

Voyager - Erkunder des äußeren Planetensystems

Voyager 1 und **Voyager 2** waren zwei Missionen ([offizielle Webseite ist hier](#)), die explizit dazu gedacht waren, die äußeren Planeten des Sonnensystems zu erkunden. Man hatte schon Mitte der 60er Jahre des vorigen Jahrhunderts entdeckt, dass es eine bestimmte Planetenkonstellation Ende der 70er Jahre geben würde, bei der jeweils die Gravitation des gerade besuchten Planeten dazu benutzt werden konnte, in die Bahn zum nächsten Kandidaten per Gravitations- [SwingBy Manöver](#) einschwenken zu können. Dies alles ohne großen Treibstoffverbrauch.

Jupiter sollte dabei als Sprungbrett dienen, um die Planeten Saturn, Uranus, Neptun und Pluto als "Grand Tour" in akzeptabler Zeit zu erreichen. Zwischen 1976 und 1978 waren folgende Routen möglich: Jupiter–Saturn–Uranus–Neptun, Jupiter–Saturn–Pluto und Jupiter–Uranus–Neptun. Diese Chance wollte sich die NASA nicht entgehen lassen.

Die Voyager-Sonden hatten keinen besonderen Forschungsschwerpunkt, da es im Vorfeld erst wenige Erkenntnisse über die äußeren Planeten gab, die hätten ausgebaut werden können. Daher waren die Missionsziele relativ weit gefasst und beinhalteten im Wesentlichen die genauere Bestimmung der Masse, Größe und Form aller Planeten, Monde und Ringe. Darüber hinaus sollten die Monde Io und Titan genauer untersucht werden, da es Hinweise auf besondere Vorgänge auf der Oberfläche dieser Monde gab. Wie man heute weiß, ein guter Plan, denn der Jupitermond Io ist einer der aktivsten Objekte im Sonnensystem und der Saturnmond Titan ist neben der Erde der einzige Himmelskörper im Solsystem mit einem aktiven Flüssigkeitskreislauf inklusive Wolken, Regen, Flüssen und Ozeanen, allerdings alles aus organischen Kohlenwasserstoffen anstelle von Wasser.

Die Energieversorgung beider Raumschiffe basiert genau wie bei den [PioneerSonden](#) auf Radionuklidbatterien, die mit radioaktivem ²³⁸Pu arbeiten. Die Halbwertszeit dieses Elementes beträgt knapp 88 Jahre, d.h. die Energieausbeute nimmt kontinuierlich ab. Bei allmählichem Abschalten der Bordinstrumente lassen sich beide Raumschiffe noch bis ins Jahr 2025 hinein mit ausreichend Energie versorgen, um die Erdkommunikation aufrecht erhalten zu können.

Voyager 1 startete am 5. September 1977, Voyager 2 sechzehn Tage früher am 20. August 1977. Aufgrund der höheren Startgeschwindigkeit überholte Voyager 1 sein Schwesterschiff schon am 15. Dezember 1977. Beide Raumschiffe flogen verschiedene Kurse. Voyager 1 besuchte Jupiter und Saturn, während Voyager 2 auch die weiter außen liegenden Planeten Uranus und Neptun anflug. Lediglich Pluto stand aufgrund der bahnmechanischen Gegebenheiten nicht auf der Kandidatenliste. Dieses mittlerweile nicht mehr als regulärer Planet, sondern als Kleinplanet bzw. *Plutoid* angesehe Objekt wird das Raumschiff [New Horizons](#) im Jahr 2015 erforschen.

Die Instrumentenausstattung lässt sich z.B. auf den [Wikipedia-Seiten](#) nachlesen. Es handelt sich im wesentlichen um mehrere Kamerasysteme mit Tele- und Weitwinkelobjektiv, sowie verschiedene Spektrometer zur Erfassung von Teilchenströmen und zur Analyse von Ultraviolett- und Infrarotdaten und ein Magnetometer zur Magnetfeldmessung. Darüberhinaus haben die Voyager-Raumschiffe genau wie vor ihnen die beiden [Pioneer-Sonden](#) eine [Informationstafel für außerirdische Zivilisationen](#) an Bord. Voyager 1 wird im Jahr 40.272 eine minimale Entfernung von 1.7 Lichtjahren zum Stern *AC+79 3888* in der Konstellation *Kleiner Bär* erreichen, während Voyager 2 in 40.000 Jahren den Stern *Ross 248* in 1.7 Lichtjahren Entfernung passiert und in etwa 300.000 Jahren in die Nähe des Sirius-Systems gelangen wird.

Voyager 1 gelangte als erstes der beiden Raumschiffe zum Jupiter. Ab 14. Dezember 1978 liefen bei der Annäherung an den Riesenplaneten alle Instrumente. Am 4. März 1979 begann die heiße Phase, als Voyager 1 innerhalb von nur 30 Stunden alle großen und ein paar kleinere Monde des Jupiters abflog. Außerdem wurden zwei neue Monde, *Metis* und *Thebe*, entdeckt. Im Gravitationsfeld des Jupiter wurde das Raumschiff auf einen Kurs zum Saturn hin umgelenkt. Nachdem es Jupiter am 13. April 1979 hinter sich gelassen hatte, traf am 25. April 1979 Voyager 2 am Jupiter ein und konnte die Messungen nahtlos fortsetzen. Man entdeckte zum ersten Mal die aktive Oberfläche des Jupitermonds Io mit wilden Vulkanausbrüchen und einer schwefelgelben Oberfläche, nahm Blitze in der Atmosphäre des Riesenplaneten wahr und fotografierte nahezu alle Monde des Riesenplaneten aus verschiedenen Entfernungen. Am 5. August 1979 verließ Voyager 2 das Jupitersystem und nahm unterstützt durch einen [Gravity-Assist](#) des Riesenplaneten ebenfalls Kurs auf Saturn.

Der Jupitermond Io, einer der vier schon von Galileo entdeckten Monde des Jupiter. Es ist der aktivste Mond im ganzen Sonnensystem. Durch die Gezeitenkräfte des Jupiter wird er stark durchgeknetet und sein Kern dadurch aufgeheizt. Seine Oberfläche ist gelb bis gelborange gefärbt durch Schwefelverbindungen, die von einer Reihe von aktiven Vulkanen auf die Oberfläche transportiert werden.

Am 10. November 1980 traf Voyager 1 im Kernbereich des Saturnsystems ein, neun Monate vor Voyager 2. Gleich zu Beginn wurde Titan untersucht und man entdeckte eine dichte Smogatmosphäre aus Kohlenwasserstoffen um den größten Saturnmond, der alle direkten Untersuchungen der Oberfläche unmöglich machte. Die Instrumentenausstattung war für diesen Mond nicht geeignet. Erst das Raumschiff *Cassini* konnte es mit einer modifizierten Instrumentenausstattung mehr als 20 Jahre später besser machen und sogar [sein Beiboot Huygens auf dem Saturnmond landen](#). Man hatte für den Vorbeiflug an Titan den Kurs von Voyager 1 so legen müssen, dass das Raumschiff nach der Saturnpassage in einem Winkel von 35° aus der Ekliptik herausgeschleudert wurde und damit keinen weiteren Planeten erreichen konnte. Dies wurde bei Voyager 2 korrigiert, denn Titan war unzugänglich, sodaß dieses Raumschiff den Kurs zum Uranus nach einem [Saturn Swing-By](#) erreichen konnte. Ebenso wie beim Jupiter war die Saturnpassage außerordentlich erfolgreich. Man fotografierte die größten Monde, entdeckte einige neue Monde, und untersuchte eingehend die Ringe des Saturn.

Voyager 1 flog in Richtung auf den Rand des Sonnensystems weiter und verließ die Ekliptik. Daher konnte am 14. Februar 1990 ein einzigartiges Foto aufgenommen werden: ein Mosaik, das [alle sechs inneren Planeten des Sonnensystems](#) bis hin zu Saturn in einem Bild und in Farbe zeigt ([hier das NASA-Original](#)). Im Februar 1998 überholte das Raumschiff seinen Vorgänger [Pioneer 10](#) und ist seitdem das weiteste von der Erde entfernte Raumschiff der Menschheit. Voyager 1 flog keine weiteren Planeten mehr an.

Voyager-Panoramafoto des Sonnensystems. Die einzelnen Planeten sind durch ihren Buchstaben gekennzeichnet und deren vergrößerte Bildausschnitte mit angegeben. Die Sonne ist unterdrückt, da sie ansonsten die inneren Planeten überstrahlen würde.

Am 4. November 1985 nahm Voyager 2 seine Arbeit zur Vermessung des Uranus-Systems auf. Seine Flugsoftware war mittlerweile komplett überarbeitet und erneuert worden, sodaß die Licht- und Energieverhältnisse am Uranus berücksichtigt werden konnten. Es gab es drei große Problembereiche: die extrem geringe Datenrate aufgrund der großen Entfernung (vier mal niedriger als bei Saturn), die verminderte Energieabgabe der Radionuklidbatterien von nur noch 400 Watt (420 Watt waren für den Vollbetrieb notwendig) und die geringe Lichtstärke, die längere Belichtungszeiten erforderte und somit die Gefahr von unscharfen Bildern erhöhte. Verbesserungen an den Antennen des Deep Space Networks auf der Erde, optimierte Kompressionsalgorithmen für die Bildbearbeitung und zeitweises Ausschalten der gerade nicht benötigten Instrumente lösten diese Probleme zufriedenstellend und so wurde die Uranuspassage ebenfalls ein voller Erfolg. Es gelang auch hier, den Riesenplaneten und seine größten Monde zu fotografieren. Es waren und sind bis heute die ersten und einzigen Bilder dieses zweitäußersten Planeten des Sonnensystems !

Nach der Passage des Uranus gelangte Voyager 2 erneut durch ein [planetares Swing-By Manöver](#) auf Kurs zum Neptun.

Position der beiden Voyager-Raumschiffe in Bezug zum Sonnensystem. Voyager 1 hat den "Heliosheath" bereits verlassen und stößt auf den "Bow Shock" vor. Voyager 2 ist noch mitten im "Heliosheath" und unterliegt noch dem Rand des Sonnenwindbereiches.

[Tweets by @NASAVoyager](#)

[Tweets by @NASAVoyager2](#)

Der äußerste Planet des Sonnensystems, Neptun, wurde mit der aktiven Meßphase ab 6. Juni 1989 untersucht. Die drei Problembereiche bei Uranus hatten sich naturgemäß weiter verschärft, konnten aber auch dieses mal durch geeignete Maßnahmen zumindest umgangen werden. Die Neptun-Passage wurde ein ebensolcher Erfolg wie alle vorherigen Passagen. Voyager 2 fand gleich 9 (!) neue Monde des Neptun. Die Fotos des Planeten und seiner Monde sind ebenso legendär wie die des Uranus. Es gibt bis heute keine anderen. Man fand die Ringe des Neptun und konnte zum erstenmal seine Rotationsgeschwindigkeit ermitteln. Außerdem wurde der größte Neptunmond, Triton, genauer untersucht. Er hat eine junge Oberfläche, die durch vulkanische Aktivität von Eis- und Stickstoffvulkanen permanent umgestaltet wird.

Ende 2002/Anfang 2003 gelangte Voyager 1 in den Randbereich des "Termination Shock", wo sich der Sonnenwind mit der interstellaren Materie vermischt. Am 16. Dezember 2004 passierte es den Rand des Sonnensystems in 91 AU Entfernung von der Erde, als sich die Richtung des Magnetfeldes abrupt änderte und seine Stärke um 150% zunahm.

Im Mai 2005 erreichte Voyager 1 den "Heliosheat", den äußeren Bereich der Heliosphäre um die Sonne. Im Dezember 2009 entdeckte das Raumschiff das starke Magnetfeld außerhalb des Sonnensystems, das die sog "lokale interstellare Wolke" rund um das Sonnensystem zusammenhält.

Im Frühjahr 2010 verließ Voyager 1 den "Heliosheat" und wird in etwa vier Jahren die Heliopause, die Grenze des Sonnensystems, überschreiten und dann endgültig in den interstellaren Raum vorstoßen. Die gravitative Vorherrschaft der Sonne reicht noch um vieles weiter und umfasst theoretisch auch die [Oortsche Wolke](#) als den äußersten Teil des Sonnensystems. Voyager 1 wird noch bis etwa 2025 genügend Energie haben, um die Erdkommunikation aufrecht erhalten zu können. Man hofft, bis dahin die Eigenschaften des interstellaren Raumes jenseits des Einflusses der Sonne vermessen zu haben. Die Mission heisst jetzt "[Voyager, The Interstellar Mission](#)" und hat eine eigene Webseite bekommen.

Nach der Passage des Neptun verabschiedete sich auch Voyager 2 aus dem Sonnensystem. Pluto war nicht erreichbar. Das Raumschiff ist wie sein Schwesterschiff ebenfalls noch aktiv und vermisst den Rand des Sonnensystems. Auch Voyager 2 wird voraussichtlich noch bis zum Jahr 2025 funktionieren.

Beide Raumschiffe gelten als einer der größten Erfolge der NASA und der Raumfahrt allgemein, da sie ihre geplante Lebenserwartung bereits weit übertroffen haben und noch heute regelmäßig Daten zur Erde senden. Außerdem sind sie die am weitesten von der Erde entfernten von Menschen gebauten Objekte überhaupt und werden diesen Status auf absehbare Zeit behalten. Die Entfernung von **Voyager 1** zur Sonne beträgt im Dezember 2010 etwa 116 [AU](#), und nimmt jährlich um knapp 4 [AU](#) zu. **Voyager 2** befindet sich Ende 2010 in einer Entfernung von 95 [AU](#) von der Sonne und entfernt sich pro Jahr weiter um etwa 3.1 [AU](#) pro Jahr. Dies entspricht einer Entfernung von etwas über 16 [Lichtstunden für Voyager 1](#) und etwas über 14 [Lichtstunden für Voyager 2](#). Beide Sonden nähern sich somit allmählich der Entfernung von 1 Lichttag. Vom Senden eines Kommandos hin zum Raumschiff bis zum Eintreffen der entsprechenden Empfangsbestätigung vergehen zur Zeit mehr 30 h. Faszinierend !

Beide Raumschiffe twittern, d.h. liefern von Zeit zu Zeit Beschreibungen über ihre Erlebnisse: