



Präsentationen der Professoren

[Exoplaneten ①](#)

[Raumfahrt bei Mars und Jupiter ①](#)

Inhaltsverzeichnis

Überblick.....	2
Finanzierung der Forschung.....	2
Astronomische Instrumente.....	2
Raumfahrt.....	2
Exoplaneten.....	5
Die Suche nach außerirdischem Leben.....	8
Die Suche nach einer weiteren Heimat.....	9

Überblick

In diesem Teil des Skriptums werden die Forschungsmethoden erläutert, soweit sie nicht schon in einem anderen Skriptum behandelt worden sind (andernfalls sind zumindest Links zu den jeweiligen Skripten vorhanden). Ein Schwerpunkt liegt bei der Erforschung von Planeten in- und außerhalb unseres Sonnensystems.

Finanzierung der Forschung

Die Erforschung des Weltalls ist eine nicht gerade billige Angelegenheit. Schon der Betrieb von Sternwarten ist nicht billig, Weltraummissionen zum Zweck der Forschung sind nur durch staatliche Finanzierung möglich.

Es ist daher notwendig, das Interesse der Öffentlichkeit zu wecken, damit die Finanzierung aus Steuermitteln und durch Unterstützung privater Sponsoren möglich ist.

Ein Beispiel dafür ist die erste Mondlandung. Man hätte auf dem Mond mit einer unbemannten Mondsonde vielleicht sogar mehr erforschen können, als mit einer bemannten Mondmission. Gepaart mit dem Wettlauf USA-UdSSR hat sich aber die teurere Variante finanzieren lassen.

Ein weiteres Beispiel sind die Voyagermissionen. Die Gelegenheit gleich 4 große Planeten mitsamt ihrer Monde zu erforschen, hat nur wenige Menschen begeistert. Erst als die Idee aufkam, eine Schallplatte für Außerirdische mitzuschicken schraubte das die Erwartungen in die Höhe. Dabei ist es so gut wie ausgeschlossen, dass eine außerirdische Lebensform die Schallplatte findet und wenn doch, würden wir das nicht mehr erleben. Auch die berühmte Aufnahme, auf der die Erde wie ein kleiner blauer Punkt zu sehen ist, brachte keine wesentlichen Erkenntnisse. Manche Menschen denken vielleicht, dass das Bild dazu anregt, besser auf unseren Planeten achtzugeben, aber in keiner Statistik zeigt sich eine erkennbare Wirkung.

Astronomische Instrumente

Über die Instrumente gibt es ein eigenes Skriptum. In diesem Skriptum wird auch beschrieben, welche Methoden verwendet werden um indirekt etwas zu erforschen (z.B. dunkle Materie) und was man aus den Daten alles herauslesen kann (z.B. mittels Spektralanalyse).

[Skriptum „Astronomische Instrumente“](#) 

Raumfahrt

Durch die Entsendung von Raumsonden zu allen größeren Himmelskörpern haben wir vieles über unser Sonnensystem gelernt. Nachstehend werden jene Missionen betrachtet, die andere Himmelskörper unseres Sonnensystems erforschen. Die Missionen, die nur die Erdatmosphäre verlassen haben, damit sie ungestört von den Einflüssen der Erdatmosphäre oder der Erdgravitation arbeiten können, werden im Skriptum „astronomische Instrumente“ besprochen.

Bemannte Weltraummissionen

Bemannte Weltraummissionen gehen in den meisten Fällen nicht weiter als bis zur ISS, weil sich für größere Distanzen die Mitnahme von Nahrung und Sauerstoff nicht rentiert. Nur das Apolloprogramm führte bis zum Mond, weil man mit dieser Mission in erster Linie die Russen übertrumpfen wollte. Als der Triumph deutlich genug war, wurde das Apolloprogramm wieder eingestellt.

Mission	Ziel
Wostock, Mercury, Gemini, Sojus, Skylab, STS, Shenzhou, Space-Ship One	Außerhalb des Erdorbits
Apollo	Mond

Weltraummissionen mit Landungen

Weltraummissionen mit Landungen haben den Vorteil, dass sie Gesteinsproben vom Himmelskörper analysieren können. Dabei kann man nicht nur die Zusammensetzung des Himmelskörpers erforschen, sondern aus Kernzerfällen auch auf Alter und Entstehung des Himmelskörpers schließen. Bei Himmelskörpern mit dichter Atmosphäre sind Landungen besonders vorteilhaft, weil man als Beobachter von außerhalb kaum durch die Atmosphäre durchsehen kann.

Landungen sind allerdings nicht immer möglich. In manchen Fällen ist die Raumsonde so schnell, dass sie nicht schnell genug bremsen könnte, um am Himmelskörper zu landen. Außerdem sind die Eigenschaften des Planeten oft nicht geeignet, zum Beispiel aufgrund des hohen Drucks, der hohen Temperatur oder anderen Eigenschaften, die die Geräte zerstören könnten. Ein Vorteil eines Vorbeiflugs ohne Landung, ist, dass man meist mehrere Himmelskörper hintereinander erforschen kann.

Mission	Ziel
Luna, Apollo, Chang'e 3	Mond
Phoenix, Curiosity, Spirit, Opportunity	Mars
Huygens (Cassini)	Titan (Saturnmond)
Philae (Rosetta)	Tschuriumov Gerasimenko

Weitere Weltraummissionen

Die meisten Weltraummissionen fanden unbemannt und ohne Landung statt. Auf diese Art haben wir schon alle Planeten und zahlreiche Monde, Kometen und Zwergplaneten erforscht.

Mission	Ziel
Voyager 1	Jupiter, Saturn
Voyager 2	Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun
New Horizons	Jupiter, Kuipergürtel (Pluto, Ultima Thule)
Juno, Galileo, Pioneer	Jupiter
Cassini	Saturn
Dawn	Asteroidengürtel (Vesta, Ceres)
Rosetta	Asteroidengürtel (Steins, Lutetia), Komet (Tschuri)
Mariner, Messenger, Bepi-Colombo	Merkur

Vega, Venera, Venus-Express, Magellan	Venus
Giotto, Vega, Sakigake, Suisei	Komet (Halley)
Stardust, Deep Impact	Komet (Wild)
Ulysses	Sonne

Es gab schon so viele Missionen zu Mars und Erdmond, dass diese hier aus Platzgründen nicht extra erwähnt werden. Die Missionen haben meistens neben den in der Tabelle angeführten Himmelskörpern auch noch einige ihrer Monde erforscht.

Kosmische Geschwindigkeiten

Um von der Erde wegzukommen, benötigt man eine hohe Geschwindigkeit. Um auf eine Umlaufbahn um die Erde zu kommen, benötigt man eine Geschwindigkeit von 8km/s (1. kosmische Geschwindigkeit) um der Gravitation der Erde ganz zu entkommen, benötigt man sogar 11km/s (2. kosmische Geschwindigkeit). Diese Geschwindigkeit kann eine Rakete nur dadurch erreichen, dass sie viel Treibstoff verbrennt. Wenn die Rakete erst einmal das Gravitationsfeld der Erde hinter sich gelassen hat, benötigt sie keinen Treibstoff mehr. Schließlich gibt es außerhalb der Erdatmosphäre keine Reibung, welche die Rakete bremsen würde. Mit 11km/s benötigt man für Distanzen zwischen Planeten aber sehr lange. Deshalb werden sogenannte Swing-by-Manöver durchgeführt. Dabei fliegt die Raumsonde nah an einem anderen Himmelskörper vorbei und nimmt dabei einen Teil seines Drehimpulses auf. Für den Planeten ist das auf Grund der geringen Größe der Sonde unwesentlich, aber auf die kleine Raumsonde hat das gewaltige Auswirkungen: sie wird dadurch wesentlich schneller. So wurden die Voyagersonden die schnellsten bisher von den Menschen gebauten Objekte.

Voyagermissionen

Erde → Jupiter → Saturn → Uranus → Neptun

Die Voyagermissionen haben alle äußeren Planeten des Sonnensystems angeflogen. Dass das überhaupt möglich ist, ist nur einem glücklichen Zufall zu verdanken: Die Planeten befanden sich alle auf ihrer Umlaufbahn auf derselben Seite der Sonne. Eine ähnlich günstige Position tritt nur alle 176 Jahre auf. Dazwischen ist es nicht möglich swing-by-Manöver so intensiv zu nutzen und alle vier Planeten mit nur einer Sonde zu erforschen. Diese Möglichkeit wäre aber beinahe ungenutzt verstrichen, weil der NASA das Geld für diese Mission fehlte. Dafür war es notwendig, öffentlichkeitswirksame Komponenten wie zum Beispiel eine Schallplatte für Außerirdische oder ein Bild vom Sonnensystem, auf dem die Erde ganz klein ist. Der wahre Erfolg der Voyagersonden liegt natürlich nicht an diesen öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen, sondern an der erfolgreichen Erforschung der äußeren Planeten: Am Jupiter erforschten die Voyagersonden Ringe, Gewitter und die Monde Metis und Thebe. Am Jupitermond Io haben die Voyagersonden 9 Vulkane entdeckt. Beim Saturn entdeckten die Sonden weitere Monde und Mondtrojaner. Außerdem haben sie herausgefunden, dass am Saturn die Polarlichter auch abseits der Polregionen existierten. Beim Saturn wurde die Raumsonde Voyager 2 umgelenkt, weil man sich unbedingt noch den Saturnmond Titan genauer anschauen wollte. Das war dann aber mit Voyager doch nicht möglich, weil Titan eine zu dichte Atmosphäre hat. Erst die Raumsonde Cassini konnte mittels Radar die Oberfläche des Titan untersuchen. Die Raumsonde Voyager 1 wurde nicht in Richtung Titan umgelenkt und konnte dadurch noch Uranus und Neptun anfliegen. Heute sind die beiden Voyagersonden die am weitesten entfernten Objekte, die von Menschen geschaffen wurden.

New Horizons

Erde → Jupiter → Pluto → Arrokoth

New Horizons ist eine Mission zur Erforschung des Kuipergürtels. Auch bei dieser Mission wurden öffentlichkeitswirksame Komponenten eingebaut, so wurde zum Beispiel die Asche des Entdeckers des Reiseziels Pluto mitgenommen und eine CD mit zahlreichen zufällig ausgewählten Namen von Menschen auf der Erde. Bevor New Horizons in den Kuipergürtel flog, passierte sie noch den Jupiter, um mit einem Swing-by-Manöver zu beschleunigen. Dabei erforschte die Raumsonde auch gleich das Planetensystem des Jupiter und konnte zum Beispiel einen Vulkanausbruch auf dem Jupitermond Io mitverfolgen. Im Jahr 2015 erreichte New Horizons das erste Objekt im Kuipergürtel: Den zweitgrößten Zwergplaneten Pluto mit seinem größten Mond Charon. Auf beiden Himmelskörpern entdeckte sie hohe Berge und tiefe Schluchten, was dafür spricht, dass das Innere dieser Trans-Neptun-Objekte flüssig ist. Das war eine große Überraschung, weil man davor annahm, dass es sich bei den Objekten im Kuipergürtel nur um Gesteinsbrocken handelt. Im Jahr 2019 flog New Horizons mit Arrokoth ein Trans-Neptun-Objekt von durchschnittlicher Größe (also 10.000 mal kleiner als Pluto) an. Es handelt sich dabei um ursprünglich 2 unterschiedliche Objekte, die sich durch Gravitation verbunden haben. Aufgrund der geringen Größe hat sich das Konglomerat nicht zu einer Kugel verformt, sondern es sind immer noch beide Teile gut zu erkennen.

Exoplaneten

Exoplaneten sind Himmelskörper, die um einen Stern kreisen, der nicht die Sonne ist. Sie sind vergleichbar mit unseren Planeten, zählen aber laut der IAU-Definition von 2006 nicht zu den Planeten, weil ein Planet um die Sonne kreisen muss, um den Definintionskriterien zu entsprechen.

[Weitere interessante Eigenschaften über Exoplaneten auf Exoplanets.de ↗](https://www.exoplanets.de/)

[Weitere interessante Eigenschaften über Exoplaneten auf Exoplanets.eu ↗](https://www.exoplanets.eu/)

Planetenarten

Neben den Planetenarten, die wir schon aus unserem Sonnensystem kennen (Gasriesen, Eisriesen und kleine Gesteinsplaneten) gibt es auch zum Beispiel kleine Eisplaneten („Minineptune“), kleine Gasplaneten („Gaszwerg“) und große Gesteinsplaneten („Supererden“). Weiters vermutet man, dass es Planeten gibt, die nur aus Wasser bestehen, sogenannte Ozeanplaneten und Gesteinsplaneten, die so nah bei ihrem Stern kreisen, dass die Steine flüssig werden, sogenannte Magmaplaneten.

Entdeckung von Exoplaneten

Exoplaneten sind schwer zu entdecken. Einerseits aufgrund der Distanz: Wenn der Abstand zwischen Erde und Sonne nur ein Meter wäre, würde die Distanz zwischen Sonne und Alpha Centauri der Entfernung Wien-Salzburg entsprechen. Andererseits werden die Exoplaneten auch von ihrem Stern überstrahlt. Deshalb werden die meisten Exoplaneten nur indirekt beobachtet.

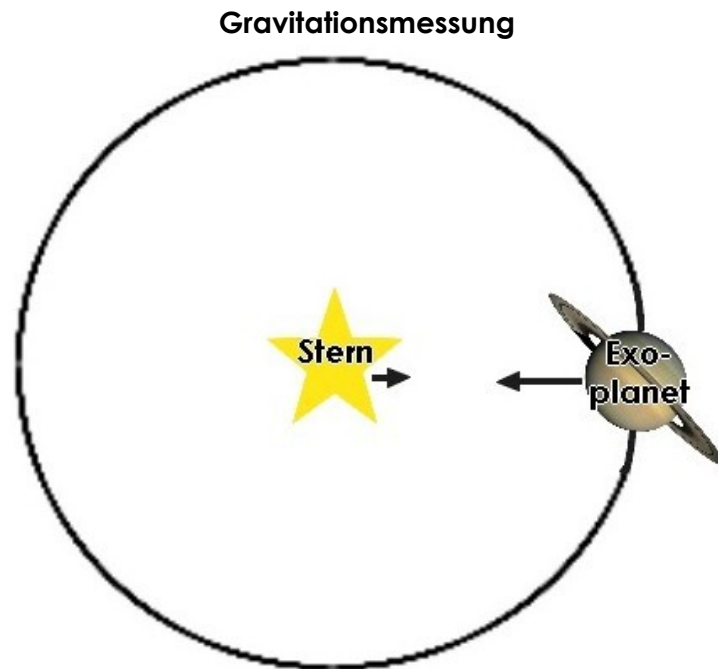


Abb. 4.1.: Gravitationsmessung:

Alle Objekte ziehen sich gegenseitig an: die großen Objekte die kleinen, aber auch die kleinen Objekte die großen. Die Gravitation eines Exoplaneten zieht daher auch seinen Stern an und der Stern bewegt sich dadurch leicht. Diese Bewegung kann man sowohl in seitlicher Richtung am Wackeln des Sterns (Astrometrie) als auch vor- und zurück aufgrund der Rotverschiebung (Radialgeschwindigkeitsmethode) messen. Die größte gravitative Auswirkung haben große Planeten, die nahe an ihrem Stern kreisen. Solche Planeten werden mit dieser Methode am leichtesten entdeckt. Aus der Stärke der Ablenkung kann man auf die Masse und aus der Häufigkeit der Ablenkung auf die Umlaufdauer des Planeten schließen.

[Erklärung der Rotverschiebung im Astronomische-Maßeinheiten-Skriptum ①](#)

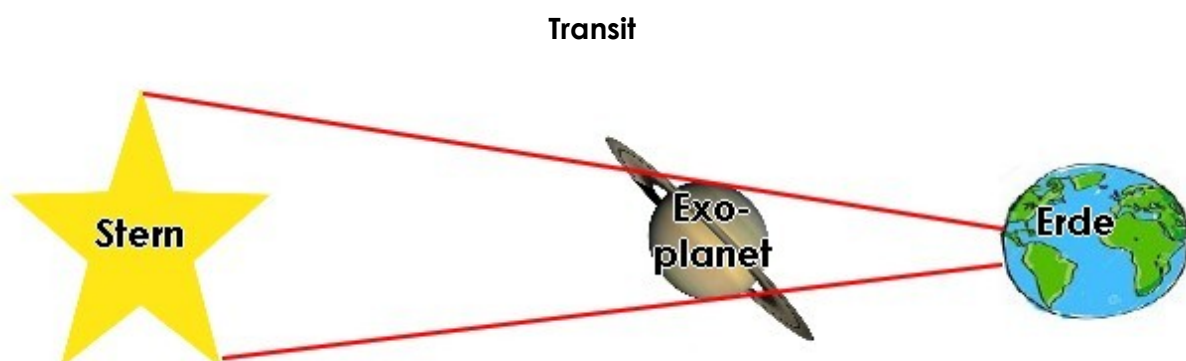


Abb.4.2.: Transitmethode:

Wenn der Exoplanet an seinem Stern vorbeizieht, verschluckt er etwas Licht, ähnlich wie beim Venustransit. Der Stern erscheint dadurch von der Erde aus gesehen dunkler. Die Mission OGLE hat allein im Oktober 2009 62 Exoplaneten auf diese Weise entdeckt. Auch dieser Effekt ist bei großen Planeten, die nahe bei ihrem Stern sind, am stärksten. Aus der Stärke der Verdunklung kann man auf die Größe und aus der Häufigkeit der Verdunklung auf die Umlaufdauer des Planeten schließen.

Spektralanalyse

Jeder Stoff verdunkelt das Licht von Wellenlängen. Welche Wellenlängen ein Stoff verdunkelt, ist von Stoff zu Stoff unterschiedlich. Anhand dessen, welche Wellenlängen nicht ankommen, kann man darauf schließen, welche Stoffe im Stern vorhanden sind. Wenn ein Exoplanet vor dem Stern vorbeizieht (der in der Regel aus anderen Stoffen besteht als der Stern), werden zusätzliche Wellenlängen abgedunkelt. Daraus, welche Wellenlängen zusätzlich abgedunkelt werden, kann man schließen, welche Stoffe auf dem Planeten existieren. Außerdem kann man aus den vorhandenen Stoffen die Dichte und aus der Abdunklung des Sterns den Radius ausrechnen. Aus Dichte und Radius kann man die Masse errechnen.

Mikrolinseneffekt

Die Gravitation eines Sterns krümmt den Raum, sodass die dahinterliegenden Lichtquellen verstärkt werden. Dieser Effekt ist einerseits am stärksten, wenn der Planet möglichst nahe bei seinem Stern ist. Andererseits erschwert die Nähe zum Stern direkte Beobachtungen, weil der Stern dann die schwächere Lichtquelle überstrahlt. Dementsprechend selten sind Entdeckungen mit Hilfe des Mikrolinseneffekts.

[Erklärung der Relativitätstheorie: Physiskriptum Seite 70](#) ⓘ

[Erklärung der Relativitätstheorie: Zusammenfassung des Physiskriptums Seite 15](#) ⓘ

Direkte Beobachtung

Die größte Hürde bei einer direkten Beobachtung ist, dass der Planet von seinem Stern überstrahlt wird. Deshalb entwickelt man Koronografen: Sie können das Licht des Sterns aufgrund des Spektrums erkennen und herausfiltern. Da diese Technik noch nicht perfekt funktioniert, ist es am leichtesten, Planeten die weit von ihrem Stern entfernt sind zu beobachten. Zusätzlich erleichtert es die Beobachtung, wenn der Planet groß ist. Planeten, die zu weit von ihrem Stern entfernt sind oder um gar keinen Stern kreisen, kann man mit dieser Methode auch nicht beobachten, weil sie kein oder zu wenig Licht reflektieren.

[Funktion des Koronografen und Erklärung des Spektrums im Instrumenteskriptum](#) ⓘ

Die Suche nach außerirdischem Leben

Nach welchem Leben suchen wir?

Wir kennen in unserem Universum kein Leben außer dem auf der Erde, wir haben also keine Ahnung wie außerirdisches Leben aussehen könnte und welchen Bedingungen es sich angepasst haben könnte. Es gibt aber so viele Möglichkeiten, wo man suchen könnte, dass man die Suche einschränken muss, also suchen wir vor allem nach menschenähnlichem Leben.

Was könnte es noch für Lebewesen geben?

Wir wissen natürlich gar nicht, ob fremdes Leben irgendwas mit unserem zu tun hat. Wir waren auch überrascht, als wir Leben in der Tiefsee gefunden haben, weil wir das aufgrund der hohen Dichte ausgeschlossen hatten. Wer weiß, wo sich Leben sonst noch entwickelt haben kann? Vielleicht befinden sich sogar Lebewesen in unserem Sonnensystem irgendwo zwischen oder in den Planeten versteckt, oder es gibt Lebewesen, die wir gar nicht wahrnehmen können, weil sie aus dunkler Materie bestehen, wir können nicht das Gegenteil beweisen. So gesehen kann man fremdes Leben nie vollständig ausschließen, weil wir nicht wissen, ob wir überhaupt mit den richtigen Methoden suchen. Bei solchen Überlegungen stellt sich auch die Frage, was man überhaupt noch als Leben bezeichnen kann.

Gibt es Leben in unserem Sonnensystem?

Wir kennen unser Sonnensystem schon ziemlich gut: Wir haben schon jeden Planeten mit einer Raumsonde besucht und noch viel mehr Himmelskörper beobachtet. Bisher haben wir noch kein Leben gefunden, aber das heißt noch immer nicht, dass wir 100%ig Leben (auch nicht erdähnliches) in unserem Sonnensystem ausschließen können. Es könnte zum Beispiel im inneren der Monde Europa oder Enceladus warmes Wasser geben, in dem sich Leben befindet. Kleine Bakterien können aber überall im Sonnensystem leben. Wir haben sogar schon mit unseren Raumsonden unabsichtlich kleine Bakterien von der Erde mitgenommen, die den Flug durch das All unbeschadet überlebt haben. Außerdem gibt es Theorien, nach denen der Mars früher einmal lebensfreundlich gewesen sein könnte und das Leben auf der Erde sogar durch einen Meteoriten vom Mars gekommen ist.

Auf welchen Himmelskörpern suchen wir?

Da wir die Lebewesen der Erde einigermaßen kennen, ist es am vielversprechendsten, nach Himmelskörpern zu suchen, auf denen ähnliches Leben möglich wäre. Schließlich ist die Wahrscheinlichkeit, dass wir der Durchschnitt sind höher, als die Wahrscheinlichkeit, dass wir eine Ausnahme sind.

Grundsätzlich wird eher auf Gesteinsplaneten, Ozeanplaneten und Monden nach Leben gesucht. Auf Magmaplaneten wird Leben (in unserem Sinne) aufgrund der zu hohen Temperatur ausgeschlossen. Auch Eis- oder Gasplaneten werden bei der Suche nicht beachtet, weil die Atmosphäre in den unteren Schichten zu viel Druck aufweist. Oben wäre kein Wasser, weil es nicht schnell genug verdampft um so weit aufzusteigen. Ein habitabler Himmelskörper darf auch nicht zu massereich sein, weil sonst der Druck aufgrund der Gravitation zu stark ist.

Die habitable Zone

Wir Erdbewohner brauchen Wasser zum Überleben, also suchen Wissenschaftler vor allem nach Planeten, auf denen flüssiges Wasser existieren kann. Wenn ein Planet zu nah an seinem Stern ist, würde das Wasser verdampfen und wenn der Planet zu weit von seinem Stern entfernt ist, würde es frieren. Je heißer ein Stern ist, desto weiter ist die habitable Zone von ihm entfernt. Die Entfernung der habitablen Zone kann man mit folgender Formel errechnen:

$$d = \sqrt{\frac{L_{\text{Stern}}}{L_{\text{Sonne}}}}$$

In dieser Formel steht d für die Distanz der habitablen Zone und L für die Leuchtkraft.

Die Zone, in der flüssiges Wasser auf der Oberfläche möglich ist, nennt man habitable Zone. (Im inneren des Planeten kann es aufgrund des Drucks auch außerhalb der habitablen Zone existieren, wie es zum Beispiel am Saturnmond Enceladus durchaus möglich wäre)

In unserem Sonnensystem gehört neben der Erde auch der Mars zur habitablen Zone, weil der Mars mit einer dichteren Atmosphäre auch die passende Temperatur hätte, damit flüssiges Wasser existieren könnte. Wenn ein Planet in der habitablen Zone liegt, heißt das noch lange nicht, dass tatsächlich flüssiges Wasser auf seiner Oberfläche existiert, es ist nur nicht ausgeschlossen. Auch über andere lebensnotwendige Kriterien wie eine geeignete Atmosphäre sagt es nichts aus. Wenn die Atmosphäre geeignet ist, kann man in der habitablen Zone darauf schließen, dass auch die Temperatur geeignet sein müsste.

[Mehr interessante Informationen über die habitable Zone ↗](#)

Wahrscheinlichkeit

Habitable Himmelskörper zu finden, ist aufgrund ihrer Größe und ihrer Nähe zum Stern sehr schwer. Dennoch haben wir schon Exoplaneten gefunden, auf denen solche Bedingungen gegeben sein könnten. Man kann die Atmosphäre des Planeten untersuchen. Es gibt Stoffe (Biomarker), die unseres Wissens nach nur durch Lebewesen entstehen können, wenn man solche Stoffe findet, ist das schon ein starker Hinweis auf Leben.

Die Suche nach einer weiteren Heimat

Für den Fall, dass unsere Erde einmal nicht mehr bewohnbar sein sollte (Atomkrieg, Umweltverschmutzung, Übervölkerung) kann es auch notwendig sein, nach alternativen Planeten zu suchen, um Menschen anzusiedeln. Der Zeitpunkt, zu dem die Sonne zum roten Riesen wird, ist wohl zu weit weg, als dass wir uns heute schon darüber Gedanken machen müssten.

Die Suche nach Planeten, die für eine Besiedlung geeignet sind, unterscheidet sich sehr stark von der Suche nach Exoplaneten. Neben der Möglichkeit, sich auf habitablen Himmelskörpern anzusiedeln, soll auch die Möglichkeit, aktuell nicht bewohnbare Himmelskörper bewohnbar zu machen (Terraforming) erwähnt werden. In unserem Sonnensystem befindet sich neben der Erde nur der Mars als einziger Planet in der habitablen Zone. Die Monde und Trojaner, die sich ebenfalls in der habitablen Zone befinden, sind zu klein um eine Atmosphäre zu halten.

Mars - Terraforming

Der Mars scheint sich aus heutiger Sicht am besten für Terraforming zu eignen. Es gibt Theorien, nach denen der Mars früher ähnlich lebensfreundlich wie die Erde gewesen sein könnte und sogar dass das Leben vom Mars zu uns gekommen sein könnte.

Atmosphäre: Die Atmosphäre des Mars besteht hauptsächlich aus CO_2 . Die Pflanzen wandeln bekanntlich das CO_2 , das wir ausatmen, in Sauerstoff, den wir einatmen, um. Dieser Effekt

nennt sich Fotosynthese. Auf dem Mars könnten wir diesen Effekt ausnützen, um CO_2 in Sauerstoff umzuwandeln.

Temperatur: Wie wir einen Planeten aufwärmen können, wissen wir schon (Stichwort: Klimawandel). Man schickt dichte Gase in die Atmosphäre, sodass der Treibhauseffekt die Marsatmosphäre stärker aufwärmen kann.

Strahlung: Die Erde ist vor allem wegen des Ozons in der Atmosphäre gut vor der gefährlichen UV-Strahlung der Sonne geschützt. Am Mars gibt es dieses Ozon (noch) nicht, weshalb wir, um überleben zu können, Ozon produzieren müssten.

[Erklärung des Treibhauseffekts im Skriptum über das Sonnensystem](#) 

Alpha Centauri – habitable Zonen

Anreise: Alpha Centauri ist mit einer Entfernung von nur etwas mehr als einem Parsec der von uns aus gesehen nächste Stern. Dadurch ist dieses Sternsystem für uns noch am ehesten erreichbar. Mit unserer heutigen Technik sind wir jedoch noch weit davon entfernt. Unser schnellstes Fortbewegungsmittel ist die Raumsonde Voyager und die würde für einen Flug zu Alpha-Centauri noch 100-Millionen Jahre brauchen. Die schnellste überhaupt erreichbare Geschwindigkeit ist Lichtgeschwindigkeit. Selbst wenn wir uns mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegen könnten, würden wir über 4 Jahre brauchen.

Planeten: Über die Planeten des Alpha Centauri ist bisher noch wenig bekannt. Wir haben erst einen Planeten entdeckt und der ist viel zu heiß, um Leben zu beherbergen, weil er viel zu nahe bei seinem Stern ist. Wenn wir von Alpha-Centauri aus unsere Sonne anschauen würden, hätten wir allerdings unsere Erde höchstwahrscheinlich auch noch nicht entdeckt. Auch die anderen 7 Planeten wären schwer aufzuspüren. Es wäre also auf jeden Fall zuerst notwendig, eine unbemannte Sonde hinzuschicken.

Erforschung durch unbemannte Raumsonden: Eine unbemannte Raumsonde muss weitgehend selbstständig agieren. Schließlich braucht eine einfache Nachricht (auch sie kann die Lichtgeschwindigkeit nicht überschreiten) 4 Jahre bis zur Erde. Weitere 4 Jahre dauert es, bis die Antwort von der Erde bei der Raumsonde ankommt. Die Übermittlung komplexer Daten dauert aber weit länger: Die Raumsonde New Horizons hat 1,5 Jahre gebraucht, um die Daten vom Pluto zur Erde zu schicken, und der ist 10-Millionen mal näher als Alpha-Centauri. Die Programmierung der Raumsonde ist eine Herausforderung: Die Sonde muss von selber erkennen, welche Objekte interessant sind, wohin sie ihre Kameras ausrichten soll und in welcher Reihenfolge sie die Planeten logistisch günstig erforscht. Es ist eine wirklich große Herausforderung die Auswahlkriterien für besiedelbare Himmelskörper exakt festzulegen!

Erforschung durch bemannte Raumsonden: Bemannte Raumsonden so weit zu schicken, ist eine noch größere Herausforderung (Kein Wunder, dass bemannte Raumsonden nicht weiter als bis zum Mond gekommen sind): Zuerst muss das Ziel durch unbemannte Sonden ausreichend erforscht sein. Dann muss man Luft, Lebensmittel und Energie (einschließlich Abbremsmanöver) für mehr als 4 Jahre mit an Bord haben und die gesamte Mannschaft muss so lange abgeschieden leben ohne verrückt zu werden. Es gibt zwar prinzipiell genügend Menschen, die dazu bereit wären (zur Mission Mars One haben sich 200.000 Personen bereit erklärt, die Erde für immer zu verlassen), ob alle Menschen das psychisch aushalten, ist jedoch schwer abzuschätzen.

Besiedlung: Für ein Besiedlungsprogram können nur wenige Menschen nach humangenetischen Kriterien ausgewählt werden, aber es dürfen nicht zu wenige sein (wegen Inzuchtgefahr).

Weiter entfernte Planeten

Wenn es schon so schwer ist, unseren nächsten Stern zu erforschen, wie schwer ist es dann erst, zu einem noch weiter entfernten Stern zu fliegen? Nicht so schwer, wie man annehmen würde. Hier kommt nämlich ein Effekt der Relativitätstheorie ins Spiel: Je schneller man fliegt, desto schneller vergeht die Zeit. Wenn man - so wie wir heute - nur einen Bruchteil der Lichtgeschwindigkeit fliegen, macht das kaum einen Unterschied, aber je näher wir uns der Lichtgeschwindigkeit annähern, desto langsamer vergeht die Zeit. Das kann man mit folgender Formel berechnen:

$$T = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

In dieser Formel stellt t die Zeit für einen Menschen auf der Erde, T die Zeit für einen Menschen im Raumschiff, v die Geschwindigkeit des Raumschiffes und c die Lichtgeschwindigkeit dar.

[Diese Formel wird im Physikskriptum ab Seite 70 hergeleitet](#) ①

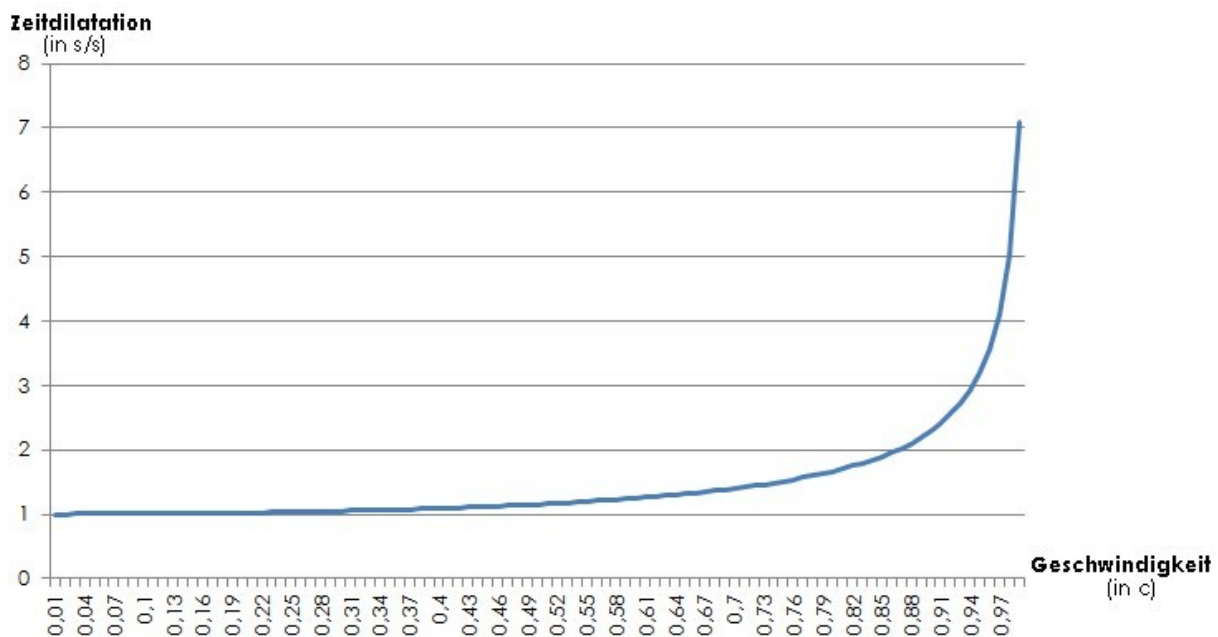


Abb. 4.3.: Die Stärke der Zeitdilatation in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

In dieser Grafik wird die Geschwindigkeit (in Teilen der Lichtgeschwindigkeit) aufgetragen im Vergleich zur Zeitdilatation (wie viele Sekunden für den Beobachter auf der Erde vergehen, während für den Raumfahrer eine Sekunde vergangen ist). Man erkennt, dass die Zeitdilatation beim Annähern an die Lichtgeschwindigkeit immer stärker wird und unendlich stark werden kann.

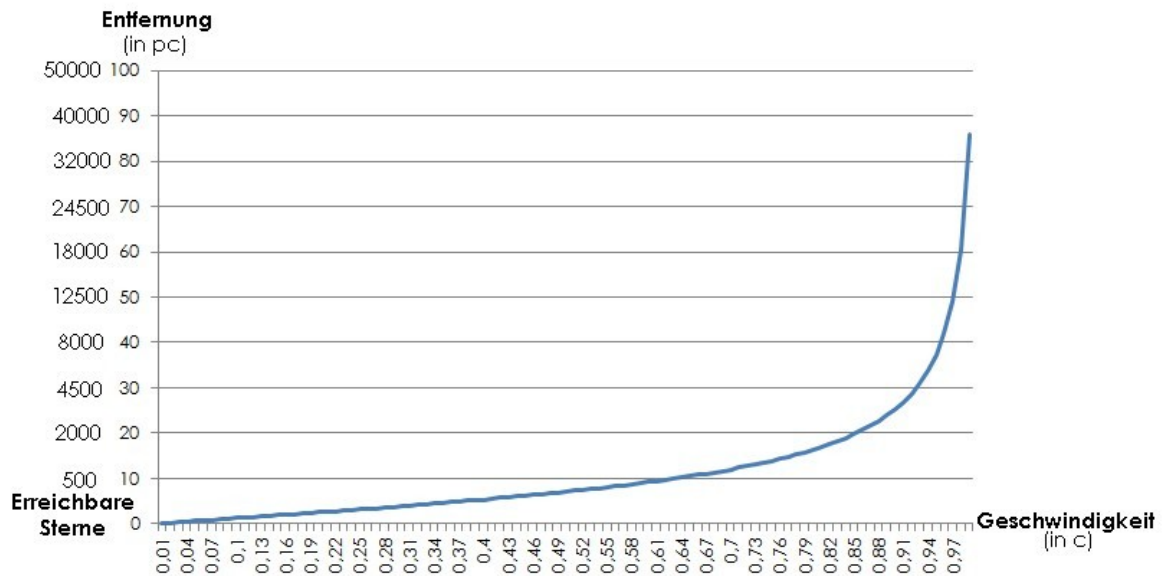


Abb. 4.4.: Erreichbare Distanz in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

In dieser Grafik ist aufgetragen, wie weit ein Raumschiff kommt, während die Raumfahrer 40 Jahre altern. Dank der Zeitdilatation steigt diese Kurve nicht nur linear, sondern sogar exponentiell an.

Man kann erkennen, dass man die ersten Sterne erst mit einem hundertstel der Lichtgeschwindigkeit erreicht, dann die Zahl der erreichbaren Sterne jedoch stark zunimmt. Im Vergleich zur Milchstraße sind die zurückgelegten Distanzen dennoch nur minimal: Selbst wenn man mit 99% der Lichtgeschwindigkeit fliegt, kann man in 40 Jahren weniger als 1/80 der Milchstraße durchqueren. Wenn die Milchstraße so groß wäre wie Wien, würden wir nicht einmal von der Sternwarte zum Rand des Sternwarteparks gelangen.