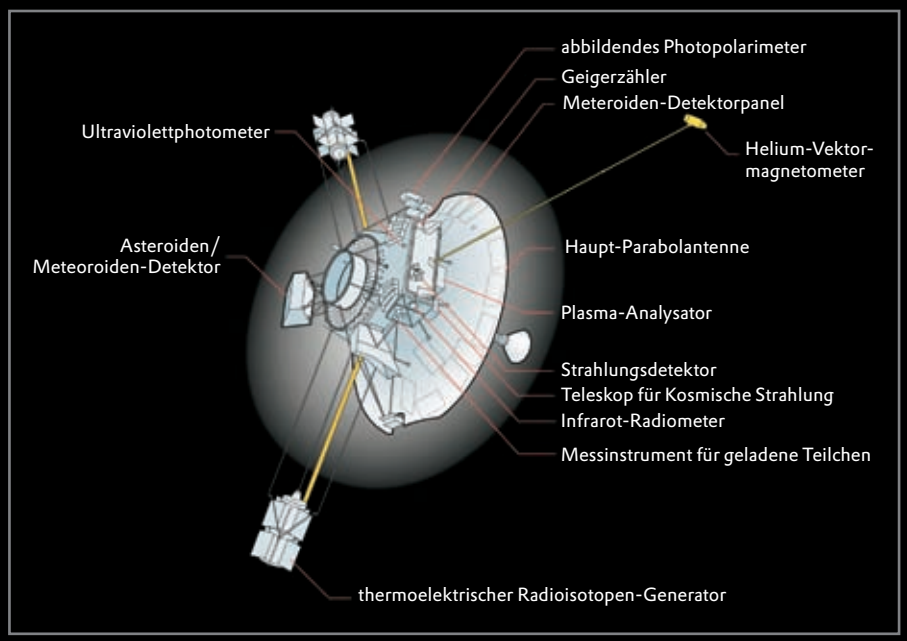
Mysterium am Rand des Sonnensystems

Jetzt sind die beiden Pioniere an der Grenze zum interstellaren Raum angelangt, doch bereits seit einigen Jahren geben sie den Wissenschaftlern ein Rätsel auf. **>> Eugen Reichl**

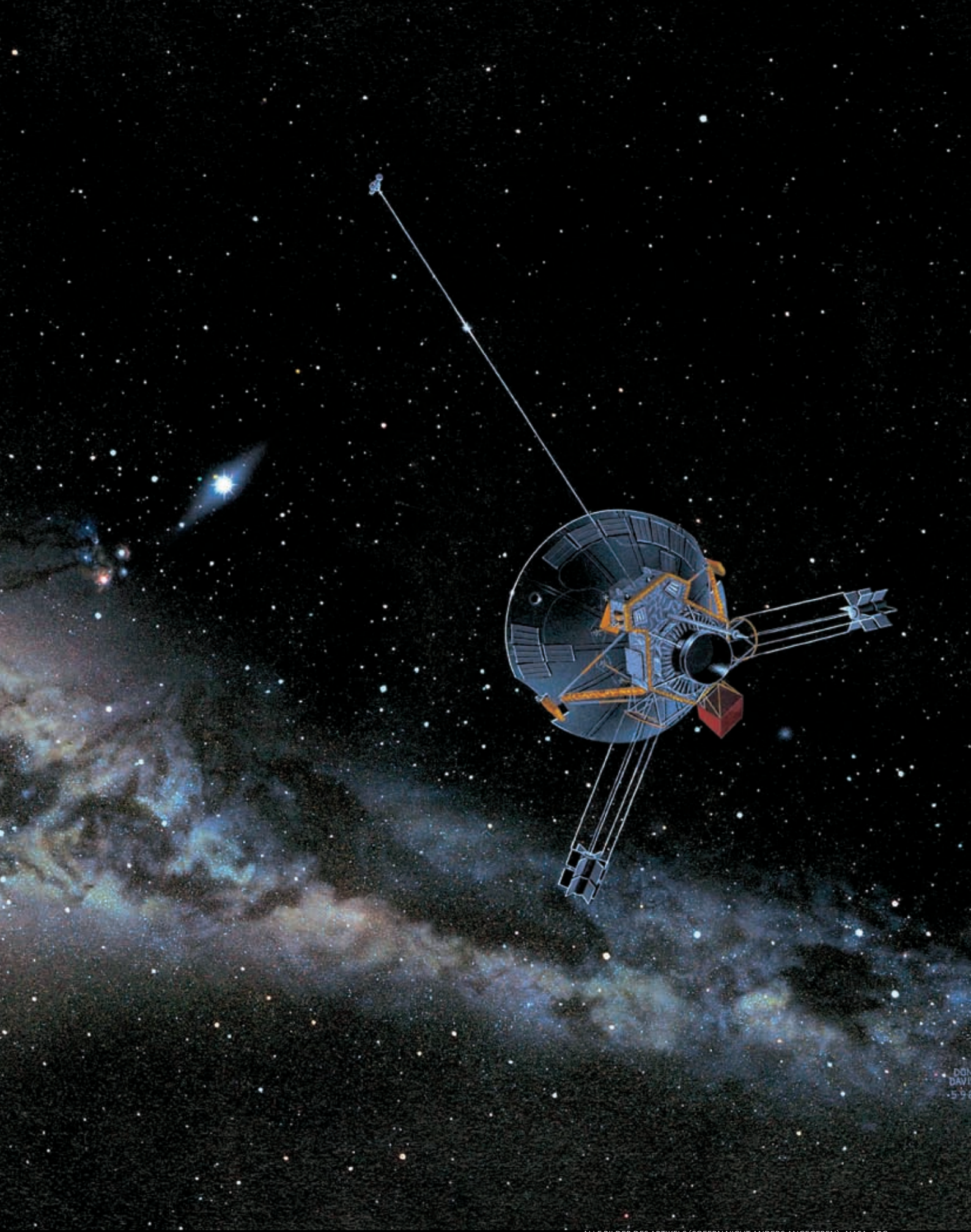
Dies ist die Geschichte zweier Raumfahrzeuge: Pioneer 10, gestartet im März 1972, und Pioneer 11, der im April 1973 seine lange Reise ins All begann. Ihre Aufgabe war die erste Naherkundung der Gasriesen Jupiter und Saturn. Doch das ist lange her. Beide Sonden treiben heute an der Grenze unseres Sonnensystems im Übergangsbereich zum interstellaren Medium. Sie sind schon vor Jahren verstummt und wären nur noch eine Randnote der Raumfahrtgeschichte wert, gäbe es da nicht ihre Flugbahnen, die so eigenartig sind, dass man nicht einfach darüber hinweggehen kann.

Denn etwas Seltsames geschieht mit den beiden Robotern. Pionier 10 und 11 sind nicht da, wo sie eigentlich sein sollten. Irgendetwas hält sie zurück. Eine sehr kleine, aber deutlich messbare Kraft. Jede der beiden Sonden ist heute etwa 400 000 Kilometer von dem Ort entfernt, an dem sie sein müsste, ginge alles mit rechten Dingen zu. Oder besser gesagt, ginge es allein mit den heute bekannten Dingen zu.

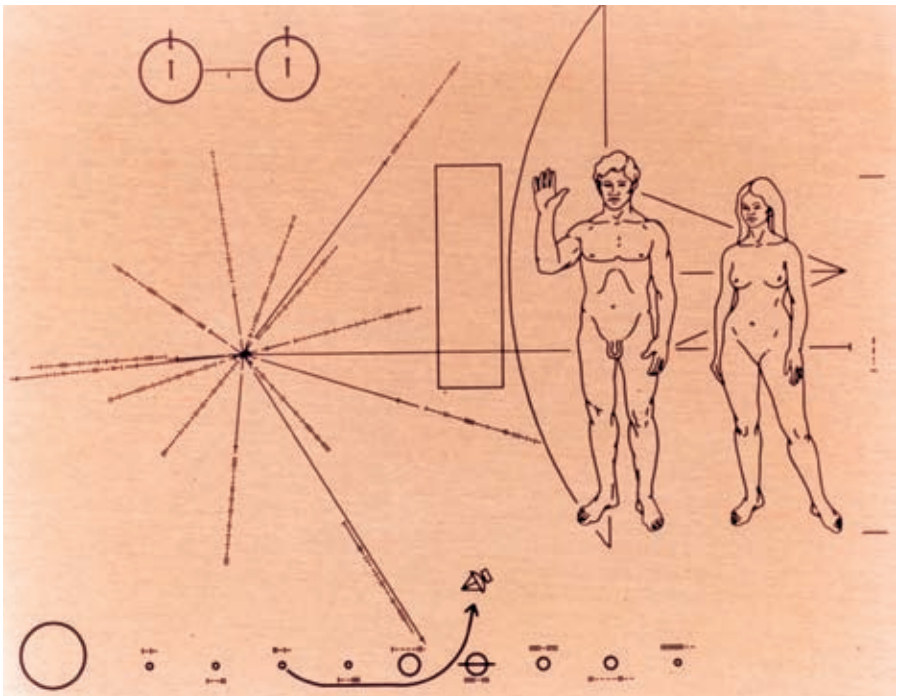
Die offensichtliche Abbremsung der Sonden ist extrem gering. Sie entspricht einem Zehnmilliardstel der Beschleunigung auf der Erdoberfläche. Die Bahnabweichung ist bei beiden genau gleich groß, obwohl sie sich fast in entgegengesetzter Richtung aus dem Sonnensystem entfernten. Was also ist los da draußen? >



Ein letzter Blick zurück
Pioneer 10 war die erste Raumsonde, die den Asteroidengürtel jenseits der Marsbahn durchquerte und Nahaufnahmen von Jupiter schoss. Diese Illustration zeigt sie auf Höhe der Neptunbahn mit Kurs auf Aldebaran im Sternbild Stier.



ALLE BILDER DES ARTIKELS (SOFERN NICHT ANDERS ANGEGEBEN): NASA, ARC



Visitenkarte für die Aliens

Die Pioneer-Plakette zeigt unter anderem einen Mann und eine Frau vor der Silhouette der Sonde als Größenvergleich. Links ist die Position der Sonne relativ zu 14 Pulsaren angegeben.

> Niemand weiß es. Praktisch alle derzeit denkbaren Erklärungen sind bereits ausgeschlossen worden. Die Physiker sind so ratlos, dass einige dieses Mysterium mit anderen, heute ebenfalls unerklärlichen Phänomenen in Verbindung bringen.

Ein Defekt in der Funkanlage von Pioneer 11 machte ab dem 1. Oktober 1990 die Erzeugung eines Signals für Bahnverfolgungszwecke unmöglich. Ab diesem Zeitpunkt konnte die Nasa von der Sonde keine Daten mehr über dieses seltsame anomale Verhalten gewinnen. Sie bewegt sich weiterhin in Richtung des Sternbilds Adler (»Aquila«) und wird in etwa vier Millionen Jahren die Stelle passieren, an der sich heute Lambda Aquilae (λ Aql) befindet, ein Stern 3,5ter Größe am Schwanz des Adlers.

Pioneer 10 war besser in Form. Der kleine Weltraumspäher erzeugte bis zum 11. Februar 2000 unverdrossen das Dopplersignal für die Bahnverfolgung. Danach riss die Verbindung ab. Die Raumsonde war etwa 75 Astronomische Einheiten von der Erde entfernt. In den beiden folgenden Jahren konnte jeweils noch einmal kurzzeitig Funkkontakt hergestellt werden. Heute entfernt sich Pioneer 10 mit einer Geschwindigkeit von 12,24 Kilometern pro Sekunde relativ zur Sonne aus unserem Planetensystem in Richtung Aldebaran im Sternbild Stier.

Im März 2005 hat das Wissenschaftsmagazin »New Scientist« die Pioneer-Anomalie als eines der 13 rätselhaftesten Phänomene der Wissenschaft aufgelistet. Sie nimmt dort Rang acht ein. Auf Platz sieben liegen die vier Jahre zuvor entdeckten Tetra-Neutronen, auf Platz neun die Dunkle Energie. Und gerade Letztere könnte in einer noch unbekannten Verbindung zur Pioneer-Anomalie stehen. Aber fangen wir zunächst ganz von vorne an …

Die Reise beginnt

In den Abendstunden des 2. März 1972 startete die Raumsonde Pioneer 10 an der Spitze einer Atlas-Centaur-Trägerrakete zu einer Reise, wie sie bis dahin noch nie zuvor unternommen worden war. Erstmals wurde eine Raumsonde auf eine Geschwindigkeit beschleunigt, die groß genug war, um das Sonnensystem auf Nimmerwiedersehen zu verlassen. Hyperbolischer Exzess ist der Fachbegriff dafür.

Der Flug der Atlas-Centaur dauerte nur 17 Minuten, dann war die Rekordgeschwindigkeit von 51 700 Stundenkilometern erreicht und Pioneer 10 auf dem Weg in Richtung Jupiter. Nur elf Stunden nach dem Lift-off in Cape Canaveral überquerte die Sonde die Mondbahn, gerade einmal zwölf Wochen danach die des Mars. Im Februar 1973 hatte der kleine Weltraumspäher den Asteroidengürtel durchquert und begann den Anflug auf den Gasriesen.

Nachdem das Missionsrisiko – speziell wegen der Durchquerung der Trümmerzone zwischen Mars und Jupiter – als erheblich eingestuft worden war, hatte die Nasa von vornherein eine Doppelmission geplant. Als Pioneer 10 die Zone der Asteroiden unbeschädigt hinter sich gelassen hatte, wurde am 5. April 1973 auch Pioneer 11 auf die Reise geschickt.

Anfang Dezember 1973 passierte Pioneer 10 den Gasgiganten in einem Abstand von nur 200 000 Kilometern. Die immense Schwerkraft des Planeten knickte die Bahn von Pioneer 10 fast im rechten Winkel ab. Das Raumfahrzeug verblieb aber in der Ekliptik, der Bahnebene der Planeten.

Pioneer 11 flog fast auf den Tag genau ein Jahr später an Jupiter vorbei, allerdings in einer Entfernung von nur 34 000 Kilometern. Die Missionskontroller hatten die Flugbahn so angelegt, dass das Raumfahrzeug durch die Schwerkraft des Riesenplaneten in einem weiten Bogen etwa 175 Millionen Kilometer aus der Ekliptik hinausstieg und danach wieder hineinfiel, um schließlich den Saturn anzusteuern.

Die Gravitationskraft des Ringplaneten bewirkte, dass die Bahn von Pioneer 11 erneut stark umgelenkt wurde, mit dem Ergebnis, dass nach Abschluss der Passage die beiden Schwestersonden jetzt ziemlich genau in entgegengesetzten Richtungen aus dem Sonnensystem steuern (Grafiken rechts).

Die Jahre gingen dahin. In Abständen von einigen Monaten meldete sich die Missionskontrolle bei den einsamen Pionieren, rief Daten ab und gab Kommandos durch. Es war 1980, als den Flugleitern bei der Auswertung der Dopplerdaten von Pioneer 10 eine leichte, aber stetige Geschwindigkeitsänderung auffiel. Eine geringe, aber deutlich messbare Kraft schien die Sonde in Richtung Sonne zu ziehen.

Zu diesem Zeitpunkt war Pioneer 10 mehr als zwanzig Astronomische Einheiten von der Sonne entfernt und die Abnahme der Geschwindigkeit denkbar gering. Sie betrug jeden Tag nur 0,0000755 Meter pro Sekunde. Die Ab-

weichung hatte nicht früher festgestellt werden können, denn der Effekt war bis dahin im natürlichen Strahlungsdruck der Sonne untergegangen.

Auch jetzt wurde der Angelegenheit zunächst wenig Beachtung geschenkt. Die Primärmission der beiden Sonden war schließlich vorbei, was machte da schon ein kleiner Messfehler oder ein unbedeutendes technisches Problem.

Die Projektingenieure wurden erst aufmerksam, als exakt dasselbe Phänomen auch bei Pioneer 11 beobachtet wurde. Die Beschleunigung in Richtung Sonne war bei ihr genauso hoch wie bei Pioneer 10. Und so begannen die Wissenschaftler, den seltsamen Effekt näher unter die Lupe zu nehmen.

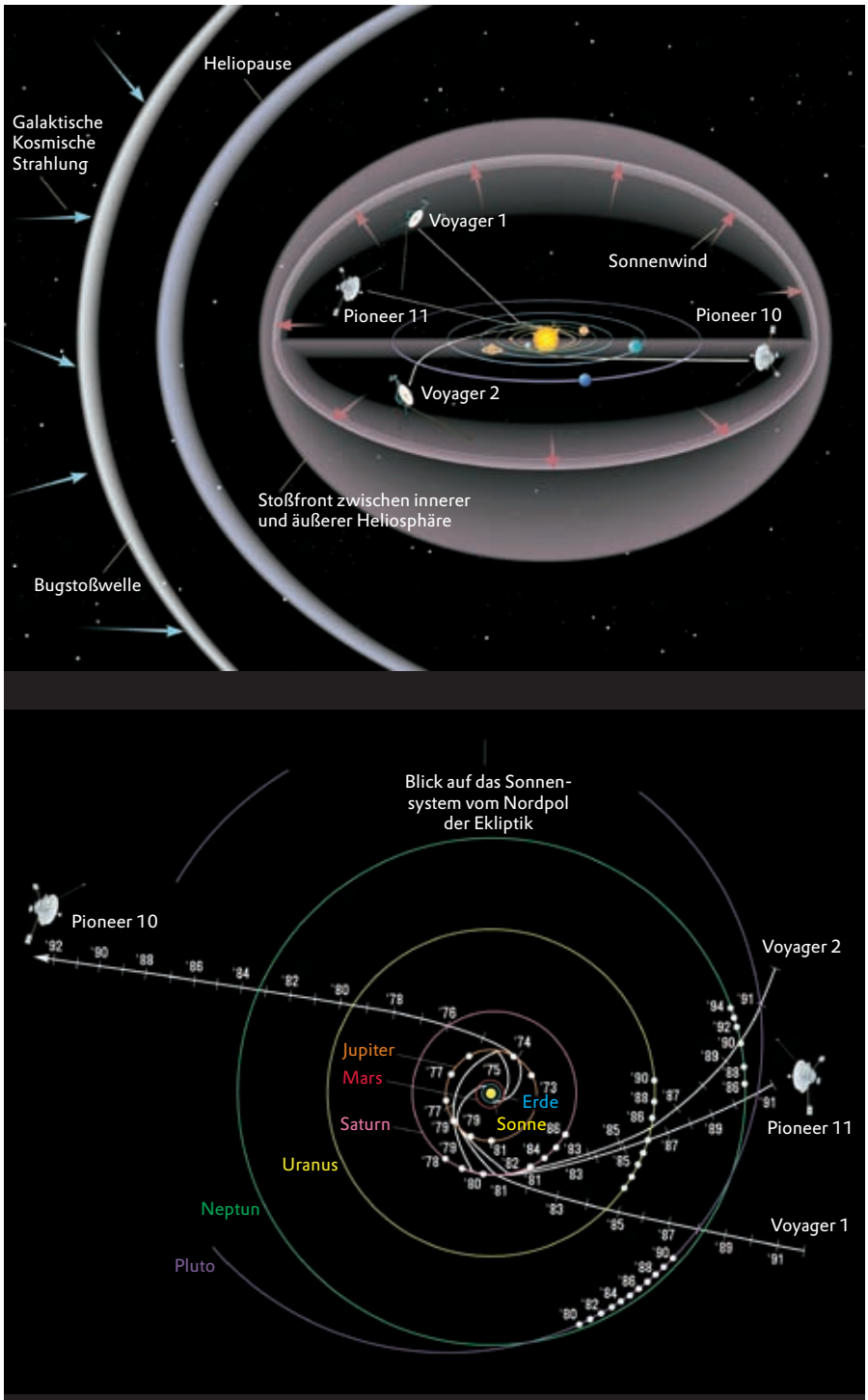
Ursache unbekannt

Zunächst nahm man sich die Störfaktoren vor, die von den Sonden selbst stammen könnten: Ausgasungseffekte der Steuertriebwerke beispielsweise oder Schubanomalien. Die bei den drallstabilisierten Sonden relativ seltenen Triebwerksimpulse konnten leicht aus dem Gesamtwert herausgerechnet werden.

Ein Hauptverdächtiger für den Effekt war die Zerfallswärme der mit Plutonium betriebenen Radioisotopen-Generatoren. Doch diesen Punkt konnte man ebenfalls bald ausschließen, denn zum einen wird die Zerfallswärme nicht gerichtet abgestrahlt, sondern in alle Richtungen gleichmäßig, und zum anderen nimmt sie mit der Halbwertszeit von Plutonium-238 ab. Die beträgt knapp 88 Jahre, die Abstrahlungsleistung müsste demzufolge schon auf unter 75 Prozent abgesunken sein. Die Anomalie aber zeigte sich unbeeindruckt und blieb weiterhin gleich stark.

Auch die Kernumwandlung von Plutonium selbst wurde untersucht. Bei diesem Prozess wird pro Jahr ein knappes Gramm Helium erzeugt, das mit einer Geschwindigkeit von 1,22 Kilometer pro Sekunde abgestrahlt wird. Doch auch hier konnte man ermitteln, dass dieser Effekt höchstens 1,5 Prozent zum Phänomen beiträgt.

Dann untersuchten die Ingenieure den Strahlungsdruck, der von den Sendern der Raumfahrzeuge ausging, fanden ihn aber viel zu gering, um das Phänomen zu erklären. Der Effekt blieb stets gleichmäßig, egal ob die Pioneers nun sendeten oder nicht. >



Grenzgänger: Das Pioneer/Voyager-Raumsondenquartett der Nasa dringt unermüdlich in Regionen außerhalb des Sonnensystems vor. Dessen innerster Rand liegt bei etwas mehr als neunzig Astronomischen Einheiten (Grafik oben). Zwischen dieser Linie und der Heliopause vermischt sich der Sonnenwind mit dem interstellaren Medium.

Die Flugbahnen der Raumsonden wurden von Mal zu Mal komplexer (unten). Pioneer 10 flog »nur« an Jupiter vorbei. Pioneer 11 – ein Jahr später gestartet – erreichte darüber hinaus den Saturn. Die 1977, sechzehn Tage vor Voyager 1 gestartete Voyager 2 schaffte es gar zu Uranus (24. Januar 1986) und Neptun (25. August 1989).

Am 17. Februar 1998 »überholte« Voyager 1 ihre »Cousine« Pioneer 10 und erreichte als erste Sonde die innere Grenze des Planetensystems am 16. Dezember 2004. Am Dienstag, dem 15. August 2006, erreichte sie die Rekordentfernung von 100 AE. Zu ihr besteht nach wie vor Funkkontakt.

Audienz beim König der Planeten Die Fotos von Jupiter, die die beiden Pioneer-Sonden zur Erde sandten, zeigten erstmals den Detailreichtum seiner Atmosphäre.

> Die Nasa ging die möglichen astronomischen Ursachen durch: Gab es gravitative Einflüsse unentdeckter Objekte im Kuiper-Gürtel? Wie wäre es mit der Wirkung von interplanetarem Staub und Plasma? Veränderte sich vielleicht der Strahlungsdruck der Sonne im Lauf der Zeit? Gab es etwa wandernde Magnetfelder? Derlei Einflüsse konnte man bald ausschließen, weil die unerklärliche Kraft auf beide Sonden gleichmäßig einwirkte.

Mit der Sherlock-Holmes-Methode

So ging man Ursache für Ursache durch. Alle möglichen Berechnungs- und Navigationsfehler wurden untersucht: die Erdbewegung im Bezug zur Raumsonde, die Berechnung der Zeitdaten, die Antennenanlage des Deep Space Network der Nasa, relativistische Effekte und noch vieles mehr. Irgendwann mussten die Experten schließlich zugeben, dass sie es mit einem unbekannten Phänomen zu tun hatten.

Aber war es ein generelles Phänomen, oder betraf es nur die beiden Pioneers?

Vielleicht gab es Vergleichsdaten anderer Raumfahrzeuge? Ideale Kandidaten wären die beiden Voyager-Sonden, die 1977 in das äußere Sonnensystem geschickt wurden und inzwischen ebenfalls die Bahn des Planeten Pluto weit hinter sich gelassen haben (Grafiken S. 23), oder auch Raumsonden wie Cassini und Ulysses. Da gibt es nur ein Problem: All die neuen Sonden sind viel aktiver, beweglicher, fortschrittlicher und über alle Achsen permanent lagegeregelt. Sie halten nicht still. Ständig drehen sie sich irgendwohin, messen, bremsen oder beschleunigen. Um es salopp auszudrücken: Sie übertönen den Effekt durch ihr Gezappel.

Bleiben also nur die Pioneer-Daten. Kein Problem, möchte man meinen. Man holt einfach die gespeicherten Telemetriedaten hervor und nimmt sie genau unter die Lupe. Doch so einfach ist das nicht, denn alle, die vor dem Jahr 1987 gesammelt wurden, liegen nicht in digitaler Form vor, sind weder geordnet noch bewertet. Sie sind auf alten Magnetbändern mit sieben respektive neun Datenspuren gespeichert, die in den Kellerräumen des Jet Propulsion Laboratory (JPL) in Pasadena, Kalifornien, liegen. Diese Daten müssen erst umgeschrieben und in brauchbare Form gebracht werden. Doch dafür hatte die Nasa kein Budget.

In diesem Dilemma kam ihr die Planetary Society zu Hilfe, die mit 100 000 Mitgliedern weltweit die größte Pro-Space-Vereinigung. Vor ihrem Hilfsangebot hatten die Nasa-Experten lediglich die Daten nach dem Jahr 1987 untersucht, die bereits digitalisiert vorlagen. Jetzt aber können auch alle anderen Telemetrie-Informationen im Detail analysiert werden, wie zum Beispiel die Temperatur- und Triebwerksdaten, die der Transmitter und der Isotopenbatterien. Sie werden in ein mit heutigen Mitteln auswertbares Format gebracht und allen Wissenschaftlern, die sich für die Pioneer-Anomalie interessieren, zugänglich gemacht.

Was ist die Pioneer-Anomalie?

So wird man vielleicht doch eines Tages die Erklärung für den seltsamen Effekt finden. Noch bleibt die – allerdings extrem geringe – Möglichkeit, dass die Anomalie tatsächlich irgendeinen trivialen Grund hat. Beispielsweise eine Wärmequelle, die rein zufällig in beiden Raumsonden eine genau gleich gerichtete Abstrahlung verursacht. Wie gesagt, die Möglichkeit ist äußerst gering, aber völlig sicher kann man sich erst dann sein, wenn die gesamten Telemetriedaten aus der Zeit vor 1987 akkurat durchgearbeitet und ausgewertet sind.

Bleibt die Anomalie auch dann bestehen, wird es wirklich spannend. Die Wis-

senschaftler suchen schon Erklärungen. Jede einzelne dieser Hypothesen verursacht eine Gänsehaut, denn sie laufen alle darauf hinaus, dass womöglich irgendetwas falsch ist an unserem bisherigen Verständnis der Naturgesetze.

Ist der Effekt ein erster unfreiwilliger experimenteller Nachweis heute noch spekulativer und hypothetischer Elemente einer neuen Physik? Ist die Pioneer-Anomalie vielleicht das Resultat von Kräften wie der mysteriösen Dunklen Materie und der Dunklen Energie? Müssen wir in die Konstanten von Masse und Gravitation in unserem Sonnensystem eine weitere Größe einfügen?

Wissenschaftler von der Universität von Portsmouth in England vermuten, dass das Pioneer-Rätsel etwas mit der Feinstrukturkonstante des Weltalls, kurz Alpha, zu tun haben könnte. Von nur wenigen Zahlen hängt das Schicksal des gesamten Universums stärker ab als von dieser. Wäre ihr Wert nur ein wenig anders, dann gäbe es keine Atome und somit kein Leben im Universum.

Interessant ist, dass der Wert der Anomalie in etwa dem Produkt aus der Hubble-Konstanten und der Lichtgeschwindigkeit entspricht. Damit stellt sich die Frage, ob sie in irgendeiner Weise mit der kosmischen Expansion zusammenhängt.

Oder kann man sie in Verbindung mit den Überlegungen der letzten Jahre bringen, die eine Ergänzung des Newton'schen Gravitationspotenzials durch einen weiteren Anteil vorschlagen? In der Teilchenphysik gibt es so etwas in Form des Yukawa-Potenzials, das die Abschirmung des elektrischen Felds eines geladenen Teilchens beschreibt. Womöglich könnte die Pioneer-Anomalie dadurch korrekt beschrieben werden.

Feintuning der Schwerkraft

Auch die Anpassung des Newton'schen Gravitationsgesetzes an die Beobachtungsdaten in einer Weise, dass bei Beschleunigungen unterhalb eines bestimmten Werts eine veränderte Formel gilt, könnte hier passen. Ein solcher Ansatz wurde ursprünglich vorgeschlagen, um die rätselhaften Rotationskurven der Galaxien zu erklären. Diese weichen durch das Vorhandensein Dunkler Materie von dem ab, was nur durch die Schwerkraft der Sterne zu erwarten wäre. Setzt man den zusätzlichen Parameter so an, dass die Zentrifugalbeschleunigung in den äußeren Galaxienbereichen konstant wird, so kommt man auf einen Wert, der sehr gut zu dem passt, was die Forscher bei den Pioneer-Sonden gemessenen haben.

Noch gibt es viele Hypothesen, von denen bisher keine beweisbar ist. Es gilt also weiterhin, mehr Daten zu sammeln.

Der wahren Ursache des Phänomens könnte man auch mit einer neuen Mission, die diesen mysteriösen Gravitationseffekt genau nachvollziehen soll, auf den Grund gehen. Die Kosten für eine spezielle Pioneer Anomaly Mission veranschlagen US-Wissenschaftler auf etwa 300 bis 500 Millionen Dollar. Ein solches Raumfahrzeug könnte huckepack, also als zweites kleineres Raumfahrzeug, bei einer der nächsten Deep-Space-Flüge im Rahmen des amerikanischen New-Frontiers-Programms ins äußere Sonnensystem auf die Reise geschickt werden. Etwa bei der in Planung befindlichen Neptun-Orbiter-Mission, die im Jahr 2016 zum äußersten Großplaneten unseres Sonnensystems gestartet werden soll.

Auch die europäischen Astronomen wünschen sich solch eine Mission. Die Planungen für die Deep Space Gravity Probe laufen bereits. Sie soll die anomale Beschleunigung überprüfen und präzisere Messdaten liefern, mit deren Hilfe man ihre genaue Richtung bestimmen kann. Das Problem für die Realisierung ist hier weniger das Budget als vielmehr der Umstand, dass dieses Raumfahrzeug für seine Stromversorgung eine nukleare Energiequelle benötigt, genauso wie die beiden Pioneers vor dreieinhalb Jahrzehnten. Und gegen die gibt es in Europa nach wie vor erhebliche Widerstände.

Immerhin – eine der beiden Raumsonden könnte innerhalb des nächsten Jahrzehnts auf die Reise gehen. Vielleicht liegen dann zum fünfzigsten Jahrestag des Starts von Pioneer 10 die ersten Erkenntnisse vor. <<

Eugen Reichl ist fasziniert von den Mysterien, auf die wir durch die Raumfahrt stoßen.

NASA, JPL

So groß wie ein Karussell – und dennoch ein Leichtgewicht: Pioneer 10 (links) bringt nur 258 Kilogramm auf die Waage. Die Daten, die er bis 1987 zur Erde schickte, sind auf Magnetbändern gespeichert und lagern in einem Keller des JPL (rechts).