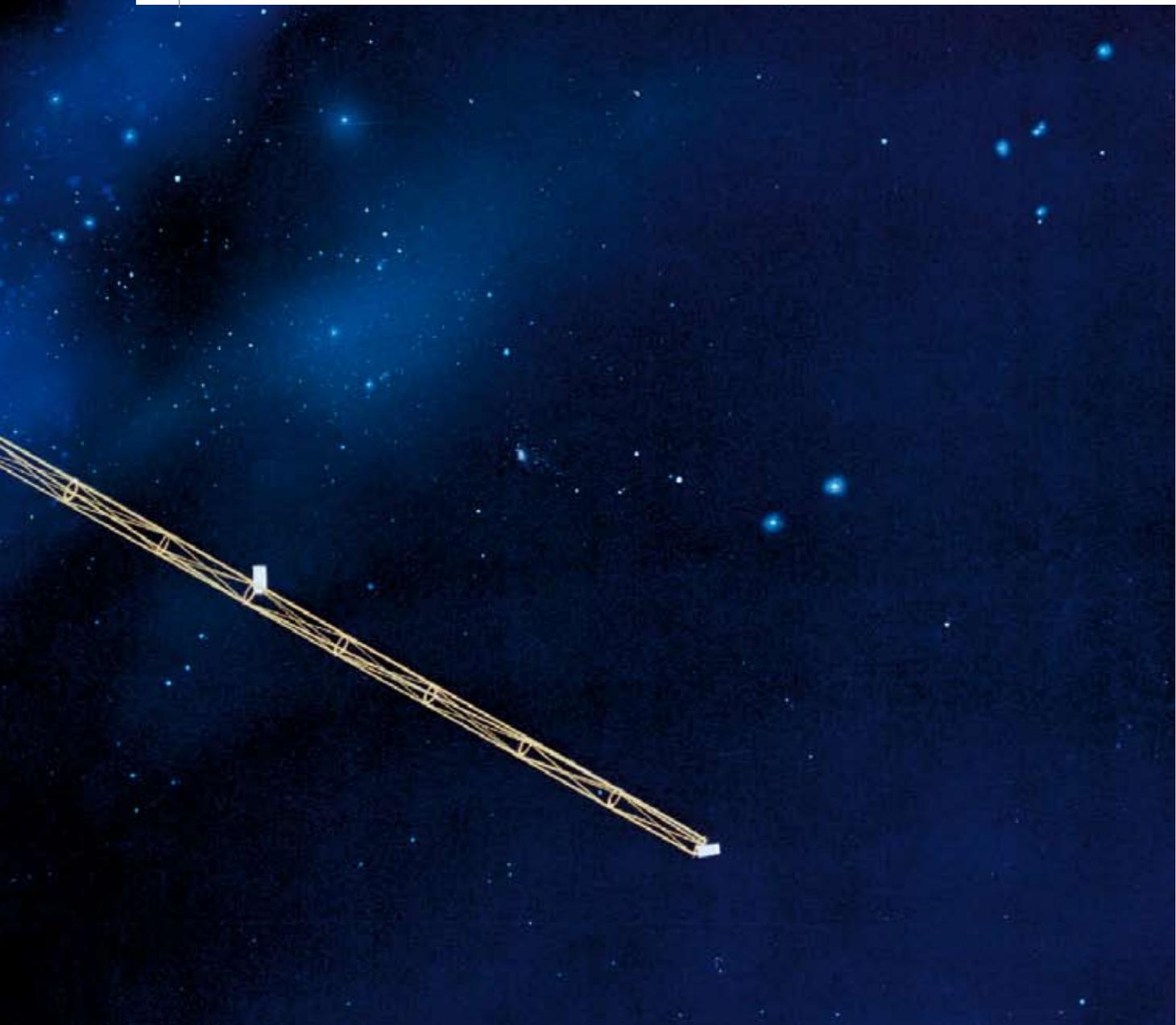




30 Jahre und kein Ende

Am Rand des Sonnensystems treiben zwei baugleiche Raumsonden durch das All. Ihre Reise begann vor drei Jahrzehnten und wurde zu einer der größten Erfolgsgeschichten der unbemannten Raumfahrt.

>> Alexander Kerste



Als die beiden Voyager-Sonden sich 1977 auf ihre Reise begaben, hätte niemand ernsthaft erwartet, dass sie so erfolgreich werden und noch heute Daten liefern würden. Eigentlich sollten sie nur Jupiter und Saturn besuchen. Zwar war bereits in den 1960er Jahren die Idee aufgekommen, eine Raumsonde zu allen vier Gasplaneten zu schicken, aber dies erschien damals als Sciencefiction – immerhin hatte das Raumfahrtzeitalter gerade erst begonnen, und die Mondflüge lagen noch in weiter Zukunft. Ein unbemanntes Raumschiff zwischen 1977 und 1979 zum 4,5 Milliarden Kilometer entfernten Neptun zu senden, schien kaum möglich. Doch nun gab es eine einmalige Gelegenheit: Nur etwa alle 175 Jahre stehen die vier großen Planeten in einer Position, in der sie mit einem einzigen Flug erreicht werden können. Die Sonde, so die Überlegung, könnte beim Vorbeiflug an ihnen Schwung holen, um zusätzlich zu beschleunigen. Swing-by heißt diese Methode, die Mariner 10 erstmals 1974 erprobte, um an der Venus vorbei zum Merkur zu gelangen. Mit dieser Technik würde der Flug zum Neptun keine dreißig Jahre dauern, sondern nur zwölf.

Auf zur »Grand Tour«

Nachdem die letzten Mondflüge Anfang der 1970er auch deshalb gestrichen wurden, weil sich die Öffentlichkeit nicht mehr für den Mond interessierte, suchte die Nasa neue Aufgaben und erinnerte sich wieder an die Möglichkeit einer »Grand Tour« zu den Planeten.

Der Plan sah zunächst vier Raumsonden vor, von denen zwei zu Jupiter, Saturn und Pluto und die anderen beiden zu Jupiter, Uranus und Neptun fliegen sollten. Die veranschlagten Gesamtkos-

ten betrug allerdings fast eine Milliarde Dollar – viel zu viel nach dem sündhaft teuren Apollo-Programm. Auch der Vietnamkrieg belastete das Budget der USA. Für die »Große Tour« war schlicht kein Geld mehr da. Letztlich genehmigte der Kongress 1972 ein wesentlich billigeres Projekt. Für 360 Millionen Dollar durfte die Nasa eine Mission zu Jupiter und Saturn starten: die Voyager-Mission. Zu diesem Zeitpunkt war Pioneer 10 bereits auf dem Weg zu Jupiter, ihre Schwestersonde Pioneer 11 sollte 1973 folgen und über ein Swing-By-Manöver bis zum Saturn weiterfliegen (AH Oktober 2006, S. 20). Im Vergleich mit ihren nun beschlossenen Nachfolgern waren sie jedoch primitiv und lieferten vergleichsweise schlechte Bilder (Fotos rechts).

Die neuen Raumsonden, die erst ein halbes Jahr vor dem Start in Voyager 1 und 2 umbenannt wurden, ähnelten ihren Vorgängern aus dem Mariner-Programm: Eine vier Meter große Parabolantenne saß auf einem achteckigen Ring, in dem Bordcomputer, Datenspeicher und Instrumente untergebracht waren. Auf einigen Auslegern befanden sich weitere Messinstrumente, eine Plutoniumbatterie sowie eine Geräteplattform, unter anderem mit einer Fernsehkamera. Dazu kam ein Treibstoffvorrat für Kurskorrekturen. Auf ihre endgültige Reisegeschwindigkeit kamen die Sonden vor allem durch den Vorbeiflug (Swing-by) an Jupiter.

Gleich drei Computer mit je einem Ersatzgerät waren nötig: einer für die Erfassung und Aufbereitung der Messdaten, einer für die Navigation und einer für die Überwachung des gesamten Raumschiffs. Mit einem Arbeitsspeicher von insgesamt nur 32 Kilobyte waren sie allerdings selbst für die einfachen

Schwarz-Weiß-Fotos, die die Kamera mit einer Auflösung von 640 000 Pixeln lieferte, zu leistungsschwach. Heute können schon Handys größere Bilder verarbeiten, in den 1970er Jahren musste hingegen ein Tonbandgerät eingebaut werden, um die Daten auf Band zwischenzuspeichern. Der Haken dabei: Wenn dessen Spulen anliefen, begann das ganze Raumschiff zu wackeln.

Die Mehrkosten für die Konstruktionen eines zweiten Raumschiffs waren vergleichsweise gering. Daher waren im Sommer 1977 schließlich zwei baugleiche Sonden einsatzbereit. Die Überlegung der Wissenschaftler: Wenn sie zeitversetzt starteten, könnten Fehlfunktionen der ersten bei der zweiten vielleicht vermieden werden. Und wenn alles glatt lief, könnte die zweite Sonde vielleicht doch noch Richtung Uranus und Neptun geschickt werden. Diese Entscheidung sollte allerdings erst 1981 fallen, wenn Voyager 1 hoffentlich ihr Plansoll erfüllt haben würde und die zweite Sonde für weitere Experimente bereitstand.

Tücken der Technik

Die Mission begann mit einem Bilderbuchstart der Voyager-2-Sonde am 20. August 1977 – obwohl sie vor ihrem Zwilling startete, sollte sie Jupiter auf Grund ihrer Route erst nach Voyager 1 erreichen. Einige Stunden später gab es allerdings bereits den ersten Schock. Die Arbeitsplattform mit vier von elf Instrumenten ließ sich nicht vollständig ausfahren und blieb kurz vor der anvisierten Stellung hängen. Erst nach einer Weile konnten die Techniker den Computer so programmieren, dass er das Problem ignorierte.

16 Tage später folgte dann Voyager 1, sie sollte auf einer kürzeren und schnelleren Bahn zum Jupiter fliegen. Doch auch hier gab es wenige Minuten nach dem Start Probleme: Die Sonde kam nur mit Mühe auf ihre Bahn, und im Tank befand sich bloß noch Manövriertreibstoff für drei Sekunden. Wäre sie nicht rechtzeitig dorthin gelangt, hätte Voyager 1 nicht alle Aufgaben erfüllen können. Die Schwestersonde Voyager 2 hätte dann keine Gelegenheit mehr gehabt, die fernsten Planeten zu erkunden.

Entgegen aller Befürchtungen funktionierte Voyager 1 in den folgenden Jahren fast fehlerfrei. Voyager 2 hingegen wurde zum Sorgenkind. Der Empfänger für Befehle von der Erde fiel aus, ebenso das Er-

Voyager-Sonden zum Selbstbasteln

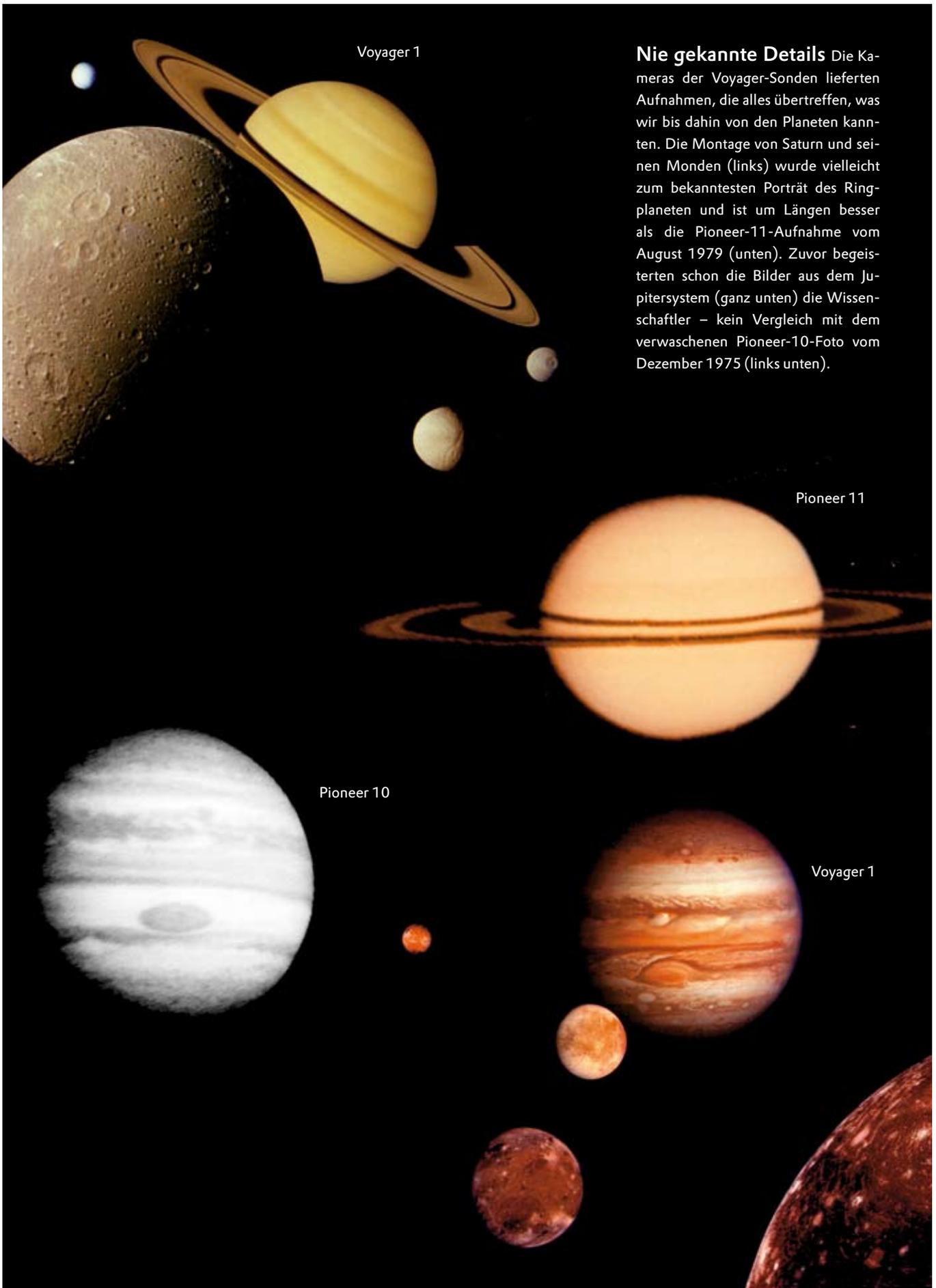
Als Ergänzung zu diesem Beitrag finden Sie unter www.wissenschaft-schulen.de didaktisches Material für einen Beobachtungsabend. Neben Arbeitsblättern, die sich thematisch mit der Voyager-Mission beschäftigen, wird ein Bastelbogen für ein Kartonmodell der Raumsonde angeboten, welches alle wesentlichen Komponenten zeigt.

Unser Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« führen wir in Zusammenarbeit



wissenschaft in die schulen!

mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Donaueschingen durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig gefördert. <<



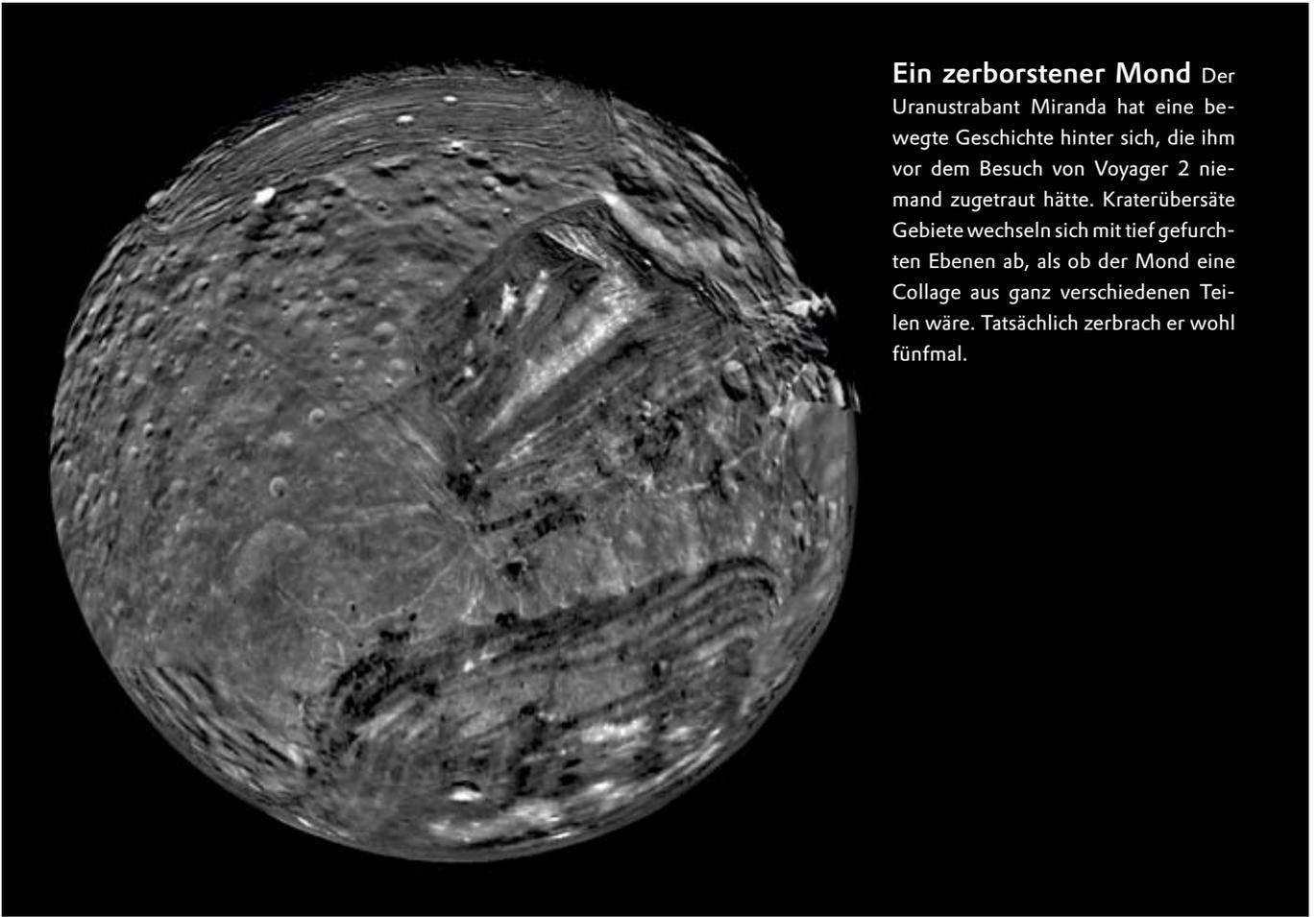
Voyager 1

Nie gekante Details Die Kameras der Voyager-Sonden lieferten Aufnahmen, die alles übertreffen, was wir bis dahin von den Planeten kannten. Die Montage von Saturn und seinen Monden (links) wurde vielleicht zum bekanntesten Porträt des Ringplaneten und ist um Längen besser als die Pioneer-11-Aufnahme vom August 1979 (unten). Zuvor begeisterten schon die Bilder aus dem Jupitersystem (ganz unten) die Wissenschaftler – kein Vergleich mit dem verwaschenen Pioneer-10-Foto vom Dezember 1975 (links unten).

Pioneer 11

Pioneer 10

Voyager 1



Ein zerborstener Mond

Der Uranustrabant Miranda hat eine bewegte Geschichte hinter sich, die ihm vor dem Besuch von Voyager 2 niemand zugetraut hätte. Kraterübersäte Gebiete wechseln sich mit tief gefurchten Ebenen ab, als ob der Mond eine Collage aus ganz verschiedenen Teilen wäre. Tatsächlich zerbrach er wohl fünfmal.

> satzgerät. Dadurch empfing die Sonde nur noch in einem extrem schmalen und ständig wechselnden Frequenzbereich.

Die Computerspezialisten des Jet Propulsion Laboratory (JPL) konnten die Probleme jedoch lösen, und so erreichte an Neujahr 1979 das erste Bild von Jupiter die Erde – aufgenommen aus einer Entfernung von fünfzig Millionen Kilometern. Den Flug durch den Asteroidengürtel hatten beide Sonden zuvor unbeschadet überstanden. 1,5 Millionen Kilometer vor dem Gasplaneten registrierten die Instrumente von Voyager 1 erstmals den Einfluss Jupiters.

Vorbei an Jupiter und Saturn

Die Forscher waren vor allem an Jupiters Atmosphäre interessiert – Sturmgebiete wie der Große Fleck übertreffen alles, was wir von der Erde kennen. Das Interesse an seinen Trabanten hingegen war eher gering: Seit den Apollo-Missionen erwartete man auch bei anderen Monden keine Überraschungen mehr. Dennoch sollten die Sonden auch die vier großen Galileischen Monde besuchen, die von der Erde aus bereits im Fernglas als Licht-

punkte sichtbar sind, und den kleineren Mond Amalthea.

Voyager 1 raste am 5. und 6. März dreißig Stunden lang durch das Jupitersystem, wobei sie durch die Schwerkraft des Planeten wie geplant beschleunigt und in Richtung Saturn abgelenkt wurde. In dieser Zeit übertrug sie nicht nur Bilder des Planeten in nie gekannter Qualität, sondern auch von den fünf Monden, die sie passierte: Jeder sah völlig anders aus, und auf Io gab es sogar Vulkane! Sie waren bei Weitem nicht so langweilig wie zuvor angenommen.

Jupiter hatte noch eine Überraschung parat. Auf einer Aufnahme entdeckten die Wissenschaftler Hinweise auf einen schwachen Ring – vorher waren Ringe nur bei Saturn und Uranus bekannt. Am 9. Juli folgte Voyager 2 und ergänzte unser Wissen um das Jupitersystem mit weiteren Momentaufnahmen, darunter auch 24 Bilder vom neu entdeckten Ring.

Etwa drei Jahre später näherte sich Voyager 1 dem Saturn. Die Sonde brachte in jeder Stunde rund 50 000 Kilometer hinter sich und hatte dabei die Sonne im Rücken: perfekte Bedingungen für

scharfe Bilder. Aus den sechs bekannten Ringen wurden so erst dutzende, dann tausende, deren Anblick sich ständig änderte. Neue Monde tauchten auf den Bildern auf. Ein Ring zeigte sogar speichenartige Strukturen, die über längere Zeit stabil blieben – eigentlich unmöglich, da die Ringe aus tausenden Eis- und Gesteinsbrocken bestehen, die mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten um Saturn kreisen.

Voyager 1 sollte am 12. November 1980 in nur 4000 Kilometer Abstand an dem – wie man glaubte – größten Mond des gesamten Sonnensystems vorbeifliegen: an Titan. Der Preis für die Neugier war hoch, denn dadurch würde das Raumschiff auf eine Bahn gelenkt werden, die ohne weiteren Vorbeiflug an anderen Planeten aus dem Sonnensystem herausführte. Und falls etwas schiefgehen würde, müsste Voyager 2 ihrem Vorgänger folgen und einen neuen Versuch unternehmen – die Grand Tour zu Uranus und Neptun wäre damit gestorben.

Der Saturntrabant stand auf dem Programm, da er als einziger Mond eine sichtbare Atmosphäre besitzt – alle ande-

ren sind entweder zu klein oder zu warm, um eine Lufthülle halten zu können. Titans Atmosphäre, so die Vermutung der Forscher, dürfte ähnlich sein wie die der Erde, bevor dort (das) Leben entstand. Der Mond versprach also interessant zu werden.

Zumindest optisch entpuppte sich Titan allerdings als Flop: Die Monitore auf der Erde zeigten nur eine orangefarbene Kugel ohne jegliche Details. Dafür lieferten die übrigen Instrumente wertvolle Daten über die Zusammensetzung der Atmosphäre. Voyager 2 hatte ein riesiges natürliches Chemielabor gefunden, dessen Smog den Mond einhüllt.

Während die Wissenschaftler sich noch über die Messwerte freuten, ergaben sich für die Techniker neue Probleme. Titan war deutlich kleiner (und damit leichter) als erwartet – einhundert Kilometer kleiner als der Jupitertrabant Ganymed. Voyager 1 wurde daher nicht auf den geplanten Kurs gelenkt. Hinzu kam noch ein Rechenfehler: Der Mond war einhundert Kilometer von der erwarteten Position entfernt. Wie sich jedoch schließlich zeigte, glichen sich die beiden Irrtümer aus und die Sonde schwenkte auf die geplante Bahn ein.

Etwa einen Tag verbrachte Voyager 1 mit der Erforschung des Saturnsystems, bevor sie es in Richtung Unendlichkeit verließ. Viele Saturnmonde entpuppten sich als kleine, rasende Eisbälle, die eher an Kometen denn an unseren Erdmond erinnerten.

Große Tour mit Hindernissen

Am 22. August erreichte auch die zweite Sonde das Saturnsystem, drei Tage später kam sie ihm am nächsten und verschwand schließlich für 95 Minuten im Funkschatten hinter dem Planeten. Als sie wieder auftauchte, knallten im JPL die Sektkorken: Voyager 2 war auf dem Weg zum Uranus, der Grand Tour stand nichts mehr im Weg! Es dauerte einige Zeit, bis die Wissenschaftler bemerkten, dass zwar der Funkkontakt wieder hergestellt war, dass die Monitore aber trotzdem schwarz blieben: Die Kameras zeigten ins Leere. Die Arbeitsplattform mit Kamera, Spektrometer und anderen wichtigen Instrumenten reagierte nicht – später stellte sich heraus, dass eine Antriebswelle gebrochen war. Mit vorsichtigen Manövern versuchten die Ingenieure, die Plattform wieder auszurichten, was ihnen schließ-

lich nach drei Tagen gelang. Zumindest ein Teil des Saturnprogramms konnte so dennoch abgeschlossen werden. Gemeinsam erkundeten beide Sonden 17 Monde, von denen zuvor nur elf bekannt waren.

Voyager 2 machte sich nun, wie erhofft, auf den Weg zum Uranus – allerdings quasi taub und jetzt auch noch verkrüppelt. Die Stromversorgung wurde mit der Zeit ebenfalls kritisch: Die Pluto-

niumbatterie war nur für die Vier-Jahres-Reise zum Saturn ausgelegt.

Bei Uranus musste das alte Raumschiff am 27. Januar 1986 dennoch erneut Höchstleistungen vollbringen, auch wenn längst nicht mehr alle Instrumente gleichzeitig betrieben werden konnten. Der Flug durch das System würde gerade einmal sechs Stunden dauern, da die Achse des Planeten um 98 Grad geneigt >

Kosmische Botschaft

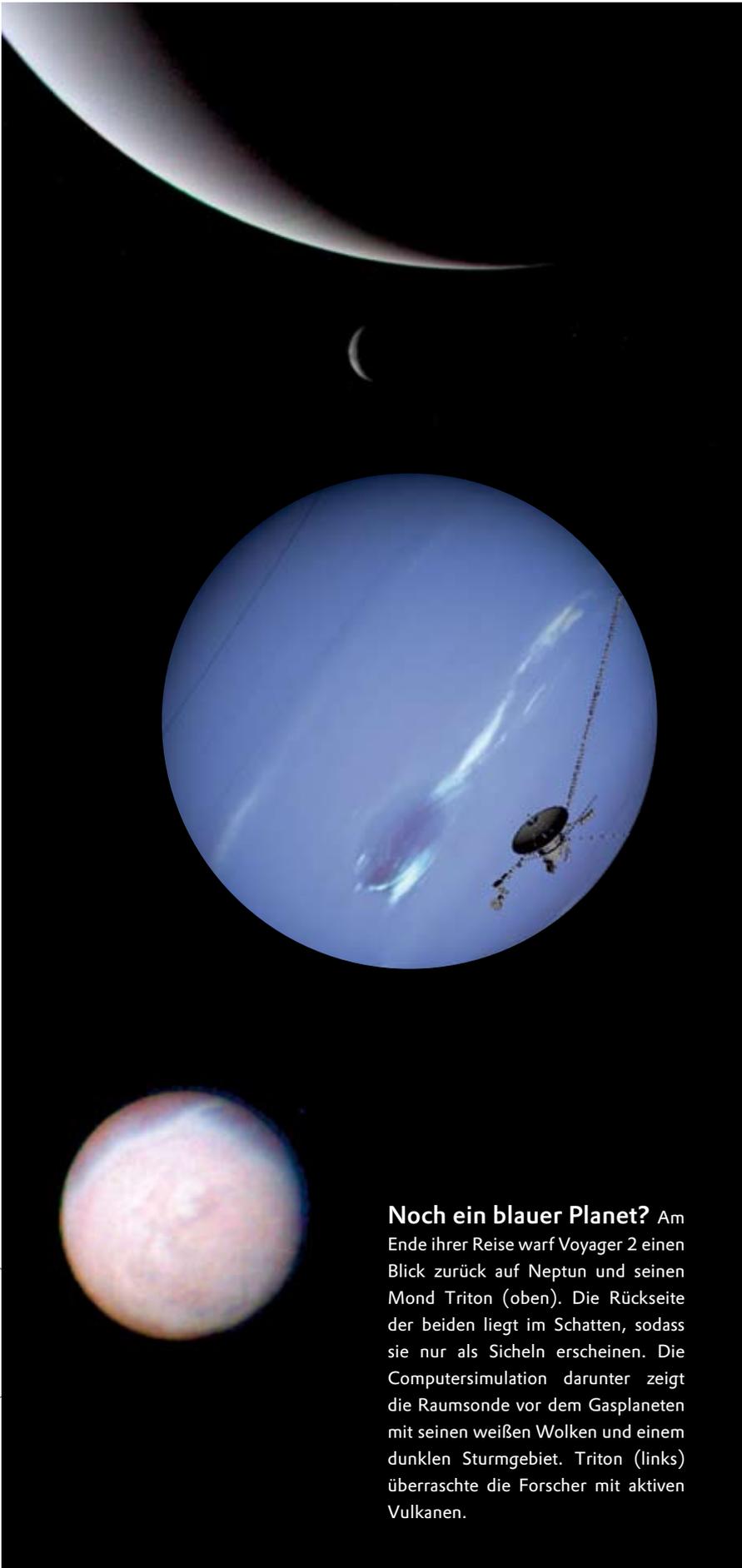
An der Außenseite der beiden Voyager-Sonden befindet sich ihre berühmteste Fracht: eine goldene Schallplatte, auf der 27 Lieder, 35 Geräusche und 116 Bilder kodiert sind, sowie in 55 Sprachen ein freundliches »Herzliche Grüße an alle«. Auf der Hülle sind Hinweise zur Position der Sonne angebracht, genau wie eine Bedienungsanleitung für den Plattenspieler.

Einen praktischen Nutzen besitzt diese Fracht nicht, daher war sie äußerst umstritten: Einerseits betrug ihr Gewicht stolze zwei Kilogramm – und das bei einer Sonde, bei der um jedes Gramm gestritten

wurde. Andererseits war fraglich, was alles verewigt werden sollte: das aufgenommene Geräusch eines Kusses zum Beispiel sollte »eindeutig heterosexuell« klingen, und das Lied »Here comes the Sun« von den Beatles durfte wegen einer Urheberrechtsfrage nicht mit auf die Reise.

Es ist sowieso nicht anzunehmen, dass irgendwann einmal eine außerirdische Intelligenz die Platte finden wird. Doch selbst wenn sie niemals jemand abspielen sollte, bleibt sie ein Denkmal für die Menschheit, das unsere Zivilisation wahrscheinlich lange überdauern wird. <<





Noch ein blauer Planet? Am Ende ihrer Reise warf Voyager 2 einen Blick zurück auf Neptun und seinen Mond Triton (oben). Die Rückseite der beiden liegt im Schatten, sodass sie nur als Sichel erscheinen. Die Computersimulation darunter zeigt die Raumsonde vor dem Gasplaneten mit seinen weißen Wolken und einem dunklen Sturmgebiet. Triton (links) überraschte die Forscher mit aktiven Vulkanen.

> ist – der Planet »rollt« auf seiner Bahn, und Voyager 2 näherte sich ihm von oben aus Richtung seines Nordpols. Eine zusätzliche Herausforderung war die Finsternis: Bei Uranus kommt nur ein Vierhundertstel des Sonnenlichts an, das wir auf der Erde erhalten – keine guten Voraussetzungen für Fotografie.

Die Techniker des JPL nutzten die Zeit, um die Radioteleskope auf der Erde zu modernisieren und die Sonde so weit aufzufrischen wie aus der Ferne möglich: Die Steurdüsen wurden bis auf das Äußerste ausgereizt, um die Kameras während der bis zu 96 Sekunden dauernden Aufnahmen nachzuführen, und die Computer komprimierten die Bilder – ansonsten hätte die Übertragung eines einzigen Fotos von Uranus 13 Minuten gedauert.

Ausreißer Uranus

Als Voyager 2 sich dann endlich dem Planeten näherte, tat sich auf den Bildschirmen zunächst wenig. Uranus blieb eine strukturlose blaugrüne Kugel, umkreist von kaum sichtbaren Ringen und dunklen Wolken. Erst die Messinstrumente zeigten überraschende Ergebnisse: Das Magnetfeld war stark verschoben, die magnetischen Pole lagen fast in der Äquatorregion. Das Innere des Uranus musste völlig anders aussehen als bisher angenommen. Kein Wunder also, dass das Bildteam (Imaging Team) des JPL vorübergehend in Einbildungsteam (Imagining Team) umbenannt wurde und die meisten Pressemitteilungen daher zunächst die Flugroute betrafen, über die regelmäßig diskutiert wurde. Weder Sonnenabstand noch Größe und Dichte des Planeten waren genau bekannt, trotzdem sollte Uranus das Raumschiff zum Neptun lenken.

Letztlich stand für die Raumsonde eine Bahn fest, die nahe am Mond Miranda vorbeiführte. Der nur 500 Kilometer große Himmelskörper galt zunächst als langweiligster Trabant, verblüffte dann aber mit tiefen Schluchten, hohen Bergen, Furchen und Kratern – mehr Geologie, als so einer kleinen Welt eigentlich zusteht.

Das Uranussystem, das zuvor nur aus ein paar Lichtflecken bestand, offenbarte auf den Voyager-Bildern erste Details und stellte die Forscher nach dem kurzen Vorbeiflug vor viele neue Rätsel.

Als das Raumschiff sich drei Jahre später schließlich Neptun näherte, stan-

den die Verantwortlichen vor einem ganz neuen Problem. Bei den vorhergegangenen Stationen bestimmte das nächste Ziel die Flugbahn. Nun gab es aber kein nächstes Ziel mehr, und die Vorschläge der Wissenschaftler dazu waren so zahlreich wie die möglichen Flugbahnen. Einige Forscher dachten sogar daran, die Sonde auf Triton, Neptuns größtem Mond, zerschellen zu lassen.

Schließlich wurde entschieden, die Sonde mit etwa 100 000 Kilometern in der Stunde nur 4900 Kilometer über Neptuns Wolkendecke fliegen zu lassen, sodass sie Triton dann in einem Abstand von 38 500 Kilometern passieren könnte. Anfang Juni 1989 kamen die ersten Bilder. Der bläuliche Planet, von dem die Teleskope auf der Erde praktisch keine Details zeigten, offenbarte helle Wolken und einen dunklen Fleck – ein ausge dehntes Sturmgebiet ähnlich Jupiters Großem Rotem Fleck. Im Gegensatz zu Uranus gab es auf Neptun »richtiges Wetter« – was dort mangels Sonnenwärme niemand erwartet hätte.

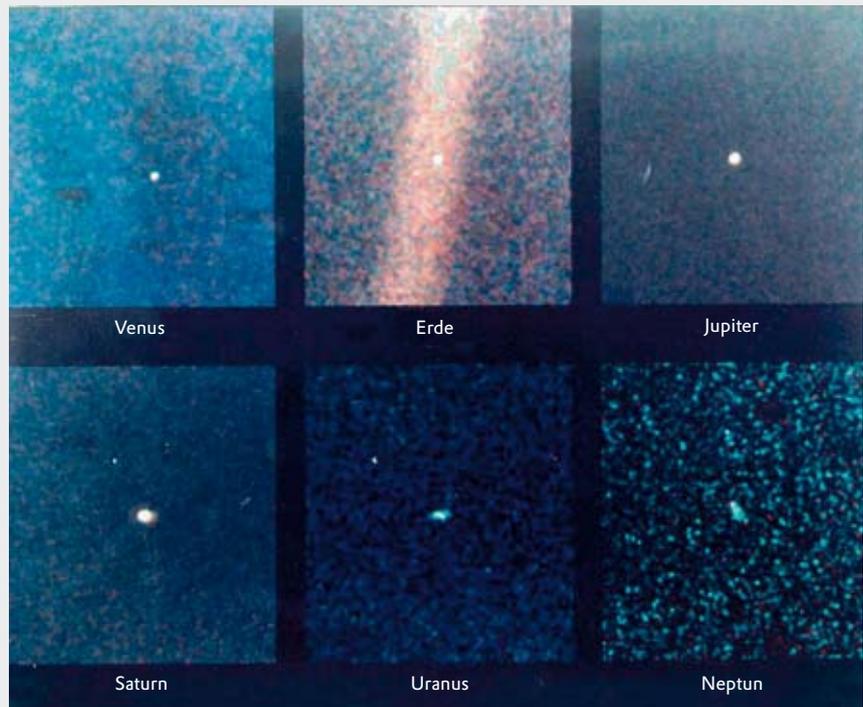
Der Vorbeiflug an Neptun am 24. August 1989 lief wie geschmiert, auch wenn beim Passieren der Ringebene ein wahres Trommelfeuer aus Mikrometeoriten auf die Sonde niederging. Bis zu dreihundert Einschläge pro Sekunde wurden gemessen. Die zweite Hürde, den nahen Vorbeiflug an Neptun, nahm die Sonde ebenfalls ohne Schwierigkeiten: Aus Sicherheitsgründen waren die Kameras abgeschaltet und vom Planeten weggedreht. Auf Triton entdeckte Voyager 2 die 6000 Meter hoch aufsteigende Fontäne eines Vulkans, bevor sie das Neptunsystem verließ.

Damit endete die Grand Tour und die meisten Geräte wurden abgeschaltet. Am 1. Januar 1990 erhielten die Sonden neue Namen: Als Voyager Interstellar Mission erkunden sie nun den Rand des Sonnensystems.

Und die Reise geht weiter

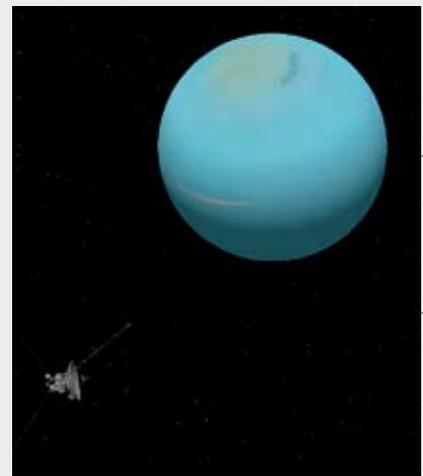
Auch wenn die Kameras längst nicht mehr funktionieren, übermitteln die Gefährte weiterhin Daten über den Sonnenwind und die Magnetfelder dort draußen. Im Mai 1993 entdeckten Wissenschaftler erstmals Radiostrahlung aus der Heliopause – dem äußeren Rand des Planetensystems. In diesem Bereich stößt der Sonnenwind auf das interstellare Medium. Das Ergebnis ist eine magnetische

Valentinsgrüße einer Raumsonde



Nur Merkur, Mars und Pluto fehlen auf diesen Porträts des Sonnensystems (oben), die Voyager 1 am 14. Februar 1990 aus sieben Milliarden Kilometer Entfernung als »Valentinsgruß« zur Erde funkte. Merkur und Mars wurden von der Sonne überstrahlt, während Pluto – damals noch neunter Planet des Sonnensystems – für die Kameras des Raumschiffs zu klein und lichtschwach war.

Die Schwestersonde Voyager 2 besuchte die beiden äußeren Planeten aus der Nähe, auch wenn zumindest Uranus (Computergrafik rechts) kaum Details offenbarte. <<



Blase, die Heliosphäre. Das Gebiet, an dem der Sonnenwind abrupt abgebremst wird, erreichte Voyager 1 Ende 2003 in 14 Milliarden Kilometer Entfernung von der Sonne (AH 1-2/2004, S. 17).

Seit dem 17. Februar 1998 ist Voyager 1 die am weitesten entfernte Raumsonde. Voyager 2 wird voraussichtlich noch bis 2009 über Treibstoff verfügen. Im Schnitt legen die beiden Sonden etwa 1,7 Millionen Kilometer pro Jahr zurück. Noch mindestens bis 2020 dürften sie Daten übertragen, bevor ihre Batterien dafür zu schwach werden. Voyager 1 befindet sich gerade im Schlangenträger an der Grenze zu Herkules. Voyager 2 fliegt zurzeit

durch das Sternbild Teleskop am Südhimmel. Im Jahr 8569 wird sie sich Barnards Pfeilstern im Schlangenträger nähern. Sirius steht in knapp dreihunderttausend Jahren auf dem Programm.

Denken Sie an diese Raumsonden, die uns die ersten Nachrichten von den Randbezirken unseres Sonnensystems gesendet haben, wenn Sie in einer klaren Nacht in Richtung Süden blicken – Richtung Voyager 1, in der Region zwischen Herkules und Schlangenträger. <<

Alexander Kerste hat bei seinen Vorträgen auf der Heilbronner Sternwarte schon oft auf Voyager-Bilder zurückgegriffen.