

Zum „Rand“ des Sonnensystems - Wo ist dieser eigentlich?

In Bezug auf den Beitrag „Plutos Herz regt Winde an“ in der Zeitschrift „Sterne und Weltraum“ 5/2020
WIS-ID: 1421037, Zielgruppe: Mittelstufe bis Oberstufe

Olaf Kretzer

Die bekannten Grenzen unseres astronomischen Weltbildes wurden im Laufe ihrer wissenschaftlichen Erforschung mit stetig weiter entwickelten Geräten und Techniken immer weiter verschoben. Ausgerechnet bei der uns „nächsten Grenze“ - dem Rand des Sonnensystems - war und ist die Wissenschaft auf die Leistung von Raumsonden angewiesen, welche sich zum Teil schon seit mehr als 40 Jahre im All befinden. Die Auswertung der in den letzten Jahrzehnten gewonnenen Daten ermöglicht es uns nun langsam ein Bild unserer kosmischen Heimat – unseres Sonnensystems – zu erstellen. Darüber hinaus gelang es, die Wechselwirkungen der umgebenden Sterne mit unserem System besser zu verstehen. An den Missionen von Voyager 1 und 2 soll exemplarisch gezeigt werden, wie unser Bild vom Sonnensystem stetig ausgebaut wurde, wie und wo wir heute den Rand des Sonnensystems sehen und was wir darüber hinaus schon über unsere Umgebung im interstellaren Raum wissen. Nicht zu vergessen sind auch die ersten Bemühungen der Menschheit, Kontakt mit außerirdischen Lebensformen aufzunehmen. Die Voyager-Missionen sind für den Unterricht ein Paradebeispiel für die Zusammenarbeit und die Zusammengehörigkeit verschiedener Fächer!

| Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag | | |
|-------------------------------------|---|--|
| Astronomie | Sonnensystem, Raumfahrt | Grenzen des Sonnensystems , Heliosphäre, Heliopause, Objekte im Außenbereich des Sonnensystems, Sonden ins äußere Sonnensystem , Pioneer-Sonden , Voyager-Sonden |
| Physik | Mechanik | Bewegung im Zentralkraftfeld der Gravitation, kosmische Geschwindigkeiten , Swing by |
| Fächer- verknüpfung | Astro-Geschichte / Religion / Philosophie | Außerirdisches Leben, Kontaktaufnahme, Weltgröße Entwicklung und Erforschung der Welt und ihrer Größe |
| Lehre allgemein | Wissenskompetenz, Unterrichtsmittel | Erweiterung des Weltbildes, Aufgaben |

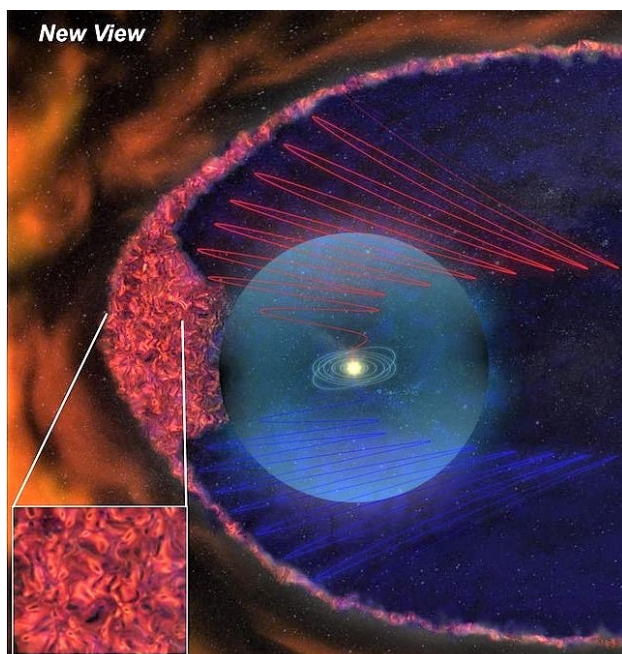


Abbildung 1: Modernisierte Vorstellung von der Heliosphäre (Bereich um die Sonne, in dem der Teilchenstrom der Sonne, der Sonnenwind, das interstellare Medium nach außen drängt.) und Heliopause (Dort wird der Sonnenwind gestoppt. Im Bild hat diese Grenze die Form eines sich nach rechts öffnenden „U“. Die roten und blauen Spiralen deuten die Magnetfeldlinien an, die durch die Bewegung der geladenen Sonnenwindteilchen entstehen und wiederum auf die Bewegung Einfluss nehmen. Neue Daten von Voyager führten dazu, dass das Modell durch einen diffusen Magnetfeldbereich direkt am Bug der Stoßfront ergänzt wurde.

©: NASA/2011.

1 Einleitung

Die Frage nach der Größe und dem Ende, dem Rand der Welt begleitet die Menschheit seit Jahrtausenden. Die verschiedenen Kulturen und Religionen fanden im Laufe der Jahrtausende verschiedene Zugänge und Antworten zu dieser Frage. In Abb. 2 ist eine Darstellung des christlichen

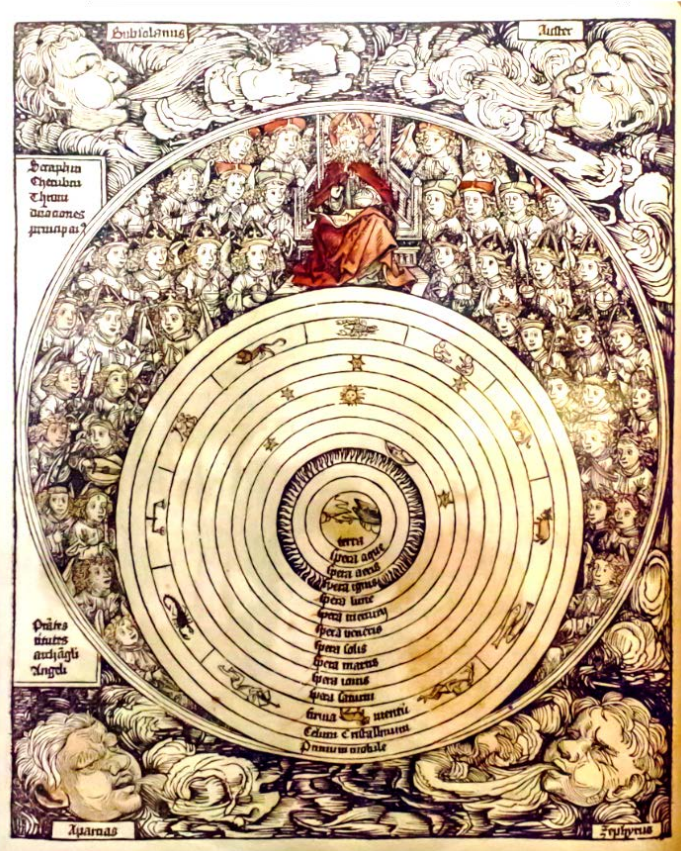


Abbildung 2: Das christlich geozentrische Weltbild nach einer Darstellung aus dem Jahre 1498. ©: NASA.

geozentrischen Weltbildes nach einer Zeichnung aus der Scheddelschen Weltchronik dargestellt.

Dargestellt sind die verschiedenen Sphären der Erde, der Sonne, der Planeten und der Fixsternsphäre sowie eine Darstellung des Schöpfers und Erstbewegers des Weltgebäudes – Gott. Damit wurde ein hierarchischer Aufbau geschaffen, der sich zum Teil aus Beobachtungserfahrungen und zum Teil aus religiösen Argumenten resultierte.

Seit dieser Zeit hat uns die Wissenschaft einen gewaltigen Wissenszuwachs geliefert, der das Weltbild grundlegend veränderte. Aber einige Fragen sind immer noch offengeblieben. Wo endet denn nun das Sonnensystem? Existiert ein scharfer „Rand“? Wie definiere ich diese Grenze? Wie geht der Einflussbereich der Sonne in den Bereich der Nachbarsterne über? ...

Einen Großteil der Beobachtungen und Messungen zur Beantwortung dieser Fragen liefern uns zwei Raumsonden die seit Jahrzehnten im All sind.

2 Die ersten Erkundungen des inneren Sonnensystems mit Raumsonden

Im Jahre 1957 startete mit „Sputnik 1“ der erste künstliche Himmelskörper zu seinem Flug um die Erde. In den darauffolgenden Jahren wurden auch schon die ersten Objekte des inneren Sonnensystems von Raumsonden angefliegen und fotografiert. Die ersten erfolgreichen Missionen waren:

- 1959 Mond Luna 3
- 1962 Venus Mariner 2
- 1965 Mars Mariner 4
- 1974 Merkur Mariner 10

[zurück zum Anfang](#)

Die äußeren Planeten zu erreichen stellte sich allerdings bald als ein großes Problem heraus: wie erreicht man die nötigen Geschwindigkeiten um die Entfernungen zurück zu legen und um den Schwereinfluss der Sonne zu überwinden? Für ein Erreichen und eventuelles Verlassen des Sonnensystems ist die 3. Kosmische Geschwindigkeit erforderlich – mit der damaligen Technologie utopisch.

Einschub: kosmische Geschwindigkeiten

1. Kosmische Geschwindigkeit

Um eine stabile Umlaufbahn um die Erde zu erreichen, muss ein Satellit die 1. Kosmische Geschwindigkeit erreichen. Man kann diese entweder über einen Kraftansatz (Zentripetalkraft = Gravitationskraft) oder einen Energieansatz bestimmen. Man erhält:

$$v_I = \sqrt{\frac{\gamma \cdot M_E}{R_E}} = 7,91 \frac{\text{km}}{\text{s}},$$

$$\gamma = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2 \text{ (Gravitationskonstante),}$$

$$M_E = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg (Erdmasse),}$$

$$R_E = 6371 \text{ km (Erdradius).}$$

2. Kosmische Geschwindigkeit

Um den Einzugsbereich der Gravitation der Erde vollständig zu verlassen, wird die 2. Kosmische Geschwindigkeit benötigt. Diese erhält man über einen Energieansatz, indem man die potenzielle Energie des Körpers mit einer kinetischen Energie addiert die ausreicht, um den Körper in einen unendlichen Abstand von der Erde zu bringen. Er besitzt dann die Gesamtenergie 0.

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2\gamma \cdot M_E}{R_E}} = 11,19 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

3. Kosmische Geschwindigkeit

Für das Verlassen des Einzugsbereiches der Sonne (und der anderen Körper des Sonnensystems) wird die 3. Kosmische Geschwindigkeit benötigt.

Dazu berechnet man zuerst die Fluchtgeschwindigkeit von der Sonne von einer ruhenden Erde. Dazu verwendet man die 2. Kosmische Geschwindigkeit für die Sonne und verwendet den Abstand Erde-Sonne. Dabei erhält man 42,2 km/s. Hinzu kommt aber nun die Bahngeschwindigkeit der Erde mit 29,8 km/s, dadurch reduziert sich die Geschwindigkeit auf $v_{FS} = 12,4$ km/s. Bei einem Start von der Erdoberfläche ergibt sich nun.

$$v_{III} = \sqrt{v_{II}^2 + v_{FS}^2} = 16,7 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Abschätzungen der NASA in den 50er Jahren zeigten, dass mit den zur Verfügung stehenden Antrieben Reisen in das äußere Sonnensystem so gut wie unmöglich sein würden, da die Antriebsenergie nicht ausreichend sein sollte. Allerdings gab es bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts erste Ideen, dass man zu einer Beschleunigung bzw. Abbremsung des Fluges einer Raumsonde den Gravitationseinfluss von größeren Himmelskörpern wie Planeten oder Monde nutzen könnte. Verschiedene Raumfahrtpioniere wie Juri Kondratjuk (1897-1942), Friedrich Zander (1887-1933) oder Guido von Pirquet (1880-1966) argumentierten, dass man so Geschwindigkeiten erreichen könnte, die sonst außerhalb der Machbarkeit lägen. Beispiele dafür findet man in /1/ oder /2/.

[zurück zum Anfang](#)

Ein erster Anwendungstest dieses Gravity Assist genannten Manövers wurde bereits 1959 mit Luna 3 (Start am 04. 10. 1959 , größte Annäherung an den Mond am 06. 10. 1959, Kontaktverlust am 22. 10. 1959) gemacht. Die auf Grund der gebundenen Rotation des Mondes von der Erde aus nicht beobachtbare „Rückseite“ des Mondes wurde durch Lunik 3 erstmals fotografiert. Dazu nutzte die russische Sonde den Gravity Assist erstmalig aus. Dieses Manöver wird seitdem leider etwas verwirrend mit mehreren Begriffen bezeichnet: Gravity Assist, Flyby, Swing by. Der letzte Begriff wird in der deutschsprachigen Literatur zunehmend verwendet.

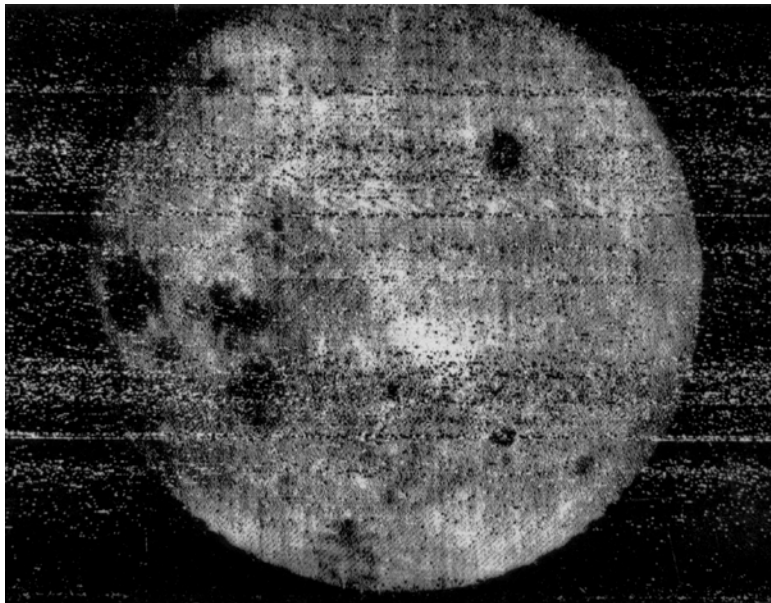


Abbildung 3: Erste Aufnahme der Mondrückseite von Luna 3 aus dem Jahre 1959.
©: siehe Abbildungsverzeichnis

Einschub: Swing by

Beim Flug einer Raumsonde durch das Gravitationsfeld eines Planeten, wird die Bahn der Sonde abgelenkt. Aus Sicht des Planeten wird die Sonde nur abgelenkt, bezugnehmend auf die Sonne tritt allerdings eine Geschwindigkeitsänderung auf, da der Planet sich ja bewegt. Ob Abbremsung oder Beschleunigung, das hängt vom Bahnverlauf der Sonde ab. Die Energie für diese Flugbahnänderung wird durch gravitative Wechselwirkung mit der Bahnenergie des Planeten ausgetauscht. Das heißt, ein Swing by-Manöver zur Beschleunigung der Sonde verlangsamt die Bewegung des Planeten und bei Abbremsung der Sonde wird der Planet beschleunigt. Auf Grund der extremen Massenunterschiede sind die Geschwindigkeitsänderungen auf der Planetenseite aber verschwindend gering.

Im Jahre 1961 entdeckte der amerikanische Mathematiker Michael Minovitch, dass man auf diese Art und Weise nicht nur einfache Flugmanöver durchführen könnte, sondern dass es auf diese Weise auch möglich sein sollte, Reisen ins äußere Sonnensystem zu ermöglichen. 1964 entdeckte der Amerikaner Gary Flado schließlich, dass in den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts die äußeren Planeten so „angeordnet“ sein würden, dass sie in einem Zeitraum von ca. 10 Jahren erreichbar wären. Eine vergleichbare Planetenkonstellation würde es erst nach 176 Jahren im 22. Jahrhundert wiedergeben.

2. Der ersten Erkundungen des äußeren Sonnensystems mit Raumsonden

2.1. Die Pioneer-Missionen

Die amerikanische Raumfahrtorganisation NASA beschloss daraufhin (siehe Einschub zum Swing by) ein Programm zur intensiven Erkundung des äußeren Sonnensystems. Zwei große Raumsonden sollten verschiedene Bereiche des äußeren Sonnensystems erkunden. Auf Grund der bis dahin unzureichenden Kenntnisse über diesen Bereich des Sonnensystems wurden zwei Erkundungsmissionen vorgeschaltet: Pioneer 10 und Pioneer 11.

Am 02. 03. 1972 startete Pioneer 10 und durchflog vom 15. 07. 1972 bis 15. 02. 1973 als erste Raumsonde der Erde den Asteroidengürtel. Dies war etwas besonders, da man bis dahin davon ausgegangen war, dass die Dichte an Kleinkörpern in diesem Bereich des Sonnensystems so hoch ist, dass sie eine echte Gefahr für Raumflugkörper darstellt. Später zeigte es sich, dass es im Gegenteil sogar schwierig ist, einen Kleinkörper „anzutreffen“. Am 04. 12. 1973 näherte sich Pioneer 10 als erste Raumsonde dem Jupiter und hatte eine Vorbeiflugdistanz von 132.000 km.



Abbildung 4: Pioneer 10 (links) und erste Aufnahmen des Planeten Jupiter durch Pioneer 10 (rechts).
©: siehe Abbildungsverzeichnis [3].

Nach der Jupiterpassage durchflog die Raumsonde das äußere Sonnensystem ohne einen weiteren Planeten zu besuchen. Den letzten Kontakt hatte die NASA am 23. 01. 2003 in einem Abstand von 12 Milliarden km. Die Flugbahn ist auf den Hauptstern des Sternbilds Stier, Aldebaran, in 67 Lichtjahren gerichtet, wo Pioneer 10 in 2 Millionen Jahren ankommen könnte....

Die baugleiche Raumsonde Pioneer 11 wurde am 06. 04. 1973 gestartet. Sie passierte am 03. 12. 1973 Jupiter und als erste Raumsonde am 01. 09. 1979 den Ringplaneten Saturn. Der letzte Kontakt mit Pioneer 11 fand am 24. 11. 1995 statt. Beide Sonden tragen Plaketten, die einer außerirdischen Zivilisation Informationen über die Menschheit geben sollen (siehe Abb. 5).

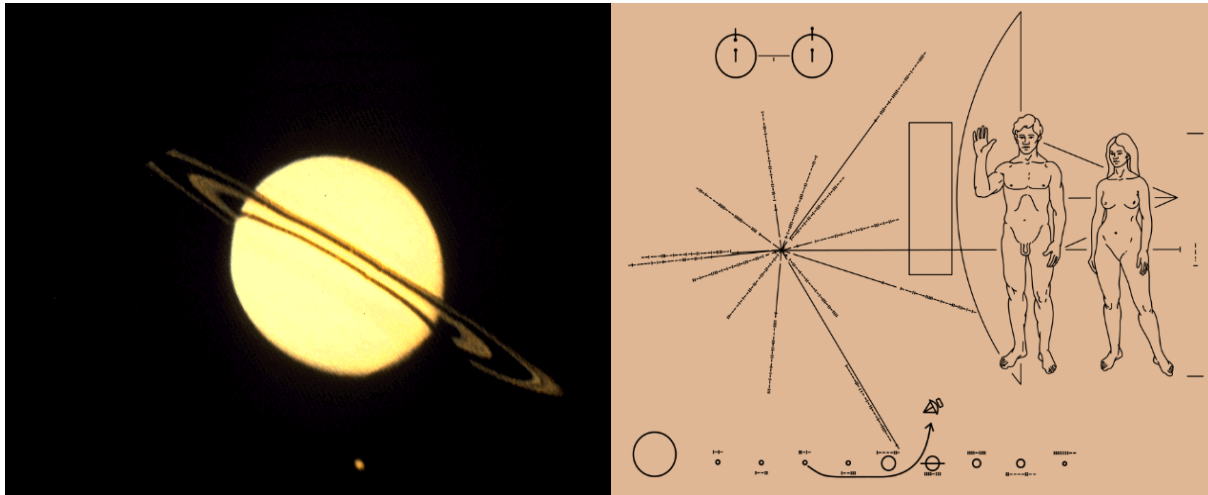


Abbildung 5: Links: Pioneer 11 bei Saturn, rechts: Pioneer-Plakette. ©: siehe Abbildungsverzeichnis [4] und [5].

2.2. Die Voyager-Missionen

Nach den großen Erfolgen der Pioneer-Sonden startete die NASA 1977 die eigentlichen großen Forschungssonden: Voyager 1 und 2. Während die Startmasse der Pioneer-Sonden 258 kg betrug, brachten es die Voyager Sonden auf 825 kg. Eine umfangreiche Ausrüstung mit 11 verschiedenen Geräten sollte eine tiefgehende Erforschung des äußeren Raumes des Sonnensystems ermöglichen. Voyager 1 wurde am 05. 09. 1977 gestartet – 16 Tage nach dem Start ihrer Schwestersonde Voyager 2 (20. 08. 1977). in der ursprünglichen Missionsplanung sollte Voyager 1 nach Jupiter und Saturn den damals äußersten Planeten Pluto besuchen. Diese Planung wurde später gestrichen und stattdessen ein „näherer“ Besuch des Saturnmondes Titan ins Programm aufgenommen. Nach Vorbeiflug am Jupiter am 05. 03. 1979 und Saturn am 12. 11. 1980 begann am 01. 01. 1990 die interstellare Mission von Voyager 1.

Die Raumsonde Voyager 2 wurde auf Grund ihrer außergewöhnlichen Flugbahn besonders bekannt. Nachdem sie am 09. 07. 1979 Jupiter und am 26. 08. 1981 Saturn passierte, konnte sie auf Grund des Swing by Manövers die Planeten Uranus (24. 01. 1986) und Neptun (25. 08. 1989) passieren. Da sich Pluto zwischen 1979 und 1999 innerhalb der Neptunbahn befand, hatten die beiden Raumsonden 1989 zumindest eine Grenze, einen „Rand“, des Sonnensystems bereits überschritten: die Grenze des äußersten Planeten oder anders gesagt, den Rand des Planetensystems. Dabei gelang auch die aus größtem Abstand gemachte Aufnahme der Erde (siehe Abb. 6)!

Im Jahre 2006 wurde durch die IAU (International Astronomical Union) der Planetenbegriff neu definiert und in diesem Zusammenhang der Pluto zum Zwergplaneten herabgestuft. Neben seiner Bahnform und – neigung (relativ starke Neigung zur Ekliptik im Vergleich zu den anderen Planetenbahnen), seiner Größe (kleiner als Erdmond) führte die Entdeckung von vielen neuen „kugeligen“ Himmelskörpern im Abstandsbereich des Pluto zu einer Häufung von potenziellen Planeten – dies umging man mit der neuen Planetendefinition. Dieser Definition zufolge ist ein Planet im hydrostatischen Gleichgewicht, was einer Größe von mindestens 500 km entspricht (unterhalb dieser Größe ist keine Kugelform möglich), umkreist die Sonne und hat seine Bahn freigeräumt. Diese Ergänzung gilt nicht für Pluto, da gerade in „seinem Bereich“ viele neue Himmelskörper entdeckt wurden. Damit befindet sich der Rand des Planetensystems im Bahnbereich von Neptun - per Festlegung der IAU!

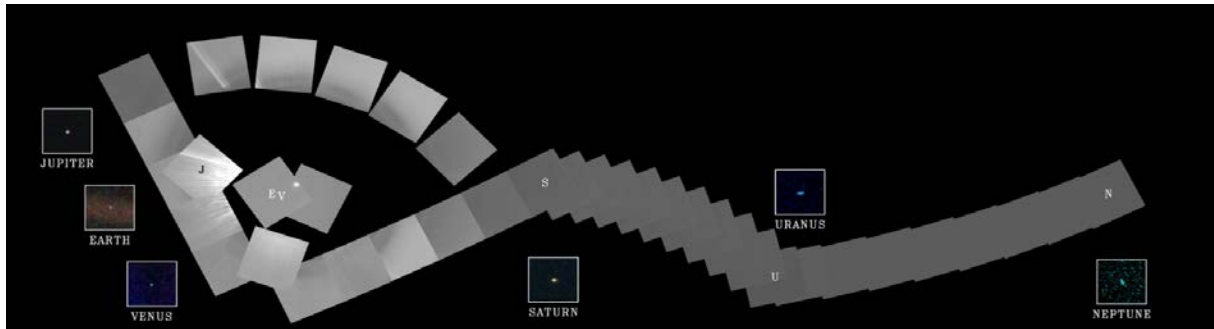


Abbildung 6: „Familien Portrait“ der Planeten des Sonnensystems vom 14. 02. 1990, aufgenommen aus 6 Mrd. km Entfernung. ©: siehe Abbildungsverzeichnis [6].

Aufbauend auf den Erfahrungen der Pioneer-Sonden mit deren unzureichenden Energieversorgung wurden die Voyager-Sonden mit sogenannten Radionuklidbatterien ausgestattet. Diese Batterien nutzen die beim radioaktiven Zerfall freiwerdende Wärme zur Erzeugung von elektrischem Strom aus. Damit war über mehrere Jahre eine sichere Stromversorgung der Sonden gesichert. Im Laufe der Jahre mussten einige Geräte abgeschaltet werden bzw. einige Instrumente wurden zu Stromsparszwecken deaktiviert um den geeignetsten Geräten weitere Messungen zu ermöglichen. Dies führte dazu, dass wahrscheinlich bis 2025 noch wissenschaftliche Messergebnisse von den Raumsonden zu erwarten sind. Besonders wichtig für die interplanetare Mission waren neben dem Magnetometer Messgeräte zur Messung geladener Partikel. Nach der bis dahin aktuellen Vorstellung vom äußeren Sonnensystem sollte der Sonnenwind, bestehend aus ionisiertem Wasserstoff und Heliumkernen, in einem bestimmten Bereich durch das interstellare Medium auf Null abgebremst sein. Messungen des Sonnenwindes, gepaart mit der Untersuchung der Magnetfelder in diesem Bereich, sollten einen Hinweis auf das Erreichen dieser Grenze geben. Diese Grenzfläche nennt man die Heliopause.

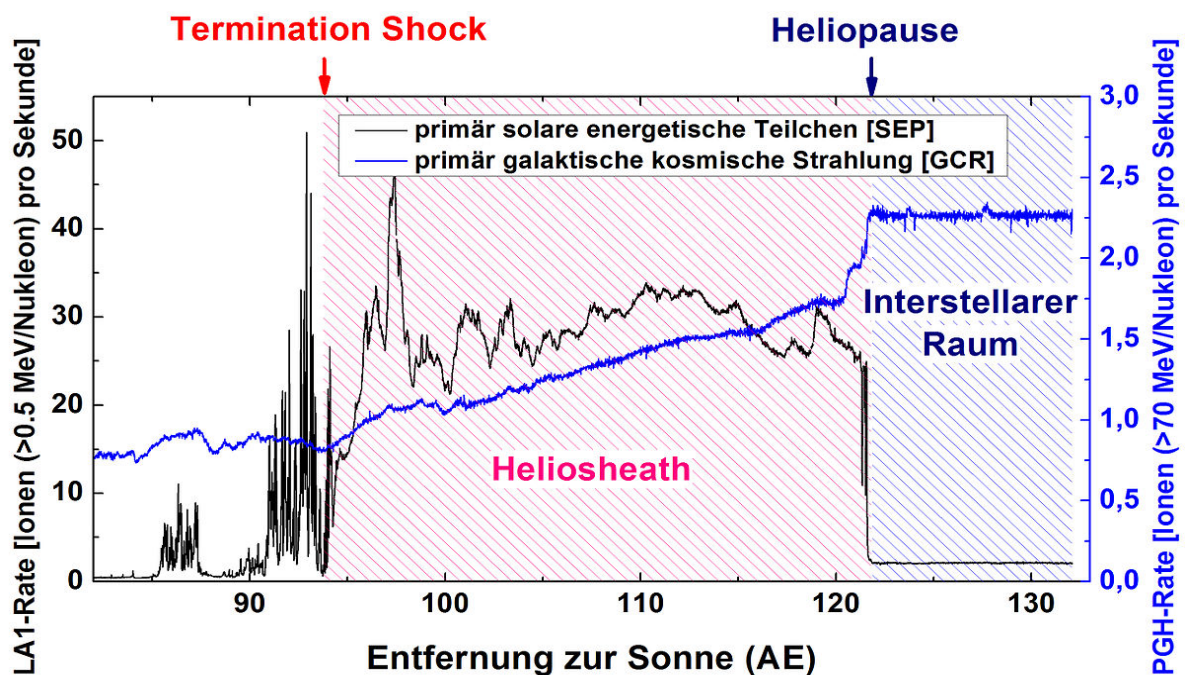


Abbildung 7: Veränderung der Teilchendichte im Bereich der Heliopause. ©: siehe Abbildungsverzeichnis [7].

[zurück zum Anfang](#)

Die Heliopause wurde erstmals am 25. 08. 2012 von Voyager 1 erreicht. Ähnliche, ergänzende Messungen wurden von Voyager 2 gemacht. Die NASA geht davon aus, dass Voyager 2 die Heliopause am 05. 11. 2018 erreichte. Ein Vergleich der Messdaten zeigte aber auch Unterschiede welche zu einer Korrektur der Vorstellungen über den direkten Bereich der Heliopause führte.

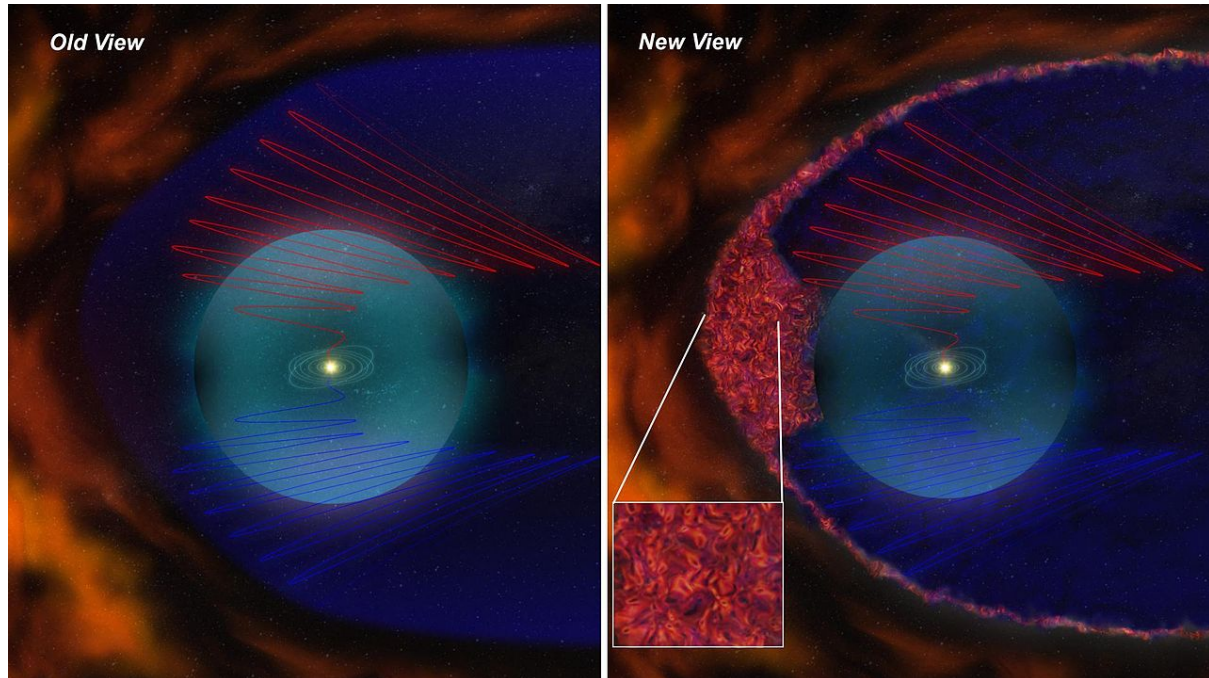


Abbildung 8: Altes (links) und neues (rechts) Modell der Heliopause. ©: siehe Abbildungsverzeichnis [8].

Nach der Auswertung aller Daten ist davon auszugehen, dass es einen turbulenten Bereich im Bereich der Heliopause gibt welcher richtungsabhängig ist. Die nächste – und für die nächsten Jahrzehnte einzige - Raumsonde die diese Messungen verifizieren könnte wäre New Horizons.

| | Pioneer 10 | Pioneer 11 | Voyager 1 | Voyager 2 | New Horizons |
|-------------------------|------------|------------|-----------------|-----------|--------------|
| Sonnenentfernung | 125 AE | 104 AE | 148 AE | 124 AE | 47 AE |
| In Funktion | nein | nein | teilweise | teilweise | ja |
| Sternbild | Stier | Schild | Schlangenträger | Pfau | Schütze |
| v: Sonne (AE/a) | 2,52 | 2,37 | 3,58 | 3,23 | 2,94 |
| Lichtlaufzeit | 17,5 h | 14,4 h | 20,6 h | 17,1 h | 6,5 h |

Sonden ins
äußere Son-
nensystem

Mit den Ergebnissen der Voyager-Missionen wurde unsere Vorstellung vom Rand des Sonnensystems erheblich erweitert und zum Teil auch korrigiert. Nach gegenwärtigem Stand werden die Sonden noch für 5 Jahre Messungen durchführen können und weitere Ergebnisse liefern.

Eine zusätzliche Möglichkeit der Erkundung der Heliopause wurde durch den 2008 gestarteten Forschungssatelliten IBEX (Interstellar Boundary Explorer: interstellarer Grenzschichtenerforscher) aus der Erdumlaufbahn ermöglicht. Er untersucht die Wechselwirkungen des Sonnenwindes mit dem interstellaren Medium und nutzt dabei elektrisch neutrale Atome, welche im äußeren Bereich der Heliosphäre erzeugt werden. Die Kombination seiner Ergebnisse mit denen der Voyager-Missionen zeigen, dass sich die Erde so langsam durch das interstellare Medium bewegt, dass keine Bugstoßwelle – wie lange angenommen – existiert. Darüber hinaus legen die Messungen nahe, dass die Heliosphäre relativ kugelförmig aufgebaut ist.

[zurück zum Anfang](#)

3. Vorstellungen über den äußersten Bereich des Sonnensystems

Mit den zum Ende des 20. und zu Beginn des 21. Jahrhunderts gemachten Entdeckungen von vielen Himmelskörpern im Bereich des Plutos wurde nicht nur eine Neudefinition des Begriffes Planet notwendig – diese Entdeckungen brachten auch viele Hinweise auf die Struktur des äußersten Bereiches des Sonnensystems. Bereits in den 40er und 50er Jahren des 20. Jahrhunderts hatten verschiedene Astronomen wie Gerard Kuiper (1905-1973) oder Kenneth Edgeworth (1880-1972) vorhergesagt, dass sich jenseits der Neptunbahn eine Ansammlung von vielen Kleinkörpern befinden sollte. Dieser Bereich sollte auch die „Heimat“ der kurzperiodischen Kometen sein.

Die neuen Entdeckungen lieferten die ersten Hinweise für die Existenz des sogenannten Kuiper Gürtels oder auch Edgeworth-Kuiper Gürtel. Er erstreckt sich über einen Bereich von ca. 40 AE bis 60 AE Abstand von der Sonne. Die Sonde New Horizons (Start 19.01.2006) untersuchte mit Pluto (14.07.2015) und Arrokoth (auch Ultima Thule) (01.01.2019) erstmals Objekte des Kuipergürtels live vor Ort.

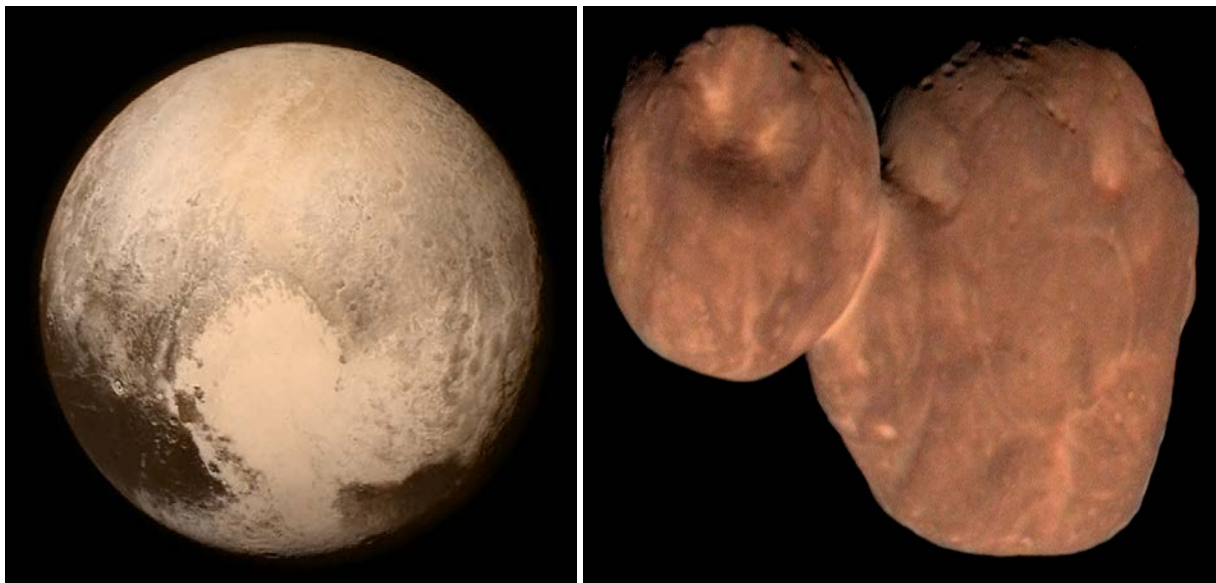


Abbildung 9: Zwergplanet Pluto (links) und das transneptunische Objekt Arrokoth (ein Planetesimal, rechts) – aufgenommen von New Horizons. ©: siehe Abbildungsverzeichnis [9] und [10].

Mit dem Kuipergürtel existiert ein weiterer nachgewiesener Grenzbereich des Sonnensystems. Aber ist es auch der Rand des Sonnensystems in Bezug auf die Verteilung von Objekten, welche dem gravitativen Einfluss der Sonne unterliegen? Die Astronomen Ernst Öpik (1893 - 1985) und Jan Hendrik Oort (1900 - 1992) suchten und postulierten bereits Mitte des 20. Jahrhunderts eine Wolke, die das Sonnensystem umgibt als Quelle für die Herkunft der langperiodischen Kometen. Diese Wolke befindet sich in einem Sonnenabstand von einigen Tausend Astronomischen Einheiten. Sie ist bisher hypothetisch und durch keine Beobachtung bestätigt. Auf Grund ihrer Ausdehnung sollte sie als äußerster Bereich des gravitativen Einflusses der Sonne direkt übergehen in die entsprechende Oortsche Wolke unseres Nachbarsternsystems.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Frage nach dem **Rand des Sonnensystems** nicht eindeutig zu beantworten ist – es kommt auf die Frage nach der Art der „Grenze“ an. Bezieht man sie auf die Planeten, dann ist die Neptunbahn mit einem Sonnenabstand von 30 AE unser Rand. Ist dagegen der Einflussbereich des Sonnenwindes der entscheidende Parameter, so ist die Heliopause bei ca. 120 AE der Rand. Ist aber der gravitative Rand gesucht, so muss die hypothetische Oortsche Wolke in einem Abstand von einigen tausend AE als Grenze postuliert werden.

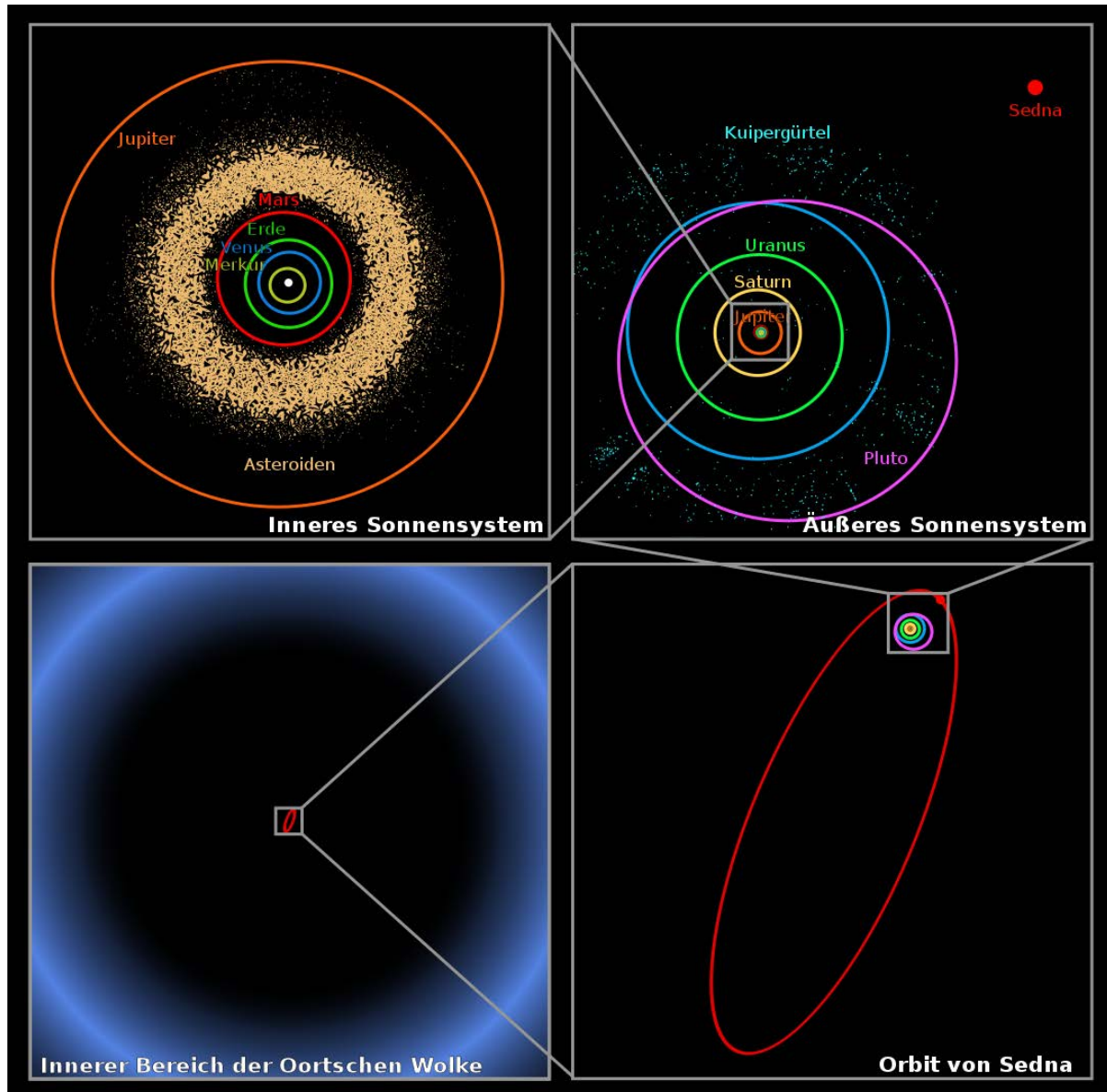
[zurück zum Anfang](#)


Abbildung 10: Aufbau unseres Sonnensystems. ©: siehe Abbildungsverzeichnis [11].

4. Ein weiterer Rand?!

Man kann natürlich noch einen Rand festlegen – die Grenze der Ausbreitung der Menschheit. Die Voyager Sonden transportieren Datenplatten mit Bild- und Audiodateien ins All. Wie die Plaketten der Pioneer Sonden (siehe Abb. 5) sind sie dafür gedacht, dass eine außerirdische Lebensform sie findet und entschlüsseln kann. Dazu wurden die vergoldeten Scheiben an die Sonden angebracht, verbunden mit verschiedenen Hinweisen zur Decodierung der integrierten Informationen. Neben Begrüßungen in 55 Sprachen, verschiedenen Geräuschen und Bildern wurden 27 Lieder auf den Weg ins All geschickt. Unter anderem enthalten die Platten auch Informationen zur Position der Erde in der Milchstraße – eine Information, die sehr stark in der Diskussion war, da es viele gab die der Meinung waren, dass damit den Außerirdischen der Weg zur Vernichtung der Menschheit geebnet würde ...

[zurück zum Anfang](#)

Dabei ist die Grenze der Ausbreitung der Menschheit eigentlich noch viel tiefer im All zu suchen. Seit ca. 120 Jahren nutzen wir elektromagnetische Wellen zur Informationsübertragung. Diese Wellen wurde - vor allem zu Beginn ihrer Nutzung - mit leistungsstarken Sendern ausgestrahlt, wobei ein Großteil unbeabsichtigt, bedingt durch die Grenzen der damaligen Technik, ins All gesendet wurde. Das bedeutet, dass in einem Umkreis von ca. 120 Lichtjahren alle potenziell in Frage kommenden außerirdischen Zivilisationen (technischer Stand) Bescheid wissen über die Existenz der Menschheit. Das Problem, warum noch keiner Kontakt aufgenommen hat, ist eines der größten Rätsel der Menschheit.



Abbildung 11: The Golden Record – das Speichermedium der Voyager Sonden für Außerirdische.
©: siehe Abbildungsverzeichnis [12].

Abbildungsnachweis

- [1] Von Hartmann Schedel (photo: Heinz-Josef Lücking) - Liber chronicarum mundi, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20971565>
- [2] OKB-1 - http://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/mission_page/EM_Luna_3_page1.html, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42870638>
- [3] Pioneer 10: Von NASA Ames Research Center - http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=1586, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=301038>
- [4] Pioneer 11 Saturn: Von NASA - Archivkopie, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=351397>
- [5] Pioneer Plakette: Von Vectors by Oona Räisänen (Mysid); designed by Carl Sagan & Frank Drake; artwork by Linda Salzman Sagan - Vectorized in CorelDRAW from NASA image GPN-2000-001623, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1433765>
- [6] Familienportrait: Von NASA, Voyager 1 - Visible Earthsource: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00451TIFF> version: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/tiff/PIA00451.tif>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2469125>
- [7] Stauriko - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42140037>
- [8] NASA - http://www.nasa.gov/mission_pages/voyager/heliosphere-surprise.html, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15476257>
- [9] Pluto. Von NASA/JHUAPL/SWRI - solarsystem.nasa.gov, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=41581982>
- [10] Arrokoth: NASA - http://pluto.jhuapl.edu/Galleries/Featured-Images/pics/MU69_image_v1%20copy.png, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=75527036>
- [11] Oort_cloud_Sedna_orbit.jpg: Image courtesy of NASA / JPL-Caltech / R. HurtOriginal text courtesy of NASA / JPL-Caltechderivative work: FrancescoA (talk) - Oort_cloud_Sedna_orbit.jpg
- [12] NASA/JPL - The Sounds of Earth Record Cover, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=137443>

Literatur

/1/ Richard L. Dowling et al: [The Effect of Gravity-Propelled Interplanetary Space Travel on the Exploration of the Solar System: Historical Survey, 1961 to 2000.](#) (PDF) In: History of Rocketry and Astronautics, AAS History Series, Vol 28. Donald C Elder, S. 339

/2/ Friedrich Zander's 1925 paper, "Problems of flight by jet propulsion: interplanetary flights", was translated by NASA. See NASA Technical Translation F-147 (1964); specifically, Section 7: Flight Around a Planet's Satellite for Accelerating or Decelerating Spaceship, pages 290-292.

Aufgaben samt Lösungen

1. Man bestimme die kosmischen Geschwindigkeiten für den Planeten Mars!
→ $v_I = 3,55 \text{ km/s}$, $v_{II} = 5 \text{ km/s}$, $v_{III} = 11,13 \text{ km/s}$
2. Voyager 1 bewegt sich aktuell mit $16,7 \text{ km/s}$ durch das Weltall. Wenn die Flugbahn der Sonde auf unser Nachbarsystem Proxima Centauri (Abstand: $42,244 \text{ Lichtjahre}$) gerichtet wäre (was sie nicht ist!), wann wäre die Raumsonde bei gleichbleibender Geschwindigkeit am Ziel?
→ 76.200 Jahre
3. Erläutere, warum beim Swingby-Manöver keine Verletzung des Energieerhaltungssatzes auftritt!
→ Siehe Einschub auf S. 4
4. Wann erreicht Voyager 1 den inneren Bereich der Oort'schen Wolke ($r = 10.000 \text{ AE}$)?
→ 2822 Jahre
5. Voyager 1 ist die am weitesten von der Erde entfernte Raumsonde. Stimmt es, dass von ihr aus gesehen die Sonne nur ein hell leuchtender Stern ist? Berechne die Helligkeit der Sonne in diesem Abstand und vergleiche sie mit der Helligkeit des Vollmondes von der Erde aus gesehen!
→ Die Helligkeit der Sonne beträgt von Voyager 1 aus gesehen dann $-15,8 \text{ mag}$.
Der Vollmond hat eine Helligkeit von bis zu -13 mag !
6. Suchen Sie solche Sterne, welche sich in einem Abstand befinden, bei dem dort eventuell befindliche Zivilisationen bereits die ersten Folgen von Star Trek aus dem Jahre 1966 sehen konnten!
→ Sirius, Proxima Centauri, Pollux... und seit kurzem auch Kastor