

## Pioneer - der Pionier zum Rande des Solsystems

### Aufbau und Instrumentenausstattung von Pioneer 10 und 11

**Pioneer** war ein [Raumsondenprogramm zur Raumfahrt-Grundlagenforschung](#). Es lief seit 1958 und beinhaltete eine Reihe von Raumsonden zur Erforschung des erdnahen Raumes. 1958 steckte die Raumfahrt noch in den Kinderschuhen und dieses Programm diente dazu, Erfahrungen jeglicher Art zu sammeln. Die ersten Pioneer-Sonden flogen zum Mond, zur Sonne und zur Venus. [Einzelheiten zum Pioneer-Programm sind hier online verfügbar](#).

Mit **Pioneer 10** und **Pioneer 11** ließ man den Bereich der inneren Planeten zum ersten Mal in der Geschichte der Raumfahrt hinter sich. [Die Missions-Homepage ist hier](#). Beide Sonden leiteten den Vorstoß ins äußere Sonnensystem ein, sie flogen zum Jupiter und zum Saturn. Zum Startzeitpunkt hatte man keinerlei Informationen über den Weltraum jenseits der Marsbahn. Man fürchtete, dass Raumschiffe durch den hinter dem Mars liegenden Asteroidengürtel nicht oder nur sehr schwer hindurchkommen könnten. Daher beschloß man eine Doppelmission und erhöhte so die Wahrscheinlichkeit für ein erfolgreiches Durchfliegen des unbekanntem Asteroidengürtels. Eines der Ziele beider Missionen war explizit die Erforschung des Asteroidengürtels jenseits der Marsbahn.

#### Start

**Pioneer 10** startete am **3. März 1972** mit der stärksten damals bekannten Rakete, denn man benötigte eine hohe Startgeschwindigkeit (14.36 km/s), um den interplanetaren Raum zum Jupiter durchqueren zu können. Pioneer 10 erreichte die Mondumlaufbahn in nur 11 Stunden, während z.B. die Apollo-Raumschiffe drei Tage dazu brauchten. Der Startzeitpunkt für **Pioneer 11** war der **6. April 1973** mit dem nächsten für einen Jupiterflug geeigneten Startfenster. Beide Pioneer-Sonden waren die ersten, die ihre Energie ausschließlich aus einer thermoelektrischen Radionuklidbatterie bezogen. Diese Neuerung war nötig, da die Sonnenstrahlung bei Jupiter 27-mal geringer ist als bei der Erde, wodurch Solarzellen aufgrund der benötigten Fläche von etwa 23 m<sup>2</sup> unpraktikabel wären. Die vier Batterien von Pioneer 10/11 sind mit dem Isotop Plutonium-238 befüllt, das eine Halbwertszeit von 87,7 Jahren hat und während des Zerfalls Alphastrahlung aussendet. Diese Strahlung wird sehr schnell absorbiert, wodurch große Mengen Wärme freigesetzt werden (Temperatur typischerweise mehrere 100 Grad Celsius). Pioneer war somit auch auf diesem Gebiet ein wahrhafter Pionier.

Pioneer 10 und 11 stammten noch aus der Vor-Computer-Zeit. Die Raumschiffe besitzen wie frühere Raumsonden kaum automatische Steuerungssysteme und mussten somit ständig mit Kommandos von der Bodenstation versorgt werden. Als einzige automatisierte Komponente gab es das CONSCAN-System, das die Ausrichtung der Hauptantenne auf die Erde autonom ausführen konnte.

Beide Pioneer-Raumschiffe verlassen das Sonnensystem. Deshalb gab man ihnen eine Informationsplakette für die mögliche Auffindung durch Außerirdische mit, wie auch später bei den [Voyager-Sonden](#) und auch bei der aktuellen [New Horizons-Mission](#) zum Pluto. Primäre Bildelemente auf dieser Plakette sind ein Mann und eine Frau, jeweils unbekleidet, und die Silhouette des Raumschiffes, um einen Größenvergleich zu ermöglichen. Die Position der Erde ist relativ zu vierzehn Pulsaren angegeben. Des Weiteren sind das Sonnensystem und ein Hyperfeinstrukturübergang eines Wasserstoffatoms dargestellt.

Beide Raumschiffe besitzen eine reichhaltige Instrumentenausstattung zur fotografischen und spektroskopischen

Erforschung des interplanetaren Raumes und der anvisierten Zielplaneten ( [siehe z.B. hier bei Wikipedia](#) ).

## Verlauf

Pioneer 10 gelangen schon früh wichtige wissenschaftliche Ergebnisse. So konnte das Zodiaklicht erstmals von weit jenseits der Erde nachgewiesen werden. Im August 1972 kam es zu einem Sonnensturm, der von Pioneer 9 und 10 gleichzeitig beobachtet und vermessen werden konnte. Im Februar 1973 erreichte die Sonde als erstes menschliches Objekt den Asteroidengürtel. Man betrat absolutes Neuland, und da bereits Teilchen mit einem Durchmesser von 0,05 mm die Sonde schwerwiegend beschädigen konnten, ging man bei der Missionsplanung mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 1 zu 10 aus, weswegen man zwei Sonden startete. Zur damaligen Zeit vermutete man, dass der Asteroidengürtel ein Vordringen in Richtung Jupiter unmöglich machen könnte. Es stellte sich allerdings heraus, dass diese Annahme völlig übertrieben war, denn die größte Annäherung an ein katalogisiertes Objekt betrug 8,8 Millionen Kilometer. Somit konnte man den Asteroidengürtel als ernsthafte Gefahr für spätere Raumschiffe praktisch ausschließen. Während des gesamten Weges zu Jupiter wurden ungefähr 16.000 Kommandos zur Sonde gesendet.

Am 3. November 1973 erreichte Pioneer 10 das Jupitersystem. Die wissenschaftliche Ausbeute am Jupiter war überwältigend. Lediglich der Versuch, den Jupitermond Io aus der Nähe zu fotografieren, ging schief, und so sah man die aktiven Vulkane auf diesem Mond erst viele Jahre später bei den Voyager-Missionen. Am Jupiter wurde auch zum [erstenmal ein erfolgreicher Planeten-Swingby probiert](#) , bei dem man die Bahn eines Raumschiffes ohne zusätzlichen Treibstoffeinsatz erheblich verändern kann. Dadurch wurde die Flugbahn von Pioneer 10 um 90° abgelenkt.

Flugbahn von Pioneer 10 /11 und Voyager 1/2  
aus dem Solsystem heraus

Die Pioneer-Raumschiffe erreichen als erste von Menschen Gebauten Raumschiffe den Rand des Solsystems, bei dem der Sonnenwind seine Wirkung verliert und der intersolare Weltraum anfängt

Zwar wurde **Pioneer 10** nicht für den Einsatz außerhalb der Umlaufbahn des Jupiters ausgelegt, aber die Instrumente zur Messung von Strahlung und Ionen waren generell auch zur Analyse des interplanetaren Raumes geeignet. Problematisch wurde bald das geringe Energieniveau der Sonde, da sich die abgegebene Leistung der Radionuklidbatterien kontinuierlich verringerte, weswegen immer mehr wissenschaftliche Instrumente mit der Zeit abgeschaltet werden mussten. Das **letzte identifizierbare Signal empfing man am 22. Januar 2003**. So endete in einer Entfernung von ca. 81 AU (≈12 Mrd. Kilometer) die fast 31-jährige Mission, obwohl sie nur für 21 Monate ausgelegt war. Wenn sie ihren aktuellen Kurs beibehält, wird die Sonde in etwa 2 Millionen Jahren im Sonnensystem von *Aldebaran* eintreffen.

Auch Pioneer 11 war ein außerordentlicher Erfolg. Das Raumschiff flog am 3. Dezember 1974 in 43.000 km Abstand zur Oberfläche an Jupiter vorbei und machte sich als erstes von Menschen gebaute Raumschiff auf den Weg zu Saturn. Der Vorbeiflug an Saturn fand am 1. September 1979 in 21.000 km Abstand statt. Die Sonde entdeckte Details der Saturnringe und einen neuen Saturnmond. Am 23. Februar 1990 passierte Pioneer 11 als viertes irdisches Raumfahrzeug nach Pioneer 10, [Voyager 1](#) und [Voyager 2](#) die Neptunbahn und drang dann in den interstellaren Raum vor. Wegen Treibstoffmangels wurde die Mission zum 30. September 1995 eingestellt. **Die NASA erhielt am 24. November 1995 eine letzte Telemetrie von Pioneer 11**. Pioneer 11 wird in ungefähr 4 Mio. Jahren das Sternbild *Aquila* (Adler) nordwestlich der Region *Sagittarius* erreichen.

## Pioneer-Anomalie

Beide Pioneer-Raumschiffe haben keine autonomen Navigationscomputer an Bord, keine Gyros und somit auch keine autonome Dreiachsenstabilisierung. Die Raumschiffe sind lediglich spinstabilisiert. Man

beobachtete zum ersten Mal bei ihnen und später, als sie entdeckt war, auch bei anderen Raumschiffen wie *Galileo* und *Ulysses* die nach ihnen benannte [Pioneer-Anomalie](#). Es handelt sich um eine bis heute nicht erklärbare Kraft, die auf Raumschiffe einwirkt und zu einer kleinen, aber systematischen und konstanten Abbremsung auf ihrem Weg aus dem Solarsystem heraus führt. Die autonome aktive Lagekontrollsteuerung modernerer Raumschiffe überdeckt den kleinen Effekt der Pioneer-Anomalie und macht deren Beobachtung deshalb sehr schwierig. Der Effekt fiel um 1980 zum ersten Mal auf, als die Raumsonde Pioneer 10 die Uranusbahn überquert hatte und etwa 20 [AU](#) von der Erde entfernt war. Zu dieser Zeit war die bis dahin alles überlagernde Kraft des Sonnenwindes auf das Raumschiff so klein geworden, dass eine Kraft auf die Sonde beobachtbar wurde, die es mit einer konstanten Beschleunigung unbekannter Herkunft von  $(8,74 \pm 1,33) \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$  zur Sonne hin abgelenkt. Dies entspricht etwa einem Hunderttausendstel der Beschleunigung durch die Gravitation des Sonnensystems und führt über einen Zeitraum von 15 Jahren zu einer Abweichung von circa 100.000 Kilometern von der berechneten Position. Die Anomalie wurde zunächst nicht ernst genommen und als zufälliger Fehler interpretiert. Erst 1994, als der Effekt nicht verschwand, wurde er genauer untersucht. Dabei wurden von den Sonden Pioneer 10 und Pioneer 11 – die sich in die nahezu entgegengesetzte Richtung voneinander entfernt hatten und deren Daten den bis auf höchstens drei Prozent Unterschied gleichen Effekt zeigten – die Bahnwerte systematisch auf mögliche Ursachen hin analysiert, ohne dass ein vollständiges Erklärungsmodell gefunden werden konnte.

Als mögliche externe Effekte kommen Gravitationseffekte durch eine ungewöhnliche Massenverteilung im [Kuipergürtel](#) oder Reibung durch interstellare Materie in Frage. Die bisherigen Messdaten für Bereiche außerhalb des Sonnensystems deuten jedoch darauf hin, dass die Dichte des interstellaren Mediums und des Staubs im [Kuipergürtel](#) um mehrere Größenordnungen zu niedrig ist, um den Effekt erklären zu können. Neben den oben genannten Effekten können bisher unberücksichtigte Vorhersagen der bekannten Physik eine Rolle spielen. Einige Wissenschaftler sehen in der Anomalie einen Hinweis auf eine „neue Physik“, die nicht durch die etablierten Standardtheorien erklärbar ist. Ein Ansatz hierzu ist die modifizierte Newtonsche Dynamik, da diese eine anomale Beschleunigung der Sonden in der beobachteten Größenordnung liefern würde.

[Neueste Ergebnisse bei der Analyse der alten Telemetriedaten](#) beider Raumschiffe legen den Schluß nahe, daß es keine "neue Physik" ist, die die Abbremsung beider Raumschiffe verursacht, sondern es sich schlichtweg um das Ergebnis einer nicht gleichmäßig in alle Richtungen stattfindenden Wärmeabstrahlung der Komponenten des Raumschiffes handelt. Da sich die Antennen der Raumschiffe immer mit  $\pm 1.5^\circ$  Genauigkeit auf die Erde ausgerichtet waren und die Einzelkomponenten der Raumschiffe verschieden viel Wärme abgaben, wurde dadurch Wärme gerichtet freigesetzt und der beobachtete Abbremsungseffekt damit erklärbar. Lt. der Analyse der [Autoren der o.g. Veröffentlichung](#) klärt diese anisotrope Wärmeabstrahlung die Abbremsung der Raumschiffe innerhalb der statistischen Genauigkeit sehr zufriedenstellend.

Nichtsdestotrotz bedeutet diese kleine Abbremsung dennoch, dass sich die Pioneer-Sonden niemals vollständig aus dem Bereich der Sonne werden entfernen können. Je weiter sie sich von der Sonne entfernen, desto langsamer wird die Entfernungsgeschwindigkeit in Richtung zur Sonne. Irgendwann einmal in ferner Zukunft werden sich die Pioneer-Sonden daher nicht mehr weiter von der Sonne entfernen, sondern relativ zur Sonne stillstehen, sofern die radioaktive Wärmequelle an Bord der Raumschiffe nicht vorher versiegt.

Hier der aktuelle Blick von Pioneer 10 und Pioneer 11 zurück auf das Solarsystem:

Blick zurück von Pioneer 10 auf das Sonnensystem seiner Erbauer am 27. Dezember 2010 (*Quelle: NASA Solar System Simulator*)  
Blick zurück von Pioneer 11 auf das Sonnensystem seiner Erbauer am 27. Dezember 2010 (*Quelle: NASA Solar System Simulator*)