

Die entferntesten Botschafter der Menschheit im Weltall

Die beiden Sonden Voyager 1¹ und Voyager 2² (Voyager = Reisender) haben es bisher weiter ins All geschafft als alle anderen von Menschenhand gebauten Objekte. Obwohl ihre ursprünglichen Missionen lediglich auf vier Jahre ausgelegt waren, sind sie jetzt bereits seit mehr als 45 Jahren erfolgreich im Weltraum unterwegs. Beide Sonden wurden 1977 von der NASA im Abstand von wenigen Tagen gestartet. Gründe für die Projektgestaltung in einer Zwillingausführung waren das Streben nach Redundanz, eine erhöhte Flexibilität und die Möglichkeit, Objekte aus verschiedenen Blickwinkeln mehr oder weniger parallel zu untersuchen.

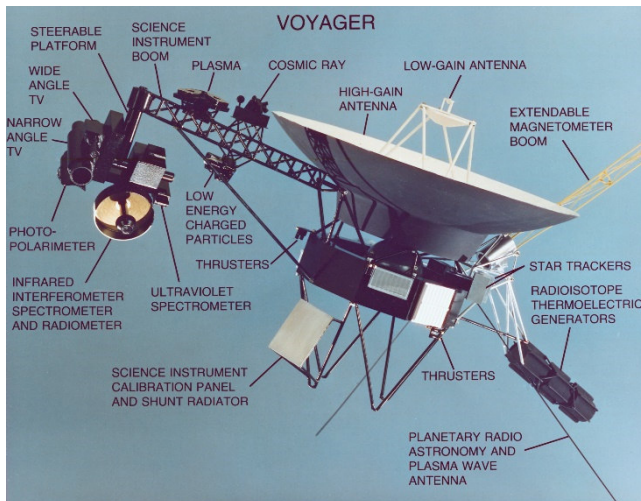


Bild 1 Aufbau einer Voyager-Sonde¹

Die weitgehend baugleichen Sonden (**Bild 1**) bestehen aus einer ringförmigen Aluminiumzelle mit einem Durchmesser von 1,78 m und einer Höhe von 0,47 m. Der Datenaustausch mit der Erde erfolgt über eine 3,66 m durchmessende Parabolantenne bei einer derzeitigen Signallaufzeit (in einer Richtung) von ca. 22 bzw. 18 Stunden bei Voyager 1 bzw. 2. Die meisten wissenschaftlichen Instrumente befinden sich an einem 2,5 m langen Ausleger. Die zentrale Zelle enthält einen Hydrazin-Tank, der die Schubdüsen für die Lageregelung mit Treibstoff versorgt. Die Gesamtmasse jeder Sonde beträgt etwas mehr als 800 kg. Wegen

des großen Abstandes zur Sonne konnte die Energieversorgung nicht mit Solarzellen realisiert werden, sondern erfolgt mit Radionuklidbatterien (ursprüngliche Gesamtleistung 470 Watt). Auf Grund des radioaktiven Zerfalls, einer temperaturabhängigen Wirkungsgradreduzierung und von Alterungsvorgängen verringert sich die Leistung jährlich um etwa 4 Watt. Damit genügend Energie für Steuerung und Kommunikation übrigblieb, mussten nach und nach immer mehr wissenschaftliche Geräte und Funktionen abgeschaltet werden. Die Voyager-Sonden besitzen drei redundante Computersysteme, die im Wesentlichen auf Verdrahtungstechnik basieren und über eine aus heutiger Sicht winzige Rechenleistung verfügen. Ihre Speicherleistung wird von modernen Mobiltelefonen um einen Faktor drei Millionen übertroffen. Die Software der Sonden wird von der Erde aus nach wie vor gepflegt und weiterentwickelt. Die Sonden tragen jeweils 11 wissenschaftliche Instrumente für Direktmessung (z.B. Teilchendetektoren) und Fernerkundung (z.B. Kameras).

Die beide Sonden sollten vor allem Untersuchungen an Jupiter und Saturn sowie an deren Monden Io und Titan vornehmen, über die es zum Zeitpunkt des Starts kaum detaillierte Informationen gab. Ein wesentlicher Faktor, der zur Realisierung des Voyager-Projektes führte, war eine sich vor etwa 60 Jahren anbahnende seltene Planetenkonstellation. Eine solche gab es zuletzt im frühen 19. Jahrhundert und würde es erst wieder ca. 180 Jahre später geben. Dabei handelte es sich um die Aufreihung der vier äußeren Planeten auf einem langen Bogen zur Erde wie auf einer Perlenkette. Dadurch bestand die Möglichkeit zur Anwendung sogenannter Swing-by-Manöver³. Durch „gravitatives Schwungholen“ konnten sich die Sonden gewissermaßen von Planet zu Planet „hangeln“ und dabei Geschwindigkeit zulegen, eine Verfahrensweise, mit der man bis dahin kaum Erfahrungen hatte. Da die Sonden nach Ablauf ihrer veranschlagten Lebensdauer noch voll funktionsfähig waren, wurden die Missionsziele von Voyager 2 auf die Erforschung von Uranus und Neptun ausgeweitet.

Durch die Swing-by-Manöver betrug die Flugzeit zum Neptun nur 12 anstatt 30 Jahre. Voyager 1 schwenkte nach Passieren des Saturns in eine Bahn ein, die die Sonde in einem Winkel von 35° aus der Ebene der Ekliptik hinausführte. Im weiteren Missionsverlauf wurden die Untersuchungen durch beide Sonden auf den interstellaren Raum ausgedehnt. Voyager 1 überholte im Februar 1998 die bereits 1972 gestartete Sonde Pioneer 10, die bis zu diesem Zeitpunkt am weitesten von der Sonne entfernt war. **Bild 2** zeigt die aktuellen Positionen der Pioneer- und Voyager-Sonden, sowie der 2006 gestarteten Pluto-Sonde New Horizons.

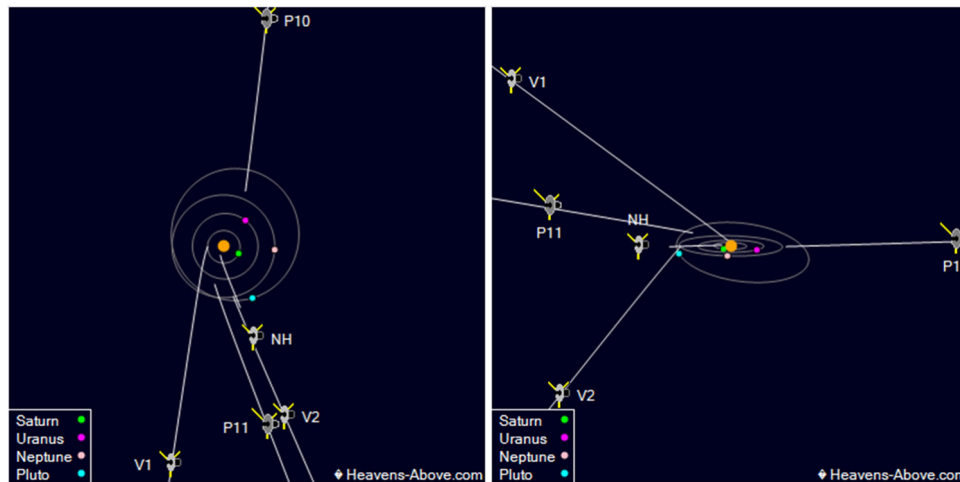


Bild 2 Blick auf das äußere Sonnensystem unter einem Winkel von 90 bzw. 10° zur Ekliptik⁴
(Sonden: Voyager, Pioneer, New Horizons)

Im Verlaufe der Mission traten bei beiden Sonden immer mal wieder gravierende Probleme auf, die aber zum Glück alle behoben werden konnten. So sendete Voyager 1 2022 über mehrere Monate trotz korrekter Funktionsweise wirre Telemetriedaten zur Erde, ehe es gelang, den Fehler zu finden und zu beheben. Ein weiteres Problem trat z.B. im Juli 2023 bei Voyager 2 auf. Durch einen Kommandofehler wurde die Antenne der Sonde unbeabsichtigt verstellt, wodurch außer dem Empfang eines schwachen Trägersignals kein Datenaustausch mehr möglich war. Zum Glück konnte einige Tage später ein mit maximaler Sendeleistung übertragenes Korrekturkommando die Antenne wieder exakt ausrichten. Das Problem bei auftretenden Fehlern ist, dass jahrzehntealte Dokumente und in Rente gegangene NASA-Ingenieure hinzugezogen werden müssen, und es immer weniger Spezialisten mit Designerfahrungen aus den 1970er Jahren gibt.

Wichtige Ergebnisse, die bei dieser äußerst erfolgreichen Mission bisher erreicht wurden, sind u.a.:

- Bilder von allen äußeren Planeten in bis dahin unerreichter Qualität
- Entdeckung einer Vielzahl neuer Monde
- Entdeckung des aktiven Vulkanismus auf dem Mond Io
- Detaillierte Informationen zum Aufbau des Saturnringe-Systems
- Analyse der Struktur der Saturnatmosphäre
- Entdeckung der Neptunringe
- Wesentliche Erkenntnisse zur Natur des Sonnenwindes (Teilchenstrom von der Sonne), der Heliosphäre (Einflussbereich des Sonnenwindes) und der Heliopause (Übergang von der Heliosphäre zum interstellaren Medium)

Voyager 1 und 2 haben die Heliopause 2012 bzw. 2018 in einem Abstand von ca. 120 Astronomischen Einheiten (1 AE = 150 Mio. km) zur Sonne durchquert. Nach aktuellem Erkenntnisstand haben sie damit aber nicht das Sonnensystem verlassen, als dessen Grenze heute eine Region außerhalb der Oortschen Wolke gilt. Bei dieser handelt es sich um eine hypothetische Kometenwolke im äußersten Bereich des Sonnensystems, die bis zu 100.000 AE von der Sonne entfernt ist.

Die Robustheit der beiden Sonden lässt hoffen, dass sie ihre Arbeit noch eine Zeitlang fortsetzen können. Der Hydrazin-Treibstoff wird noch mindestens bis 2040 ausreichen. Begrenzendes Kriterium wird voraussichtlich die Energieversorgung sein (s.o.). Bisher ist es durch Abschaltung nicht-essentieller Systeme immer wieder gelungen, die Lebensdauer der Sonden zu verlängern. Auch nach Ausfall der letzten Systeme werden die Sonden weiterfliegen, in ca. 30.000 Jahren das Sonnensystem endgültig verlassen und ihren Flug zu den Sternen fortsetzen. Für den Fall, dass sie jemals auf intelligentes Leben treffen, haben sie eine Botschaft von der Erde an Bord, eine vergoldete Schallplatte⁵ mit dem Titel „Sounds of Earth“.

Quellen

1	https://de.wikipedia.org/wiki/Voyager_1
2	https://de.wikipedia.org/wiki/Voyager_2
3	https://astrowis.de/wp-content/uploads/Newsletter_2020_07.pdf
4	https://www.heavens-above.com/SolarEscape.aspx
5	https://astrowis.de/wp-content/uploads/Newsletter_2020_05.pdf