

Cassini – Ankunft am Saturn

Nach siebenjähriger Reise ist die Doppelsonde Cassini-Huygens am zweitgrößten Planeten des Sonnensystems eingetroffen und hat bereits erste Aufnahmen geliefert. Im Mittelpunkt der Erkundung stehen der Riesenplanet selbst sowie sein Ringsystem, sein größter Mond Titan und die rund 30 weiteren Trabanten.

Von Jonathan I. Lunine

Frühmorgens am 15. Oktober 1997, noch vor Sonnenaufgang, fand ich mich am Rand einer alligatorverseuchten Bucht nahe Cape Canaveral in Florida ein. Einige Kilometer entfernt glänzte eine Rakete im Flutlicht der Startrampe. Mit Tausenden anderer Zuschauer beobachtete ich, wie eine kleine Flamme aus den Triebwerken schoss und rasch answoll. Nur dieser feurige Schweif war zu sehen, als die Trägerrakete abhob, eine Kumuluswolke durchstieß und nach Osten in Richtung Weltraum entschwand.

An Bord befand sich die größte Raumsonde, die jemals gebaut worden war: der Orbiter Cassini und die Landeinheit Huygens. Eine sieben Jahre lange Reise durch den interplanetaren Raum lag vor diesen Lkw-großen Instrumententrägern. Schon als Doktorand war ich an der Planung der Mission beteiligt. Doch ich musste bis zur Mitte meiner wissenschaftlichen Laufbahn warten, um

den Höhepunkt zu erleben: die erste Langzeiterkundung des Saturnsystems.

Nun ist es so weit: Am 1. Juli schwenkte Cassini-Huygens in eine Umlaufbahn um den zweitgrößten Planeten des Sonnensystems ein. Seit den Missionen Pioneer 11 und Voyager 1 und 2 vor mehr als 20 Jahren haben Wissenschaftler ungeduldig auf diesen Tag gewartet.

Titan: Modellsystem für die Erde?

Obwohl seine Oberfläche weit weniger dramatische Vorgänge aufweist als der näher gelegene und größere Jupiter, könnte Saturn wichtige Hinweise auf die langfristige Entwicklung aller Gasplaneten liefern. Saturns Gefolge besteht aus 30 kleinen eisigen Monden und einem weiteren Trabanten, der sogar größer ist als der Planet Merkur. Dieser Mond, Titan, hat eine dichte Atmosphäre, die wie die irdische Lufthülle hauptsächlich aus Stickstoff besteht. Die Wissenschaftler erhoffen sich deshalb Hinweise darauf, wie einst das Leben auf der Erde entstanden sein könnte. Des Weiteren möchten sie

verstehen, woher die Ringe des Saturns stammen und wie das starke Magnetfeld des Planeten die Eismonde und die obere Atmosphäre Titans beeinflusst.

Die Cassini-Huygens-Mission könnte den Erfolg der Sonde Galileo wiederholen, die während ihrer achtjährigen Untersuchungen unser Wissen über Jupiter und seine Monde revolutionierte. Dennoch gibt es fundamentale Unterschiede zwischen den beiden Missionen. Galileo setzte eine Instrumentenkapsel frei, die Jupiters Atmosphäre untersuchte. Der Cassini-Orbiter wird die Huygens-Tochtersonde zu dem Mond Titan und nicht zu dem Gasplaneten Saturn schicken. Und im Gegensatz zu Galileo ist Cassini-Huygens ein wahrhaft internationales Unternehmen: Die Nasa baute den Orbiter und leitet die Mission, die Europäische Raumfahrtbehörde Esa entwickelte die Huygens-Sonde; die Teams, welche die wissenschaftlichen Experimente auf den Raumfahrzeugen betreuen, setzen sich aus Europäern und Amerikanern zusammen.

Die Landung der Eintauchsonde Huygens auf dem größten Saturnmond, Titan, wird einer der Höhepunkte der Cassini-Huygens-Mission sein. Durch die Analyse chemischer Verbindungen in Titans Atmosphäre und auf seiner Oberfläche erhoffen sich die Wissenschaftler Rückschlüsse darauf, wie vor Jahrmilliarden das Leben auf der Erde entstand.



Saturn ist von der Sonne fast doppelt so weit entfernt wie Jupiter – 1,4 Milliarden Kilometer anstelle von 780 Millionen. Allein deshalb schon ist er seit jeher der Forschung schwerer zugänglich. Im Vergleich zu Jupiter weist seine Atmosphäre weniger helle und dunkle Wolkenbänder auf, aus denen sich auf Windströmungen schließen lässt. Saturns Magnetosphäre – die Region, die durch das Magnetfeld des Planeten dominiert wird – ist viel ruhiger als diejenige von Jupiter, welche sogar Radiosignale erzeugt, die auf der Erde zu registrieren sind. Die Atmosphäre Titans entdeckten Astronomen im Jahr 1943, aber bis zum Raumfahrtzeitalter wusste man nur wenig über ihn und die anderen Saturnmonde.

Das erste Raumfahrzeug, das dem beringten Riesenplaneten einen Besuch abstattete, war Pioneer 11. Nach ihrem Vorbeiflug an Jupiter 1974 zog die Sonde fünf Jahre später an Saturn vorbei. Ihre Instrumente entdeckten eine weitere Komponente des Ringsystems (den so genannten F-Ring). Aus großer Entfer-

nung untersuchte sie die Eigenschaften der Saturnatmosphäre und bestimmte die Stärke und Geometrie des planetaren Magnetfelds.

Voyager 1 und 2, die 1980/81 durch das Saturnsystem flogen, verfügten über empfindlichere Kameras und Spektrometer. Mit ihnen wurden unerwartete Strukturen in den Saturnringen entdeckt: dunkle, radiale Striche, die wie die Speichen eines Rads aussehen. Offenbar sind sie auf elektromagnetische Effekte zurückzuführen, die Staub aus der Ringebene herausheben. Dieses Phänomen

sowie andere Messungen zeigen, dass die Größe der Partikel, aus denen die Ringe bestehen, von Staubkörnern bis zu mächtigen Felsbrocken variiert.

Die Voyager-Sonden lieferten auch einzelne Bilder von einigen der vereisten Saturnmonde. Auf den Fotos ist zu sehen, dass unterschiedlich starke Schmelzprozesse die Oberflächen umgestalteten. Aber es war Titan, der für die spannendsten Entdeckungen sorgte. Voyager 1 näherte sich diesem Trabanten bis auf 4000 Kilometer; Titan ist nach Jupiters Ganimed der zweitgrößte Mond im Sonnen- ▷

IN KÜRZE

- ▶ **Nach siebenjähriger Reise** erreichte die Doppelsonde Cassini-Huygens am 1. Juli 2004 den Saturn und schwenkte in eine Umlaufbahn um den Planeten ein.
- ▶ **Bis 2008** untersucht der Orbiter Cassini die Atmosphäre des Riesenplaneten, seine Monde, die Ringe und das Magnetfeld.
- ▶ **Im Dezember 2004** wird Cassinis Tochtersonde Huygens Kurs auf Titan, den größten Saturnmond, nehmen und nach dreiwöchigem Flug in seine Atmosphäre eindringen. Die Oberfläche des Himmelskörpers ist womöglich mit Seen oder Meeren aus flüssigen Kohlenwasserstoffen bedeckt.

▷ system. Dichter orangefarbener Dunst verhinderte zwar den Blick auf die Oberfläche Titans. Doch andere Instrumente maßen Temperatur und Druck der Atmosphäre und fanden heraus, dass Stickstoff das am häufigsten vorkommende Gas ist, gefolgt von Methan.

Die Sonde entdeckte zudem, dass Titans Atmosphäre ähnlich dynamisch ist wie die irdische – nur übernimmt im Wettergeschehen auf dem Saturnmond Methan die Rolle, die auf der Erde dem Wasser zukommt.

Ehrgeiziges Unternehmen

Methan bildet auch die Grundlage organisch-chemischer Reaktionen, die in Titans oberer Atmosphäre ihren Anfang nehmen, wenn die UV-Strahlung der Sonne das aus einem Kohlenstoff- und vier Wasserstoffatomen bestehende Molekül aufbricht. Wissenschaftler vermuten, dass es in diesem atmosphärischen Kreislauf flüssige Kohlenwasserstoffe regnet. Der Niederschlag könnte sich in Seen und Ozeanen auf der Oberfläche sammeln. Die Temperatur auf der Oberfläche – rund 95 Kelvin oder –178 Grad Celsius – ist viel zu niedrig, als dass flüssiges Wasser existieren könnte. Aber für Tümpel aus flüssigen Kohlenwasserstoffen ist sie gerade passend. Leben, so wie wir es kennen, hat sich auf Titan wohl nie entwickelt. Doch die Untersuchung der organisch-chemischen Kreisläufe auf diesem Himmelskörper könnte Hinweise darauf liefern, wie das Leben auf der Erde in ihrer Frühzeit entstand.

Die Ergebnisse der Voyager-Sonden ermutigten die Forscher, einen Orbiter zu planen, der das Saturnsystem ausgiebig untersuchen könnte. Aber in den frühen 1980er Jahren waren die Mittel für die Planetenforschung begrenzt. Vertreter der Nasa und der Esa überlegten sich schließlich, ihre Ressourcen zu bündeln. 1982 und 1983 trafen sich Teams aus Europa und den USA, um gemeinsame Projekte zur Erforschung des Sonnensystems zu entwerfen. Eine Mission zum Saturnsystem stand ganz oben auf ihrer Wunschliste.

Einigkeit bestand darin, mit einem Orbiter Saturns Atmosphäre, Ringe, Monde und Magnetosphäre zu erforschen. Gerungen wurde darum, ob man eine Sonde in die Atmosphäre Saturns oder Titans schicken sollte oder sogar zu beiden Himmelskörpern. Die letzte Möglichkeit musste schließlich aus Kostengründen verworfen werden. Letztlich entschieden sich die Projektplaner wegen der faszinierenden Entdeckungen der Voyager-Sonde für Titan.

Bis 1985 entwickelte die Esa ein neuartiges Design für eine Eintauchsonde, die mit den Umgebungsbedingungen in Titans Atmosphäre zurecht kommen sollte. Benannt wurde die Kapsel nach dem niederländischen Astronomen Christiaan Huygens, der Titan im 17. Jahrhundert entdeckt hatte. Der Orbiter, der vom Jet Propulsion Laboratory in Pasadena (Kalifornien) gebaut wurde, erhielt seinen Namen von dem französisch-italienischen Astronomen Giovanni Domenico Cassini, der – ebenfalls im 17. Jahrhundert – vier weitere Monde des Saturns sowie eine große Teilung in seinen Ringen entdeckt hatte.

Die gesamten Entwicklungskosten der Mission von etwa 3 Milliarden US-Dollar – von denen die Europäer rund 25 Prozent trugen – sind im Vergleich zu den meisten Planetenmissionen hoch, aber dennoch vergleichbar mit denen anderer Großprojekte wie dem Hubble-Weltraumteleskop.

◀ Während des Vorbeiflugs an dem Saturnmond Phoebe am 11. Juni 2004 fotografierte Cassini den nur 220 Kilometer großen Brocken. Der Himmelskörper scheint sehr viel Eis zu enthalten und an seiner Oberfläche von dunklerem Material bedeckt zu sein.

Der Cassini-Orbiter und die Huygens-Sonde bilden zusammen das größte interplanetare Raumschiff, das je gebaut wurde. Zwölf wissenschaftliche Experimente transportiert der Orbiter und sechs weitere die Eintauchsonde (kleines Bild im Kasten auf S. 54). Inklusive Treibstoff wog Cassini-Huygens beim Start 5,6 Tonnen und war 6,8 Meter hoch. Weil Cassini fast doppelt so weit wie Galileo reisen musste, benötigte das Raumfahrzeug ein aufwändigeres Kommunikationssystem. Die Antennen konstruierte die Italienische Raumfahrtbehörde. Größere Treibstoffvorräte für Bahnkorrekturen und leistungsfähigere Batterien waren ebenfalls erforderlich. Wie Galileo erzeugt auch Cassini seine Energie aus dem radioaktiven Zerfall des Elements Plutonium, dessen Zerfallswärme in Strom umgewandelt wird.

Eiertanz durchs Sonnensystem: Auf verschlungenen Pfaden zum Ziel

Obwohl Cassini-Huygens mit der damals leistungsfähigsten Rakete gestartet wurde – einer Titan-4 der US-Luftwaffe, wobei die oberste Stufe von einer Centaur-Rakete stammte –, war das Gerät viel zu schwer, um direkt zum Saturn geschickt zu werden. Wie es sich schon bei früheren Missionen zum äußeren Sonnensystem bewährt hatte, holte sich Cassini die notwendige Geschwindigkeit durch eine Reihe naher Vorbeiflüge an Planeten, bei denen das Raumfahrzeug jedes Mal etwas beschleunigt wurde. Zwischen 1998 und 2000 passierte Cassini zweimal die Venus sowie je einmal die Erde und den Jupiter.

Während des Vorbeiflugs an Jupiter im Dezember 2000 untersuchte Cassini das Magnetfeld des Riesenplaneten – und ergänzte damit die Messungen der Galileo-Sonde, die den Riesenplaneten in geringerer Distanz umrundete. Erstmals überhaupt wurden derartige Messungen simultan vorgenommen. Die Analyse ergab, dass Jupiters Magnetosphäre unsymmetrisch ist: An einer Seite treten ungewöhnlich viele Ionen und Elektronen aus. Cassini lieferte auch bemerkenswerte Bilder von Jupiter, auf denen selbst feine Details der turbulenten Atmosphäre zu sehen sind.

Die komplizierte Reiseroute bot noch einen weiteren Vorteil: Die Nasa und die Esa hatten ausreichend Zeit, ein unvorhergesehenes Problem zu lösen. Im Jahr 2000 fanden die Projektverantwort-

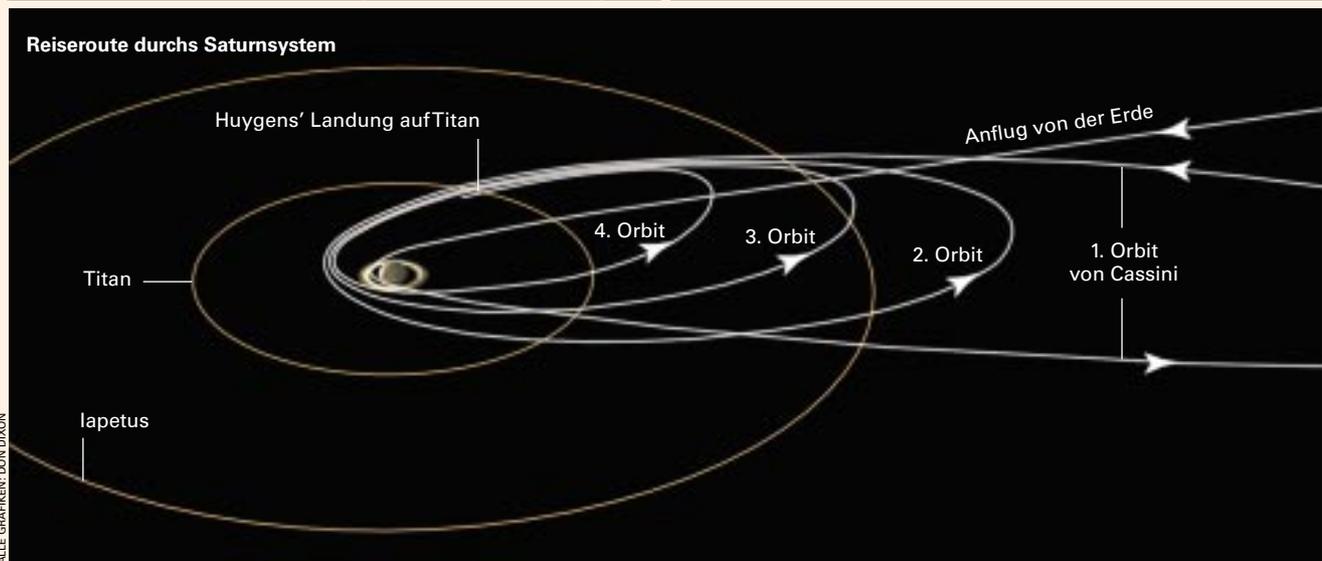
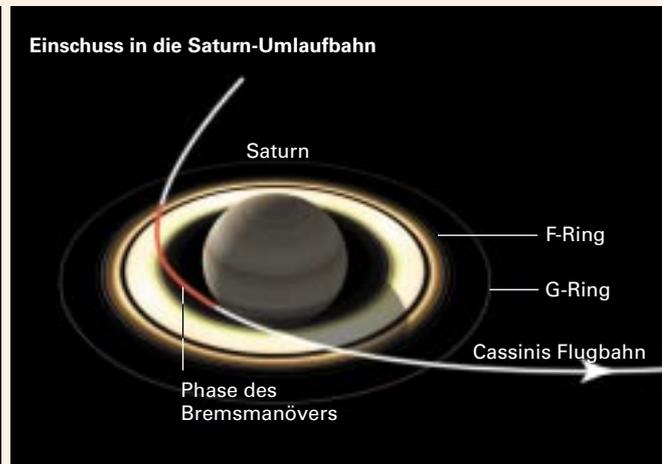
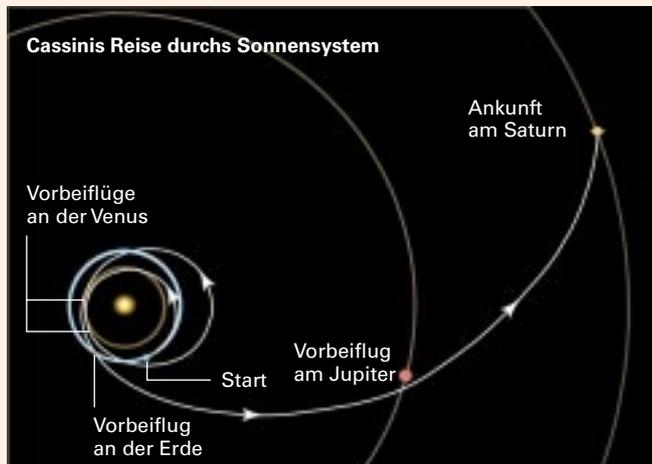


NASA/JPL/SPACE SCIENCE INSTITUTE

Trickreiche Flugroute

Auf ihrem Weg zum Saturnsystem hat die Cassini-Huygens-Sonde mehr als 3 Milliarden Kilometer zurückgelegt. Nach dem Start im Oktober 1997 holte sie durch nahe Vorbeiflüge an den Planeten Venus (zweimal), Erde und Jupiter Schwung, damit sie ihre nötige Reisegeschwindigkeit erreichte (Grafik unten links). Am 1. Juli 2004 ist die Sonde durch die Lücke zwischen Saturns F- und G-

Ring geflogen. Während der größten Annäherung an den Planeten zündete sie ihr Triebwerk entgegen der Flugrichtung. Durch dieses Bremsmanöver (rotes Bahnstück in der Grafik unten rechts) gelangte das Raumfahrzeug in eine elliptische Umlaufbahn. Nachfolgende Bahnkorrekturen verkleinern den Orbit, so dass die Huygens-Sonde den Saturnmond Titan erreichen kann.



lichen einen Designfehler in Cassinis Kommunikationssystem, das während des Abstiegs der Huygens-Sonde zur Titan-Oberfläche Daten empfangen soll. (Der Orbiter dient als Relaisstation für die Datenübertragung zur Erde.) Ein Verbindungstest, in dem die erwartete Doppler-Verschiebung in Huygens' Senderfrequenz simuliert wurde, schlug fehl: Der Empfänger auf dem Orbiter registrierte kein Signal, weil die verschobene Frequenz außerhalb seiner Bandbreite zu liegen kam. Nach monatelangen Beratungen fanden die Experten schließlich eine Lösung: Die geplante Flugbahn wurde so verändert, dass die Relativ-

geschwindigkeit zwischen Orbiter und Eintauchsonde und damit auch die Doppler-Verschiebung kleiner wird.

Cassinis erste nahe Begegnung mit dem Saturnsystem fand bereits am 11. Juni 2004 statt, als sie an Phoebe vorbeiflog, einem Mond, der sich auf einer irregulären Bahn in rund 13 Millionen Kilometer Abstand vom Planeten bewegt. Cassini passierte den 220 Kilometer großen Himmelskörper in nur 2000 Kilometer Abstand (Foto auf der linken Seite). Er fasziniert die Wissenschaftler deshalb, weil er ein Überbleibsel des ursprünglichen Baumaterials sein könnte, aus dem sich vor mehr als 4,5 Milliarden Jahren

die steinigen Kerne der äußeren Planeten formten. Drei Wochen später, am 1. Juli, näherte sich die Raumsonde dem Planeten und durchflog von unten her kommend die Ringebene durch die breite Lücke zwischen dem F- und G-Ring. Um das Raumfahrzeug so weit abzubremsen, dass es in eine Umlaufbahn einschwenken kann, zündete es für 96 Minuten sein Haupttriebwerk entgegengesetzt zur Flugrichtung. Dieses Bremsmanöver, das in nur 18000 Kilometer Abstand vom Saturn erfolgte, brachte Cassini in eine stark elliptische Bahn, die nach und nach durch weitere Bremsmanöver korrigiert wird (Grafik im Kasten oben).

Was Cassini und Huygens erforschen sollen

Das Reiseziel der Cassini-Huygens-Mission ist einer der exotischsten Orte im Sonnensystem: ein gigantischer Gasplanet, umgeben von einem eindrucksvollen Ringsystem, ausgestattet mit einem starken Magnetfeld und umgeben von einem Schwarm eisiger Satelliten sowie einem merkurgroßen Mond. Nachfolgend einige Schwerpunkte des Forschungsprogramms.

Saturn

Durchmesser: 120 536 Kilometer

Entfernung von der Sonne: 1,4 Milliarden Kilometer

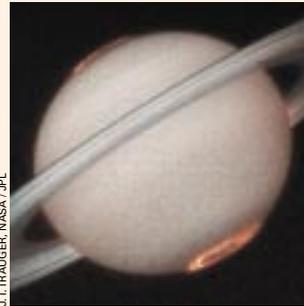


Im Anflug: Cassini nahm dieses Bild im März 2004 auf, als das Raumfahrzeug noch 56 Millionen Kilometer vom Saturn entfernt war. Der Gasplanet besteht hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium, mit geringen Anteilen an Methan und Stickstoff. Seine Masse beträgt rund ein Drittel derjenigen von Jupiter.

Saturn strahlt eine überraschend große Menge an Wärme ab. Laborexperimente und Modellrechnungen weisen darauf hin, dass die Wärme durch Reibung entsteht, wenn Tropfen flüssigen Heliums durch den leichteren flüssigen Wasserstoff in Richtung des Planetenzentrums sinken. Wenn dies zutrifft, sollte der Heliumanteil in der Atmosphäre relativ gering sein.

Voyager 1 bestimmte die Heliumhäufigkeit indirekt mit seinem Infrarot-Spektrometer, aber das Ergebnis war nicht eindeu-

tig. Das Infrarot-Spektrometer auf dem Cassini-Orbiter kann den Heliumanteil genauer ermitteln. Cassini wird auch die von Saturn abgestrahlte Wärme exakter messen. Diese Untersuchungen könnten zeigen, ob sich Helium und Wasserstoff in den tiefen Bereichen des Planeten wirklich trennen.



Magnetosphäre

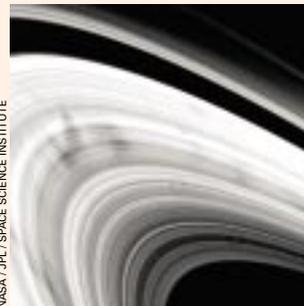
Reicht bis zu 1,5 Millionen Kilometer in Richtung Sonne und 10- bis 100-mal so weit in die Gegenrichtung

Saturns Magnetfeld ist symmetrischer aufgebaut als jenes von Jupiter und erzeugt auch ein viel schwächeres Rauschen im

Radiobereich. Eine Ursache dafür könnte darin liegen, dass das Innere Saturns eine im Vergleich zu Jupiter schlechtere elektrische Leitfähigkeit aufweist.

Dennoch sind die im Magnetfeld des Gasplaneten eingefangenen Ionen energiereich genug, um die vereisten Oberflächen der Monde zu verändern, Titans Atmosphäre zu erodieren, kleine Partikel aus den Ringen herauszureißen und Polarlichter hervorzurufen (wie auf obiger Aufnahme des Hubble-Weltraumteleskops zu sehen). Cassinis Messungen werden dazu beitragen, die ver-

schiedenen Magnetosphären im Sonnensystem – einschließlich des irdischen Magnetfelds – besser zu verstehen.



Ringe

Radius: von 67 000 Kilometer (innerer Rand des D-Rings) bis 483 000 Kilometer (äußerer Rand des E-Rings)

▷ In den folgenden Wochen fliegt Cassini zweimal an Titan vorbei, um die Atmosphäre und Oberfläche des Trabanten zu untersuchen und die Huygens-Mission vorzubereiten. Am 25. Dezember beginnt die Huygens-Sonde dann ihren 20 Tage währenden Flug zu Titan: Am 14. Januar 2005 wird sie in die bis zu 1000 Kilometer dicke Atmosphäre des Monds eintauchen (siehe Grafik im Kasten auf S. 54). Ein untertassenförmiger Hitzeschild schützt die Kapsel vor den hohen Temperaturen beim Eintritt in die Gas-hülle. Etwa 170 Kilometer über der Oberfläche werden sich Fallschirme öffnen, die den Abstieg verlangsamen und stabilisieren. Während Huygens durch

den orangefarbenen Dunst schwebt, analysieren der Gaschromatograf und das Massenspektrometer (GCMS) die Zusammensetzung der Atmosphäre. Ein anderes Instrument sammelt und verdampft feste Partikel, damit sie ebenfalls vom GCMS identifiziert werden können. Gleichzeitig werden die Abstiegs-kamera und das Spektral-Radiometer (DISR) der Sonde Bilder der Methanwolken aufnehmen, damit die Wissenschaftler deren Größe und Form ermitteln können.

Ab einer Höhe von etwa 50 Kilometer wird das DISR mit Panorama-Aufnahmen der darunter liegenden Landschaft beginnen. Auf den letzten weni-

gen hundert Metern des Landeanflugs beleuchtet eine auf der Sonde montierte Weißlichtlampe die Oberfläche. Normalerweise würde diese schmutzig rot erscheinen, weil die Atmosphäre den blauen Anteil des Sonnenlichts absorbiert.

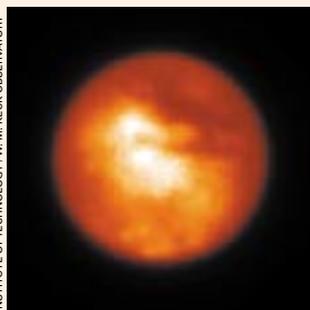
Huygens' Einsatz dauert nur knapp drei Stunden

Die Beleuchtung erlaubt es, mit dem DISR die Zusammensetzung der Oberfläche zu analysieren. Während des gesamten Abstiegs der Sonde werden die Verschiebungen ihrer Funkfrequenz registriert, um daraus Informationen über die Windstärken zu erhalten. Das Huygens Atmospheric Structure Instrument

Rillen und Speichen: Warum sind die Ringe des Saturns – hier in einer Aufnahme von Voyager 2 aus dem Jahr 1981 zu sehen – so viel dramatischer und massereicher als die der anderen Riesenplaneten im Sonnensystem? Und sind die Ringe so alt wie Saturn selbst oder nur kurzlebige Gebilde?

Cassinis Kameras und Spektrometer analysieren die Struktur der Ringe wesentlich genauer, als es frühere Raumsonden vermochten, und liefern so Hinweise auf ihre Entwicklung. Außerdem wird Cassini Funksignale durch die Ringe hindurch zur Erde senden. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf die Eigenschaften der Ringpartikel ziehen. Das Missionsteam wird auch die elektromagnetische Anhebung des Staubs über die Ringebene genauer untersuchen – ein Effekt, der sich auf den Voyager-Aufnahmen als dunkle Streifen auf den Ringen bemerkbar machte. Diese Forschungen können Wissenschaftlern helfen, die Prozesse der Planetenbildung in den erheblich größeren Trümmerscheiben um neu entstandene Sterne zu verstehen.

M. BROWN, A. H. BOUCHEZ, C. A. GRIFFITH, CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY / W. M. KECK OBSERVATORY



Titan

Durchmesser: 5150 Kilometer
Entfernung vom Saturn:
1,2 Millionen Kilometer

Der größte Saturnmond, Titan, ist größer als der Merkur und verfügt über eine Atmosphäre, die dichter ist als jene der Erde. In seiner klimatischen und chemischen Komplexität ähnelt Titan – hier in einer Aufnahme des Keck-II-Teleskops gezeigt – unserem Heimatplaneten. Freilich ist es wegen der Oberflächentemperatur von –180 Grad Celsius äußerst unwahrscheinlich, dass dort Leben existiert.

Doch könnten durchaus gelegentlich chemische Reaktionen auf der Oberfläche stattgefunden haben – angeregt durch Wärme aus dem Innern des Monds oder durch Kometeneinschläge. Wenn große Kometen auftreffen, können sie sogar kilome-

tergroße Seen aus flüssigem Wasser erschaffen, die unter einer dünnen Eiskruste jahrhundertlang bestehen blieben – falls Ammoniak zugegen wäre, das als Gefrierschutzmittel wirkt, sogar noch länger. Einfache Kohlenwasserstoffe und Nitrite in diesen Seen könnten sich in Aminosäuren, Purine, Zucker und andere Lebensbausteine verwandeln. Wie dies auf der Erde vonstatten ging, lässt sich nicht mehr in Erfahrung bringen, da die Hinweise darauf durch das Leben selbst zerstört wurden.

Doch auf Titans Oberfläche sind die Merkmale solcher urzeitlichen Reaktionen möglicherweise erhalten geblieben. Cassinis Kameras und Spektrometer forschen deshalb nach organischen Substanzen und nach Variationen in ihren Ablagerungen.



Die Eissatelliten

Durchmesser: 20 Kilometer (Pan, der kleinste vermessene Mond) bis 1528 Kilometer (Rhea, der zweitgrößte Trabant)
Abstand vom Saturn: 134 000 Kilometer (Pan) bis 23 Millionen Kilometer (Ymir)

Mit Ausnahme von Titan sind Saturns Monde alle kleiner als die Galileischen Monde Jupiters. Ihr Aussehen ist sehr unterschiedlich. Die Oberfläche von Enceladus (hier auf einer Aufnahme von Voyager 2 zu sehen) ist sehr glatt, was darauf schließen lässt, dass sie in jüngster Vergangenheit umgestaltet wurde. Ein solches Phänomen tritt gewöhnlich nur bei Himmelskörpern wesentlich größerer Masse auf. Im Gegensatz dazu zeigt Iapetus eine zweigesichtige Oberfläche: die Seite des Monds, die in seine Flugrichtung weist, ist wesentlich dunkler als die andere.

Um Licht in diese Geheimnisse zu bringen, wird Cassini mehrere der Satelliten aus der Nähe fotografieren und mit seinen Messinstrumenten untersuchen.

(HASI) wird die Temperatur, den Druck und die elektrischen Felder messen, die das Vorkommen von Blitzen anzeigen. Der gesamte Landevorgang wird zwischen zweieinhalb und drei Stunden dauern.

Wenngleich das Hauptziel der Huygens-Sonde die Untersuchung von Titans Atmosphäre ist und keine Vorkehrungen für eine sichere Landung getroffen wurden (was zu teuer gewesen wäre), sind die Wissenschaftler stark an der Oberfläche des Saturnmonds interessiert. Ist sie mit flüssigen Kohlenwasserstoffen bedeckt? Zeigt sie Anzeichen geologischer Aktivität oder organisch-chemischer Evolution? Oder ist Titan nur ein

von Eis überzogener Trabant, dessen Oberfläche mit Kratern übersät ist? Um diese Fragen zu klären, führt die Sonde ein Surface Science Package (SSP) mit sich, das während der Endphase der Landung Schallwellen aussenden wird, um die Rauigkeit der Oberfläche zu ermitteln. HASI wird ähnliche Messungen mit seinem Radar durchführen. Beim Aufprall, der mit der relativ gemächlichen Geschwindigkeit von einigen Metern pro Sekunde erfolgt, werden die Daten der Beschleunigungssensoren an Bord der Sonde sehr schnell durch das SSP weitergeleitet.

Damit soll festgestellt werden, ob der Untergrund hart, schneebedeckt oder

flüssig ist. Sollte die Sonde die Landung überstehen, können für weitere drei bis dreißig Minuten Messwerte zum Orbiter übertragen werden, bevor er hinter dem Horizont verschwindet. Falls Huygens in einem Kohlenwasserstoff-See oder in einem Ozean niedergeht, kann das SSP Temperatur, Dichte und andere Charakteristika des »Gewässers« messen. Die Sensoren können auch die Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit bestimmen und vielleicht auch deren Tiefe ausloten. In der Zwischenzeit wird das DISR Aufnahmen machen und das GCMS wird versuchen, die Kohlenwasserstoffe zu analysieren. Die Huygens-Sonde ist so gebaut, dass sie in Kohlenwasserstoffen

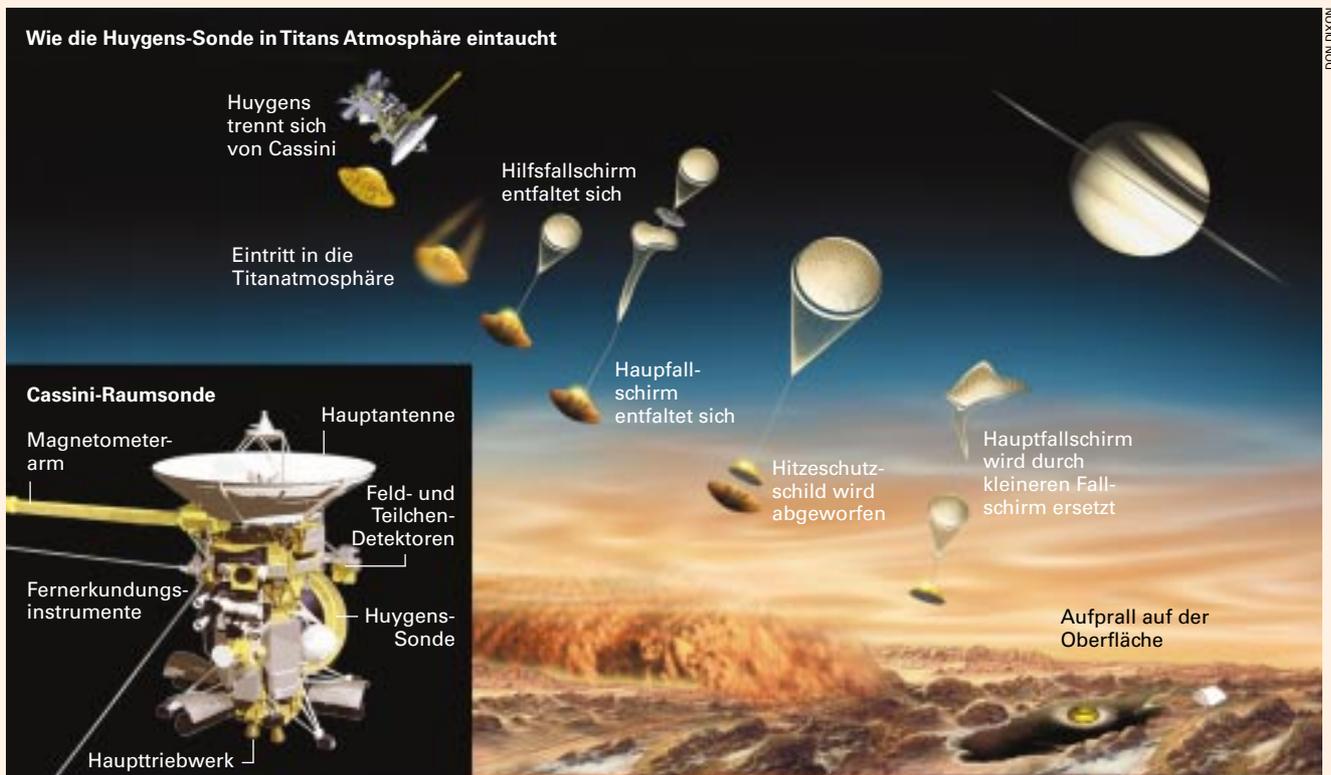
Kundschafter auf Titan

Am 25. Dezember wird der Cassini-Orbiter die 320 Kilogramm schwere Huygens-Sonde freisetzen, die dann am 14. Januar 2005 mit einer Geschwindigkeit von 20000 Kilometer pro Stunde in Titans Atmosphäre eintauchen wird. Etwa 170 Kilometer über der Oberfläche bremsen Fallschirme die Geschwindigkeit ab, und der Hitzeschild wird abgeworfen. Erst dann können die wissenschaftlichen Instrumente an Bord der Kapsel Atmosphäre und Oberfläche des Monats untersuchen. Die Sonde sendet die Daten zum Cassini-Orbiter, der sie dann zur Erde weiterleitet.

Auch der Cassini-Orbiter (kleines Bild) wird bei einigen Vorbeiflügen den Saturnmond Titan untersuchen. Eine Palette des Orbiters enthält zwei Kameras und mehrere Spektrometer. Auf einer zweiten Palette untergebrachte Instrumente untersuchen Saturns Magnetosphäre, also die Region, die vom Magnetfeld des Planeten beherrscht wird, sowie geladene Teilchen, die durch das Feld wirbeln. Andere Geräte messen Staubströme und ana-

lyisieren Partikel, die schnelle Ionen aus den Eismonden herauschlagen. Zudem untersuchen sie die obersten Schichten der Titanatmosphäre, wenn Cassini in 1000 Kilometer Höhe über die Mondoerfläche jagt. Ein Magnetometer, das an einem 11 Meter langen Ausleger montiert ist, wird Stärke und Form von Saturns Magnetfeld ermitteln.

Cassinis vier Meter große Antenne dient nicht nur der Datenübertragung, sondern wird auch als Radar eingesetzt. Die Antenne strahlt Radioimpulse ab und registriert die Echos, die von festen Körpern reflektiert werden. Daraus lassen sich Form und Rauigkeit der Oberfläche ableiten. Zusätzlich wird die Mikrowellenstrahlung Titans gemessen, aus der sich die Temperatur seiner Oberfläche und seiner Atmosphäre ermitteln lässt. Schließlich können mit der Antenne die Atmosphären Saturns und Titans untersucht werden, indem Radiosignale durch sie in Richtung Erde gesendet werden.



▷ schwimmt, obwohl die Dichte dieser Substanzen kleiner als die von Wasser ist.

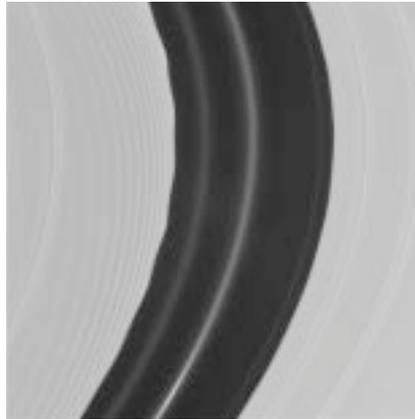
Nach Huygens' Landung wird der Cassini-Orbiter auf seinem vierjährigen Flug durch das Saturnsystem den Trabanten Titan weiter untersuchen. Die meisten der geplanten 76 Saturn-Umkreisungen führen Cassini wieder nahe an dem größten Mond vorbei. Jede Begegnung wird auch Cassinis Umlaufbahn verändern, sodass das Raumfahrzeug auch Nahaufnahmen von Saturns

anderen Satelliten und seinen Ringen machen sowie andere Regionen der Magnetosphäre untersuchen kann. Im Gegensatz zu Galileo und Voyager besitzt Cassini keine drehbare Plattform, mit der sich die Instrumente ausrichten ließen: Um die Entwicklungskosten zu verringern, wurden die Geräte starr am zylindrischen Körper des Satelliten befestigt. Deshalb müssen die an der Mission beteiligten Wissenschaftler ihre Beobachtungen sorgfältig planen, damit die

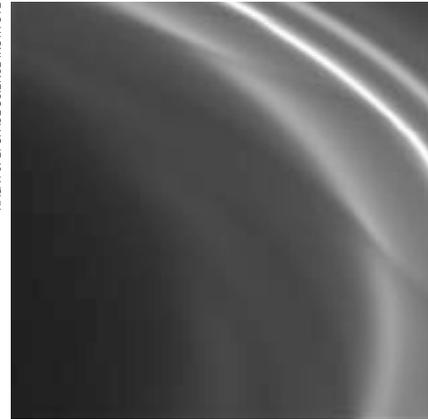
Instrumente in der optimalen Reihenfolge eingesetzt werden können.

Die vielfältigen wissenschaftlichen Experimente, die im Saturnsystem durchgeführt werden sollen, können hier nur angerissen werden (siehe Kasten auf der vorherigen Doppelseite). Mein eigenes Interesse gilt Titan. Neben der Frage, ob sich auf seiner Oberfläche komplexe organische Moleküle entwickelt haben, wollen die Forscher noch viel mehr über diese Welt herausfinden. Auf der Erde ist

► Direkt nach dem Einschuss in die Umlaufbahn fotografierte Cassini die Saturnringe in bisher unerreichter Detailfülle. Der 325 Kilometer breiten Encke-Teilung im A-Ring verleiht ein schmaler Ring in der Mitte das Aussehen einer Straße. Die Wellen am inneren Rand der Lücke werden durch den Mond Pan verursacht, der den Saturn in der Encke-Teilung umrundet (rechts). Der Mond Prometheus wiederum erzeugt die bänderartigen »Verwehungen« im weiter außen gelegenen F-Ring (ganz rechts).



NASA / JPL SPACE SCIENCE INSTITUTE



Wasser verantwortlich für die ständige Umgestaltung der Oberfläche und den Energieaustausch zwischen ihr und der Atmosphäre. Auf Titan übernimmt Methan diese Rolle. Aber da diese Substanz in der Atmosphäre des Saturnmonds durch photochemische Reaktionen abgebaut wird, muss sie fortlaufend nachgeliefert werden – entweder von der Oberfläche, aus dem Inneren oder durch Kometeneinschläge.

Gibt es auf Titan Seen aus Kohlenwasserstoffen?

Die gegenwärtige Methanhäufigkeit auf Titan, wie sie Voyager gemessen hatte, scheint bei einem kritischen Wert zu liegen – gerade genug, um Wolken und Regen aus diesem einfachsten Kohlenwasserstoff zu ermöglichen. Aber die Konzentration ist zu niedrig, als dass reines, flüssiges Methan auf der Oberfläche vorkommen könnte: Methantropfen würden verdunsten, bevor sie die Oberfläche erreichten.

Falls es auf Titan Seen gäbe, bestünden sie höchstwahrscheinlich aus flüssigem Ethan – das durch photochemische Reaktionen in der Atmosphäre des Mondes entsteht –, in dem gewisse Mengen Methan gelöst sind.

Woher kommt das Methan und wohin gehen seine photochemischen Reaktionsprodukte? Diese Frage gehört zu den wichtigsten, welche die Cassini-Huygens-Mission beantworten soll. Sind Methan und Ethan in Seen oder Meeren aus Kohlenwasserstoffen auf Titans Oberfläche vermischt? Neueste Daten des Arecibo-Radioteleskops in Puerto Rico scheinen darauf hinzuweisen. Aber nur der Cassini-Orbiter und die Huygens-Sonde können die Antwort liefern.

Falls das Raumschiff keine Anzeichen für Seen oder Meere findet, dann hatte

Titan in seiner Vergangenheit wahrscheinlich nie genug Methan oder Ethan besessen, um solche Gewässer bilden zu können. Dann wäre die momentane Charakteristik der Titanatmosphäre – in der das Methan einen Treibhauseffekt hervorruft – wahrscheinlich nur ein Zufallsergebnis, hervorgerufen durch einen kürzlich stattgefundenen Kometeneinschlag oder einen Ausbruch aus dem Mondinneren. Letztlich wollen die Planetenforscher herausfinden, woher Titans Gashülle stammt und warum er der einzige Mond im Sonnensystem ist, der eine dichte Atmosphäre besitzt.

Alle Bordinstrumente werden notwendig sein, um die Antworten auf diese Fragen zu finden. Kameras, Spektrometer und das Radar des Orbiters, welches durch Titans dichten Dunst hindurchschauen kann, werden nach Meeren aus Kohlenwasserstoffen suchen, wenn sie die Mondoberfläche kartieren.

Andere Instrumente untersuchen die Wechselwirkung von Titans Atmosphäre mit geladenen Teilchen in Saturns Magnetfeld. Radiosignale, die durch die Atmosphäre des Mondes geschickt werden, zeigen, wie die Temperatur abhängig von Länge und Breite variiert. Durch Kombinieren dieser Ergebnisse mit den Bildern des Orbiters und der Huygens-Sonde kann das Ausmaß des Methanniederschlags bestimmt werden. Zusammen mit Bildern der Methanwolken wird die Sonde auch direkte Temperatur- und Druckwerte liefern. Hinweise auf mögliche Quellen für Methan und Stickstoff auf diesem Mond könnten sich aus zwei atmosphärischen Schlüsselparametern ergeben: der Häufigkeit der Methanmoleküle, die das Wasserstoffisotop Deuterium enthalten, und den Verhältnissen zwischen Stickstoff und den Edelgasen Argon und Krypton.

Nach Cassinis erstem Vorbeiflug an Titan und nach der Landung der Huygens-Sonde wird über die Planetenforscher wohl eine Flut von Entdeckungen hereinbrechen. Und der Strom neuer Erkenntnisse wird nicht versiegen, wenn der Orbiter weiter den Riesenmond beobachtet. Dennoch wird auch die Cassini-Huygens-Mission nicht alle noch offenen Fragen beantworten können. Vielleicht denken die Forscher bald über Ballone, Luftschiffe und Landegeräte nach, mit denen sie Titans dichte Atmosphäre näher untersuchen wollen. Vermutlich wird die lange Entdeckungsreise, die mit Cassini-Huygens begann, noch nicht so schnell enden. ◀



Jonathan I. Lunine ist Professor für Planetenkunde und Physik sowie Leiter des Programms für Theoretische Astrophysik an der Universität von Arizona. Er forscht über die Entstehung und Entwicklung der Planeten und des Sonnensystems. Zudem interessiert er sich für die Prozesse, die zu bewohnbaren Welten führen. An der Cassini-Huygens-Mission arbeitet er als interdisziplinärer Wissenschaftler mit.

Passage to a ringed world: the Cassini-Huygens mission to Saturn and Titan. Von Linda J. Spilker (Hg.). Nasa, 1997

Titan: the Earth-like moon. Von Athena Coustenis und Fred Taylor. World Scientific Publishing, 1999

Lifting Titan's veil: exploring the giant moon of Saturn. Von Ralph Lorenz und Jacqueline Mitton. Cambridge University Press, 2002

Mission to Saturn: Cassini and the Huygens probe. Von David M. Harland. Springer-Verlag, 2002

The Cassini-Huygens mission: overview, objectives and Huygens instrumentarium. Von Christopher T. Russel (Hg.). Kluwer Academic Publishers, 2003

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.