

REISE ZU DEN STERNEN

Die Voyager Missionen:

von DR. KAI-OLIVER DETKEN, GRASBERG

Den Griff zu den Sternen zu realisieren, war schon immer der Wunsch der Menschheit. Konnte man in Jahrtausenden nur durch reine Beobachtung und das Hilfsmittel der Mathematik Vermutungen zu unserem Sonnensystem anstellen, so änderte sich dies schlagartig mit Beginn des Raumzeitalters. Mit der Möglichkeit unsere Atmosphäre zu verlassen eröffneten sich völlig neue Wege, um mehr über unser Universum erfahren zu können. Raumsonden wurden gebaut, um zu den Planeten unseres Sonnensystems zu reisen und mehr über sie zu erfahren. Sie brachten Bilder mit, die man bis dahin nicht für möglich gehalten hatte und lieferten Beweise für so manche Theorie. Begonnen wurde diese Geschichte u.a. von den Raumsonden Voyager 1 und 2, die ihre Missionen längst abgeschlossen haben, aber noch heute Daten zur Erde senden. Dieser Artikel möchte auf die Reise dieser beiden Sonden eingehen, die in Bereiche vorgedrungen sind und noch vordringen werden, die nie ein Mensch zuvor gesehen hat.

Die Nutzung der Gravitation

Bereits Mitte der 1960er Jahre machte man sich Gedanken, wie es ermöglicht werden könnte, Raumsonden mit möglichst wenig Energiebedarf zur Erkundung unseres Sonnensystems einzusetzen. Schließlich wäre es problematisch gewesen große Energietanks anzubringen, um so ausreichend Treibstoff für eine längere Reise zur Verfügung stellen zu können. Zwar lassen sich die Systeme hauptsächlich mit Solarenergie speisen, aber den Gravitationsausgleich zu den Planeten, hätte jeweils eine Menge Treibstoff verbraucht. Um dieses Problem zu lösen, spielte man mit dem Gedanken die Gravitationsenergie der Planeten positiv zu nutzen (**Anziehungseffekt**), um dann später sich wieder von ihnen abzustoßen. Dieser Effekt wurde „**Swing-by**“ genannt und sollte eine Schwerkraftumlenkung ermöglichen. Eine besondere Bedeutung nahm dabei der Planet Jupiter ein, der die größte Masse in unserem Sonnensystem besitzt – nämlich 2,5mal soviel Masse, wie alle anderen sieben Planeten zusammen. Die Masse entspricht ungefähr 318 Erdmassen bzw. dem 1.048ten Teil der Sonnenmasse. Diese Masse wollte man nun ausnutzen, um möglichst energiesparend die äußeren Planeten erreichen zu können, über die man bis dato noch relativ wenig bzw. schlechtes Bildma-



Abb. 1: Modell der Voyagersonden [1].

terial besaß. Eine besonders günstige Konstellation der Planeten errechnete man zwischen 1976 und 1978, so dass bei der NASA mit Hochdruck an der Fertigstellung bis zu diesem Zeitpunkt gearbeitet wurde.

Geschichtliches

Anfangs war sogar eine Sondenfamilie vorgesehen, die die Erforschung der äußeren Planeten umsetzen sollte. Ende der 1960er Jahre waren die ersten Sonden zudem auch recht üppig konstruiert worden, so dass man eine Saturn V als Trägerrakete benötigt hätte. Bis zu fünf Sonden sollten im **Outer Planets Grand Tour Project**

(**OPGTP**) eingesetzt werden, um auf der einen Seite die Tour Jupiter-Saturn-Pluto im Jahr 1976 und auf der anderen Seite die Tour Jupiter-Uranus-Neptun im Jahr 1979 anzugehen. Das Programm sollte 700 Mio. Dollar kosten und wurde dann auch prompt Anfang der 1970er Jahre aufgrund der zu hohen Kosten gestrichen. Voyager 1 und 2 (baugeleich, siehe Abbildung 1) waren somit eine Notlösung, um die Kosten im überschaubaren Rahmen halten zu können. Der Kostenrahmen betrug nun „nur“ noch 250 Mio. Dollar. Durch die wesentlich kleinere Bauweise war als Trägerrakete die Titan-Serie vorgesehen. Diese war ur-

sprünglich als Interkontinentalrakete entwickelt worden, diente dann aber als leistungsfähige Trägerrakete, u.a. für das Raumfahrtprogramm Gemini. Weiterentwicklungen der Titan-Rakete sind bis 2003 noch als Trägerrakete für Satellitensysteme im Einsatz gewesen.

Bis 1975 hatte man die konzeptionelle Phase abgeschlossen, so dass anschließend mit dem Bau der Sonden begonnen werden konnte. Als Forschungsschwerpunkte wurden die Untersuchung der Atmosphäre von Saturn und Jupiter, Analyse der Monde beider Planeten, genauere Bestimmung der Masse, Größe und Form aller Planeten, Monde und Ringe sowie die Untersuchung diverser Magnetfelder und Zusammensetzung geladener Teilchen auserkoren. Damit waren die Themen relativ weit gefasst – man wusste einfach noch zu wenig über die Möglichkeiten eines solchen Vorbeiflugs.

Der Swing-by-Effekt

Um den Jupiter zur Schwerkraftumlenkung nutzen zu können, musste, wie bereits erwähnt, der Swing-by-Effekt erfunden werden. In den 1960er Jahren wurde bereits darüber nachgedacht. Die erste Erprobung dieser Theorie ist dann 1970 bei der Apollo-13-Mission aus einer Notlage heraus vorgenommen worden, da nach einer Explosion eines Sauerstofftanks die Mission abgebrochen werden musste. Große technische Improvisation war notwendig, um die drei Besatzungsmitglieder wieder heil auf die Erde zurückzubringen. Durch den Ausfall der Sauerstoff-, Strom- und Wasserversorgung blieben nur wenige Stunden, um das Unheil abzuwenden. Da eine direkte Schubumkehr wegen des unbekanntes Zustands der Antriebsraketen ausgeschlossen wurde, beschloss man die Gravitation des Mondes auszunutzen, um den Schwung nach dem Mondumflug wieder zur Erde mitzunehmen. Wenn man bedenkt, wie viele Unsicherheitsfaktoren bei dieser Mission eine Rolle spielten, grenzte es fast an ein Wunder, dass die Astronauten alle überlebten.

Aber wie funktioniert dieser Swing-by-Effekt eigentlich genau? Schließlich kann ja eine Beschleunigung durch die Anziehung eines Planeten nur wieder abbremmend wirken nach einem Vorbeiflug, da dann die Gravitation sich ja negativ auswirken würde. Man könnte auch sagen: eine Energie, die hinzugefügt wurde, muss auch anschließend wieder abgezogen werden.

Im Fall von Voyager 2 wurde eine Beschleunigung von 18 km/s durch den Saturn erreicht, wodurch seine Reisezeit zum Neptun auf die Hälfte gekürzt werden konnte. Dabei wurde die Sonde im ersten Schritt durch das Gravitationsfeld des Planeten Saturns angezogen und dadurch entsprechend abgelenkt von ihrer ursprünglichen Flugbahn. Dies geschieht, indem die Sonde in einem verhältnismäßig steilen Winkel auf den Planeten zufliegt. Dadurch wird zwischen dem Planeten und der Sonde ein Drehimpuls ausgelöst. Die Sonde verlässt dabei den Einflussbereich des Planeten in einer Richtung, die der Bewegungsrichtung des Planeten ähnlich ist. Bei diesem Vorgang wird kinetische Energie von dem Planeten auf die Sonde übertragen. Wegen des großen Masseunterschieds ist eine Geschwindigkeitsänderung des Planeten dabei nicht nachzuweisen. Dies lässt sich anhand eines einfachen Beispiels verdeutlichen: Wirft man einen Tennisball auf ein fahrendes Auto, wird der Ball ungefähr mit der Geschwindigkeit des Fahrzeugs zurückgeschleudert. Zusätzlich müsste die Geschwindigkeit des Balles das Auto entsprechend verlangsamen. Das geschieht letztendlich auch, ist aber nicht merkbar.

Wichtig für das Verständnis ist es, den Vorgang von zwei verschiedenen Standpunkten aus zu beobachten. System 1 ist dabei der Standpunkt, den die Sonne als fest annimmt und die Bahnen der Planeten betrachtet. Hier muss der Energiegewinn festgestellt werden. System 2 ist ein Beobachtungssystem, das sich mit den Planeten mitbewegt. Aufgrund der großen Entfernung zur Sonne, kann die Gravitationskraft der Sonne als konstant

betrachtet werden. Der Planet folgt ihr durch die Bahnkrümmung. Das System 2 wiederum folgt dieser beschleunigenden Kraft, ohne dass ihre Wirkung im System spürbar ist. Wegen der kurzen Dauer des Vorgangs und der daraus folgenden räumlichen Begrenzung kann für System 1 angenommen werden, dass der Planet sich gradlinig und gleichförmig bewegt. In System 2 ruht der Planet und in seinem Gravitationsfeld befindet sich die Sonde. Die Systeme 1 und 2 sind somit Inertialsysteme, die sich zueinander mit der Geschwindigkeit des Planeten bewegen. In System 2 findet eine elastische Streuung statt, weshalb Energie- und Impulserhaltungssatz gelten. Die Geschwindigkeit der Sonde im System 2 ist also vor und nach der Begegnung annähernd gleich groß. Um die Geschwindigkeiten in das System 1 zu übertragen, muss die Geschwindigkeit, mit der sich die Systeme zueinander bewegen, addiert werden. Der Energiegewinn ergibt sich dann aus der kinetischen Energie. [2]

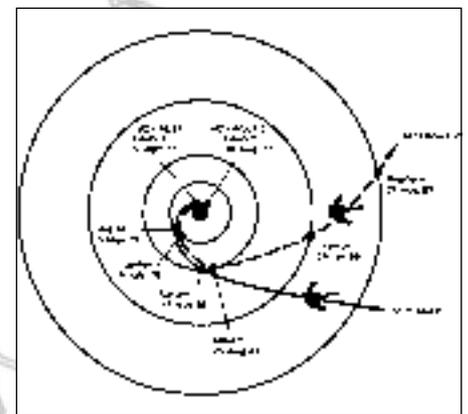


Abb 2: Flugbahnen der Voyager-Sonden mittels des Swing-by-Effekts [2].

Man kann den Swing-by-Effekt auch einfacher erklären, wie auch die Abbildung 2 verdeutlicht. Die Sonde tritt mit einer bestimmten Geschwindigkeit in die Einflussphäre des Planeten, wird durch den Planeten beschleunigt. Sie erreicht den planetennächsten Punkt und hat dort ihre maximale Geschwindigkeit. Wenn die Sonde den Planeten wieder verlässt, baut sich die Geschwindigkeit wieder ab, bis die Geschwindigkeit erreicht

wird, mit der die Sonde den Planeten ursprünglich erreicht hat. Vom Planeten aus gesehen hat die Sonde also weder Geschwindigkeit gewonnen oder verloren. Einziger Unterschied: die Bahn der Sonde wurde durch die Anziehungskraft des Planeten gekrümmt. Aus Sicht eines Planeten ist der Vorbeiflug einer Sonde vergleichbar mit dem Squash-Spiel auf der Erde. Hier wird ein Ball mit einem Squash-Schläger gegen eine Wand geschlagen. Der Ball prallt von der Wand ab und verlässt sie mit derselben Geschwindigkeit und demselben Winkel zur Senkrechten. Die Sonde verlässt den Planeten ebenfalls im gleichen Einfallswinkel aus Sicht des Planeten. Aus Sicht der Sonne bewegt sich aber der Planet in einer Sonnenumlaufbahn und der Ein-/Austrittspunkt der Sonde unterscheidet sich auf die Sonne bezogen, da man hier den Geschwindigkeitsvektor der Sonne addieren muss. Der Planet krümmt also die Bahn der Sonde, wodurch der Geschwindigkeitsvektor der Bahn in eine andere Richtung zeigt. Selbst wenn die Sonde keine Geschwindigkeit gewonnen hätte, wäre das so. Des Weiteren haben die Sonde wie der Planet eine Geschwindigkeit, die sich relativ zur Sonne befindet. Dies ist mit einem Tennisspiel vergleichbar. Der Gegenspieler kann dabei seinen Schläger auf den Ball zu bewegen (Beschleunigen) oder sich von ihm weg bewegen (Abbremsen). Der Planet ist mit dem Gegenspieler gleichzusetzen: er bewegt sich auf seiner Sonnenumlaufbahn und die Sonde kann sich auf ihn zu bewegen oder ihn von hinten langsam einholen. Dementsprechend kann die Sonde nach einer Planetenpassage in Bezug auf die Sonne eine höhere oder niedrigere Geschwindigkeit aufweisen. [3]

Es ist daher immer wichtig von wo man solche Vorgänge aus betrachtet, um sie komplett verstehen zu können. Die Voyager-Sonden haben auf jeden Fall bewiesen, dass die Theorie in der Praxis funktioniert. Die Sonden nutzen die Wege Jupiter-Saturn-Uranus-Neptun, Jupiter-Saturn-Pluto und Ju-

piter-Uranus-Neptun aus, um schnell und Treibstoff sparend ans Ziel zu gelangen.

Energieversorgung und Computersysteme

Da die Voyager-Sonden sehr lange unterwegs sein sollten und sogar noch heute aktiv sind, mussten neue Wege in der Energieversorgung gegangen werden. Solarzellen waren beispielsweise nicht geeignet, da sich Voyager von der Sonne immer weiter entfernte und dadurch auf Dauer seinen Energiebedarf nicht hätte decken können. Daher wurden jeweils drei **Radionuklidbatterien** verbaut, die durch den Kernzerfall verursachte Wärme in elektrische Energie umwandeln können. Die Batterien enthalten dafür Plutonium 238, das eine Halbwertszeit von 87,7 Jahren besitzt. Während des Kernzerfalls werden Alphastrahlen ausgesendet, die von außen auf den Menschen relativ ungefährlich sind. Die Einnahme durch die Nahrung oder durch die Luft ist allerdings sehr schädlich, da dann lebende Zellen geschädigt werden. Es können dadurch also auch Strahlenkrankheiten entstehen. Falls die Voyager-Sonden also innerhalb der 87,7 Jahre auf einem Planeten oder Asteroid stranden sollten, würden sie in geringem Maße bereits diesen anderen Körper kontaminieren. Wahrscheinlich wird dies aber erst lange nach Ablauf der Halbwertszeit passieren. Auf Planeten werden beide Sonden in dieser Zeitspanne jedenfalls nicht mehr treffen.

Beim Start standen den Systemen an Bord ca. 470 Watt bei einer Gleichspannung von 30 V zur Verfügung. Da die Leistung aufgrund des radioaktiven Zerfalls jedes Jahr geringer wird, muss mit einem Energieverlust von 1,38% pro Jahr gerechnet werden. Damit die Sonden möglichst lange noch ihre Signale zur Erde senden können, sind daher immer mehr wissenschaftliche Geräte im Laufe der Zeit abgeschaltet worden.

Die Voyager-Sonden besitzen drei vollständig redundante Computersysteme, die für die Kommunikation,

die Bahnausrichtung und die Datenspeicherung zuständig sind. Für die Kommunikationssysteme wurde eine Rechenleistung von 0,73 MIPS bei einer Taktrate von 1,9 MHz eingesetzt. Zum Vergleich: ein Atari-Rechner für den Heimbereich hatte 1989 auf Basis eines Motorola 68000 Chips erst 1 MIPS mit 8 MHz, während heutige Prozessoren Taktraten von 3 GHz bieten mit ca. 95.000 MIPS. Für damalige Verhältnisse war die Rechenleistung also durchaus als hochwertig zu bezeichnen. An den heutigen CPU-Leistungen lässt sich allerdings erkennen, welchen Fortschritt wir in der Computertechnik gemacht haben und noch machen werden. Dies kann man auch am Speicher feststellen: die Sonden wurden damals mit einer Kapazität von 4.000 Datenworten, die je 18 Bit lang sind, ausgestattet. Man kam daher auf eine Gesamtkapazität von 9 kByte. Heutige Computersysteme besitzen in der Grundausstattung bereits 4 GByte RAM-Speicher und auch Taschenrechner haben heute eine größere Speicherkapazität. Weshalb man auch mit 9 kByte damals auskam lag an der wesentlich schlankeren Programmierung, die damals in Maschinencode vorgenommen wurde. Das heißt, der Binärcode konnte vom jeweiligen Prozessor ohne datenverarbeitendes System direkt ausgeführt werden. Neben den redundanten Systemen wurde auch zum ersten Mal ein Selbsttest implementiert, der auftretende Probleme analysieren soll. So können damit Spannungs- und Stromschwankungen oder der Ausfall des Senders festgestellt und untersucht werden.

Die Ausrichtung der Sonden während des Vorbeiflugs an den Planeten, wurde durch ein zweites Kontrollsystem vorgenommen. Dieses musste die Instrumentenplattform bei den Vorbeiflügen exakt ausrichten und beinhaltete einen Sternenmodus zur astronomischen Navigation. Die Kalibrierung hatte dabei eine Genauigkeit von 0,05 Grad pro Stunde. Im Sternenmodus kommen jeweils ein Sternen- und Sonnensensor zum Einsatz. Der Sonnensensor besitzt eine

Abweichung von nur 0,01 Grad, während der Sternensensor exakt auf den Stern Canopus ausgerichtet ist. Beide Sensoren sind darauf geeicht, ein Bildobjekt in der Mitte des Sichtfeldes zu halten. Ab einer Abweichung von nur 0,05 Grad werden zur Kompensation die Schubdüsen aktiviert.

Der Datenspeicher des dritten Computersystems war für die Zwischenspeicherung der aufgenommenen Informationen notwendig, da die Datenrate für die Bearbeitung zu hoch war. Er enthält 18 kByte Gesamtspeicher auf CMOS-Basis, einer damals sehr neuen Speicherart, und wurde für das erste Computersystem manchmal mit verwendet. Zusätzlich wurde ein Massenspeicher auf Basis eines 328 m langen Magnetbandes verwendet, da die Bilddaten nicht sofort zur Erde gesandt werden konnten. Darauf lassen sich 67 MByte abspeichern – eine für damalige Verhältnisse enorme Speichergröße. Damit konnten ca. 100 Bilder zwischengespeichert werden. Hingegen liegen heutige Massenspeicher im Terabyte-Bereich (10^{12}) und werden demnächst den Petabyte-Bereich (10^{15}) erreichen. Die Bilder wurden dann bei optimaler Lage der Sonde über die große Parabolantenne (siehe Abbildung 3) mit bis zu 115 kBit/s zur Erde gesendet.

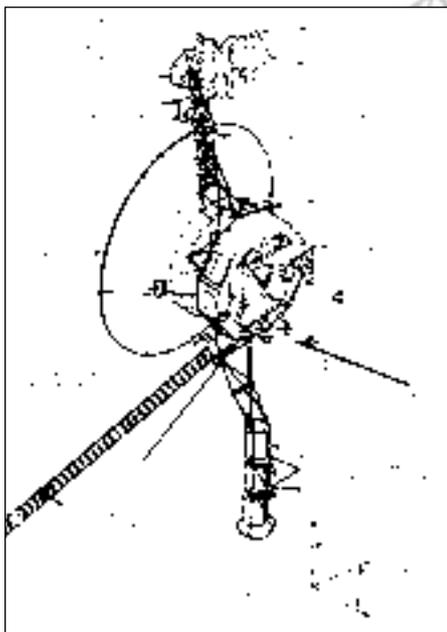


Abb 3: Architektur der Voyager-Sonden [1].

Equipment an Bord

Die Sonden enthalten 11 wissenschaftliche Instrumente, die insgesamt 90 Watt an elektrischer Leistung benötigen haben. Diese lassen sich unterteilen in Instrumente für Direktmessungen und die Fernerkundung. Alle Instrumente für die Fernerkundung sind in der beweglichen Scanplattform angebracht, die präzise auf einen bestimmten Punkt ausgerichtet werden kann.

Folgende Instrumente sind in den Sonden enthalten:

a. Cosmic Ray System (CRS):

Untersuchung des Sonnenwindes und der Strahlungsgürtel der Planeten. Drei Teilchenzähler nehmen Winkel, Anzahl und Energie von auftreffenden Teilchen wahr. Die Schädigung auf elektronische Bauteile wurde dadurch auch für zukünftige Missionen untersucht.

b. Imaging Science System (ISS):

Beinhaltet zwei optische Kameras, die im Bereich des sichtbaren und ultraviolett Lichts arbeiten. Beide Kamerasysteme können Bilder von 0,005 bis 61 Sekunden lang belichten. Die Telekamera verfügt über ein Cassegrain-Teleskop mit einer Öffnung von 176,5 mm und einer Brennweite von 1500 mm.

c. Infrared Interferometer Spectrometer (IRIS):

Hierdurch kann die Temperatur und Atmosphärenstruktur von Planeten und Monden festgestellt werden. Dies gelingt durch die Auswertung der Infrarot-Emissionswerte. Das IRIS ist mit den Kameras des ISS synchronisiert.

d. Low-Energy Charged Particles (LECP):

Dieses Instrument ergänzt das CRS, indem es niedrige elektrische Ladungen aufspüren soll. Durch zwei Sensoren konnten die Wechselwirkungen von Teilchen mit den Magnetfeldern von Monden und Planeten sowie die kosmische Strahlung und Sonnenwinde nachgewiesen werden.

e. Photopolarimeter System (PPS):

Polarisierungseffekte, die oft durch die Wechselwirkung von Licht mit

Materie entstehen, können mit diesem Instrument gemessen werden. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf die chemische Struktur von Planetenoberflächen, Ringsystemen und Atmosphären ermöglichen.

f. Plasma Spectrometer (PLS):

Dieses Instrument untersucht das Verhalten des Sonnenwindes. Zusätzlich wurden heiße, ionisierte Gase im offenen Weltraum und deren Wechselwirkung mit den Magnetfeldern der Planeten untersucht.

g. Plasma Wave System (PWS):

Dieses System benötigte die 10 m langen Antennen der Voyager-Sonden (siehe Abbildung 3), um die Wechselwirkung von Teilchen mit den Magnetfeldern der Planeten und die elektrische Komponente von Plasmawellen zu untersuchen.

h. Planetary Radio

Astronomy (PRA):

Durch die Verwendung beider Antennen des PWS können Radiowellen im Frequenzbereich von 20,4 bis 1300 kHz und von 2,3 bis 40,5 MHz empfangen werden.

i. Radio Science (RSS):

Hiermit wird der Dopplereffekt der empfangenen Signale gemessen, um daraus Rückschlüsse auf die Masse von nahe gelegenen Planeten und Monden ziehen zu können. Zusätzlich können Frequenzverschiebungen von Atmosphären oder Staubwolken ermittelt werden.

Triaxial Fluxgate

Magnetometer (MAG):

Vier Sensoren messen die Magnetfeldstärke in drei Richtungen. Durch die Anordnung können Magnetfelder bis zu einer Stärke von 1/10.000stel des Erdmagnetfelds gemessen werden.

Ultraviolet Spectrometer (UVS):

Dieses Instrument führt Analysen im Ultraviolettenbereich durch, um Strahlungsquellen in der Atmosphäre von Planeten und Monden ausmachen zu können.

Neben den wissenschaftlichen Instrumenten wurde an Board der Voyager-Sonden zusätzlich eine vergoldete

Datenplatte aus Kupfer angebracht (siehe Abbildung 4). Diese enthält Audio- und Videomaterial, um fremden Zivilisationen Informationen über die Menschen mitzugeben. Auf ihr enthalten ist u.a. unsere genaue Position im Universum. Die Datenplatte wird schätzungsweise 500 Mio. Jahre überdauern und daher noch lange Zeugnis über die Existenz der Menschheit geben. Neben der genauen Position wurde auch eine Gebrauchsanleitung für das Abspielen der Datenplatte mitgegeben. Die Angaben sind in binärer Form vorhanden und beziehen sich auf ein Wasserstoffatom, welches ebenfalls gezeigt wird. Die Datenspur enthält 115 analog gespeicherte Bilder, auf denen u.a. mathematische Definitionen, die Planeten unseres Sonnensystems und eine stillende Mutter dargestellt sind. Der vollständige Index kann unter [4] nachgesehen werden.

Die Audiodaten enthalten hingegen gesprochene Grüße in 55 Sprachen, verschiedene Geräusche auf der Erde (Wind, Donner, Tiergeräusche) und ausgewählte Musik. Darunter Ludwig van Beethoven, Johann Sebastian Bach, Wolfgang Amadeus Mozart oder Chuck Berry. Der damalige Präsident der USA Jimmy Carter ist ebenfalls auf ihr mit der Grußbotschaft zu hören: „Dies ist ein Geschenk einer kleinen, weit entfernten Welt... Wir versuchen unser Zeitalter zu überleben, um so bis in Eure Zeit hinein leben zu dürfen.“ Die goldene Datenplatte hatte aber nicht nur Befürworter. Es wurde u.a. die Vielseitigkeit der Platte kritisiert, die ein heiles Weltbild darstellt, ohne die Bezugnahme zu Hunger, Leid und Kriegen. Es würde daher ein falsches Bild von der Erde wiedergegeben. Auch die genaue Position unserer Erde wurde kritisch gesehen, da diese einer genauen Wegbeschreibung gleichkommt, die auch von feindlich gesinnten Spezies genutzt werden könnte. Im Kinofilm Star Trek I wurde dann auch diese Thematik aufgenommen, indem Voyager von einem Maschinenplaneten umkonfiguriert und mit Intelligenz versehen, wieder zur Erde zurückgeschickt wird, um nach ihrem Schöpfer



Abb. 4: Die goldene Platte der Voyager-Sonden (Vor- und Rückseite) [1].



Abb. 5: Jupiters „Red Eye“ in Nahaufnahme von Voyager 1 [6].



Abb. 6: Aktiver Vulkan auf dem Mond Io, aufgenommen von Voyager 1 [7].

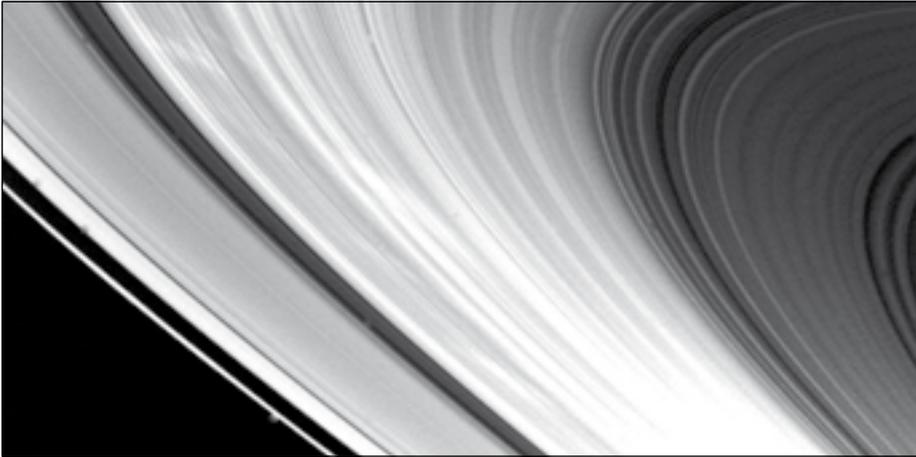


Abb. 7: Ringsystem des Saturns, Aufgenommen von Voyager 1 [8].

zu suchen. Die Menschheit wird dabei von ihr nur als Krankheitserreger (Kohlestoffeinheiten) wahrgenommen. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit in der Realität sehr gering, dass dieses oder andere Szenarien wirklich eintreffen werden, so dass man sich nicht wirklich Sorgen machen sollte.

Aufnahmen der Planeten

Voyager 2 wurde im August 1977 von Cape Canaveral aus gestartet, während Voyager 1 zwei Wochen später nachfolgte. Beide Sonden brachten Ergebnisse von den Planeten mit, die niemand vorher voraussagen konnte. Neben Aufnahmen, die man in dieser Detailtiefe bisher mit keinem Teleskop der Erde hätte machen können, wurden auch neue Monde oder Ringsysteme entdeckt. Über die Bilder, die von den Voyager-Sonden geliefert wurden, war man aber am meisten fasziniert – gaben sie doch eine Schönheit wieder, die man so nicht erwartet hatte (siehe Abbildung 5).

Neben der Schönheit der Bilder wurde auch die Vielfalt der Monde entdeckt. Nahm man vorher an, dass alle bisher bekannten Monde ähnlich dem Erdenmond aussehen würden, so erkannte man nun, dass diese höchst unterschiedlich waren. So gab es beispielsweise auf Io vulkanische Aktivitäten, die man im Bild festhalten konnte (siehe Abbildung 6). Die schwarzen Löcher stellen dabei die Vulkanschlote dar, während die Lavaströme durch die roten Flecken zu erkennen sind, die um die Schlotten he-

rum vorhanden sind. Andere Monde wie der Saturnmond Titan hatten eine Methan-Atmosphäre oder waren komplett mit Eis bedeckt, wie der Saturnmond Europa.

Außerdem entdeckte man am Planeten Jupiter ein schwaches Ringsystem, das das einfallende Licht fast komplett absorbiert, weswegen es vorher nicht ausgemacht werden konnte. Das konnte natürlich mit dem Ringsystem des Saturns nicht mithalten, wie die Abbildung 7 zeigt. Durch den Vorbeiflug am Saturn erkannte man jetzt erst die feine Strukturen der Ringe und entdeckte weitere Außenringe, die bis dahin nicht bekannt waren. Man sah jetzt, dass der Saturnring nicht homogen war, sondern sich aus vielen einzelnen Ringen zusammensetzte. An den Ringrandbereichen wurden weitere zahlreiche Kleinstmonde entdeckt, die u.a. die Ringstruktur zusammenhalten.

Voyager 2 nahm wenig später wei-

tere Aufnahmen von Saturn auf. So wurde auch die Atmosphäre genauer untersucht, was mit Voyager 1 noch nicht möglich war. Neben den tiefen Temperaturen von -130 bis -191 Grad Celsius wurden auch polarlichtähnliche Phänomene entdeckt. Dabei fiel im UV-Bereich auf, dass Polarlichter auch in den mittleren Breitengraden auf dem Saturn vorhanden sind, was man sich bis heute nicht erklären kann. Auch über das mehrstufige lineare Wolkenmuster, welches man in der Nordpolarregion ausmachen konnte und die Form eines perfekten Hexagons aufweist, rätselt man heute noch. Die Wolken innerhalb des geometrischen Musters bewegen sich kontinuierlich rückwärts, entgegen der Eigenrotation des Saturns. Dieses Muster blieb nachweislich über Jahrzehnte erhalten, weshalb man davon ausgehen muss, dass ein beständiger, innerer hyperdimensionaler Energiefluss durch Saturn geht. Das Hubble-Teleskop konnte 15 Jahre später immer noch die gleiche Form ausmachen, wenn auch nicht ganz so deutlich wie Voyager 2.

Nach Saturn waren Uranus und Neptun bei Voyager 2 an der Reihe. Man glaubte aber ursprünglich selbst nicht daran, dass diese Missionen erfolgreich verlaufen sollten, da die geschätzte Lebensdauer bis dahin über das doppelte überschritten sein würde. In den 8 Jahren des Anflugs auf Uranus, wurde die Software von Voyager 2 komplett überarbeitet. Die Verbesserungen mussten implementiert werden, da die Datenrate aufgrund der Entfernung



Abb. 8: Uranus und Neptun, aufgenommen von Voyager 2 [1].

weiter sank, die Energieabgabe der Batterien nur 400 Watt betrug und die Lichtstärke für die Bildbelichtung immer geringer wurde. Man bekam aber alle Probleme in den Griff und sendete 1985 die ersten hochauflösenden Bilder von Uranus zur Erde.

Neptun wurde 1989 erreicht und in 4.828 km Entfernung fotografisch festgehalten. Die genannten Probleme bei der Uranus-Mission verschärften sich natürlich weiter, aber auch hier schafften Verbesserungen erneut den erfolgreichen Abschluss der Mission. Größtes Problem war der immer weiter gesunkene Empfangspegel. Um das Empfangssignal aus dem Rauschsignal noch sicher erkennen zu können, wurden die Empfangsstationen auf der Erde wesentlich verbessert. So wurde auf der einen Seite die Antenne vergrößert und auf der anderen Seite mehrere Antennenanlagen zusammengeschaltet.

Dadurch war dann immerhin eine Datenrate von 19-22 kBit/s möglich. Das entspricht ungefähr der Hälfte einer ISDN-Verbindung, die auf einem B-Kanal immerhin 64 kBit/s senden und empfangen kann. Man kann sich daher vorstellen, wie lange die Übertragung der ca. 9.000 Bilder gedauert haben mag.

Es wurden auch bei Neptun neue Monde entdeckt. Die neun neuen Objekte konnten aber nicht optimal

beobachtet werden, da dies in der Flugbahn vorab nicht einbezogen wurde. Eine Ausnahme bildete Proteus, der früh genug entdeckt wurde. Der vorher bekannte Mond Triton wurde sehr genau untersucht. Er enthielt kaum Einschlagskrater und besaß ebenfalls vulkanische Aktivitäten. Auch konnte seine Größe erstmals genau bestimmt werden.

Heutige Mission

Im Januar 1990 begann die letzte Phase beider Sonden, die Voyager Interstellar Mission (VIM) genannt wurde. Es wurde zum letzten Mal das Instrument ISS aktiviert, um ein Mosaik aufzunehmen, welches sechs Planeten unseres Sonnensystems in Farbe zeigt. Dafür musste Voyager 1 vorab um 180 Grad gedreht werden. Die Fotos wurden aus einer Entfernung von 6,4 Mrd. Kilometern aufgenommen – der größten Distanz, aus der je ein Mensch die Erde gesehen hat.

Die Voyager-Sonden haben uns das eigene Sonnensystem mit ganz neuen Augen gezeigt. Viele Monde und neue Ringsysteme wurden neu entdeckt. Auch war die Vielfalt der Mondoberflächen vorher völlig unbekannt. Der Nachweis von gefrorenem Wasser auf anderen Himmelskörpern in unserem Sonnensystem wurde von der Öffent-

lichkeit und den Wissenschaftlern mit großem Interesse verfolgt. Weitere Missionen wurden daher nach Voyager geplant, um neue Entdeckungen zu machen.

Aktuell befinden sich beide Sonden in der Heliosheath-Region, noch im Einflussbereich des Sonnenwindes. Im Jahr 2015 soll auch diese Region verlassen werden und in die Heliopause eintreten. Der Treibstoff der Sonden wird ca. noch 40 Jahre ausreichen, wobei sich aber vorher die Energieversorgung für die Instrumente langsam verabschieden wird. So werden bis zum Jahr 2025 wohl alle restlichen Instrumente abgeschaltet sein. Einen Forschungsauftrag müssen beide Sonden nicht mehr erfüllen. Das vorzeitige komplette Abschalten wurde trotzdem durch internationale Proteste auch immer wieder verhindert, so dass heute noch die Signale empfangen werden können. Vielleicht findet eine außerirdische Spezies eines Tages die goldene Schallplatte und erhält dann den Beweis, dass es auch noch andere Lebewesen in der Unendlichkeit des Weltraums gibt – auch wenn dann die Menschheit wahrscheinlich längst nicht mehr die Erde bewohnt wird.

Dr. Kai-Oliver Detken



Literaturhinweise

- [1] **Diese Abbildung ist gemeinfrei (public domain)**, da sie von der NASA erstellt worden ist.
- [2] **Martin Franz Stephan Freiherr von Gagern:** Der Swing-by-Effekt, erklärt anhand der Voyager-Mission. Computerprogramm, Facharbeit in Physik am Schyren-Gymnasium in Pfaffenhofen an der Ilm, Ilm 2000
- [3] **Bernd Leitenberger:** Swing By, Webseite vom Autor, URL: <http://www.bernd-leitenberger.de>
- [4] **Voyagers Plattenindex:** Scenes from Earth, <http://voyager.jpl.nasa.gov/spacecraft/sceneearth.html>
- [5] **Voyager-Projektseite der NASA:** <http://voyager.jpl.nasa.gov>
- [6] **Detailaufnahme wirbelnder Wolken um Jupiters großen roten Fleck am 5. März 1979 von der Sonde Voyager 1 aufgenommen**, Das Bild setzt sich aus drei schwarzen und weißen Negativen zusammen, das Bild ist von der NASA erstellt worden und ist gemeinfrei.
- [7] **Aufnahme des Jupiter-Mondes Io am 5. März 1979 von Voyager 1 aus einer Entfernung von 128.500 km, abgebildet sind vulkanische Aktivitäten**, das Bild ist von der NASA erstellt worden und ist gemeinfrei.
- [8] **Aufnahme des F- und A-Rings, der Cassini-Teilung sowie des B- und des C-Rings am 12.11.1980 aus 720.000 km Entfernung von der Sonde Voyager 1**, das Bild ist von der NASA erstellt worden und ist gemeinfrei.
- [9] **Status der Voyager-Sonden:** <http://voyager.jpl.nasa.gov/mission/weekly-reports/>