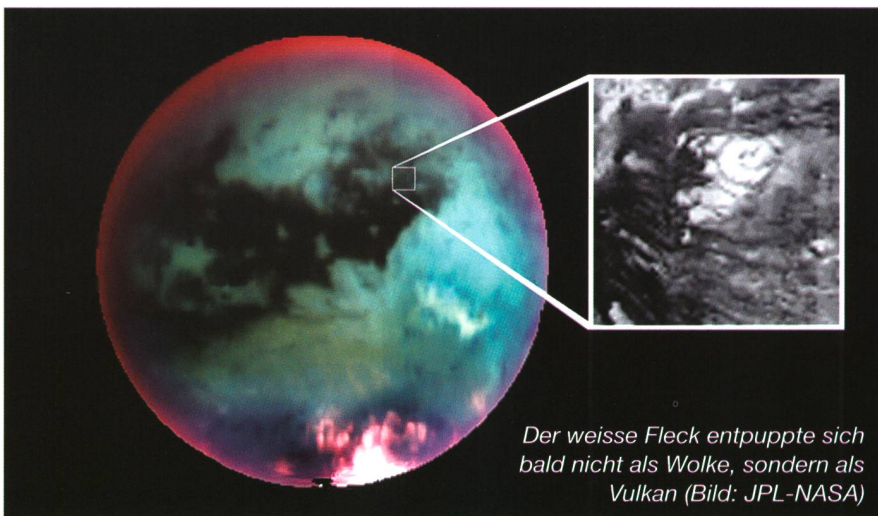
und Raumfahrt, der mit Nelson zusammenarbeitet. Atmosphärische Effekte wie Wolken seien wirklich ausgeschlossen, so der Planetenforscher. «Die Frage ist also: Wo ist der Vulkan?» Die Raumsonde «Cassini» sei bei den Runden um den Saturn noch nicht nah genug an die helle Stelle herangekommen, um durch die dichte Atmosphäre hindurch mit einer ausreichenden Auflösung einen Vulkan erkennen zu können. Solange noch nicht etwas ganz anderes, noch Unbekanntes den hellen Fleck erkläre, sei Wassereisvulkanismus die einzige Erklärung, sagte Jaumann. Man habe immerhin gesehen, dass die Oberfläche des Titans recht jung ist – also müsse da etwas aktiv sein, eben ein Vulkan.

Aus diesem Vulkan werde Wassereis herausgeschleudert – daher die Aufhellung des Flecks. Das gefrorene Wasser entweiche dann aber in die Atmosphäre oder werde durch Dreck überdeckt – und der Fleck wird wieder dunkler.

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 und wurde in drei Episoden freigesetzt. Zunächst gab es eine Ablagerungs- und Staffelperiode, gefolgt von einer weiteren Episode vor etwa 2 Milliarden Jahren, als die Konvektion im silikatreichen Kern begann und der Mond zunehmend abkühlte, inklusive der Kruste. Deswegen ist es möglich, dass Titans Methan in methanreichem Eis gespeichert wurde, der Fachbegriff dafür lautet «clathrate hydrate», und es auch einen flüssigen unterirdischen Ozean aus Wasser und Ammoniak gibt.

Und da Methan mit einfallendem Licht eine chemische Reaktion bildet, muss der Vorrat ständig aufgefrischt werden und dafür bietet das neue Modell mit einer eisreichen Kruste und Kryovulkanen, welche Methan ausspeien, eine gute Lösung. «Cassinis Instrumente, speziell das Visible and Infrared Mapping Spectrometer (VIMS), sollten eine grössere Anzahl diese Kryovulkane aufspüren können und mit ein bisschen Glück einen dabei entdecken, der gerade eine Methaneruption hat», so Studienleiter Gabriel Tobie vom Laboratoire de Planétologie et Géodynamique der Universität Nantes. «Bei künftigen Titan-Vorbeiflügen sollten Sonden Kryovulkane finden, die Wasser und Ammoniak speien, das sich dann zu Kegeln auftürmt. Ebenso müssten sie Spuren des Ozeans bemerken, der einen felsigen Kern bedeckt.»



*Der weisse Fleck entpuppte sich bald nicht als Wolke, sondern als Vulkan (Bild: JPL-NASA)*

«Wenn dort die Temperatur um 10 oder 20 Grad Celsius nach oben springen würde, wäre das ein gutes Argument.» Denn die flüssige Ammoniak-Wasser-Mischung, die aus dem Vulkan kommen müsste, wäre etwa minus 103 Grad Celsius kalt. Am Ort des hellen Flecks beträgt die Temperatur aber minus 179, so wie überall auf dem Saturnmond. Auch Karl Mitchell, der ebenfalls am Jet Propulsion Laboratory arbeitet, ist nicht «hundertprozentig überzeugt» von Nelsons Argumenten für aktiven Vulkanismus. «Die Sache ist verzwickelt», meint Ralf Jaumann vom Deutschen Zentrum für Luft-

### Ozean unter der 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

## Eisvulkan von 30 Kilometern Grösse

Auf den Bildern des VIMS-Instrumentes (Visual and Infrared Mapping Spectrometer) von Cassini, mit dem bei verschiedenen Frequenzen durch die optisch dichte Gashülle hindurch Serienaufnahmen geschossen werden können, erkannten die Wissenschaftler nun eine helle, rund 30 Kilometer breite Struktur, die sie mit einiger Wahrscheinlichkeit als Vulkankegel identifizierten. Die Bilder waren beim ersten Vorbeiflug der Cassini-Sonde am Titan im Oktober 2004 aufgenommen worden. Je nach genutzter Wellenlänge tritt die schneckenförmige Struktur mehr oder weniger deutlich hervor.

Der Vulkan entstand offenbar, als sich heraufwallende Massen eines Eiswasser-Kohlenwasserstoff-Gemisches einen Weg vom Untergrund durch die Oberfläche bahnten. Beim Schmelzen während eines Ausbruchs des Eisvulkans würde gasförmiges Methan freigesetzt, vermuten die Wissenschaftler. Als Energiequelle solcher Ausbrüche könnten Gezeitenkräfte zwischen Titan und Saturn dienen, die im Inneren des Mondes zu tektonischen Verschiebungen führen. Diese Kräfte variieren auf Titan stark wegen des stark elliptischen Orbits des Mondes. Eine dunkle Fläche im Zentrum des vermeintlichen Vulkans erkennen die Forscher als Caldera, wie sie beim Ausbruch eines Vulkans durch lokales Absinken des Bodens entsteht. In Richtung Westen verlaufen nahe dem Kegel zwei längere Materialzungen, die mit ihrer überlappenden Materialschichtung ebenfalls typischen vulkanischen Strukturen auf Venus und Erde ähneln.

Erste alternative Erklärungen, nach der es sich bei der auffälligen Struktur nicht um einen Vulkan, sondern

um eine Wolke oder dünenartige Verwehung handelt, schliessen die Forscher mittlerweile aus: Eine Wolke wäre nicht ortstabil, gegen eine durch Gase oder Flüssigkeiten geformte Düne sprächen die vorherrschende Windrichtung auf Titan und die beobachtete runde Zentralstruktur im Kegel.

Noch ist die Cassini-Huygens Mission nicht abgeschlossen. Die US-Raumsonde wird bis mindestens Mitte 2008 im Monatsrhythmus am grössten Saturnmond vorbeifliegen und weitere Mosaiksteinchen in die bereits gewonnenen Erkenntnisse über Titan einfügen. Möglicherweise wird die Mission verlängert,

da sich Cassini bislang in hervorragender Verfassung befindet und durchaus noch weitere Forschungen beim Saturnsystem anstellen können. Möglicherweise wollen dann die Wissenschaftler die Sonde noch näher an Titan heran fliegen lassen um mit Hilfe des Radars Bilder von höherer Auflösung von ausgewählten Gebieten zu gewinnen. Fest steht aber, dass die amerikanisch-europäische Mission bereits jetzt ein voller Erfolg war und unser Wissen über den rätselhaften Mond Titan gewaltig gesteigert hat. Es ist durchaus möglich, dass diese Erkenntnisse eines Tages auch für den Kreislauf des irdischen Wetters von nutzen sein können.

## Schweizer Hightech für Huygens

Für die europäische Sonde Huygens hat die Schweizer Raumfahrtsunternehmung Oerlikon Space (früher Contraves Space) das Trennsystem und die Struktur für den Hitzeschild (Front-Shield) entwickelt und gebaut. Im Weiteren wurde durch das gleiche Unternehmen die Alublech-Nietkonstruktion für die Struktur des Back Cover entwickelt und von der Firma APCO Technologies in Vevey gebaut. Das Separationssystem mit dem dazugehörigen Hohlring von 1.9 Meter Durchmesser besteht aus drei Teilsystemen:

- *Einem Mechanismus, welcher der Sonde eine Axialgeschwindigkeit und Rotation (7 Umdrehungen/Min) erteilt, kombiniert mit einem elektrischen Separationssystem. Sie dienten zur mechanischen Trennung vom US-Mutterschiff Cassini am 25. Dezember 2004.*
- *Ferner einem Back-Cover und Front-Shield Separationsmechanismus zur mechanischen Trennung des Back-Cover und des Front-Shield vom Abstiegsmodul am 14. Januar 2005.*

Diese Mechanismen sind in jedem der drei «Knoten» untergebracht, mit denen Huygens mittels acht Streben (Struts) isostatisch, d.h. verspannungsfrei am Mutterschiff Cassini befestigt war. 1994 wurden alle Teile der Trennmechanismen bei Oerlikon Space umfangreichen Tests unterzogen und erfolgreich auf ihre Funktionalität hin überprüft. Zur Freude der Beteiligten hat das ganze System wie vorgesehen nach sieben Jahren «Schlafzustand» funktioniert und so wesentlich zum Gelingen der Huygens Mission beigetragen. Schliesslich sind verschiedene auf Raumfahrtanwendung entwickelte Koaxialkabel und Kabelverbinder (Kabelassemblies) zur Kommunikation an Bord der Huygens Sonde untergebracht. Diese Hochfrequenzkoaxialkabel wurden durch die Ostschweizer Firma Huber & Suhner in Herisau entwickelt.

- **Men J. Schmidt**, Rorschacherstrasse 268, CH-9016 St. Gallen

## Kleinanzeige

### Zu verkaufen

Reisedobson Hofheim, 8 Zoll, mit Zubehör. (Verkaufspreis Sfr. 800.–)

### ■ S. Meister / F. Gratwohl

Dorfstrasse 8  
CH-4629 Fulerbach  
meistergratwohl@bluewin.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