

# **Neues aus unserem Planetensystem Ergebnisse der beiden US-Voyager-Sonden**

von Ernst Göbel, Wien

Die längste und bisher auch erfolgreichste Forschungsreise in den Weltraum begann am 20. August 1977. An diesem Tag startete von Cape Canaveral Voyager 2 an der Spitze einer Titan-Centaur-Rakete zu ihrem schier endlosen Flug durch unser äußeres Planetensystem. Sechzehn Tage später folgte Voyager 1 auf einer direkteren und damit schnelleren Route, um die zuerst gestartete Sonde schon nach wenigen Wochen zu überholen.

Voyager 2 wurde schon bald zum Sorgenkind der Ingenieure. Kaum hatte sie auf Jupiterkurs eingeschwenkt, kam es zu Ausfällen der Radioempfänger und des gesamten Kamerasystems. Doch immer wieder gelang es den Computerexperten am Jet Propulsion Laboratory der NASA in Pasadena alles ferngesteuert zu reparieren bzw. neu zu programmieren, sodaß die Sonde noch

vor ihrer Begegnung mit Jupiter wieder voll funktionsfähig war.

Daß es überhaupt möglich war, eine Sonde bis an die Grenzen unseres Planetensystems zu schicken, lag an der besonders günstigen Stellung der Planeten, die es gestattete, unter Ausnützung des Gravitationseffektes, in einer Art Kettenreaktion die Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun zu besuchen. Freilich ist eine derartige „gravitationsunterstützte Schleudertour“ nur alle 177 Jahre möglich, sodaß die Vorbereitungen dazu unter ziemlichem Zeitdruck standen, wollte man nicht diese seltene Planeten-Konstellation ungenützt verstreichen lassen.

Der Optimismus für dieses Unternehmen hielt sich ursprünglich sehr in Grenzen. So dachte man Anfang der 70er Jahre als die beiden identischen Raumschiffe gebaut wurden, nur an einen Besuch von Jupiter und Saturn. Man vermutete, daß die beiden Roboter ohnehin nicht länger funktionieren würden. Sollte allerdings die erste Sonde einen fehlerfreien Flug bis zum Saturn absolvieren, dachte man, die zweite Sonde noch weiter zu Uranus und Neptun zu lenken. Diese Voyager 2-Sonde hat inzwischen tatsächlich den Flug bis zum Neptun tadellos gemeistert und gemeinsam mit Voyager 1, die nur Jupiter und Saturn besuchte, das Wissen über unser Planetensystem revolutioniert.

Die beiden Satelliten sind praktisch identisch. Sie wiegen je 815 kp und die Durchmesser ihrer Parabolantennen betragen 3,7 m.

Sie sind für eine Vielzahl von wissenschaftlichen Expe-

rimenten ausgerüstet, so u.a.: Untersuchung der kosmischen Strahlung in ihrer Wechselwirkung mit den Magnetosphären der Planeten, Gewinnung von Bildern mit Weitwinkel- und Telekameras, Untersuchung der Planetenatmosphären (Temperatur, Druck, Zusammensetzung) und Messung der Radiostrahlung der Planeten. Abb. 1 zeigt die Reiseroute der beiden Sonden.

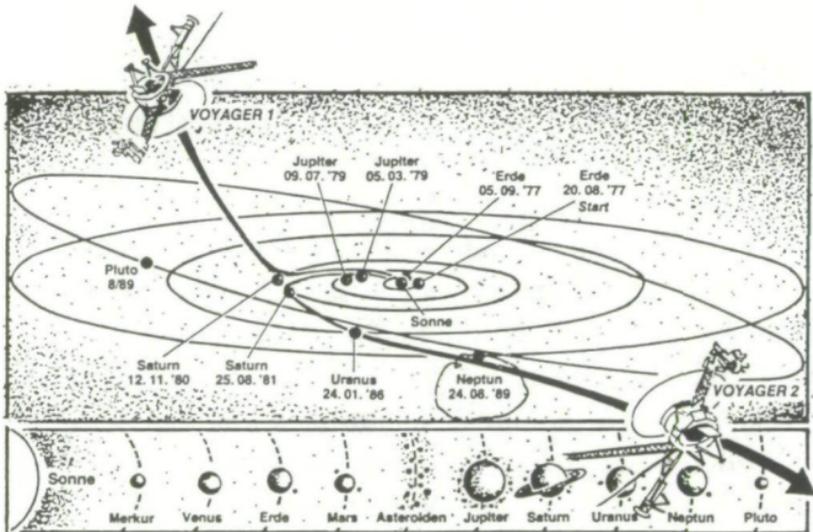


Abb. 1: Reiserouten von Voyager 1 und 2 mit den Daten der jeweils engsten Begegnung

Die Planeten kann man dem Aufbau nach in Erd- und Jupiter-ähnliche unterscheiden. Das wesentliche Merkmal ist dabei die mittlere Dichte. Während die erdähnlichen und zugleich inneren Planeten (Merkur, Venus, Erde, Mars) mittlere Dichten von 4 – 5,5 g/cm<sup>3</sup> aufweisen, zeigen die äußeren Planeten (Jupiter, Saturn,

Uranus, Neptun) nur Dichten von  $0,7 - 1,5 \text{ g/cm}^3$ . Man könnte diese auch als Gasplaneten bezeichnen, da sie vermutlich nur einen relativ kleinen festen Kern besitzen. In ihrem äußeren Durchmesser übertreffen sie allerdings die Erde um ein Vielfaches.

Im Folgenden wird auf die wichtigsten Ergebnisse der Vorbeiflüge an diesen äußeren Planeten näher eingegangen.

## JUPITER

Eineinhalb bzw. zwei Jahre nach ihrem Start erreichten die Sonden den größten unserer Planeten, den Jupiter. Die Bilder von der sturmzerfetzten Atmosphäre dieses Planeten-Riesen (12mal so groß im Durchmesser wie unsere Erde) übertrafen in ihrer Klarheit und ihrem Auflösungsvermögen die kühnsten Erwartungen.

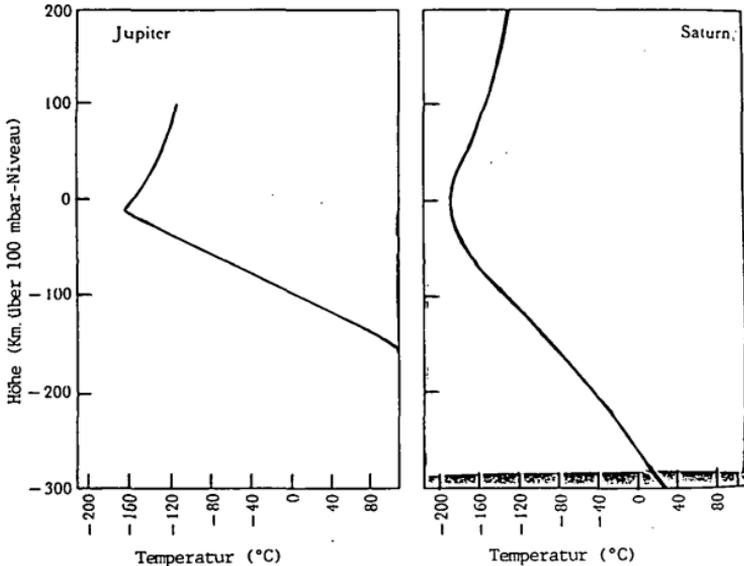
Bisher kannte man nur die auffälligsten, parallel zum Äquator verlaufenden Wolkenformationen, sowie den „Großen Roten Fleck“; offenbar eine riesige Zyklone, die seit ihrer Entdeckung vor rund 300 Jahren ihre Position nicht verändert hat. Der Reichtum an Details, die die Aufnahmen der Sonden lieferten, gestattete eine sehr differenzierte Beschreibung des Wettergeschehens in der Jupiter-Atmosphäre. Verblüffend war nicht nur die Vielfalt an Strömungserscheinungen, wie: Jet-Ströme, Wirbel, Konvektionszellen, Sturmgebiete und gewitterartige Wolkenzirkulationen, sondern auch deren schnelle Veränderung. Hier wurde erstmals deutlich, daß die Energie für eine derartige Dynamik nicht mehr allein von der Sonne geliefert werden kann, son-

dern daß es dafür noch eine, aus den Zeiten der Planetenentstehung gespeicherte Wärmequelle aus dem Inneren, geben müsse. Diese interessante Erkenntnis sollte sich im folgenden auch noch bei Saturn und ganz besonders bei Neptun bestätigen.

Bei der auffälligsten Erscheinung, dem „Großen Roten Fleck“, handelt es sich vermutlich um eine gigantische Konvektionsströmung, durch die Wärme aus großer Tiefe nach oben transportiert wird. Dieser Wirbel dürfte dabei rund 8 Kilometer über das übrige Wolkenniveau ragen. Die Gasmassen bewegen sich entgegen dem Uhrzeigersinn und benötigen für eine vollständige Rotation sechs Tage. Das Spiel der Wolken, die sich teils kreisförmig umeinander bewegen, teils aneinander vorbeigleiten oder sich verbinden und gemeinsam weiterziehen, läßt sich im wesentlichen durch konvektive Auf- und Abwärtsbewegungen atmosphärischer Massen charakterisieren. Allerdings spielt auch die hohe Rotationsgeschwindigkeit des Jupiter (rund 10 Stunden) eine Rolle. Es wurden Windgeschwindigkeiten bis 600 km/h festgestellt.

Die Höhe der Jupiter-Atmosphäre, die hauptsächlich aus Wasserstoff besteht, wird auf mindestens 16.000 km geschätzt. Die Farbtönungen der sichtbaren Wolkenoberschicht geben Hinweise auf weitere Elemente, wie Ammoniak, Methan, Acetylen und bestimmte Phosphorverbindungen. Die Temperatur in einem Höhengebiet entsprechend 5 bis 10 mbar atmosphärischen Drucks (1/200 bis 1/100 des irdischen Oberflächendrucks) liegen im Bereich von  $-110^{\circ}\text{C}$ .

Abb. 2 zeigt den Temperatur-Verlauf in den Atmosphären von Jupiter und Saturn.



Eine weitere Entdeckung betrifft auroraähnliche Erscheinungen im UV- und im sichtbaren Licht (ähnlich dem irdischen Polarlicht), die in drei Schichten in rund 700, 1400 und 2300 km Höhe über der Wolkenobergrenze in der nördlichen und südlichen Polarregion registriert wurden, sowie grelle Blitze in den oberen Wolken. Diese Blitze sind Anzeichen starker elektrischer Entladungen, zu denen es offenbar in der gesamten Jupiteratmosphäre kommt.

Die jovianische Magnetosphäre ist mit mindestens 100 Planetenradien wesentlich ausgedehnter als die der Erde. Die Magnetfeldstärke übertrifft die irdischen Werte um den Faktor 20 bis 30. An der Wolkenobergrenze beträgt die Feldstärke zwischen 3 und 14 Gauss.

Bereits frühere Untersuchungen ließen die Vermutung aufkommen, daß Jupiter ein Ringsystem aus kleinen Teilchen besitzen könnte. Von der Erde aus war das allerdings nicht nachzuweisen. Die Aufnahmen eines solchen schwach leuchtenden Ringsystems brachten die sensationelle Bestätigung. Die äußere Begrenzung verläuft etwa in einer Entfernung von 128.000 km vom Planetenzentrum oder rund 57.000 km von der Wolkenobergrenze. Die Dicke dürfte höchstens 30 km betragen.

### Jupiter-Monde

Naturgemäß wurden beim Vorbeiflug noch weitere Monde entdeckt, Kleinkörper, oft irregulär geformt, die durch gravitative Kräfte eingefangen wurden. Mit Spannung erwartete man aber die Bilder der vier großen Monde: Io, Europa, Ganymed und Kallisto.

Auffallend an Europa ist die Armut an topographischen Formationen, wie Krater, Gebirge, Verwerfungen etc.. Dafür scheint die sehr glatt wirkende Oberfläche von einer Anzahl sich überschneidender Linien durchzogen. Man vermutet, daß Europa eine Eiskruste besitzt, durch die dunkles Material aus dem Inneren nach außen dringt. Das glatte Oberflächenterrain läßt jedenfalls den Schluß zu, daß die Kruste jung und in tieferen Regionen noch warm ist. Als Energiequelle dafür wäre Gezeitenreibung nicht auszuschließen.

Ganymed und Kallisto zeigen im wesentlichen das typische Bild alter Oberflächen: Zahlreiche Einschlagkrater. Während aber Kallisto mit ziemlich gleichmäßig

verteilten Milliarden von Kratern die älteste Oberfläche dieser vier Monde besitzt, besteht bei Ganymed teilweise eine entfernte Ähnlichkeit mit unserem Erdmond. Neben den Kratern prägen seine Oberfläche auch ausgedehnte dunkle Becken, Rillen und Verwerfungen. Eines der Voyager-Bilder zeigte ein Kluftsystem mit einer Breite bis zu 50 km; ein ziemlich sicheres Zeichen für frühere Plattentektonik. Ganymed dürfte auch eine bedeutende Menge an Silikaten enthalten.

Für die größte Sensation sorgte freilich der innerste Jupiter-Mond: Io. Hier wurden von den beiden Sonden acht aktive Vulkane entdeckt! Die Eruptionen dauerten 2 bis 3 Stunden, wobei Ausstoßgeschwindigkeiten um 1000 m/s (Ätna: 50 m/s) und Auswurfhöhen bis zu 250 km gemessen wurden. Bei dem ausgestoßenen Material handelt es sich vorwiegend um Schwefel, Sauerstoff und Natrium. Io's Oberfläche besteht zum größten Teil aus Natrium- und Kaliumsalzen, sowie zahlreichen Schwefelverbindungen.

Man kann annehmen, daß es außer den nachgewiesenen acht Vulkanen, noch zahlreiche weitere gibt. So entdeckten die Voyager-Kameras über 100 Calderen mit Durchmessern bis zu 200 km. Hingegen fehlen die sonst typischen Einschlagkrater fast völlig. Das ist ein Hinweis, daß Io's Oberfläche sehr jung, etwa zwischen 10 und 100 Millionen Jahre alt sein dürfte. Eine mögliche Erklärung für Io's Vulkanismus dürfte ebenfalls die Gezeitenreibung sein: Die Nachbarmonde Europa und Ganymed lassen Io periodisch um etwa 100 m um seine mittlere Bahn schwingen. Dadurch ändert sich die von

Jupiter ausgeübte Gezeitenkraft periodisch, was zu einer Erwärmung des Inneren führt. Der Vulkanismus auf Io war jedenfalls ein Höhepunkt der Voyager-Mission.

## SATURN

Im November 1980 bzw. August 1981 passierten die Sonden den Saturn. Ähnlich wie auf Jupiter ist die Atmosphäre des Saturn von gewaltigen Turbulenzen geprägt, die hauptsächlich durch Konvektion gesteuert werden. Die gemessenen Windgeschwindigkeiten übertreffen noch die auf Jupiter und erreichten Werte bis zu 1500 km/h. Bei 55 Grad südlicher Breite wurde ein über 11.000 km großer Fleck, ähnlich wie auf Jupiter gefunden; das obere Ende einer sehr stabilen und langlebigen konvektiven Zelle. Allerdings befindet sich über der sichtbaren Wolkendecke des Saturn eine im Vergleich zu Jupiter wesentlich dickere nebelartige Hülle, die alles etwas verschwommen erscheinen läßt. Abb. 2

Sehr eindrucksvoll präsentierte sich natürlich der Saturn-Ring, wobei es sich hier um eine Unzahl kleinster Partikel auf eigenen Bahnen handelt. Die von der Erde aus beobachtbare Dreiteilung des Ringes ist dabei einer fast unübersehbaren Fülle von Einzelringen, ähnlich den Rillen einer Schallplatte, gewichen. Auch wenn die Sonden bei Jupiter und auch Uranus Ringe nachweisen konnten, bleiben die Ringe des Saturn die weitaus auffälligsten und die einzigen von der Erde aus sichtbaren.

### Saturn-Monde

Bis zum Eintreffen der Sonden wurde der Saturnmond

Titan als größter Mond unseres Planetensystems angesehen. Titan wird aber als einziger Mond von einer dichten Atmosphäre umhüllt, die ihn größer erscheinen läßt. Die aktuellen Messungen ergaben einen Durchmesser von 5120 km; damit ist der Jupiter-Mond Ganymed mit 5276 km der größte Mond. Wegen seiner Atmosphäre ist aber Titan einer der interessantesten Monde überhaupt. Aus spektroskopischen Beobachtungen von der Erde aus war nur bekannt, daß ein Bestandteil der Atmosphäre das Methan sein müsse. Nach den Vorbeiflügen der Sonden können wir uns heute ein ziemlich genaues Bild von der Welt des Titan machen.

Die Atmosphäre besteht zu 80 % aus Stickstoff, weiters aus Methan, Argon, molekularem Wasserstoff, sowie einer ganzen Reihe von Kohlenwasserstoffen und Kohlenstoff-Stickstoff-Verbindungen (Äthan, Propan, Acetylen, Blausäure etc.). Der atmosphärische Druck auf der Titanoberfläche ist eineinhalbmal so hoch wie auf der Erde (1,5 bar). Da die Fallbeschleunigung auf Titan nur 1/7 des Erdwertes beträgt, lastet auf jedem Quadratcentimeter rund die zehnfache Gasmenge wie auf der Erde. Die Oberflächentemperatur liegt bei  $-180^{\circ}\text{C}$  und dürfte von den Polen zum Äquator nur um drei Grad schwanken.

Bei dieser Temperatur kommt Methan auch flüssig vor. Vermutlich wird Titan von einem riesigen Methanozean umschlossen, der von Kontinenten aus Eis, bedeckt mit Aerosolen und Stickstoffverbindungen, unterbrochen wird. Wegen der dichten Atmosphäre, aber auch wegen

der hundertmal schwächeren Sonneneinstrahlung als auf der Erde, dürfte es an seiner Oberfläche kaum heller sein als in einer irdischen Vollmondnacht. Zeitweise fällt aus den Methanwolken Methanregen. Die reduzierende Titan-Atmosphäre ähnelt sehr der irdischen Uratmosphäre vor rund 4 Milliarden Jahren, als sich in der Ursuppe die ersten Bausteine des Leben bildeten. Allerdings liegt die Temperatur der Titanoberfläche um *rund 300 Grad tiefer als seinerzeit auf unserer Erde*. Die Meinung mancher Forscher, man müßte nur ein paar Quadratkilometer der Titanoberfläche erwärmen und man könnte die ersten Schritte der Evolution nachvollziehen, mag zwar richtig sein, aber nicht realisierbar.

Jedenfalls ist Titan ein so außerordentlicher Himmelskörper, daß noch für die 90er Jahre eine weitere unbemannte Expedition geplant ist. Abb. 3: Aufbau der Titan-Atmosphäre.

## URANUS

Am 24. Jänner 1986 erreichte Voyager 2, die nunmehr ohne ihre Schwestersonde unterwegs war (Voyager 1 hatte nach der Begegnung mit Saturn unser Planetensystem verlassen), den ersten „teleskopischen“ Planeten: Uranus. Uranus war erst nach Erfindung des Fernrohres von W. Herschel 1781 entdeckt worden.

Uranus tanzt im wahrsten Sinne des Wortes aus der Reihe der übrigen Planeten. Während bei allen anderen Planeten Achsneigungen bis zu maximal  $29^\circ$  auftreten (z.B.  $23,5^\circ$  bei unserer Erde) ist die Uranusachse um  $98^\circ$

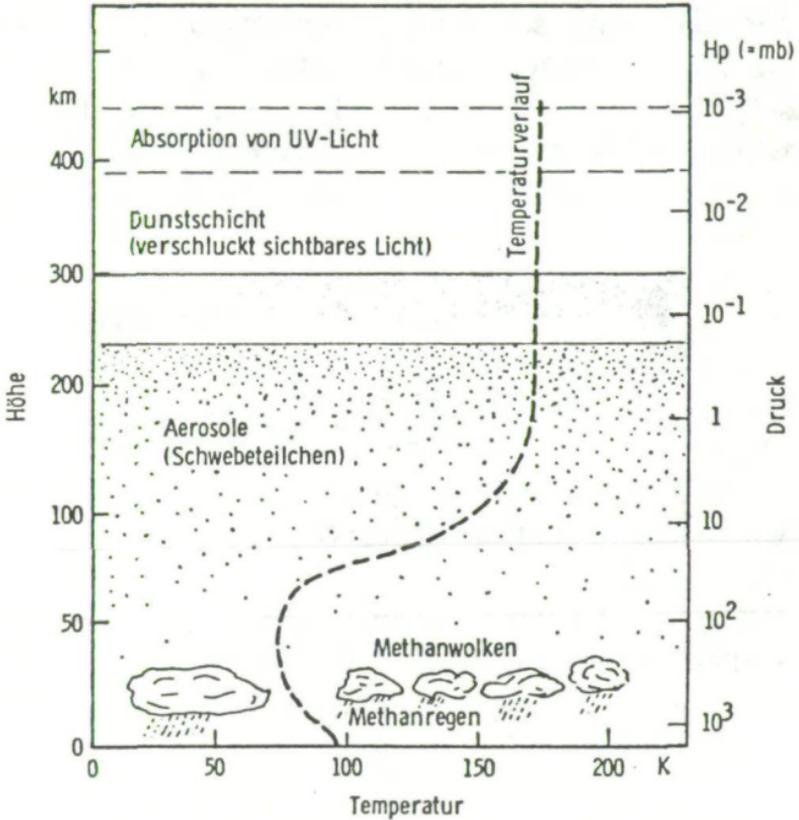
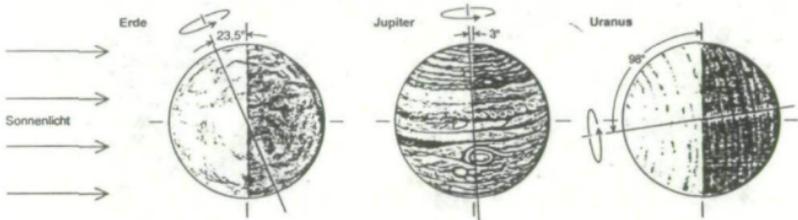


Abb. 3: Aufbau der Titan-Atmosphäre

gegenüber seiner Bahn um die Sonne geneigt, d.h., daß er zeitweise quasi dahinrollt. Er ist somit auch der einzige Planet, für den die Sonne auch an den Polen im Zenit stehen kann. Für das „Klima“ auf Uranus hat das freilich keine Bedeutung, denn in der Entfernung von 2,9 Milliarden km (etwa die 30fache Entfernung Erde-Sonne), erscheint die Sonne nur noch sternförmig und hat auf die Temperatur (rund - 190° C) keinen nennenswerten Einfluß mehr. Die Jahreszeiten lassen sich nur

am Stand der Sonne ablesen und dauern bei einer Umlaufszeit von 84 Jahren nach irdischen Begriffen jeweils 21 Jahre.

Abb. 4: Neigung der Rotationsachsen von Erde, Jupiter und Uranus gegenüber der jeweiligen Bahnebene.



Die Übertragung von Bildern und Meßdaten aus dem fernen Uranussystem war eine grandiose technische Leistung. Die Funksignale waren rund 2,75 Stunden unterwegs. Die Sonde durchraste das Uranussystem mit einer Geschwindigkeit von 72.000 km/h. Die Zeitspanne für Aufnahmen war deshalb nur kurz und wurde noch durch den Umstand weiter verkürzt, daß die Sonde, aufgrund der zur Erdbahnebene fast senkrechten Bahnen der Uranusmonde, durch dieses System wie durch eine Zielscheibe schoß (siehe Abb. 5).

Da das Sonnenlicht im Uranusbereich bereits 360mal schwächer ist als auf der Erde, erforderten die Fotos besondere technische Raffinesse. Es waren Belichtungszeiten von 1 – 2 Sekunden notwendig, was bei der enormen Geschwindigkeit eine exakte Nachführung der Kamera erforderte, um scharfe Bilder zu erhalten. Während Uranus selbst eine fast strukturlose Wolkenhülle zeigt, sind auf den Oberflächen der 5 großen

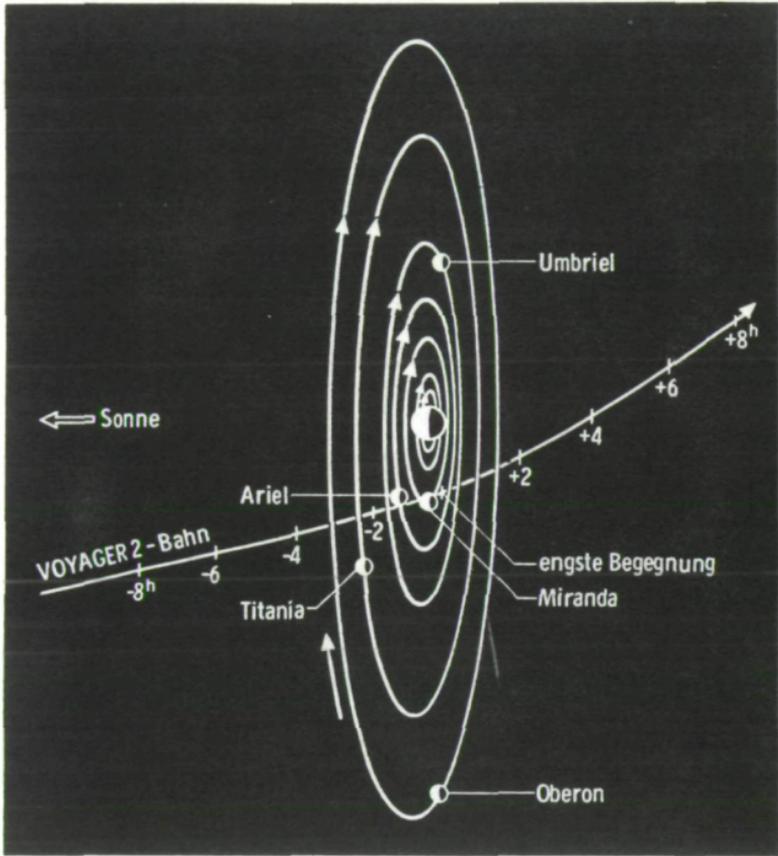


Abb. 5: Voyager 2 Bahn durch das Uranus-System

Uranusmonde eine Fülle von Strukturen und Einzelheiten zu erkennen.

Wohl die bizarrste Oberfläche, die die Kamera-Augen entdeckten, zeigt der Uranus-Mond Miranda. Helle und dunkle Furchen, Grate und Kämmen in teilweise völlig inhomogener Weise wechseln einander ab. Im Gegensatz zu den übrigen Monden zeigt Miranda deutliche Anzeichen früherer tektonischer Aktivität. Die Entstehung einer derartigen Oberflächenstruktur scheint kaum

erklärbar. Man hat fast den Eindruck, daß man es hier mit zwei voneinander völlig verschiedenen Hälften zu tun hat. Die Vermutung mancher Forscher, daß Miranda vor einigen Milliarden Jahren zerbrach und sich anschließend wieder verband, erscheint deshalb nicht ganz abwegig.

Auch bei Uranus wurden noch weitere Monde entdeckt; durchwegs Kleinkörper mit Durchmessern unter 200 km, die zu lichtschwach sind, um von der Erde aus gesehen zu werden.

Das, bei einer Sternbedeckung durch Uranus am 11. März 1997, entdeckte Uranus-Ringsystem, konnte mit vielen Details beobachtet werden.

Bei zwei neuentdeckten Kleinmonden ließ sich eine interessante Funktion feststellen, die ihnen in der Literatur die Bezeichnung „Hirtenmonde“ eingebracht hat: Durch ihre Gravitationswirkung fokussieren sie gleichsam einen der elf Uranus-Ringe, halten ihn also zusammen wie Hirten ihre Herde.

Die mittlere Temperatur der Uranus-Atmosphäre beträgt nur noch  $-213^{\circ}\text{C}$ . Abb. 6 zeigt den derzeit vermuteten Temperaturverlauf in der Uranus-Atmosphäre, bezogen auf eine Zusammensetzung von 88 % H und 12 % He. Die Nullhöhe entspricht dabei einem Planetenradius von 25.600 km; hier beträgt der Druck etwa 100 mbar.

Beobachtungen waren bis in die Tiefe der Gashülle möglich, wo ein Druckniveau von über 2,5 bar auftrat. In der Atmosphäre wurden Windgeschwindigkeiten zwischen 50 km/h und 750 km/h beobachtet.

- 124 -

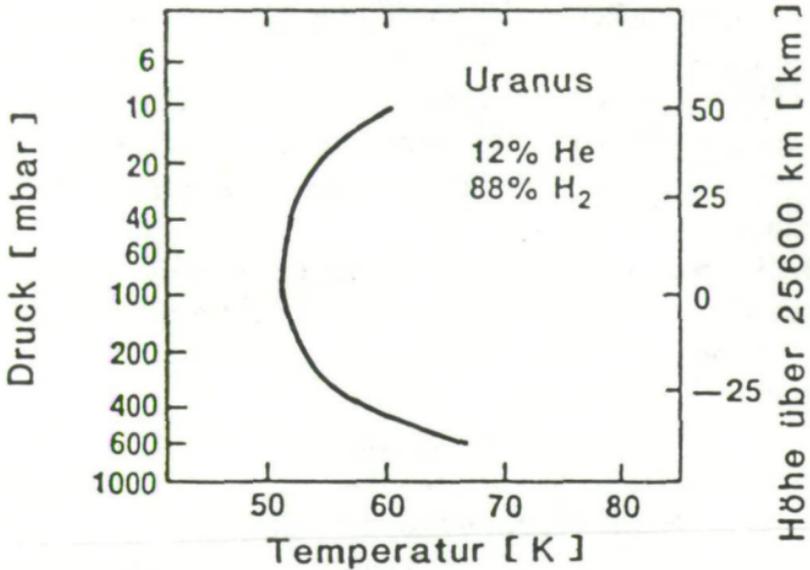


Abb. 6: Temperatur der Uranus-Atmosphäre

Überraschend war die Entdeckung eines ungewöhnlichen Magnetfeldes, dessen Achse gegenüber der Rotationsachse um  $60^\circ$  geneigt ist (Abb. 7). Bei anderen Planeten mit nennenswertem Magnetfeld beträgt diese Neigung maximal 12 Grad. Die Magnetfeldstärke ist dem auf der Erde ähnlich (0,3 Gauß).

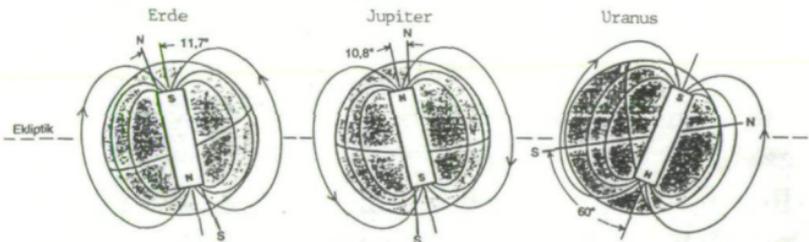


Abb. 7: Neigung der Magnetfeldachsen von Erde, Jupiter und Uranus gegenüber der Erdbahnebene (Ekliptik)

Auf das geheimnisvollste Uranus-Rätsel, warum seine Rotationsachse in der Bahnebene liegt, gibt es auch nach dem Vorbeiflug nur eine unsichere Antwort. Voyager 2 entdeckte im Laufe seiner Reise überzeugende Beweise für gewaltige Kollisionen im frühen Sonnensystem. Einige Monde von Jupiter, Saturn und Uranus zeigen Narben vergangener Einschläge, die heftig genug waren, um sie beinahe zu zerreißen.

Als die, um die neuentstandene Sonne kreisenden Bruchstücke, sich zu planetengroßen Körpern zusammenfanden, müssen die letzten Kollisionen auch die gewaltigsten gewesen sein; vermutlich prallte wenigstens ein Körper von der Größe der Erde mit Uranus zusammen. Ein derart wuchtiger Zusammenstoß könnte, wenn er nicht in Richtung auf das Zentrum erfolgte, den Planeten auf die Seite gekippt haben. Diese Hypothese wird derzeit von den meisten Wissenschaftlern geteilt.

## NEPTUN

Nach 12 Jahren und 4 Tagen erreichte Voyager 2 am 24. August 1989 die letzte Station der langen Reise: Neptun. Dieser zur Zeit sonnenfernste Planet (Pluto befindet sich wegen seiner hohen Bahnexzentrizität noch bis 1999 innerhalb der Neptunbahn), kreist in einer Distanz von 4,5 Milliarden km um die Sonne und benötigt dazu bereits 165 Jahre. Voyager 2 passierte Neptuns Wolkenobergrenze in nur 4.905 Kilometer Entfernung mit einer Geschwindigkeit von 98.405 km/h.

Nach dem eher strukturarmen Eindruck, den die Ura-

nus-Atmosphäre hinterlassen hat, erwartete man von dem letzten Planeten keine sensationellen Bilder – und wurde maßlos überrascht. Neptun zeigte sich wesentlich farbenfroher als erwartet und die Details seiner Wolkenstrukturen deuteten auf Turbulenzen, die nur jenen auf Jupiter vergleichbar sind. Da die Sonneneinstrahlung hier nur noch  $1/30$  derjenigen auf Jupiter beträgt, muß man für die Dynamik der Neptun-Atmosphäre in besonderem Maß die Existenz einer internen Wärmequelle annehmen, die es auf Uranus offenbar nicht gibt. Jedenfalls strahlt Neptun etwa zweieinhalb mehr Wärme ab, als er von der Sonne empfängt.

Besonders auffallend ist ein großer dunkler Fleck, der dem Großen Roten Fleck auf Jupiter sehr ähnlich ist. Auch bei diesem Fleck handelt es sich um einen gigantischen Wirbelsturm etwa vom Durchmesser unserer Erde. Tatsächlich toben auf Neptun Stürme mit Windgeschwindigkeiten bis zu 1100 km/h. Wolkengebirge aus Methan steigen auf, wobei Methan in der Stratosphäre durch das UV-Licht der Sonne in Äthan, Azethylen und andere Kohlenwasserstoffe zerlegt wird. Diese Gase sinken wieder in tiefere und kühlere Zonen ab, wobei sie zu Eisparkeln kondensieren. In der Troposphäre, deren Temperatur bei rund  $-190^{\circ}\text{C}$  liegt, verdampfen diese Partikel und werden wieder zu Methan, welches erneut in Form von Wolken aufsteigt.

Erstaunlich war das Auftreten von Cirren, die über den Wolken liegen. Diese Cirren warfen deutliche Schatten auf die Methan-Wolken darunter, etwas das auf keinem der anderen Planeten Jupiter, Saturn oder Uranus beob-

achtet wurde. Daraus ließ sich ihre Höhe über den dichten Wolken zu 50 km bestimmen.

Die Dynamik des „Wettergeschehens“ auf Neptun zeigte so signifikante Merkmale, daß sich Klimatologen schon bald daran machten, „Wetterkarten“ für die nächsten Tage zu erstellen, die dann auch erstaunlich gut mit der Realität übereinstimmten. Bezogen auf ein atmosphärisches Druckniveau von 1 bar wurde der Durchmesser zu 49.424 km bestimmt.

Auch Neptun zeichnet sich durch ein außergewöhnliches Magnetfeld aus, dessen Achse nicht nur  $50^\circ$  gegenüber der Rotationsachse geneigt ist, sondern gegen diese auch noch um rund 10.000 km versetzt ist. Eine Folge dieses Magnetfeldes sind die beobachteten Polarlichter.

Neptun besitzt zwei größere Monde: Triton und Nereide (Abb. 8). Die Entfernung Tritons von Neptun ist mit 354.000 km derjenigen unseres Mondes sehr ähnlich. Über den Durchmesser dieses Mondes gab es bisher nur Schätzungen, denen das Reflexionsvermögen (Albedo) zugrunde lag. Je nach Annahme dieser Albedo ergaben sich Werte bis zu 6.000 km und Triton wäre damit noch größer als Ganymed oder Titan gewesen. Voyager 2 konnte auch hier Klarheit schaffen. Triton ist von durchschnittlicher Größe. Mit 2.720 km Durchmesser ist er sogar noch deutlich kleiner als unser Erdmond. Seine Oberfläche ist allerdings – im Gegensatz zu unserem Mond – sehr hellglänzend. Seine Albedo übersteigt stellenweise 50 %; für einen Körper ohne nennenswerte Atmosphäre eine absolute Seltenheit. Triton scheint der

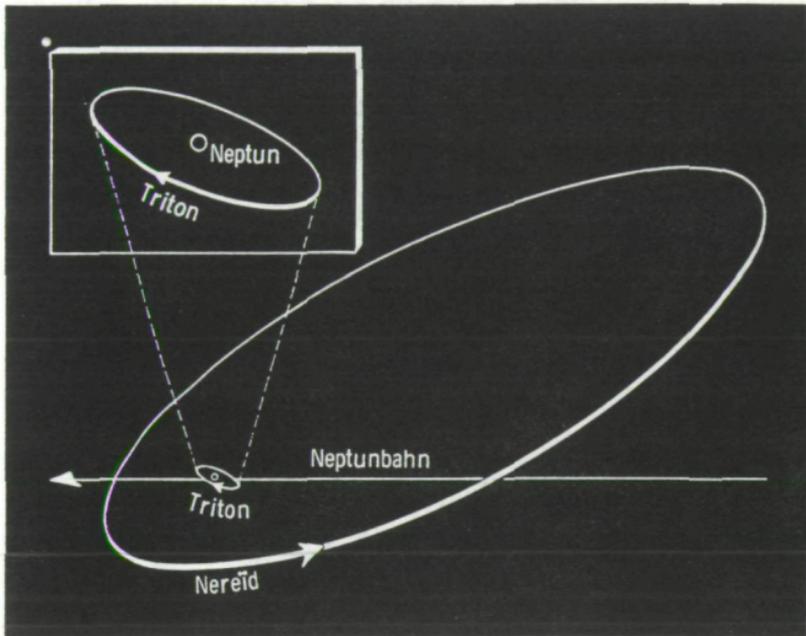


Abb. 8: Bahnen der Neptun-Monde Triton und Nereide  
kälteste Körper im ganzen Sonnensystem zu sein. An seiner Oberfläche herrscht eine Temperatur von  $-236^{\circ}\text{C}$ . Selbst Methan und Stickstoff sind bei dieser Temperatur nur im festen Aggregatzustand vorhanden. Ein völlig unerwartetes Schauspiel bot eine Art „Vulkanismus“ auf Triton. In etwa dreißig Meter Tiefe dürfte es flüssigen Stickstoff geben, der gelegentlich eruptivartig an die Oberfläche dringt. Geysire verspritzen flüssigen Stickstoff in Fontänen über die bizarre Tritonlandschaft. Die außerordentlich dünne Atmosphäre von Triton (ein Hunderttausendstel des irdischen Luftdrucks) könnte man fast schon als Vakuum bezeichnen.

Im Gegensatz zu der fast kreisförmigen Bahn des Triton, umläuft Nereide ihren Planeten auf einer langgestreckten Ellipse, die fast einer Kometenbahn gleicht. Sie ist die exzentrischste Satellitenbahn im Sonnensystem. Ein Umlauf der Nereide dauert fast ein Jahr, wobei sie sich bis auf 10 Millionen Kilometer von Neptun entfernen kann. Nereide ist ein Kleinkörper von 400 km Durchmesser und bezüglich seiner Albedo von 10 % durchaus „normaler“, also dunkler Mond.

Ebenso zeigen die sechs weiteren von Voyager entdeckten Kleinmonde nur finstere Einschlagkrater, deren Oberflächen keinerlei „geo“-logische Veränderung erfahren haben; sie sind sozusagen nur tote Meteoriten-Zielscheiben.

Ein aufgrund von Sternbedeckungen vermutetes Ringsystem um Neptun, hat Voyager 2 bestätigt.

Die Fülle von Informationen, die uns die Sonden gebracht haben, sind noch nicht vollständig ausgewertet und es sind durchaus noch einige Überraschungen möglich.

Voyager 2 hat jedenfalls seine Reise, die längste, die je eine von Menschen gebaute Sonde hinter sich gebracht hat, glänzend absolviert und die kühnsten Erwartungen übertroffen. Mit den Bildern von Neptun wurden die Augen der Menschheit bis an den Rand unseres Planetensystems in über 4 Milliarden Kilometer Entfernung getragen. Wenn in den kommenden Jahrzehnten wesentlich kompliziertere Orbiter um Planeten kreisen werden und unser Wissen über diese Welten weitere

– 130 –

Sprünge nach vorn machen wird, so werden doch die Voyager-Pioniere unvergessen bleiben.

Mit dem letzten Foto vom entschwindenden Neptun am 2. Oktober 1989 war die Voyager-Mission formell beendet; gleichzeitig hat die Interstellare Mission begonnen, von der wir freilich keine Informationen mehr erhalten werden.

Anschrift des Verfassers: Dr. Ernst Göbel  
Institut für Astronomie  
Universitätssternwarte  
Türkenschanzstraße 17  
1180 WIEN

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: [130-131](#)

Autor(en)/Author(s): Göbel Ernst

Artikel/Article: [Neues aus unserem Planetensystem. Ergebnisse der beiden US-Voyager-Sonden. 109-130](#)