



IS ANY DIE INTERSTELLARE FLASCHEN P OUT



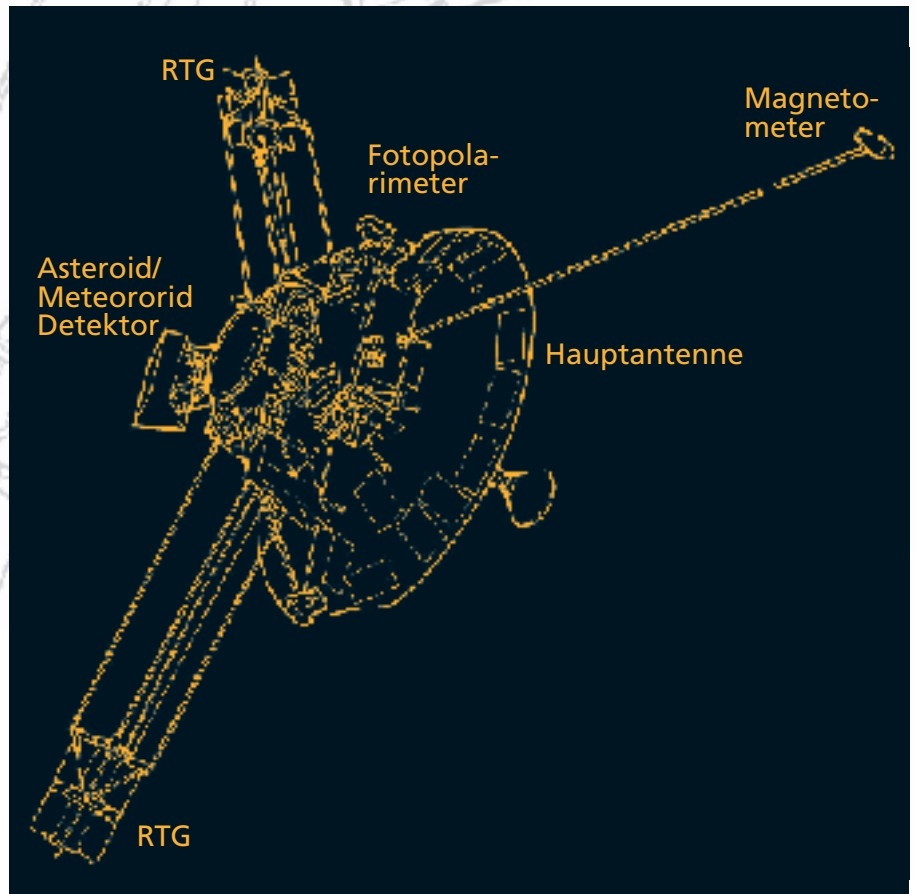
BODY

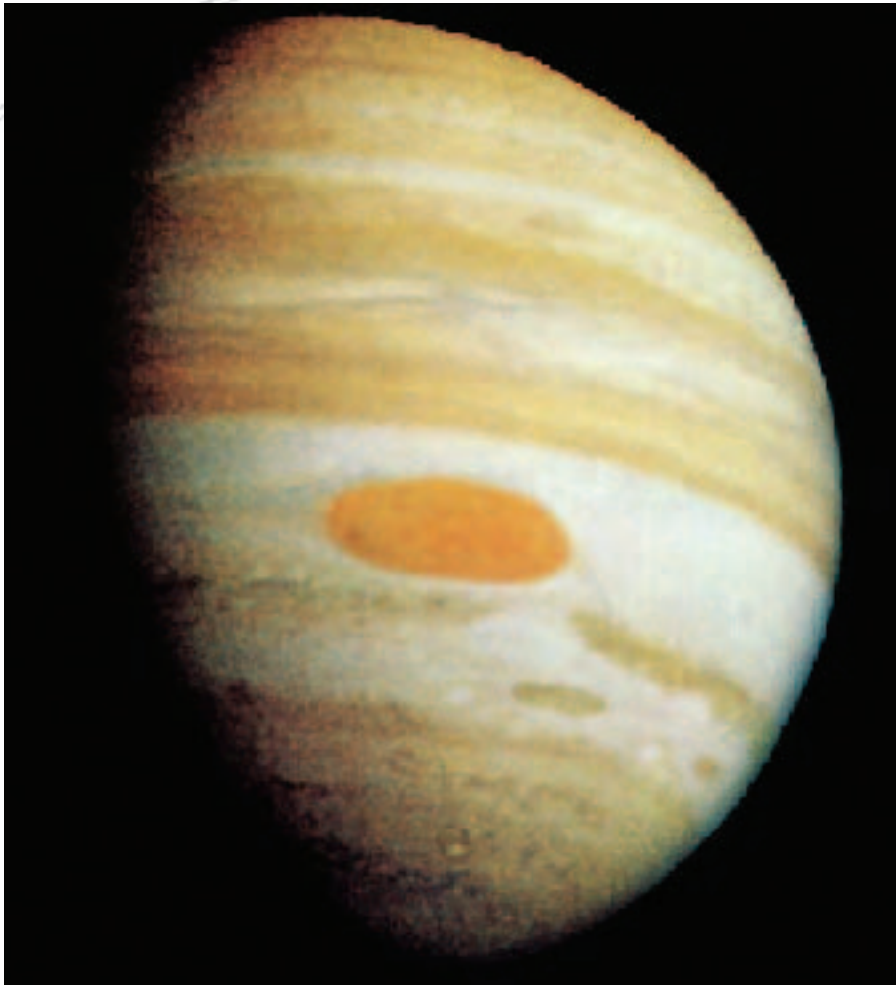
OST AN DIE AUSSERIRDISCHEN

THERE?

Von Tilmann Denk und Jürgen Oberst

Seit dem Start von Sputnik 1 im Oktober 1957 entwickelte sich die bemannte und unbemannte Raumfahrt sehr schnell. In den 60er Jahren war es den Amerikanern und der ehemaligen Sowjetunion gelungen, Raumsonden zum Mond, zur Venus und zum Mars zu schicken. Doch Reisen zu den Riesenplaneten im äußeren Sonnensystem waren noch jenseits der Möglichkeiten der damaligen Technik. Vor allem die schwierige Kommunikation zwischen weit entfernter Robotersonde und den Empfangsstationen auf der Erde war ein großes Problem. Dann sind da auch die langen Flugzeiten, die noch höhere Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Systeme stellen und einen hohen Automationsgrad der Sonde erfordern – mit der Computertechnik der ausgehenden 60er Jahre, wohlge-merkt. Schließlich lässt sich auch die Stromversorgung nicht mehr über Solarzellen sicherstellen, wie dies bei Reisen im inneren Sonnensystem möglich und üblich ist. Neue Wege mussten gefunden werden.





In den 60er Jahren wurden die mathematischen Grundlagen für die Swingby-Technik erarbeitet. Hierbei lenkt man eine Sonde so an einem Planeten vorbei, dass sie diesem ein wenig von seiner Bewegungsenergie „stehlen“ kann. Für den riesigen Planeten macht das keinen Unterschied. Kleine Sonden können dadurch aber merklich beschleunigt werden, so dass sich die Reisezeiten zu anderen Planeten merklich verkürzen. Für Ende der 70er Jahre wurde eine Start Gelegenheit zur Ausnutzung einer seltenen Konstellation der äußeren Planeten vor-

Abb. links: Die wissenschaftlichen Instrumente auf der Sonde Pioneer.

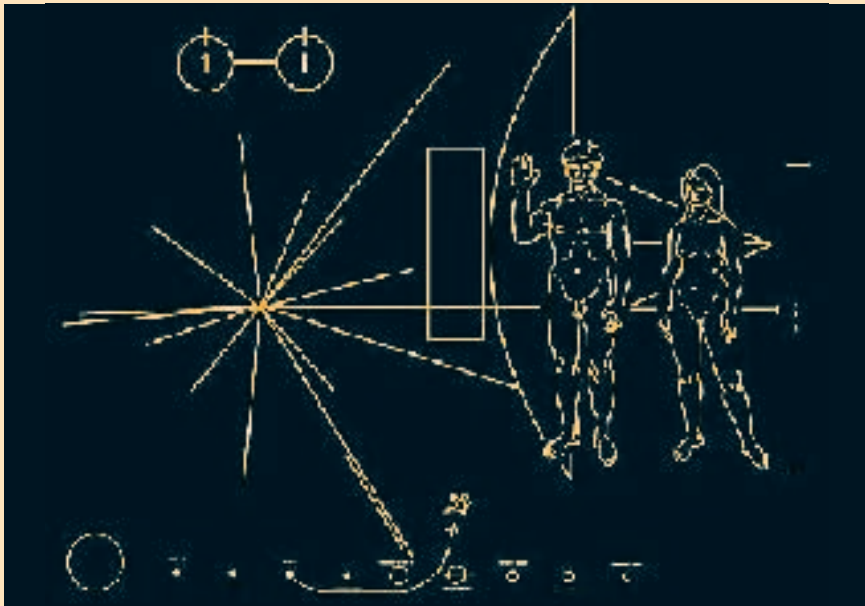
Abb. oben: Das Bild zeigt die gebänderte Wolkenstruktur mit dem Großen Roten Fleck, der als Wirbelsturm identifiziert wurde. Auf dem rechten Bild erkennt man die Polarregion, die ein anderes Wolkenmuster als die Äquatorgebiete aufweist.

hergesagt, bei der Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun direkt mit einer Sonde angefliegen werden konnten. Diese Möglichkeit eröffnet sich nur etwa alle 170 Jahre, wenn Uranus auf seiner Bahn Neptun überholt. Die beiden NASA-Raumsonden Pioneer 10 und 11 hatten somit auch das Ziel, Pfadfinder für diese späteren Missionen zu spielen (die dann als Voyager 1 und 2 tatsächlich als eines der erfolgreichsten Raumfahrtprojekte in die Geschichte eingehen sollten).

Die Pioneersonden hatten eine Reihe von unbekanntem Gefahren zu überstehen. Zunächst war da der Asteroidengürtel, eine „Ansammlung“ von großen und kleinen Gesteinsbrocken, die fast alle ihre Bahnen zwischen Mars und Jupiter ziehen. Man wusste nicht, wie dicht die Materie im Asteroidengürtel gepackt ist; würde eine durchfliegende Sonde durch kleine Trümmerstücke zerstört werden? Eine weitere Gefahr waren die Strahlungsgürtel im extrem starken Jupiter-

magnetfeld, gegen die insbesondere die Elektronik der Sonden geschützt werden mußte. Folgerichtig war die Magnetosphärenforschung der wissenschaftliche Schwerpunkt der Pioneers.

Zwei Sonden waren für den Weg ins äußere Sonnensystem vorgesehen: Pioneer 10 sollte Jupiter erreichen, Pioneer 11 sollte nach einem Jupiter-Swingby sogar bis zum Saturn umgelenkt werden. Beide würden anschließend das Sonnensystem auf Nimmerwiedersehen verlassen. Die Grundphilosophie der Sonden war Einfachheit und Zuverlässigkeit. Ihr Design basierte auf früheren Pioneer-Sonden, die in Erdnähe zum Einsatz gekommen waren. Die Raumflugkörper rotierten innerhalb von 14 Sekunden einmal um ihre Achse, wobei die Drehachse und die Hauptantenne immer zur Erde ausgerichtet waren. Diese Konfiguration ist ideal für Magnetfeldmessungen geeignet, für photographische Aufnahmen weni-



Die Plakette – eine interstellare Flaschenpost und Grußbotschaft an Außerirdische

Die vielleicht „wertvollste“ Fracht an Bord von Pioneer 10 ist eine goldeloxierte, ca. 15 x 23 cm² große und nur gut einen Millimeter dicke Aluminiumplakette. Sie wurde von Francis Drake und Carl Sagan ausgearbeitet und enthält Eingravierungen, die Kunde von uns Menschen und von einigen unserer fundamentalen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und Errungenschaften konkret im Zusammenhang mit der Raumsonde geben.

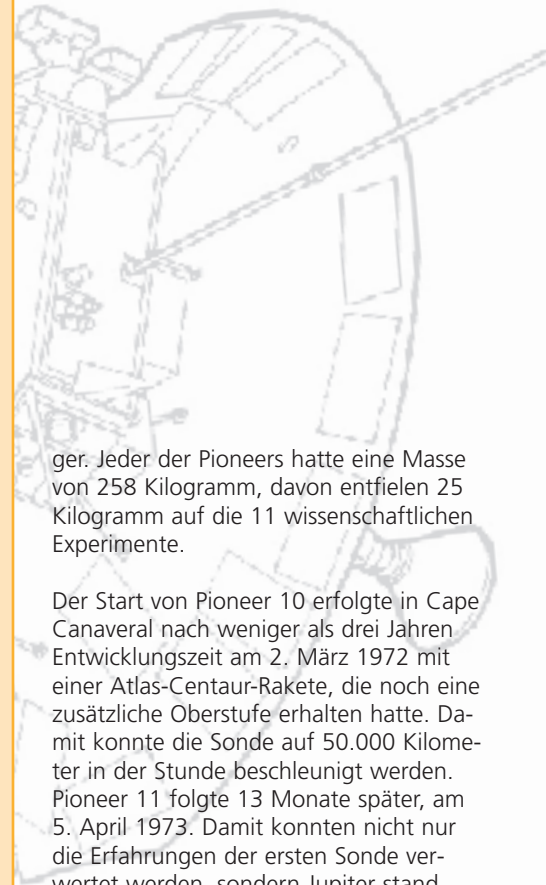
Im unteren Teil der Plakette ist stilisiert unser Sonnensystem mit all seinen Planeten zu sehen. Vom dritten Planeten, von der Erde aus, ist die Flugroute der Raumsonde zu erkennen – und wie sie an Jupiter „Schwung“ holt und das Planetensystem verlässt. Über der Position der Erde liegt ein strahlenförmiger „Stern“, der gleichsam der Absenderstempel der „Flaschenpost“ ist. Er gibt die Positionen von 14 Pulsaren relativ zur Sonne und – binärcodiert – deren derzeitige Rotationsfrequenzen an. Da Pulsare von ihrer Rotationsenergie „leben“, verlangsamen sich im Laufe der Zeit nach einem bekannten Gesetz die Rotationsdauern. Somit ließe sich noch nach Millionen von Jahren das Absenderdatum ablesen.

Über dem „Poststempel“ sind die beiden Spinzustände des Hyperfeinübergangs des neutralen Wasserstoffatoms angedeutet, die gleichsam ein überall im All

gültiges und einheitliches Maß für Zeit- und Längenmessung darstellen. Die resultierende, bekannte 21 Zentimeter-Linie entspricht in etwa acht Zoll (inch). Das Achtfache davon ergibt die Größe jenes mit freundlichem Blick und freundlicher Geste grübenden Menschenpaars, das im rechten Teil der Plakette ins Auge springt und hinter dem die geometrischen Umrisse der Pioneer-Sonde hinterlegt sind.

Die Sonde wird ihre erste „Sternannäherung“ in etwa 33.000 Jahren erleben, wenn sie in drei Lichtjahren Entfernung den Roten Zwergstern Ross 248 im Sternbild Stier passiert. Ross 248 ist ein Stern der 11. Größenordnung und 10,3 Lichtjahre von der Erde entfernt. In zwei Millionen Jahren findet dann eine nahe Begegnung mit Aldebaran, dem Hauptstern des Sternbildes Stieres, statt. Innerhalb von weiteren Millionen Jahren wird Pioneer 10 noch eine Handvoll anderer Sternsysteme besuchen und wahrscheinlich immer noch in den Tiefen des Alls Zeugnis von unserer Existenz im Universum geben, wenn sich die Sonne längst zu einem Roten Riesen aufgebläht hat und wegen der enormen Hitze unsere Erde ein lebensfeindlicher Wüstenplanet geworden ist. Leider werden die Außerirdischen aber nie erfahren, wie wir von hinten aussehen.

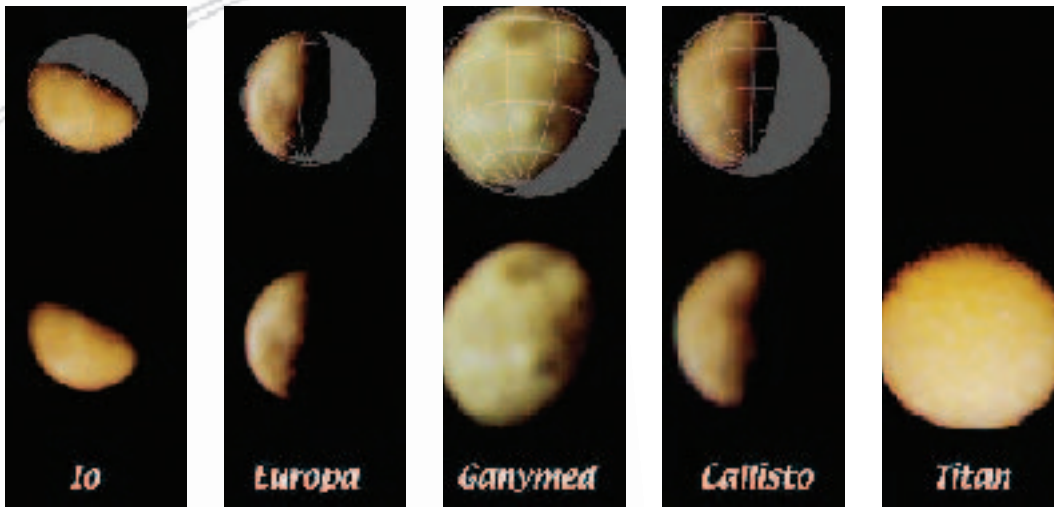
Manfred Gaida ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im DLR, Bonn-Oberkassel. ◀



ger. Jeder der Pioneers hatte eine Masse von 258 Kilogramm, davon entfielen 25 Kilogramm auf die 11 wissenschaftlichen Experimente.

Der Start von Pioneer 10 erfolgte in Cape Canaveral nach weniger als drei Jahren Entwicklungszeit am 2. März 1972 mit einer Atlas-Centaur-Rakete, die noch eine zusätzliche Oberstufe erhalten hatte. Damit konnte die Sonde auf 50.000 Kilometer in der Stunde beschleunigt werden. Pioneer 11 folgte 13 Monate später, am 5. April 1973. Damit konnten nicht nur die Erfahrungen der ersten Sonde verwertet werden, sondern Jupiter stand jetzt auch günstig für ein Swing-by-Manöver in Richtung Saturn.

Pioneer 10 durchquerte den Asteroidengürtel zwischen Juli 1972 und Februar 1973, und zur großen Erleichterung stellte dieser Bereich im Sonnensystem keine Gefahr für Raumsonden dar. Die Magnetopause Jupiters wurde Ende November, eine Woche vor der größten Annäherung an den Planeten, gekreuzt. Die hochenergetischen geladenen Teilchen im Jupiterfeld, die in den kommenden Tagen immer intensiver die Sonde bombardierten, brachten zwar einige Messgeräte bis zum Anschlag und die Computer etwas durcheinander, die Elektronik aber hielt durch. Die Sonde hatte den ersten Jupitervorbeiflug bravourös gemeistert. Drei optische Instrumente waren an Bord: ein Infrarot- und ein Ultraviolettmeßgerät so-



wie ein Photopolarimeter, aus dessen Daten Bilder zusammengesetzt werden konnten, die Details von bis zu 500 Kilometer Größe in der Jupiteratmosphäre zeigten.

Dieser „Belichtungsmesser“, der an ein kleines 1-inch-Teleskop angeschlossen war, nutzte die Rotation der Sonde aus, um Bilder zu gewinnen. Er besaß zwei Farbfilter (Rot und Blau) und konnte 64 Graustufen unterscheiden. Bei jeder Rotation der Sonde konnten dadurch 512 Pixel in jeder Farbe aufgenommen werden. Das Gesichtsfeld des Sensors war 2,9 mrad groß. Zum Vergleich: Das Bildfeld des 1.024 mal 1.024 Pixel großen CCDs der Cassini-Sonde ist über 6,1 mrad groß. Cassinis Bilder sind somit etwa 500 mal schärfer.

Neben den Aufnahmen gelangen Messungen des Magnetfeldes und der Wärmeabstrahlung des Planeten sowie des Heliumgehalts in der Atmosphäre. Pioneer 10 verschwand auch für kurze Zeit hinter dem Planeten, so dass Funk-signale in Hinblick auf ihre vertikale Struktur in der Atmosphäre analysiert werden konnten.

Die Magnetfeldmessungen stärkten die Zuversicht, dass Pioneer 11 sehr nahe an Jupiter herangeführt werden könnte. Dies wäre notwendig, wenn ein Swing-by-Ma-növer zur Umlenkung der Sonde in Richtung Saturn durchgeführt werden sollte. Tatsächlich kam Pioneer 11 bis auf

43.000 Kilometer an Jupiters Wolken-decke heran. Die nächste Annäherung fand über südlichen Jupiterbreiten statt, so dass nicht nur einzigartige Daten der Polregion gewonnen werden konnten, sondern die Sonde anschließend in einem hohen Bogen in Richtung des auf der anderen Seite des Sonnensystems weilenden Saturn geschleudert wurde. Auf dieser Bahn gelangte sie in Regionen im Sonnensystem, die über 150 Millionen Kilometer nördlich der Ekliptikebene liegen und bisherigen Messungen nicht zugänglich waren. Nach dem erfolgreichen Jupiter-Vorbeiflug wurde Pioneer 11 in Pioneer Saturn umbenannt.

Im Spätsommer 1979 wurde der Ring-planet erreicht. Sehr ungewöhnlich war, dass Pioneer Saturn beim Anflug die fast vollbeleuchtete Saturnscheibe beobachten konnte, und gleichzeitig auch die unbeleuchtete Seite der Ringe im Blickfeld hatte. Dies erklärt, warum die Ringe in den Pioneer-Bildern so merkwürdig aussehen: Hier erscheinen die Lücken und staubreichen Gebiete, durch die das Sonnenlicht dringen kann, am hellsten, während die mit großen Teilchen dicht gepackten Ringgebiete fast kein Sonnenlicht mehr durchlassen.

Die schärfsten Aufnahmen des Planeten wurden zwei Stunden vor der größten Annäherung gewonnen und zeigen Details von bis zu 100 Kilometern Größe. Die Äquatorebene von Saturn wurde

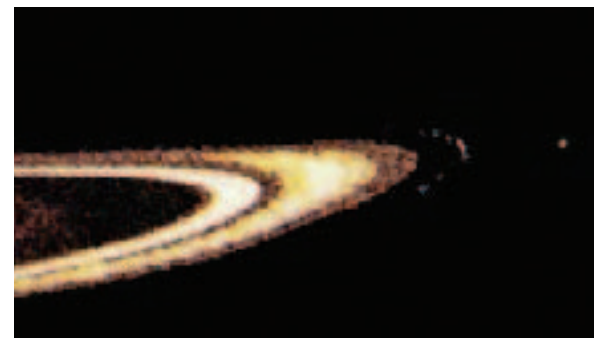


Abb. links: Plakette, die an Pioneer ange-bracht ist.

Abb. oben: Pioneer-Bilder der Galileischen Monde des Jupiter und des großen Saturn-mondes Titan.

Abb. Mitte: Detailaufnahme der Saturn-ringe, rechts der neu entdeckte Mond 1979S1.

Abb. unten: Saturnaufnahme von Pioneer Saturn beim Anflug im September 1979.

außerhalb des Ringsystems durchflogen. Lange Zeit war diskutiert worden, die Sonde zwischen dem inneren Ring und der Wolkenoberfläche hindurchzusenden – also in weniger als 10.000 Kilometer Abstand zum Planeten. Da die Partikeldichte in diesem Bereich aber unbekannt war, konnte niemand sagen, ob Pioneer Saturn dieses Manöver überlebt hätte.

Pioneer Saturn wäre beinahe mit dem damals noch unbekanntem Mond Epimetheus zusammengestoßen. Den Beinahe-Zusammenstoß zeigten die Felder- und Partikel-Messgeräte an, als ein paar Minuten nach dem Durchflug durch die Äquatorebene von Saturn für etwa acht Sekunden fast keine geladenen Teilchen gemessen wurden. Offensichtlich hatte die Sonde das „magnetische Kielwasser“ eines unbekanntem Objektes durchflogen, dessen Größe auf 200 Kilometer geschätzt wur-

de und das nur um wenige Tausend Kilometer verpasst wurde. Dieser Mond wurde provisorisch 1979S2 genannt und stellte sich schon bald als identisch zum Objekt 1979S1 heraus, das 17 Stunden zuvor vom Photopolarimeter aufgenommen worden war und in der Zwischenzeit einmal um Saturn gekreist war.

Als Pioneer Saturn unter dem Ringsystem „wegtauchte“, verschwanden schlagartig die Strahlungsgürtel des Magnetfeldes. Tatsächlich ist der Bereich über und unter den Ringen eine Region, die praktisch frei von geladenen Teilchen ist, da die Ringpartikel alles absorbieren, was sich nicht parallel zu ihren Bahnen bewegt. Jetzt flog die Sonde auch für einige Stunden über dem beleuchteten Teil der Ringe. Bei einem Abstand von weniger als 10.000 Kilometern wären phantastische Aufnahmen möglich gewesen – wenn nicht die Geschwindigkeit der Sonde von über

140.000 Kilometern in der Stunde die Bilder verschmiert hätte. (So wird es Cassini vorbehalten bleiben, am 1. Juli 2004 aus ähnlich kleiner Entfernung Aufnahmen zu machen, dann aber wieder über der unbeleuchteten Ringseite.)

Beim Abflug war erneut der unbeleuchtete Teil der Ringe im Bildfeld. Einen Tag nach dem Saturnvorbeiflug konnte der große Mond Titan aus 363.000 Kilometern Abstand aufgenommen werden. Die Aufnahmen zeigten, dass die Oberfläche keine auffälligen Strukturen über 500 Kilometer Größe aufweist, weder von einer festen Oberfläche noch von Wolken. Diese Strukturlosigkeit wurde nur ein Jahr später von Voyager 1 bestätigt. Auch hier wird es Cassini vorbehalten bleiben, diese Welt zu enthüllen.

Nach der Begegnung mit Jupiter und Saturn stießen die beiden Pioneer-Sonden immer weiter zum Rand des Sonnensystems vor und lieferten lange Zeit Daten zur Dichte kosmischer Teilchen und Strahlung aus diesen fernen Regionen. Jetzt war das Ziel, die Heliopause zu finden. Das ist die Grenze, an der der Einfluss des aus Protonen und Elektronen bestehenden Sonnenwindes endet und der interstellare Raum beginnt.

Lange Zeit hielt Pioneer 10 den Rekord als der Flugkörper mit der größten Distanz zur Erde. Erst Anfang 1998 wurde sie von der etwas schnelleren Voyager-1-Sonde „überholt“.

Pioneer 10 bewegt sich von der Erde aus gesehen etwa in Richtung des Sterns Aldebaran im Sternbild Stier, wird aber noch über zwei Millionen Jahre benöti-

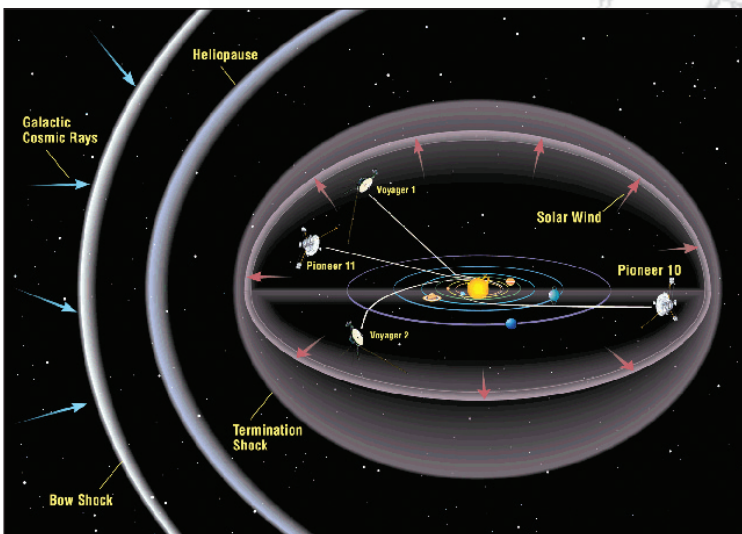
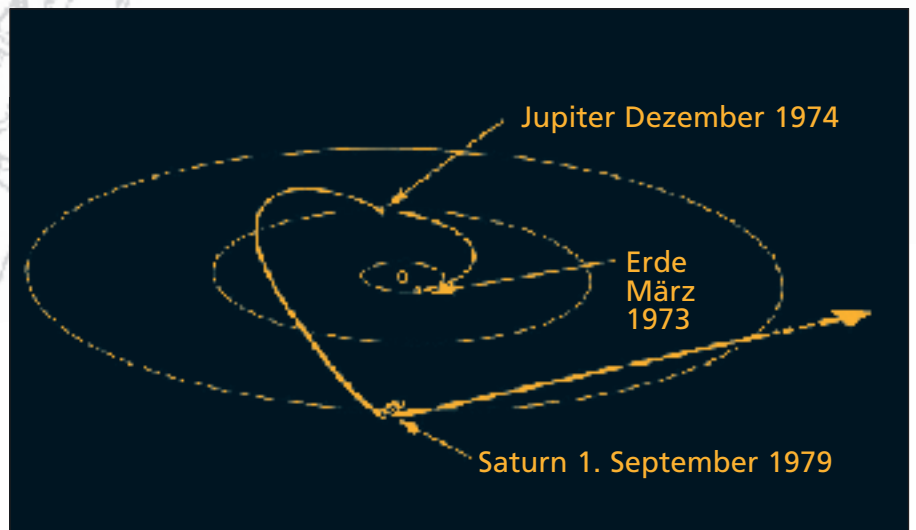


Abb. oben: Vier Raumsonden verlassen unser Sonnensystem: Während Pioneer 10 sich entgegen der Flugrichtung unserer Sonne um das Zentrum der Milchstraße bewegt, eilen die beiden Voyagers und Pioneer 11 der Sonne voraus.

Abb. rechts: Der Weg von Pioneer 11 durch unser Sonnensystem und durch das Saturnsystem.



Daten zu den Missionen Pioneer 10 und 11

| Sonde | Pioneer 10 | Pioneer 11 |
|--------------------------------|------------------|--------------------|
| Start | 2. März 1972 | 5. April 1973 |
| Jupitervorbeiflug | 3. Dezember 1973 | 2. Dezember 1974 |
| Abstand zur Wolkendecke | 130.000 km | 43.000 km |
| Saturnvorbeiflug | – | 1. September 1979 |
| Abstand zur Wolkendecke | – | 21.000 km |
| Missionsende | 23. Januar 2003 | 30. September 1995 |

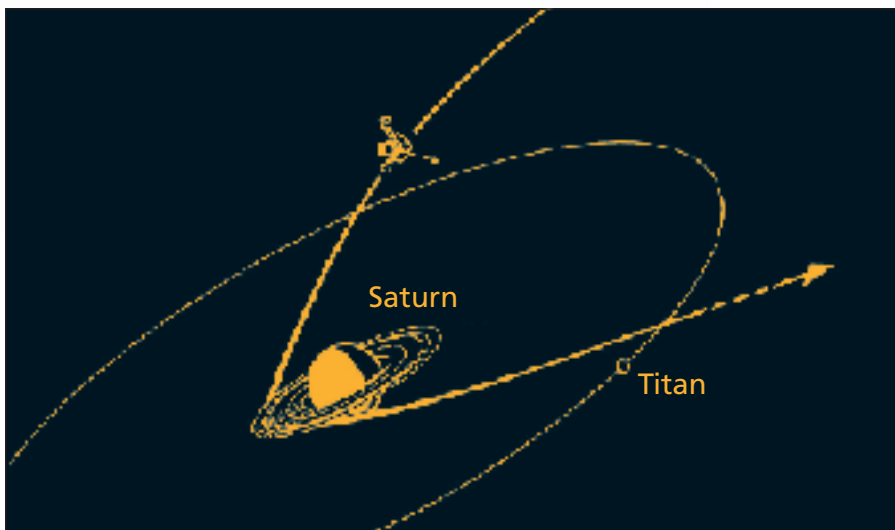
gen, um in seine Nähe zu kommen. Von der Sonde aus rückwärts blickend, befindet sich unsere Sonne als heller Lichtpunkt nahe an Antares, dem Hauptstern im Skorpion. Die wissenschaftliche Mission von Pioneer 10 endete am 31. März 1997. Das allerletzte Signal wurde am 23. Januar 2003 empfangen, die Sonde war schon über zwölf Milliarden Kilometer von der Erde entfernt und bewegt sich zwölf Kilometer in jeder Sekunde weiter von uns weg. Die letzten Telemetriedaten stammen vom 27. April 2002. Pioneer 10 ist nun endgültig, nach über 30 Missionsjahren (!), Geschichte.

Auch von Pioneer 11 werden keine Signale mehr empfangen. Die Mission endete am 30. September 1995, seitdem konnte die Sonde wegen Treibstoffmangels nicht mehr lagestabilisiert werden, so dass auch die Antenne nicht mehr zur Erde ausgerichtet werden kann. Pioneer 11 bewegt sich in Richtung des Sternbildes Adler.

Beide Sonden haben die Heliopause noch nicht erreicht, die in einer Entfernung zwischen acht und 22 Milliarden Kilometern vermutet wird. Dieser Erfolg könnte den beiden Voyagersonden vorbehalten bleiben, die vielleicht noch bis zum Jahr 2020 in Betrieb bleiben könnten. Voyager 1 wäre dann 20 Milliarden Kilometer von der Erde entfernt.

Pioneer 10 und 11 sowie Voyager 1 und 2 werden für viele Milliarden Jahre zwischen den Sternen der Milchstraße kreisen. Sie werden noch existieren, wenn unsere Sonne sich längst zu einem Roten Riesenstern aufgebläht und dabei vielleicht den Ursprungsort der Sonden, die Erde, verschlungen haben wird.

Tilmann Denk und Jürgen Oberst sind wissenschaftliche Mitarbeiter des DLR, Berlin-Adlershof. ◀



Wissenschaftliche Highlights der Pioneer-Sonden

JUPITER

- Erste Nahaufnahmen des Planeten; Beobachtung von Wolkenstrukturen in bislang unbekannter Auflösung.
- Bestätigung, dass Jupiter mehr Wärme ausstrahlt, als er von der Sonne empfängt.
- Erste Messungen des Heliumanteils in der Atmosphäre: Das Verhältnis Wasserstoff zu Helium in Jupiter entspricht dem solaren Verhältnis.
- Niedrigste Atmosphärentemperatur: -165° C bei 0,03 bar Druck.
- Gravitations- und Temperaturmessungen: Jupiter ist ein "fluider" Körper ohne feste Oberfläche (mit Ausnahme eines möglichen festen Kerns).
- Bestimmung der Lage, Form und Stärke des Jupitermagnetfeldes.
- Verbesserungen der Massenbestimmungen der Galileischen Monde.
- Entdeckung einer Ionosphäre des Mondes Io.

SATURN

- Entdeckung eines Magnetfeldes, Bestimmung seiner Ausrichtung, Stärke, Dipolstruktur. Zur Überraschung der Wissenschaftler (und anders als bei Erde, Jupiter, Sonne, Merkur) ist die magnetische Achse praktisch identisch zur Rotationsachse.
- Geladene hochenergetische Teilchen werden von den inneren Monden absorbiert, daher sind die Strahlungsgürtel viel schwächer als bei Jupiter. Die Ringe schaffen sogar strahlungsfreie Zonen.
- Bestätigung einer internen Wärmequelle; Saturn emittiert zweieinhalb Mal mehr Wärme, als er von der Sonne empfängt.
- Weitgehende Abwesenheit von großen, auffälligen, farbigen Wolkenstrukturen wie bei Jupiter, selbst in den Nahaufnahmen.
- Saturn ist ebenfalls ein fluider Körper ohne feste Oberfläche; der Kern wurde auf zehn Erdmassen geschätzt.
- Entdeckung des Mondes Epimetheus in Bildern und durch seinen Einfluss auf das Saturnmagnetfeld; mit diesem Mond wäre Pioneer 11 fast kollidiert.
- Entdeckung des F-Ringes.
- Auch in der Cassini-Teilung der Ringe befindet sich Materie.
- Demonstration, dass der E-Ring von Sonden ohne Beschädigung durchflogen werden kann.
- Die Wolkendecke Titans zeigt keine großräumigen Strukturen.