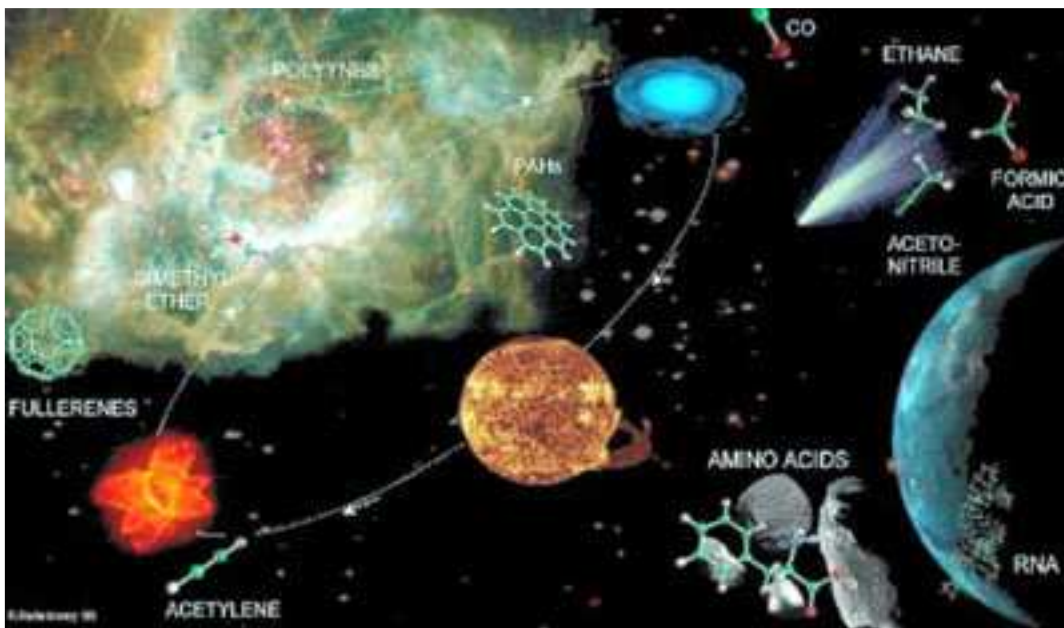


**Astronomie und Astrophysik**

**Astrobiologie –  
Die Möglichkeit von Leben  
auf anderen Planeten und  
sonstigen astronomischen Objekten**

**von  
Andreas Schwarz**



**Stand: 28.02.2016**

## **0.0 Inhaltsverzeichnis**

<b>1.0 Einleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2.0 Was ist Leben?.....</b>	<b>4</b>
<b>3.0 Leben auf der Erde.....</b>	<b>5</b>
<b>4.0 Leben auf anderen Planeten und sonstigen astronomischen Objekten.....</b>	<b>7</b>
<b>4.1 Habitable Zonen.....</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Die Möglichkeit von Leben im Sonnensystem.....</b>	<b>10</b>
<b>4.3 Die Möglichkeit von Leben außerhalb des Sonnensystems.....</b>	<b>10</b>
<b>5.0 Die Wahrscheinlichkeit für die mögliche Entwicklung von Leben .....</b>	<b>12</b>
<b>5.1 Die Drake-Gleichung bzw. Green-Bank-Formel.....</b>	<b>13</b>
<b>5.2 Das Fermi-Paradoxon.....</b>	<b>14</b>
<b>6.0 Die Suche nach außerirdischem Leben.....</b>	<b>14</b>
<b>6.1 Die direkte Untersuchung von astronomischen Objekten.....</b>	<b>15</b>
<b>6.2 Die Suche nach molekularen biologischen Indikatoren.....</b>	<b>16</b>
<b>6.3 Die Suche nach außerirdischen Zivilisationen.....</b>	<b>17</b>
<b>7.0 Besuch von außerirdischen Lebensformen auf der Erde?.....</b>	<b>19</b>
<b>7.1 Die Untersuchung des UFO-Phänomens.....</b>	<b>19</b>
<b>7.2 Die Klassifikation der UFO-Sichtungen nach Hynek.....</b>	<b>20</b>
<b>7.3 Die Wahrscheinlichkeit einer außerirdischen Raumfahrtmission zur Erde.....</b>	<b>20</b>
<b>8.0 Fazit und Ausblick.....</b>	<b>22</b>
<b>9.0 Schlusswort.....</b>	<b>24</b>
<b>10.0 Literatur- und Bilderverzeichnis.....</b>	<b>25</b>

## 1.0 Einleitung

Die Astrobiologie (Astronomie + Biologie) erforscht die Möglichkeit von Leben auf Planeten und anderen astronomischen Objekten im Weltraum. Hierbei kann es sich um Objekte im Sonnensystem oder in anderen Sternensystemen handeln. Die Frage, ob prinzipiell Leben auf astronomischen Objekten möglich ist, kann bereits positiv beantwortet werden, da nachweislich Leben auf der Erde existiert. Bisher ist außerhalb des Planeten Erde jedoch noch kein Leben auf anderen Planeten bzw. anderen astronomischen Objekten nachgewiesen worden. Grundlegende Fragen der Astrobiologie sind, unter welchen Rahmenbedingungen Leben entsteht und wie wahrscheinlich diese Entstehung ist.

Als Referenz für Leben steht uns bisher nur das Leben auf der Erde zur Verfügung. Dieses ist auf Kohlenstoff aufgebaut und nutzt für seine Entwicklung Wasser als Lösungsmittel. Kohlenstoff und Wasser sind besonders geeignete Grundlagen für Leben. Leben könnte theoretisch auch auf einer anderen Grundlage beruhen, etwa Silizium. Des Weiteren könnte auch ein anderes Lösungsmittel als Wasser zur Entwicklung des Lebens dienen. Doch dürften Alternativen zu Kohlenstoff und Wasser nach dem gegenwärtigen Forschungsstand zumindest weniger gut geeignet und damit unwahrscheinlicher sein. Somit wird bei der Suche nach außerirdischen Lebensformen in erster Linie nach Leben auf Kohlenstoffbasis und nach flüssigem Wasser gesucht.

Dies führt uns zu dem Begriff der habitablen Zonen. Das ist der Abstandsbereich eines astronomischen Objekts von einem Stern, bei dem flüssiges Wasser existieren kann. Diese hängt allerdings nicht nur vom Abstand zum Stern ab, sondern auch von der Atmosphäre des astronomischen Objektes. So haben unter anderem auch der Atmosphärendruck und die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre, etwa der Anteil an Treibhausgasen, Einfluss auf den Aggregatzustand des Wassers. Auf einem astronomischen Objekt können auch lokale bzw. planetare habitable Zonen bestehen, etwa aufgrund einer inneren Wärmequelle. Darüber hinaus dürfte es auch eine galaktische habitable Zone geben. Weder zu nah am Zentrum der Galaxis noch in ihren Außenbereichen dürfte die Entwicklung von Leben wahrscheinlich sein.

Wie wahrscheinlich sind die Existenz und die Entwicklung von Leben? Diese Frage ist noch völlig offen, Gegenstand der Forschung und von Spekulationen. Vielleicht kann erst der Nachweis von Leben außerhalb der Erde darauf eine Antwort geben. Der Nachweis von möglichem Leben auf astronomischen Objekten kann auf drei Arten erfolgen. Zum Ersten durch die direkte Untersuchung von astronomischen Objekten, was den Untersuchungsbereich derzeit auf das Sonnensystem beschränkt. Zum Zweiten durch den Nachweis von bestimmten Molekülen, die als biologische Indikatoren geeignet sind. Im Falle einer kulturell-technisch entwickelten außerirdischen Zivilisation, die der Kommunikation fähig ist, kann zum Dritten nach künstlichen elektromagnetischen Signalen dieser Zivilisation gesucht werden.

Wenn eine kulturell-technisch hoch entwickelte außerirdische Zivilisation besteht, könnte diese uns mit Hilfe einer entsprechend technisch entwickelten Raumfahrt besuchen oder haben derartige Besuche bereits stattgefunden? Die direkte Kommunikation zwischen der Menschheit und einer außerirdischen Zivilisation wäre wohl nur in diesem Fall möglich. In allen anderen Fällen dürfte eine direkte, zeitnahe Kommunikation ausgeschlossen sein. Denn die Kommunikation kann höchstens mit Lichtgeschwindigkeit erfolgen. Im Durchschnitt dürften außerirdischen Zivilisationen, wenn sie existieren, zwischen 100 und 1.000 Lichtjahren von uns entfernt sein. Entsprechend lange würde eine Kommunikation dauern.

Nachfolgend wird auf die bereits in dieser Einleitung aufgeführten Punkte und auf weitere Bereiche zum Themenkomplex Astrobiologie ausführlich eingegangen werden. Hierbei wird der aktuelle Stand der Forschung zu diesem Thema berücksichtigt.

## 2.0 Was ist Leben?

Ausgangslage für jede Betrachtung über Leben im Weltraum ist eine Definition für das Leben selbst. Eine einfache Antwort darauf gibt es nicht, da die Definition für Leben komplex ist. Folgende Eigenschaften und Fähigkeiten können für eine Definition von Leben herangezogen werden:

1. Stoffwechsel,
2. Fortpflanzung,
3. Wachstum und Entwicklung,
4. Mobilität und
5. die Möglichkeit, Reize und Informationen aufzunehmen.

Der Stoffwechsel ist die Eigenschaft von Lebewesen, bestimmte Stoffe aufzunehmen, umzuwandeln und wieder auszuscheiden. Diese Eigenschaft wurde zum Beispiel bei verschiedenen Experimenten auf der Marsoberfläche verwendet, um dort mögliches Leben nachzuweisen. Allerdings waren diese Experimente bisher erfolglos. Lebewesen sind in der Lage sich durch Fortpflanzung zu reproduzieren und vermehren. Des Weiteren wachsen Lebewesen im Laufe ihrer Lebenszeit und entwickeln sich. Die Mobilität von Lebewesen äußert sich durch die Eigenbeweglichkeit oder zumindest durch Bewegungsvorgänge im Organismus, etwa innerhalb ihrer Zellen. Lebewesen haben die Fähigkeit, auf Reize zu reagieren und Informationen aufzunehmen.

Die Grundeinheit des Lebens ist die Zelle. Alle oben genannten Definitionen für Leben lassen sich noch auf der Ebene der Zelle nachweisen. So besteht die einfachste Form von Leben nur aus einer Zelle während zum Beispiel der Mensch aus 100 Trillionen Zellen besteht. Aus der Definition für Leben fallen allerdings die Viren heraus. Sie haben weder einen Stoffwechsel noch zeigen sie Wachstum. Insgesamt ist es schwierig eine absolute Definition für Leben zu finden. Die Forschung auf diesem Gebiet ist noch nicht abgeschlossen. Auch die Rahmenbedingungen für die mögliche Entstehung von Leben sind längst nicht abschließend erforscht. Allerdings dürfte Energie eine wichtige Voraussetzung für Leben sein. So benötigen Stoffwechsel, Fortpflanzung, Wachstum und Entwicklung, Mobilität sowie die Verarbeitung von Reizen und Informationen Energie. Mögliche Energiequellen für Leben können Sterne oder Quellen auf astronomischen Objekten sein. So hat zum Beispiel die Erde nicht nur die Energiezufuhr von der Sonne, sondern auch eigene planetare Wärmequellen, welche durch Vorgänge im Innern des Planeten erzeugt werden.

Leben benötigt für seine Entwicklungen neben den physikalischen Voraussetzungen, etwa Energie, auch geeignete chemische Rahmenbedingungen. Leben ist komplex, benötigt daher eine geeignete chemische Basis. Kohlenstoff ist eine geeignete Basis, denn er kann aufgrund seiner Atomstruktur komplexe und langkettige Verbindungen aufbauen. Auch andere Elemente könnten als Basis dienen, zum Beispiel Silizium, welches im Periodensystem direkt unter Kohlenstoff steht und ähnliche chemische Eigenschaften wie dieser hat. Allerdings ist Kohlenstoff reaktionsfreudiger, während der Aufbau von komplexen Siliziumverbindungen mehr Energie benötigt. Nach unserem bisherigen Kenntnisstand dürfte Kohlenstoff die geeignetste Basis für Leben sein. Doch ist für den Aufbau von komplexen chemischen Verbindungen in der Regel auch ein geeignetes Lösungsmittel erforderlich. Auch hier gibt es verschiedene Möglichkeiten, doch kristallisiert sich hier Wasser als besonders geeignetes Lösungsmittel heraus. Wasser hat im Gegensatz zu anderen Lösungsmitteln eine besondere Eigenschaft. Es hat im festen (gefrorenen) Zustand eine geringere Dichte als im flüssigen Zustand und so schwimmt Wassereis auf flüssigem Wasser. Diese Eigenschaft war für die Entstehung von Leben auf der Erde besonders wichtig. Kohlenstoff und Wasser dürften wichtige Voraussetzungen für Leben sein. Es gibt zwar auch andere Möglichkeiten, doch können wir bisher nichts über deren Wahrscheinlichkeit oder Realität aussagen. Bisher haben wir nur die uns bekannten Beispiele von Leben auf der Erde. Auch wenn diese Art von Leben nach unserem derzeitigen Kenntnisstand die wahrscheinlichste ist, so dürfen andere Möglichkeiten nicht ausgeschlossen werden.

### 3.0 Leben auf der Erde

Bisher ist nur auf unserem Planeten Erde eindeutig Leben nachgewiesen worden. Daher bietet sich die Erde auch als mögliches Studienobjekt für Leben auf anderen Planeten bzw. astronomischen Objekten an. Die Entstehung der Erde fand vor etwa 4,6 Milliarden Jahren statt und dauerte etwa 10 – 20 Millionen Jahre. Die abschließende Bildung und Abkühlung der Erde war von einem anfänglichen Bombardement durch Kleinkörper begleitet. Diese Kleinkörper dürften übrig gebliebenes Material aus der Entstehung des Sonnensystems gewesen sein. Möglicherweise stammt das Wasser auf der Erde von einer Vielzahl von Kometeneinschlägen. Erst als diese Bombardements aufhörten und die Erde ausreichend abgekühlt war, konnte Leben, wie wir es kennen, entstehen. Die Entstehung von Leben soll nach unserem derzeitigen Kenntnisstand vor rund 3,5 Milliarden Jahren eingesetzt haben. Der Zeitraum von etwa einer Milliarde Jahren nach Entstehung der Erde dürfte notwendig gewesen sein, damit die chemischen Prozesse auf Basis von Kohlenstoff im Lösungsmittel Wasser zur Bildung von Leben führten. Die ältesten Lebewesen dürften Cyanobakterien gewesen sein. Ob die Entstehung von Leben auf der Erde zu einem noch früheren Zeitpunkt eingesetzt hat, ist noch Gegenstand von Diskussionen.



Bild 1: Der Planet Erde

Die Entstehung von Leben auf der Erde könnte mehrere Ansätze haben. Zunächst könnte nach der Panspermie-Theorie das Leben außerhalb der Erde entstanden sein. Das Leben entwickelte sich irgendwo an geeigneter Stelle im Weltraum und breitete sich dann aus. So können zum Beispiel die Sporen von Bakterien im Weltraum durchaus eine Zeitlang überleben. Allerdings ist fraglich, ob sie die lange Reisedauer zwischen den verschiedenen Sternen überleben könnten. Für diese Theorie gibt es bisher keine plausiblen Annahmen oder Beweise.

Das Urey-Miller-Experiment liefert einen anderen Ansatz für die Entstehung von Leben auf der Erde. In diesem Experiment bildeten die Wissenschaftler die Uratmosphäre der Erde in einem Behälter nach. Diese Uratmosphäre bestand aus Wasserstoff, Wasser, Ammoniak und Methan. Im Experiment wurde die nachgebildete Uratmosphäre der Erde erwärmt und elektrischen Ladungen ausgesetzt. Nach einer Woche wurden in dem Gemisch organische Verbindungen nachgewiesen, die einen Anteil von 10 – 15 Prozent vom Gesamtgemisch ausmachten. Bei diesen Verbindungen handelte es sich vor allem um Aminosäuren. Später wurde in anderen Experimenten gezeigt, dass die Einwirkung von ultravioletter Strahlung die Bildung von organischen Verbindungen fördert. Auch die Uratmosphäre der Erde war elektrischen Entladungen und ultravioletter Strahlung ausgesetzt. Daher dürfte es im Ergebnis auch auf der Erde zur Bildung von organischen Verbindungen gekommen sein.

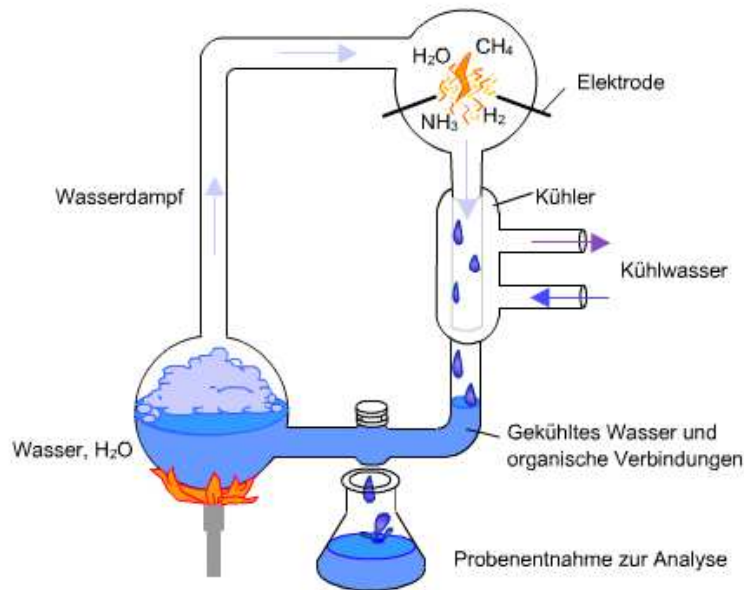


Bild 2: Aufbau des Urey-Miller-Experiments

Die Entwicklung von Leben auf der Erde könnte auch in heißen Quellen am Boden des Ozeans („Black Smokers“ bzw. „Schwarze Raucher“) entstanden sein. Normalerweise hat das Wasser an Ozeanböden eine Temperatur von etwa 2 Grad Celsius. Allerdings ist die Erde geologisch aktiv. Die Erdkruste besteht aus Platten, welche auf dem Erdmantel wandern und es bilden sich auf dem Ozeanboden heiße Quellen. Die Temperaturen dieser Quellen können zwischen 60 und 400 Grad Celsius liegen. An diesen Quellen wurden Bakterien gefunden, die dort unter sehr extremen Bedingungen (sehr heißes und salzhaltige Umgebung) existieren können. Wenn das Leben auf der Erde in solchen Black Smokers entstanden sein sollte, wäre es aufgrund der Wassermassen von der ultravioletten Strahlung der Sonne geschützt gewesen. Die ultraviolette Strahlung der jungen Sonne war wesentlich höher als heute. Des Weiteren gab es zu dieser Zeit noch keine schützende Ozonschicht. Energie für die Entstehung von Leben war in den Black Smokers ausreichend vorhanden. Noch ist die Forschung zur Entstehung von Leben auf der Erde nicht abgeschlossen. Vielleicht gibt es noch andere Entstehungsmechanismen.

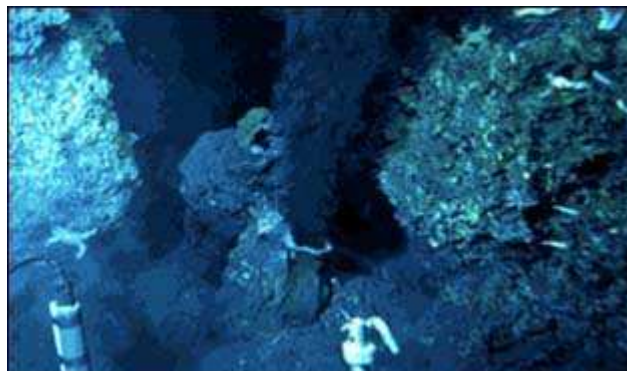
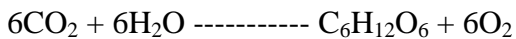
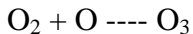
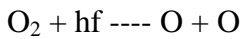


Bild 3: Black Smokers

Nach der Entstehung von Leben auf der Erde dauerte es etwa wieder eine Milliarden Jahr bis zu dem nächsten wesentlichen Entwicklungsschritt, der Entschließung einer neuen Energiequelle mit Sauerstoff als Träger der Energie. Als Energielieferant dient bis heute die Photosynthese, bei der Kohlenstoffdioxid und Wasser zu Zucker und Sauerstoff umgewandelt werden:



Aufgrund dieses Prozesses reicherte sich die Erdatmosphäre mit Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) an und es konnte sich durch Einwirkung von ultravioletter Strahlung ( $E = hf$ ) eine Ozonschicht ( $\text{O}_3$ ) herausbilden:



Erst durch die schützende Wirkung der Ozonschicht vor ultravioletter Strahlung konnten sich die Lebewesen vom Wasser aufs Land hin entwickeln. Eine weitere notwendige Voraussetzung war und ist das Magnetfeld der Erde, welches uns von der Kosmischen Strahlung abschirmt. Kosmische Strahlung besteht aus geladenen Teilchen, hauptsächlich Protonen und Heliumkerne, welche durch das Magnetfeld der Erde abgelenkt werden. Zur Kosmischen Strahlung gehört auch eine solare Komponente, die direkt von der Sonne ausgeht. Die anderen Komponenten der Kosmischen Strahlung kommen von Quellen aus der Galaxis oder sind extra-galaktischer Natur. Ohne Schutz vor der Kosmischen Strahlung hätten sich komplexe Lebewesen außerhalb des Wassers wohl nicht entwickeln können.

Nach dem Entwicklungsschritt hin zur Photosynthese und der Verwendung von Sauerstoff als Energieträger dauerte es ungefähr weitere 1,5 Milliarden Jahre bis zur Herausbildung von Pflanzen und des Mechanismus der sexuellen Fortpflanzung. Seit der Entstehung von Leben vor etwa 3,5 Milliarden Jahren sind bis zur Herausbildung der Pflanzen und des Mechanismus der sexuellen Fortpflanzung etwa 2,5 Milliarden Jahre vergangen. Damit war die Grundlage der Selbstreproduktion von Lebewesen gelegt. Es folgte die Entwicklung von Informations- und Steuerungseinheiten, welche die Bildung der ersten Formen von Gehirnen voraussetzten, was vor etwa 600 Millionen Jahren erfolgte. Frühestens vor 500 Millionen Jahren haben sich die ersten Anzeichen von Intelligenz herausgebildet.

Die weitere Entwicklung des Lebens auf der Erde soll hier kurz zusammengefasst werden. Die Algenzeit (Eophytikum) begann vor 590 – 500 Millionen Jahren, geologisch wird diese Zeit Kambrium genannt. Zur Zeit des Ordoviziums vor 505 – 438 Millionen entstanden die ersten Wirbeltiere. Vor 438 – 408 Millionen Jahren, im geologischen Zeitalter des Silurs, traten Trilobiten („Dreilapper“, ausgestorbene Gliederfüßler) und die ersten Gefäßpflanzen auf. Der Panzerfisch trat erstmals im Devon-Zeitalter, vor 408 – 360 Millionen Jahren, und Gefäßsporenpflanzen erstmals vor 360 – 286 Millionen Jahren, am Ende des Karbon-Zeitalters, auf. Am Beginn des Perm-Zeitalters, vor 286 – 248 Millionen Jahren, entstanden die ersten Reptilien. Die Zeit der Saurier begann mit dem Trias-Zeitalter vor 248 – 213 Millionen Jahre und endete, vermutlich aufgrund eines Einschlags von einem Himmelskörper, vor 65 Millionen Jahre. Die ersten Bedecktsamer und Vögel entwickelten sich in der Kreidezeit vor 144 – 65 Millionen Jahren. Die ersten Menschen traten in der Quartär-Zeit vor rund 2 Millionen Jahren auf und existieren bis heute.

## 4.0 Leben auf anderen Planeten und sonstigen astronomischen Objekten

Leben kann sich wie auf der Erde auch auf anderen Planeten oder sonstigen astronomischen Objekten entwickeln bzw. entwickelt haben, wenn die dafür notwendigen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen erfüllt sind. Eine wichtige Voraussetzung für Leben auf der Erde ist flüssiges Wasser als Lösungsmittel, was für die gesamte Entwicklung des terrestrischen Lebens notwendig war. Wasser ist besonders gut als Lösungsmittel für die Entwicklung von Leben geeignet. Im Falle der Erde zeigte sich, dass das dortige Leben im Laufe der Zeit die chemische Zusammensetzung der Erdatmosphäre grundlegend änderte. Sie wurde mit Sauerstoff angereichert, indem Lebewesen ein chemisch reduziertes Gas in ein oxidiertes umwandelten. Viele weitere Faktoren mussten eingehalten werden, damit Leben auf der Erde überhaupt entstehen und sich entwickeln konnte. Die Wahrscheinlichkeit, dass alle Entwicklungsschritte auf statistischen Zufällen beruhen, dürfte aus wissenschaftlicher Sicht gering sein. Daher wird ein physikalisch-chemisch-biologisches Ursachen-Wirkungs-System angenommen, welches die Entwicklung von Leben ermöglicht und fördert. Gleichwohl kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass die Entstehung von Leben auf der Erde eine Verkettung von Zufällen war. Unter der Annahme, dass die Entstehung von Leben unter geeigneten Voraussetzungen und Rahmenbedingungen ein normaler Prozess ist, dürfte sich Leben auch auf anderen Planeten und sonstigen astronomischen Objekten, etwa den Trabanten von Planeten, entwickelt haben. Allerdings muss das Leben an anderen Orten im Weltall nicht zwangsläufig die gleiche Entwicklung wie auf der Erde durchgemacht haben. Letztendlich haben wir bisher keine Vergleichsmöglichkeiten und können daher nur mehr oder weniger gut begründete Thesen aufzustellen.

### 4.1 Habitable Zonen

Voraussetzung für die Entstehung von Leben ist unter anderem eine geeignete Flüssigkeit als Lösungsmittel. Hierbei kommt vor allem flüssiges Wasser in Betracht. Wasser hat alle notwendigen Eigenschaften und diente auf der Erde als wichtiges Kriterium für die Entwicklung von Leben. Die Existenz von flüssigem Wasser setzt entsprechende Rahmenbedingungen voraus: eine geeignete Atmosphäre und Größe des Himmelskörpers sowie die hierfür notwendigen Temperaturen. Der Aggregatzustand von Wasser hängt vom Druck und von der Temperatur ab. Die Atmosphäre eines Himmelskörpers muss daher eine entsprechende Dichte haben, um einen geeigneten Druck aufzubauen. Dies setzt auch eine angemessene Größe bzw. Masse des astronomischen Objekts voraus, damit eine entsprechende Atmosphäre mit geeigneter Dichte stabil existieren kann. Die Temperatur auf der Oberfläche des Himmelskörpers hängt zum Einen von seiner Atmosphäre und zum Anderen von seiner Entfernung zu einem Stern ab. Der Abstandsbereich von einem Stern, in dem flüssiges Wasser existieren kann, wird solare bzw. stellare habitable Zone genannt.

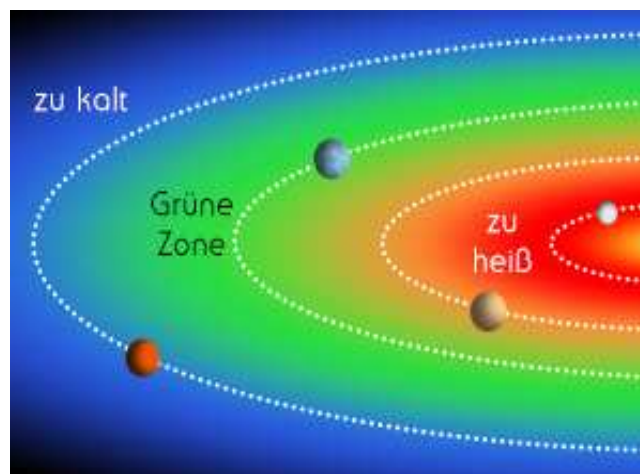


Bild 4: Die habitable Zone um einen Stern



In unserem Sonnensystem liegt der Bereich derzeit zwischen 0,9 Astronomische Einheiten (AE) und 1,2 AE. Eine Astronomische Einheit ist der mittlere Abstand der Erde von der Sonne (149,6 Millionen Kilometer). D.h. in unserem Sonnensystem liegt nur unsere Erde in der habitablen Zone. Außerhalb dieser habitablen Zone kann es auf Himmelskörpern noch lokale bzw. planetare habitable Zonen geben. So können Drücke oder eine innere Wärmequelle eines Himmelskörpers lokale habitable Zonen erzeugen, in denen flüssiges Wasser existieren kann. Die habitable Zone in unserem Sonnensystem oder in einem anderen Sternensystem hängt von den Eigenschaften des dem System zugehörigen Sterns ab. Allerdings ist die Größe auch dann keine Konstante, da der Stern eine zeitliche Entwicklung durchmacht. Die Leuchtkraft eines Sterns erhöht sich im Laufe seiner Entwicklung. Damit verschiebt sich auch die habitable Zone weiter nach außen. Unsere Sonne wird am Ende ihres Hauptreihenstadiums, das ist der Bereich, in dem ein Stern seine Energie ausschließlich durch die Fusion von Wasserstoff zu Helium erzeugt, eine etwa doppelt so große Leuchtkraft haben wie heute. Aufgrund dieser Entwicklung dürfte der habitable Bereich des Sonnensystems immer enger werden, bis es in zirka 1 – 2 Milliarden Jahren keinen mehr geben wird. D.h. neben einer räumlichen habitablen Zone gibt es auch einen begrenzten habitablen Zeitbereich. Die Entwicklung von Leben erfolgt also in einer begrenzten räumlichen und zeitlichen habitablen Zone. Dies setzt einen geeigneten Stern voraus, der möglichst lange und stabil auf der Hauptreihe verweilt. Sterne werden nach ihrer Farbe bzw. ihrer Oberflächentemperatur und dem Aussehen ihres Spektrums in Spektralklassen eingeteilt. Diese werden mit Buchstaben gekennzeichnet. Die wichtigsten Spektralklassen sind: O, B, A, F, G, K, und M.



Bild 5: Die Spektralklassen

Die Leuchtkraft eines Sterns hängt von seiner Masse ab. Umso mehr Masse ein Stern hat, desto größer ist seine Energieproduktion und desto kleiner ist seine Lebenszeit bzw. Verweilzeit als Hauptreihenstern. Die Spektralklassen sind von O bis M nach abnehmender Masse und Temperatur der Sterne geordnet. O-Sterne sind bläuliche Sterne mit Oberflächentemperaturen von 30.000 bis 50.000 Kelvin (K) und haben typischer Weise 60 Sonnenmassen. M-Sterne hingegen sind rötliche Sterne mit Oberflächentemperaturen von 2.000 bis 3.350 K und haben typischer Weise 0,3 Sonnenmassen. Unsere Sonne gehört dem Spektraltyp G an und hat eine Oberflächentemperatur von 5.500 K. O-Sterne haben eine Lebensdauer von mehreren Millionen Jahren, während die der M-Sterne zirka 100 Milliarden Jahre beträgt. G-Sterne wie unsere Sonne haben eine Lebensdauer von rund 10 Milliarden Jahren. Damit sich habitable Zonen mit ausreichender Lebensdauer herausbilden können, kommen daher vor allem G-, K- und M-Sterne in Frage. Das begrenzt die obere Massengrenze von geeigneten Sternen auf rund zwei Sonnenmassen. F-Sterne fallen daher bereits heraus, da ihre Verweilzeit auf der Hauptreihe weniger als eine Milliarde Jahre beträgt. M-Sterne kommen zwar am häufigsten vor, doch rückt die habitable Zone aufgrund ihrer geringen Leuchtkraft in die Nähe des Sterns. In Sternnähe dürften die Wechselwirkungen zwischen Himmelskörper und Stern, etwa durch mögliche Sternausbrüche (z.B. Flareausbrüche) oder

Gezeitenkräfte, zu stark sein und die Entwicklung von Leben behindern. Daher dürften bevorzugt Sterne mit einem Spektraltyp zwischen F und K für die Herausbildung von geeigneten habitablen Zonen in Frage kommen. Auf der Ebene der Galaxis, welche etwa 300 Milliarden Sterne hat, dürfte ebenfalls eine habitable Zone bestehen. Zu nah am galaktischen Zentrum ist die Sterndichte höher und es kommt häufiger zu Supernovae. Dies dürfte sich negativ auf die mögliche Entwicklung von Leben auswirken. Zu weit vom galaktischen Zentrum entfernt ist der Gehalt an Elementen schwerer als Helium (in der Astrophysik Metalle genannt) zu gering. Damit können sich keine festen Himmelskörper bilden. Des Weiteren fehlen damit auch die Basisstoffe für die Entstehung und Entwicklung von Leben, etwa Kohlenstoff und Wasser.

#### 4.2 Die Möglichkeit von Leben im Sonnensystem

Kohlenstoff sowie auf Kohlenstoff aufbauende organische Verbindungen wurden außerhalb der Erde auch in den Planetenatmosphären von Venus, Mars und Jupiter sowie auf den Oberflächen des Zwergplaneten Pluto, des Jupitermondes Europa, des Saturnmondes Titan, der Kometen und der Meteore entdeckt. Wasser und Spuren von Wasser wurden bei allen Planeten des Sonnensystems festgestellt, besonders viel Wasser enthalten die äußeren Planeten und ihre Monde. Mögliche Kandidaten für Leben im Sonnensystem sind folgende Planeten und Monde:

1. der Planet Mars: Leben könnte dort in einer früheren wärmeren Klimaperiode entstanden sein. Es gibt Anzeichen für solche Perioden, bei denen die Temperaturen auf dem Mars höher waren als heute und Wasser flüssig war. Heute könnten einfache Lebensformen noch unter der Marsoberfläche und in der Nähe der Polgebiete existieren. Nachgewiesen wurde Leben bisher auf dem Mars nicht.
2. Die Jupitermonde Europa und Ganymed könnten Träger von Lebensformen sein. Beide Himmelskörper besitzen mit großer Wahrscheinlichkeit salzhaltige Ozeane unter ihren Oberflächen.
3. Auf dem Saturnmond Enceladus könnte Leben in flüssigem Wasser existieren. Es wurden Wassergeysire gefunden, welche auf flüssiges Wasser hindeuten.
4. Der Saturnmond Titan hat eine dichte Atmosphäre aus Stickstoff und Methan. In der Atmosphäre kommen organische Verbindungen (Tholine) und auf der Oberfläche kleinere Seen aus Kohlenwasserstoffverbindungen vor.



Bild 6: Der Planet Mars

Zukünftige Missionen mit Raumsonden und Landegeräten könnten die Frage nach möglichem Leben auf diesen Himmelskörpern klären. Allerdings dürfte es sich höchstens um einfache Formen von Leben handeln. Höher entwickeltes Leben dürfte es dort nicht geben. Die bestehenden Rahmenbedingungen hätten eine derartige Entwicklung nicht zugelassen.

### 4.3 Die Möglichkeit von Leben außerhalb des Sonnensystems

Außerhalb des Sonnensystems steigen aufgrund der Vielzahl von Sternen und Planeten die Möglichkeiten für die Existenz und Entwicklung von Leben. Theoretisch sind auch die Möglichkeiten von höher entwickeltem Leben oder von intelligentem bzw. kulturell-technisch entwickeltem Leben gegeben. Bisher haben wir auch außerhalb des Sonnensystems noch kein Leben nachgewiesen. Bei der Suche nach Leben außerhalb des Sonnensystems orientiert sich die Wissenschaft an der Entwicklung des Lebens auf der Erde. Andere Anhaltspunkte haben wir beim gegenwärtigen Forschungsstand noch nicht, obwohl sich Leben auch ganz anders entwickelt haben könnte. Wichtige Voraussetzung für Leben ist demnach flüssiges Wasser als Lösungsmittel. Dazu müssen wir geeignete astronomische Objekte finden, welche die Voraussetzung für Leben bieten. Bis 1992 waren keine Planeten außerhalb des Sonnensystems bekannt. Es gab nur Vermutungen, dass bestimmte Sterne Planeten haben könnten. Mittlerweile haben wir viele sogenannte extrasolare Planeten nachgewiesen.

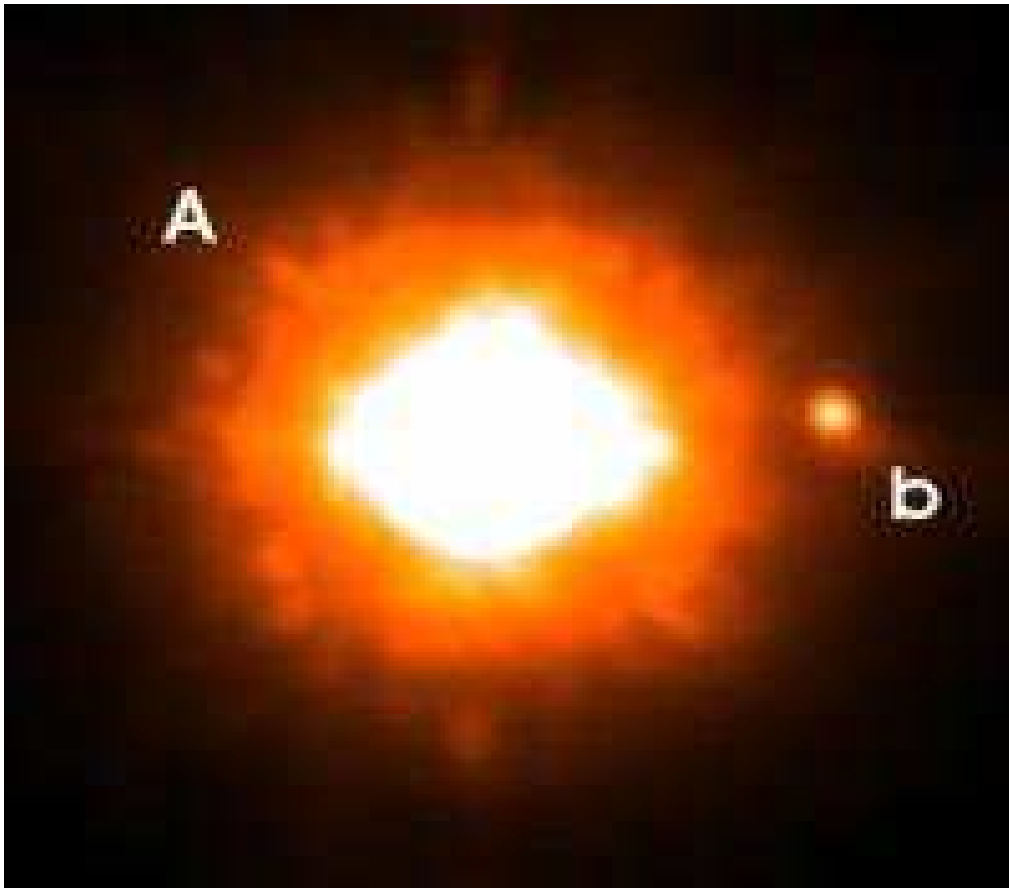


Bild 7: Extrasolarer Planet b um einen Stern A

Daraus können wir die Schlussfolgerung ziehen, dass die Entstehung von Planeten ein normaler Vorgang und mit der Entstehung von Sternen verbunden ist. Bei der Entstehung von Sternen bildet sich eine abgeflachte Staubscheibe um diese, die sogenannte Akkretionsscheibe, die einen Großteil des Sterndrehimpulses aufnimmt. In dieser Scheibe bilden sich dann die Planeten heraus. Auf diese Weise ist auch das Sonnensystem entstanden. Unterschieden wird zwischen einem terrestrischen Planeten und einem Gasplaneten. Von einem terrestrischen Planeten wird gesprochen, wenn dieser aus Gestein besteht und daher auch eine feste Oberfläche hat. Dazu zählen in unserem Sonnensystem die Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars. Auch unser Mond sowie einige weitere Monde im Sonnensystem, darunter Europa, Ganymed und Titan, werden dazu gezählt. Gasplaneten haben einen ähnlichen Aufbau wie Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Sie bestehen hauptsächlich aus leichten Gasen wie Wasserstoff und Helium und haben einen festen Kern. Bis Anfang der 90er Jahre konnten Planeten messtechnisch nicht ausfindig gemacht werden, da der Stern den Planeten

überstrahlte. Die Messtechnik hat sich weiterentwickelt, so dass ab den 90er Jahren Planeten ausfindig gemacht werden konnten. Zunächst galt dies nur für die jupiterähnlichen und massereichen Planeten. Mittlerweile können auch von ihrer Masse her auch erdähnliche Planeten nachgewiesen werden, wobei die Verifizierung, ob terrestrischer Planet oder Gasplanet, noch schwierig ist.

Gemessen wird schwerpunktmäßig im infraroten Bereich. In diesem Bereich ist der Kontrast von Planet zum Stern etwas besser, da Planeten vorwiegend im infraroten Bereich leuchten. Aus diesem Grund ist die Beobachtung eines extrasolaren Planeten im optischen Bereich sehr schwierig. Es gibt verschiedene Nachweismethoden für extrasolare Planeten. Bei der astrometrischen Nachweismethode wird eine charakteristische Pendelbewegung des Sterns gemessen, welche durch den Umlauf eines massereichen Planeten verursacht wird. Eine andere Methode ist die Variation der Radialgeschwindigkeit aufgrund von Planeten. Sterne haben neben einer messbaren horizontalen und vertikalen Eigenbewegung auch eine messbare Bewegung auf uns zu oder von uns weg. Dies wird Radialbewegung genannt. Bewegt sich ein Stern auf uns zu, sind seine Spektrallinien zum kurzwelligen Bereich im Spektrum hin verschoben, also in den blauen Bereich. Im umgekehrten Fall sind die Spektrallinien zum langwelligen Bereich hin verschoben, also in den roten Bereich des Spektrums. Ein Planet um einen entsprechenden Stern erzeugt eine periodische Variation der Radialgeschwindigkeit, die gemessen werden und als Nachweis dienen kann. Sternbedeckungen stellen eine weitere Nachweismöglichkeit dar. Wenn der Planet sich vor den Stern schiebt, fällt die Sternhelligkeit entsprechend ab. Aufgrund des Verlaufs der Lichtkurve kann auf einen Planeten geschlossen werden. Allerdings hat diese Messmethode auch Unsicherheiten aufgrund von möglichen Sternflecken und stellaren Variationen. Mit Hilfe von Satellitenmissionen soll die Messqualität entsprechend verbessert werden. Aus den Beobachtungen des Planetentransits vor dem Stern kann auch auf die Atmosphäre des Planeten geschlossen und ihre chemische Zusammensetzung mit Hilfe der astrophysikalischen Spektroskopie analysiert werden. Weitere Beobachtungsmöglichkeiten nutzen den Microlensing-Effekt und das Einstein-Beaming. Ersterer Effekt tritt allerdings, wenn überhaupt, nur einmal auf und ist wegen der Nichtreproduzierbarkeit kein besonders geeignetes Beobachtungsverfahren. Beim Einstein-Beaming wird ebenfalls ein relativistischer Effekt genutzt. Planet und Stern bewegen sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt. Auf diese Weise pendelt der Stern, bewegt sich periodisch auf uns zu und von uns weg. Aufgrund des Einstein-Beaming-Effekts wird der Lichtstrahl relativistisch fokussiert, er erscheint auf uns zu bewegt heller. Die Suche und Beobachtung von extrasolaren Planeten erfolgt sowohl erdgebunden als auch von Satelliten aus. Noch ist die Messtechnik allerdings in vielen Fällen zu ungenau, um zweifelsfrei terrestrische extrasolare Planeten nachzuweisen.

Als Supererden werden Planeten bezeichnet, welche mindestens eine Erdmasse, jedoch weniger als die Masse des Planeten Uranus (14,5 Erdmassen) haben. Nach dieser Definition liegt der Massenbereich einer Supererde zwischen einer und vierzehn Erdmassen. Andere Definitionen grenzen die obere Grenzmasse auf 10 Erdmassen ein. Bei extrasolaren Planeten von mehr als 14 Erdmassen wird von einer Mega-Erde gesprochen. Diese Begriffe sind jedoch verwirrend, da sie nichts über die tatsächliche Erdähnlichkeit eines extrasolaren Planeten aussagen. Es wird bei dieser Bezeichnung nur auf die Masse des extrasolaren Planeten abgezielt, wobei schon der definierte Massenbereich streng genommen nicht unbedingt erdähnlich ist. Unter dieser Definition fallen nämlich möglicherweise auch Gasplaneten, die vom Aufbau her mit Uranus und Neptun vergleichbar sind. In den meisten Fällen kann bisher nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden, ob es sich bei Supererden auch tatsächlich um einen terrestrischen extrasolaren Planeten handelt. Für eine konkrete Bestimmung wird auch die mittlere Dichte des Planeten benötigt. Mit ihr kann bestimmt werden, ob es um einen terrestrischen Planeten oder einen Gasplaneten handelt. Ein Gasplanet hat im Vergleich zu einem terrestrischen Planeten eine deutlich geringere Dichte. Zweifelsfrei nachgewiesen wurden unter anderem als terrestrischer extrasolarer Planeten die Objekte CoRo T-7b und Kepler-10b. Die Messgenauigkeit wird sich steigern und die Liste der bekannten terrestrischen extrasolaren Planeten wird zunehmen. Auf diesen Planeten kann möglicherweise Leben außerhalb des Sonnensystems nachgewiesen werden.

## 5.0 Die Wahrscheinlichkeit für die mögliche Entwicklung von Leben

Nach dem gegenwärtigen Forschungsstand lassen sich noch keine verbindlichen Angaben darüber machen, wie wahrscheinlich die Entstehung und Entwicklung von Leben unter bestimmten Rahmenbedingungen ist. Dies gilt natürlich auch für die Frage, wie wahrscheinlich höher entwickeltes, intelligentes Leben im Weltraum ist. Spekuliert worden ist schon viel darüber. Doch letztendlich können wir die Frage nicht beantworten. Es gibt zumindest den Versuch, Ansätze zu finden. Dazu gehören unter anderem die Drake-Gleichung und das Fermi-Paradoxon.

### 5.1 Die Drake-Gleichung bzw. Green-Bank-Formel

Der Radioastronom Frank Drake hat eine Formel zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit von intelligentem Leben auf Planeten in unserer Galaxis aufgestellt und diese im November 1961 auf einer Konferenz in Green Bank, Vereinigte Staaten von Amerika, vorgestellt. Hierbei geht es um die Wahrscheinlichkeit von intelligenten Lebewesen, welche eine kulturell-technologische Entwicklung durchmachen könnten und dadurch auch der interstellaren Kommunikation fähig wären. Nachfolgend werden die Drake-Gleichung, auch Green-Bank-Formel genannt, wiedergegeben und ihre Faktoren erläutert.

$$N = N_S \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L/L_S$$

- $N$  = Anzahl der außerirdischen Lebensformen, die eine kulturell-technologische Entwicklung durchmachen und der interstellaren Kommunikation fähig sind.
- $N_S$  = Anzahl der Sterne in unserer Galaxis. Ihre Anzahl beträgt rund 300 Milliarden.
- $f_p$  = Anteil der Sterne, die einen Planeten haben.
- $n_e$  = Anzahl der erdähnlichen Planeten, die sich innerhalb der habitablen Zone um einen Stern befinden.
- $f_l$  = Anteil der Planeten, auf denen sich irgendeine Form von Leben entwickelt hat.
- $f_i$  = Anteil der Planeten mit intelligentem Leben.
- $f_c$  = Anteil der Planeten mit einer Zivilisation, die der interstellaren Kommunikation fähig ist.
- $L$  = Mittlere Lebensdauer einer Zivilisation mit kulturell-technischer Entwicklung.
- $L_S$  = Zeitspanne, die zur Entstehung einer Zivilisation mit kulturell-technischer Entwicklung, von der Entstehung des Muttersterns an gerechnet, im Mittel benötigt wird.

Die Formel ist einfach, doch sind die meisten ihrer Werte völlig unbekannt und lassen sich auch durch sinnvolle Abschätzungen nicht eingrenzen. Relativ sicher ist noch der Wert für die Anzahl der Sterne in unserer Galaxis, die bei 300 Milliarden liegt. Die f-Faktoren in der Gleichung geben Anteile wieder, die nach derzeitigem Forschungsstand nur Wahrscheinlichkeiten darstellen. Die Werte für diese Faktoren liegen zwischen 0 und 1. Nur ein einziger f-Faktor muss eine geringere Wahrscheinlichkeit aufweisen und der Wert für  $N$ , der Anzahl der intelligenten Lebewesen mit kulturell-technischer Entwicklung und der Fähigkeit zur interstellaren Kommunikation, wird gering. Bei zwei f-Faktoren mit geringer Wahrscheinlichkeit verkleinert sich der Wert für  $N$  noch einmal deutlich. Wir können wohl noch davon ausgehen, dass es zirka mehrere 100 Milliarden Planeten geben könnte. Bei allen anderen Werten für die Drake-Gleichung müssen wir im Prinzip raten. Die Anzahl an geeigneten Planeten für die Entstehung und Entwicklung von Leben ist bisher noch unbekannt. Die Forschung steht da noch völlig am Anfang. Wie groß der Anteil von Planeten ist, auf denen sich überhaupt Leben und intelligentes Leben entwickelt hat, ist derzeit ebenfalls völlig unbekannt. Auch zur möglichen kulturell-technologischen und zeitlichen Entwicklung von außerirdischen Zivilisationen können wir noch keine verbindlichen Aussagen machen. Der Vergleich mit unserer irdischen Zivilisation hilft uns ebenfalls nicht weiter. Es gibt keinen Grund anzunehmen, dass unsere Entwicklung als Vergleichsmaßstab dienen kann. Zivilisationen können sich ganz unterschiedlich entwickelt haben. Auch ihre Lebensdauer hängt von einigen Faktoren ab und kann sich daher von der Lebensdauer unserer irdischen Zivilisation unterscheiden.

Des Weiteren könnte die Drake-Gleichung noch um weitere Faktoren erweitert werden, die auch eine Rolle bei der Entstehung und Entwicklung von höher entwickelten Lebensformen eine Rolle spielen dürften. So etwa der Anteil der Planeten, die einen großen Mond besitzen, welcher die Rotationsachse des Planeten stabilisiert. Ebenfalls wichtige Faktoren sind der Anteil der Planeten, die eine Plattentektonik haben oder in deren Sternsystem sich im äußeren Bereich Gasplaneten vom Typ des Jupiters befinden. So bewirken die Gasplaneten in Sternensystemen eine Stabilisierung der Planetenbahnen in der habitablen Zone und schützen Leben tragende Planeten vor möglichen Einschlägen durch Kleinkörper. Je nach den möglichen Größen der Faktoren der Drake-Gleichung könnte der Wert für  $N$  zwischen 1 und  $10^{10}$  liegen. Sicher können wir nur angeben, dass  $N \geq 1$  ist.

## 5.2. Das Fermi-Paradoxon

Der Physiker Enrico Fermi stellte im Jahr 1950 ein Paradoxon auf, was daher auch Fermi-Paradoxon genannt wird. Ausgehend von der These, dass die Erde keine absolute Ausnahme unter den Planeten ist, sollten weitere kulturell-technisch entwickelte Zivilisation in unserer Galaxis existieren. Unsere Galaxis hat einen Durchmesser von etwa 100.000 Lichtjahren. Mit einem Raumschiff, welches mit einer Geschwindigkeit von einem bis zehn Prozent der Lichtgeschwindigkeit  $c = 29972458 \text{ m/s}$  ( $0,01 - 0,1c$ ) fliegt, könnte der Durchmesser der Galaxis in einem Zeitraum zwischen einer und zehn Millionen Jahren durchflogen werden. Bei einem Alter der Galaxis von etwa zehn Milliarden Jahren wäre dies mehrfach möglich gewesen. Wenn unter diesen Zivilisationen nur eine existierte, die mit Hilfe ihre Raumfahrttechnik zur Kolonisation der Galaxis fähig wäre, dann könnte sie diese innerhalb weniger Millionen bis zehn Millionen Jahre vollständig kolonisieren. Aufgrund dieser Möglichkeit und des Alters der Galaxis sollen überall in ihr außerirdische Zivilisationen existieren. Nach Fermi müssten diese außerirdischen Zivilisationen auch beobachtet werden können. Doch bestätigen die Beobachtungen die These nach einer Vielzahl von außerirdischen Zivilisationen bisher nicht, was damit ein Paradoxon zur Annahme ihrer Existenz sei.

Doch auch das Fermi-Paradoxon liefert keine verbindliche Aussage zur Wahrscheinlichkeit von kulturell-technisch entwickelten außerirdischen Zivilisationen. Es setzt bestimmte Annahmen voraus, die wir noch nicht verifizieren können. Außerirdische Zivilisationen können nicht von Anfang an in der Galaxis existiert haben. Zunächst mussten in der ersten Generation von Sternen die notwendigen Elemente aufgebaut werden, die schwerer als Wasserstoff und Helium sind. Erst danach konnten sich Planeten und Leben entwickelt haben. Auch in unserer Galaxis dürfte es eine habitable Zone geben, die auch den Bereich einer möglichen Kolonisation einschränkt. Vor allem setzt Fermi voraus, dass mindestens eine außerirdische Zivilisation die Galaxis kolonisiert. Doch können wir nicht einmal angeben, wie Wahrscheinlich die Bereitschaft von außerirdischen Zivilisationen zur Kolonisation ist. Doch auch kosmische Ereignisse, etwa Gamma-Strahlenausbrüche oder Supernovae, könnten den Erfolgswert einer möglichen interstellaren Raumfahrt und Kolonisationen von Planeten durch außerirdische Zivilisationen begrenzen. Die Menschheit ist erst seit relativ kurzer Zeit technisch in der Lage, entsprechende Weltraumbeobachtungen durchzuführen. Damit ist die Wahrscheinlichkeit entsprechend groß, dass mögliche außerirdische Zivilisationen noch nicht von uns beobachtet wurden. Letztendlich könnten sich mögliche außerirdische Zivilisationen auch vorsätzlich vor uns verbergen. Das Fermi-Paradoxon ist nur bei bestimmten Annahmen ein Paradoxon, die wir jedoch nicht verifizieren können. Damit liefert uns auch das Fermi-Paradoxon keine verbindliche Aussage über die Wahrscheinlichkeit von außerirdischen Zivilisationen. Nach dem derzeitigen Forschungsstand gibt es auch keine anderen Möglichkeiten, die Wahrscheinlichkeit für die Existenz und Entwicklung von Leben im Weltraum objektiv zu bestimmen. Ein anderer Weg, hier weiter zu kommen, ist die Suche nach außerirdischen Leben.

## 6.0 Die Suche nach außerirdischem Leben

Die Suche nach biologischer Aktivität außerhalb der Erde bzw. nach außerirdischem Leben kann auf drei Verfahrensweisen erfolgen:

1. direkte Proben von Planeten, Monden und anderen astronomischen Objekten,
2. die Suche nach Molekülen, die als biologischen Indikatoren einstuftbar sind, mit Hilfe der astrophysikalischen Spektroskopie und
3. die Suche nach Signalen von außerirdischen Zivilisationen.

Alle drei Verfahrensweisen sind bereits in der Forschungsanwendung, brachten jedoch bisher keinen Nachweis von Leben außerhalb der Erde. Jedoch stehen wir auch noch am Anfang der Forschung.

### 6.1 Die direkte Untersuchung von astronomischen Objekten

Die direkte Untersuchung von Planeten, Monden und anderen astronomischen Objekten wird in absehbarer Zeit auf unser Sonnensystem beschränkt sein. Die ersten Untersuchungen fanden an Meteoriten statt, welche vom Weltraum aus auf die Erde trafen und den Erdboden erreichten. In einigen Meteoriten wurde organisches Material gefunden, darunter auch Aminosäuren. Es wird daher immer wieder spekuliert, ob die ersten Formen von Leben aus dem Weltraum auf die noch junge Erde kamen. Die These ist allerdings umstritten und es gibt auch keine Belege für diese. Leben oder Spuren von Leben wurden in Meteoriten allerdings bisher nicht gefunden. Erst durch die Raumfahrt wurde es möglich auch astronomische Objekte außerhalb der Erde zu untersuchen.

Ein Ziel der astrobiologischen Forschung ist unter anderem der Planet Mars. Ende des 19. Jahrhunderts war noch der Glaube verbreitet, es würde intelligentes Leben auf dem Mars geben, das mit Hilfe eines Netzes aus Kanälen Wasser von den Polkappen in die Wüstenregionen leiteten. Die Wissenschaft war da schon viel weiter und schloss höher entwickeltes Leben zu dieser Zeit bereits aus. Allerdings wurde noch bis in die 60er Jahre die These vertreten, dass es Pflanzen auf dem Mars geben könnte. So erscheinen im Marssommer dunkle Flecken, während die Polkappen zurückgehen. Diese Flecken wurden für eine Art von Flechten oder Moos gehalten. Die erfolgreichen Raumfahrtmissionen zum Mars von 1965 bis 1971 widerlegten diese These bereits. Vielmehr handelt es sich bei den dunklen Flecken um dunkles nicht-organisches Material, welches durch Staubstürme auf dem Mars regelmäßig abgelegt und wieder wegtransportiert wird. Diese Staubstürme korrelieren mit den Jahreszeiten auf dem Mars, daher auch der Zusammenhang mit dem Marssommer und der kleiner werdenden Polkappe auf der Sommerhalbkugel. Dennoch kann die Möglichkeit von einfachen Lebensformen an entsprechend geeigneten Stellen auf dem Mars bis heute nicht ausgeschlossen werden. Der erste Versuch, mögliches Leben durch Untersuchungen des Marsbodens nachzuweisen, erfolgte im Rahmen der NASA-Viking-Mission. Die Viking-Sonde bestand aus einer Orbiter- und einer Landestufe. Die Landestufe von Viking 1 landete am 20.07.1976 in der Landschaft Chryse und die Landestufe von Viking 2 am 04.09.1976 im Gebiet Utopia Planitia. Es wurden vier Experimente zum Nachweis von Leben durchgeführt:

- 1. Pyrolytic Release Experiment:** Dieses Experiment sollte eine mögliche Photosynthese oder Spuren davon nachweisen. Zu diesem Zweck wurde Proben des Marsbodens mit Licht, Wasser und radioaktiv markiertem Kohlenstoffdioxid versetzt. Im Falle von Photosynthese treibenden Organismen wäre ein Teil des radioaktiven Kohlenstoffdioxids in Biomasse umgewandelt worden und wäre der ursprünglichen Probe entzogen worden. Dies hätte dann durch Messungen der Radioaktivität nachgewiesen werden können.
- 2. Labeled Release Experiment:** dieses Experiment war im Prinzip die Umkehrung des ersten Experiments. Eine Probe des Marsbodens wurde mit Wasser und einer radioaktiv markierten Nährlösung versetzt. Sollten mögliche Organismen auf dem Mars die Probe aufnehmen, dann wäre die Nährlösung umgewandelt und unter anderem Kohlenstoffdioxid mit den radioaktiv markierten Kohlenstoffatomen ausgeschieden worden.

3. **Gas Exchange Experiment:** Eine Probe des Marsbodens wurde längere Zeit einem Gasgemisch ausgesetzt. Mit Hilfe eines Gas-Chromatographen wurde dann in regelmäßigen Abständen die Zusammensetzung des Gasgemisches untersucht. Dabei sollte untersucht werden, ob sich das Gasgemisch aufgrund der Einwirkung von möglichen Organismen verändert hatte.
4. **Gas-Chromatograph-Massenspektrometer:** Mit diesem Gerät wurde die Zusammensetzung des Marsbodens untersucht und unter anderem auch nach organischen Verbindungen gesucht.

Die Experimente verliefen im Ergebnis widersprüchlich. Im zweiten Experiment konnte eine relativ starke Zunahme von radioaktivem Gas gemessen werden, nachdem die Probe mit radioaktiv markierter Nährlösung versetzt wurde. Dies könnte auf einen biologischen Mechanismus hindeuten oder es handelt sich um einen rein chemischen Vorgang. Im dritten Experiment wurde eine Zunahme von Sauerstoff festgestellt, nachdem der Bodenprobe Wasser zugeführt wurde. Allerdings trat dieser Effekt auch noch auf, als die Probe durch Hitze sterilisiert wurde. Des Weiteren trat dieser Effekt nur beim erstmaligen hinzufügen von Wasser auf und danach nicht mehr. Das vierte und letzte Experiment konnte keine signifikanten Mengen organischer Moleküle im Marsboden nachweisen. Dies würde die These stützen, wonach die in den Experimenten 2 und 3 beobachteten Vorgänge rein chemisch und nicht durch biologische Mechanismen zu erklären sind. Die Mehrheit der Wissenschaftler ist dieser These zugeneigt. Im Ergebnis lieferten die Experimente keinen eindeutigen Hinweis auf Leben auf dem Mars. Seit 1996 hat es weitere erfolgreiche Marsmissionen der Raumfahrt gegeben. Dazu gehörten auch wieder Landegeräte und sogar mehrere Missionen mit Mars-Landrovern. Diese Missionen haben bisher kein Leben auf dem Mars nachgewiesen. Weitere Missionen sind geplant.



Bild 8: Viking 1 auf der Marsoberfläche

Die für Leben in Frage kommenden Monde des Jupiters und des Saturns sind ebenfalls im Rahmen von Raumfahrtmissionen zum Jupiter und zum Saturn untersucht worden. Allerdings sind die Untersuchungen der Monde nicht vergleichbar mit denen des Planeten Mars. Nur auf dem Saturnmond Titan ist im Januar 2005 eine Raumsonde gelandet. Alle anderen Monde wurden bisher nur von außen durch Raumsonden untersucht. Da mögliches Leben, wenn es existieren sollte, tief verborgen unter den Eisoberflächen der Monde vermutet wird, können wohl erst fortschrittlichere Raumfahrtmissionen eine Klärung bringen. Bisher wurde weder auf einen Planeten außer der Erde noch auf einem Mond im Sonnensystem Leben nachgewiesen.



## 6.2 Die Suche nach molekularen biologischen Indikatoren

Hier steht die Forschung noch am Anfang. Dennoch lassen sich mit der heutigen Messtechnik bereits Stoffe in den Atmosphären der Exoplaneten nachweisen. Bestimmte Stoffe können Hinweise auf mögliche biologische Vorgänge liefern. Hierbei sind vor allem Planetenatmosphären für die Suche nach Leben interessant, die sich nicht in einem thermodynamisch-chemischen Gleichgewicht befinden und noch weit von diesem entfernt sind. Mögliche Lebewesen müssen, um ihren Stoffwechsel zu gewährleisten, Redoxreaktionen durchführen. Dies führt im Ergebnis zu einer Änderung der chemischen Zusammensetzung der Planetenatmosphäre. Das beste Beispiel hierfür ist die Erde selbst, in deren Atmosphäre aufgrund der Photosynthese eine Anreicherung mit Sauerstoff stattfand. Dabei wurde Kohlenstoffdioxid unter anderem in Sauerstoff umgewandelt bzw. das Sauerstoffatom oxidiert. Denn im  $\text{CO}_2$  hat der Sauerstoff eine niedrigere Oxidationsstufe als im  $\text{O}_2$ . Mit der weiteren Entwicklung der Biosphäre ist auch die Zunahme von bestimmten Stoffen verbunden, deren Konzentration in der Planetenatmosphäre ohne biologischen Mechanismus atypisch und unwahrscheinlich wäre. Im Falle der Erde wäre der Sauerstoff ohne den zugrundeliegenden biologisch-chemischen Mechanismus bereits wieder verschwunden. Es geht also bei der Suche nach Leben darum, spektroskopisch gasförmige Stoffwechselprodukte zu suchen, deren Existenz in einer messbaren Konzentration mit einer näherungsweise im thermodynamisch-chemischen Gleichgewicht befindlichen Atmosphäre nicht vereinbar ist. Dabei sollte ausgeschlossen werden können, dass das betreffende Gas nicht außerhalb von biologischen Stoffwechselfvorgängen auf rein chemische Art entstanden ist. Folgende Eigenschaften sollte ein Gas haben, damit es als Biomarker geeignet ist:

1. es sollte nicht natürlich in dem für Leben geeigneten Druck- und Temperaturbereich vorkommen,
2. es sollte nicht durch extrasolar-planetar-physikalische Prozesse entstehen können,
3. auf dem betreffenden Planeten sollte es keine effektiven photochemischen Prozesse geben, die in der Lage wären, ein derartiges Gas in der nachweisbaren Konzentration zu erzeugen,
4. das Gas sollte möglichst eine leicht messbare spektrale Signatur im reflektierten Licht des Planeten hinterlassen.

Folgende Gase entstehen der Erfahrung nach durch Stoffwechselfvorgänge in Lebewesen:  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{Cl}$  und  $\text{CH}_4$ . Allerdings sind nicht alle hier aufgezählten Gase auch als Bioindikatoren geeignet, da ihr Vorkommen auch nicht biologische Ursachen haben kann. So können zum Beispiel Schwefelwasserstoff  $\text{H}_2\text{S}$  und Schwefeldioxid  $\text{SO}_2$  vulkanischen Ursprungs oder Bestandteile der planetaren Uratmosphäre gewesen sein, wie Stickstoff  $\text{N}_2$  und Kohlenstoffdioxid  $\text{CO}_2$ . Stickoxide können wiederum durch photochemische Prozesse in der Hochatmosphäre des Planeten entstanden sein. Manche Moleküle erzeugten aufgrund ihrer Struktur keine messbaren Absorptionsmerkmale, wie zum Beispiel molekularer Stickstoff  $\text{N}_2$ . Als geeignete Bioindikatoren bleiben folgende Gase übrig:

- molekularer Sauerstoff  $\text{O}_2$ ,
- Ozon  $\text{O}_3$ ,
- Methan  $\text{CH}_4$  und
- Lachgas  $\text{N}_2\text{O}$

Diese Gase und deren Konzentration können unter den gegebenen Rahmenbedingungen Anzeichen für biologische Aktivität sein.

### 6.3 Die Suche nach außerirdischen Zivilisationen

Mit dieser Verfahrensweise kann nur nach kulturell-technisch entwickelten außerirdischen Zivilisationen gesucht werden, die auch der Kommunikation fähig sind. Erste Versuche hierzu gab es bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die erste moderne Suche begann am 21.04.1960 unter der Leitung von Frank Drake mit dem „Projekt Ozma“. Dabei wurde ein Radioteleskop des Green-Bank-Observatoriums mit einem Durchmesser von 26 Metern benutzt. Untersucht wurden die beiden Sterne Tau Ceti und Epsilon Eridani nahe dem 1,42-GHz-Band. Des Weiteren wurden ein 400-kHz-Band rund um die Markerfrequenz untersucht und die Aufnahmen auf Band gespeichert. Später wurden die Aufnahmen von etwa 150 Beobachtungsstunden nach auffälligen Signalen durchsucht, wobei keine gefunden wurden. Seitdem haben sich die Beobachtungstechnik und damit die Beobachtungsmöglichkeiten rapide verbessert. Es fanden einige Suchprogramme seit dem Projekt Ozma statt. Mittlerweile werden auch immer mehr Planeten entdeckt, die um für Leben geeignete Sterne kreisen. Konnten anfangs nur jupiterartige Planeten mit großer Masse entdeckt werden, reichen die Nachweisgrenzen jetzt bis zu den erdähnlichen Planeten. Allerdings bestehen derzeit noch Schwierigkeiten, terrestrische Planeten von Gasplaneten zu unterscheiden. Diese Problematik dürfte sich mit der Entwicklung der Messtechnik in naher Zukunft auflösen. Besonders interessant für eine Suche sind extrasolare Planeten, welche sich in der habitablen Zone um einen Stern befinden.

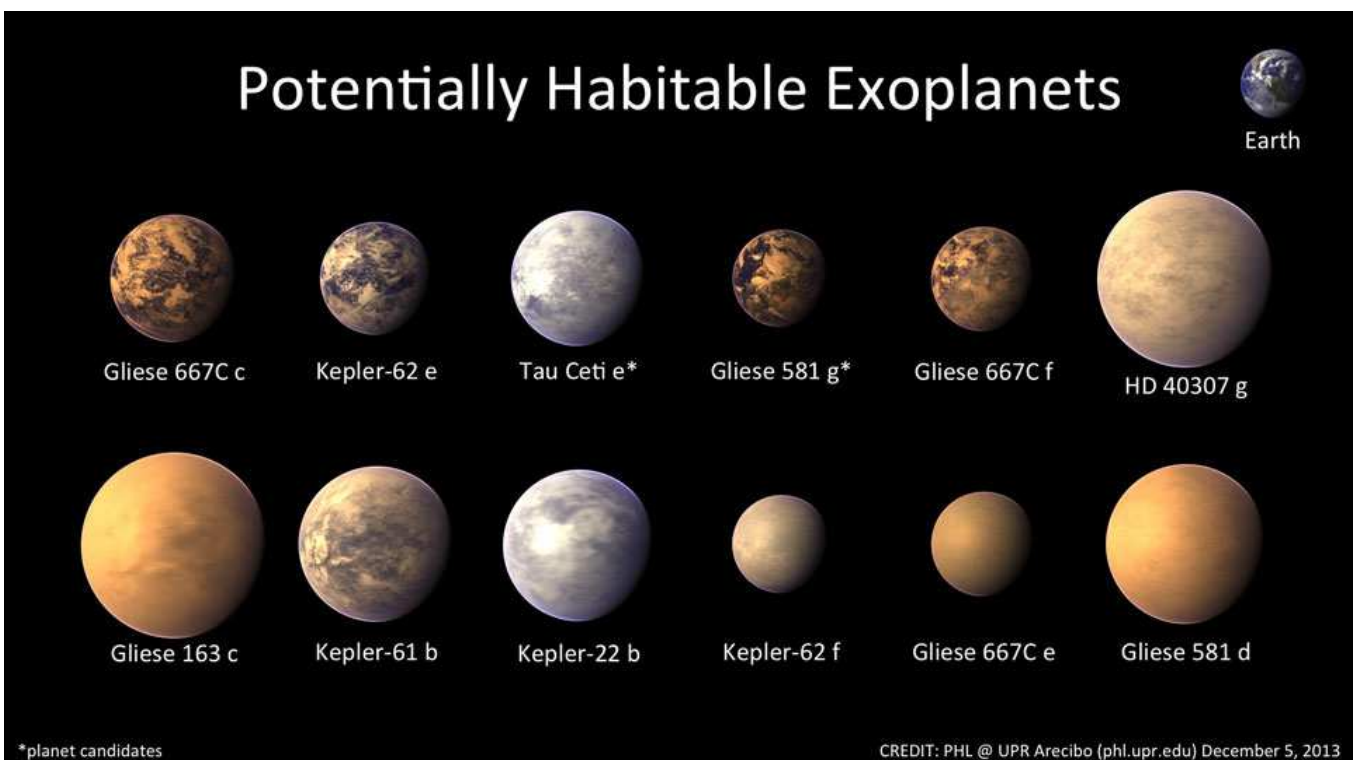


Bild 9: Potentielle Kandidaten von extrasolaren Planeten in einer habitablen Zone um einen Stern

Auf diese Weise können die Beobachtungen auf geeignete Stellen im Weltraum fokussiert werden. Insbesondere können Hunderte Einzelkanäle gleichzeitig gemessen werden. Dabei kommen große Datenmengen zusammen, die ausgewertet werden müssen. Das können Institutionen aufgrund von begrenzten finanziellen und technischen Ressourcen nicht mehr leisten. Für das SETI-Programm („Search for extra-terrestrial Intelligence“) werden daher mittlerweile die Rechenleistungen von einigen Millionen Homecomputern herangezogen. Unter dem Projekt „[SETI@home](#)“ kann sich jeder daran beteiligen. Ein Signal, welches auf eine außerirdische Zivilisation hindeuten könnte, muss ortsfest aus dem interstellaren Raum kommen und sich deutlich vom Untergrund abheben. Zu erwarten sein sollte ein auffälliges und schmales Frequenzband, möglichst mit einer erkennbaren sinnvollen Modulation. Des Weiteren sollte ein entsprechendes Signal nicht nur einmal, sondern auch mehrfach wieder auftreten.

In rund 50 Jahren SETI-Forschung ist nur einmal ein Signal aufgetreten, das zwei Drittel der oben genannten Eigenschaften aufwies. Dieses Signal wurde am 15.08.1977, um 23:16 Uhr Ortszeit, am BigEar-Radioteleskop in Ohio aufgezeichnet und ging als „Wow!“-Signal in die Geschichte ein. Aufgezeichnet wurde die Zeichenfolge „6EQUJ5“, welche sich so auffallend von den anderen Zeichenfolgen abhob, dass der diensthabende Operator diese am nächsten Tag mit einem Stift markierte und das Wort „Wow!“ daneben schrieb. Das Signal war 30mal stärker als das Hintergrundrauschen und tauchte nur ein einziges Mal auf. Eine Erklärung für dieses Signal konnte zwar nicht gefunden werden, doch dürfte eine außerirdische Herkunft unwahrscheinlich sein. In diesem Fall hätte das Signal mehrfach bzw. immer wieder auftreten müssen. Bisher konnte kein Signal aufgezeichnet werden, dessen Ursprung und Struktur auf eine außerirdische Zivilisation hindeutet.



Bild 10: Künstlerische Darstellung des SETI-Projekts

Im Jahre 1974 wurde übrigens der umgekehrte Weg gegangen und vom Arecibo-Observatorium eine einmalige Radiobotschaft von 1.679 Bits Länge in den Weltraum in Richtung des Kugelsternhaufens M 13 gesendet. Der Kugelsternhaufen befindet sich in rund 25.000 Lichtjahren Entfernung, so dass wir eine Antwort frühestens in 50.000 Jahren erwarten können. Die gewählte Zahl 1.679 hat zwei Primfaktoren, 23 und 73. Dies soll verdeutlichen, dass die Nachricht als Bild von 23 mal 73 Pixeln versendet wurde. Das Bild soll das Arecibo-Observatorium, eine menschliche Figur, die DNA und die für das Leben auf der Erde notwendigen Elemente darstellen. An dieser Stelle muss klar sein, dass eine direkte bzw. zeitnahe Kommunikation zwischen der Menschheit und einer außerirdischen Zivilisation im Regelfall ausgeschlossen sein dürfte. Die Kommunikation kann höchstens mit Lichtgeschwindigkeit erfolgen, so dass selbst bei relativ geringen Entfernungen zueinander mehr als ein Jahrzehnt vergehen würde. Doch werden außerirdische Zivilisationen, wenn es sie gäbe, in einem durchschnittlichen Abstandsbereich von 100 bis 1000 Lichtjahren voneinander vermutet. In diesem Fall würde die Kommunikation (Frage und Antwort) mehrere Hundert bis mehrere Tausend Jahre dauern. Eine direkte Kommunikation wäre wohl nur dann möglich, wenn Menschen und Außerirdische direkt aufeinanderträfen. Die Frage ist, ob eine interstellare Raumfahrt technisch durchführbar sein könnte und bei technisch weiterentwickelten außerirdischen Zivilisationen vielleicht bereits durchgeführt wird. Mit diesem Thema beschäftigt sich das kommende Kapitel.

## 7.0 Besuch von außerirdischen Lebensformen auf der Erde?

In diesem Kapitel soll thematisiert werden, wie wahrscheinlich die Möglichkeit eines direkten Besuches von außerirdischen Lebensformen auf der Erde ist und ob ein entsprechender Besuch möglicherweise bereits stattgefunden hat. Dazu gehört auch, wie realistisch die Beobachtung von außerirdischen Raumschiffen ist, die oft unberechtigter Weise mit dem Begriff „UFO“ gleichgesetzt werden. Der Begriff UFO bedeutet im Englischen „unidentified flying object“ und ins Deutsche übersetzt „Unidentifiziertes fliegendes Objekt“. Der Begriff trifft also überhaupt keine Festlegungen auf ein bestimmtes Objekt. Auch lässt er offen, ob es sich um ein natürliches oder künstliches Objekt handeln könnte. Wegen der teilweisen zweckentfremdenden Benutzung des Begriffs UFO für außerirdische Raumschiffe werden in der Wissenschaft auch die Begriffe „unidentified aerial phenomenon“ (übersetzt: „Unidentifiziertes Luft-Phänomen“) und „unidentified aerospace phenomena“ (übersetzt: „Unidentifiziertes Luftraum-Phänomen“) verwendet.

### 7.1 Die Untersuchungen des UFO-Phänomens

Die Untersuchung des UFO-Phänomens erfolgte zunächst im Rahmen des Militärs. Primäres Ziel dieser Untersuchungen war neben der Identifizierung des Phänomens auch die Frage, ob durch UFOs die Sicherheit gefährdet würde. Durch das US-Militär wurden unter anderem folgende Projekte durchgeführt: *Projekt Sign* (1947 – 1949), *Projekt Grudge* (1949) und *Projekt Blue Book* (1951 – 1969). Im Auftrag der US Air Force untersuchte von 1966 bis 1968 ein ziviles und als unabhängig bezeichnetes Forschungsteam an der Universität von Colorado, unter Leitung des Quanten-Physikers Edward U. Condon, das UFO-Phänomen. Die Finanzierung des Projekts erfolgte auf Basis eines 500.000 Dollar-Vertrages. Im Abschlussbericht kam Edward U. Condon im Jahre 1969 zu dem Schluss *„In den vergangenen 21 Jahren hat die UFO-Forschung nichts zu unserem wissenschaftlichen Wissensschatz beigetragen ... Daher kann eine Fortsetzung der UFO-Forschung wahrscheinlich nicht mit der Erwartung gerechtfertigt werden, dass sie wissenschaftliche Fortschritte bringt“* Auf Basis dieses Berichtes wurde auch das militärische Projekt Blue Book ebenfalls im Jahre 1969 beendet und kam zu folgendem Schluss: *„Nach zweiundzwanzig Jahren der Ermittlung... keine der bekanntgegebenen und untersuchten unbekanntenen Objekte stelle eine Gefahr für unsere nationale Sicherheit dar.“*

Die Ergebnisse der Untersuchungen waren allerdings nicht unumstritten, vor allem die Schlussfolgerung, dass eine weitere Untersuchung des UFO-Phänomens unnötig sei. Im Ergebnis kamen die Untersuchungen zu dem Schluss, dass die überwiegende Anzahl der Beobachtungen auf bekannte Phänomene wie hochfliegende Flugzeuge, Satelliten, Ballone, Blitze bzw. Kugelblitze, Polarlichter, Halos, Wolkenformationen, Meteore, helle Planeten oder Reflexionen zurückzuführen sei. Ein kleiner Anteil ließ sich aufgrund der Datenlage nicht verifizieren. Allerdings wurde auch ein kleiner Anteil als tatsächlich unidentifiziertes Phänomen eingestuft. Daher neigt die Wissenschaft heute dazu das UFO-Phänomen durchaus ernst zu nehmen und die tatsächlich unidentifizierbaren Luftraumphänomene zu untersuchen. Allerdings gibt es bis heute keine Belege dafür, dass die tatsächlich unidentifizierbaren Luftraum-Phänomene bzw. UFOs außerirdischen Ursprungs sind. Die hier aufgezählten Projekte zur Erforschung des UFO-Phänomens sind die bekanntesten, jedoch nicht die einzigen. Es wurden und werden immer wieder entsprechende Projekte durchgeführt. Zu anderen Ergebnissen kamen auch diese Projekte nicht.

### 7.2 Die Klassifikation der UFO-Sichtungen nach Hynek

Ein Mitarbeiter der damaligen US-militärischen Projekte zur Untersuchung des UFO-Phänomens, der Astronom Josef Allen Hynek (1910 – 1986) schlug im Jahr 1972 folgende Klassifikation (Stufen) für UFO-Sichtungen vor:

- **Nächtliche Lichter:** UFOs die in der Nacht beobachtet werden. Dabei handelt es sich in der Regel um Lichter, die z.B. aus Sicht des Beobachters merkwürdiges Bewegungsverhalten zeigen. Sie zeigen ungewöhnliche Manöver, ändern Kurs und Geschwindigkeit auf ungewöhnliche Weise. Des Weiteren können sie seltsame Farben oder helle Lichter haben.

- **Tageslichtscheiben:** UFOs die am Tag gesehen werden. Dabei handelt es sich um unidentifizierbare fliegende Objekte, die ungewöhnliche Formen haben: Scheiben („Fliegende Untertassen“), Zigarren, Kugeln, Dreiecke oder unförmige Objekte.
- **Radarsichtung:** Beobachtung von UFOs, die durch Instrumente, insbesondere Radar, bestätigt werden.
- **Unheimliche Begegnung der ersten Art:** UFOs werden in geringer Entfernung gesehen. Diese UFOs treten jedoch nicht in Wechselwirkung mit der Umwelt.
- **Unheimliche Begegnung der zweiten Art:** UFOs werden in geringer Entfernung gesehen und es kommt zu Wechselwirkungen mit der belebten oder unbelebten Umwelt. So werden zum Beispiel Menschen und Tiere verängstigt, es kommt zu Verbrennungen des Bodens oder zum Ausfall von elektromagnetischen Systemen.
- **Unheimliche Begegnung der dritten Art:** Im Innern oder in der Nähe von UFOs werden Wesen gesehen.

Zu der von Hynek erstellten Klassifikation gibt es noch Erweiterungen, die von anderen durchgeführt worden sind. So bezeichnet die unheimliche Begegnung der vierten Art die Entführung von Menschen durch Außerirdische und die unheimliche Begegnung der fünften Art jede Form von Kontakt zwischen Menschen und Außerirdischen. Die Entführung von Außerirdischen wird von den Betroffenen oft als real erlebt. Doch dürfte die Erklärung von solchen mutmaßlichen Entführungsfällen wahrscheinlich psychologischer Art sein. Auch im Falle der mutmaßlichen Entführungsfälle gibt es keinen Beleg dafür, dass es sich um eine tatsächliche Entführung von Menschen durch Außerirdische handelt. Ähnliches gilt auch für die Fälle, in dem es eine Kommunikation zwischen Menschen und Außerirdischen gegeben haben soll.

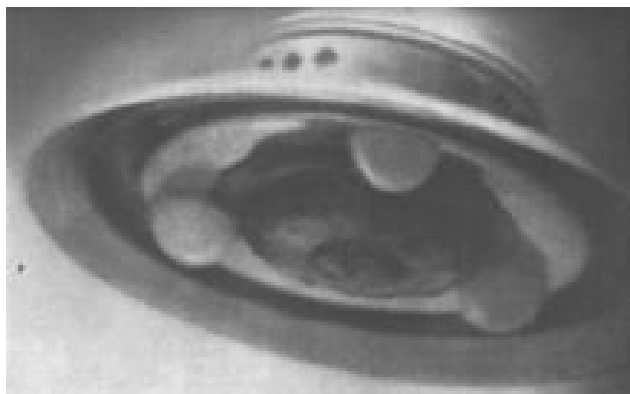


Bild 11: Volkstümliche Vorstellung von einem UFO bzw. einer sogenannten fliegenden Untertasse

### 7.3. Die Wahrscheinlichkeit einer außerirdischen Raumfahrtmission zur Erde

Wir haben keinen Beleg dafür, dass außerirdische Lebewesen die Erde mit Hilfe einer entsprechenden Raumfahrttechnik besuchen oder in der Vergangenheit besucht haben. Noch weniger wissen wir, ob es vielleicht Phänomene der Raumzeit oder ähnliches geben könnte, die Raumfahrtmissionen auf große Distanzen ermöglichen. Nach dem bisherigen Kenntnisstand wäre Reisen höchstens mit annähernder Lichtgeschwindigkeit denkbar. Allerdings müssten selbst für solche Reisen gewaltige Energiemengen aufgebracht werden. Schon ein Elementarteilchen in einem Teilchenbeschleuniger auf annähernder Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen bedarf großer Energiemenge. Im Falle der Nutzlast eines Raumschiffes wären die benötigten Energiemengen astronomisch. Hinzu kommen noch die Effekte der Relativitätstheorie. Zwar verlangsamt sich nach der Relativitätstheorie der Zeitablauf in einem Raumschiff, welches mit annähernder Lichtgeschwindigkeit fliegt, um einen bestimmten Faktor. Allerdings nimmt nach dieser Theorie auch die Masse des Raumschiffes um den gleichen Faktor zu, was noch weitere Energien notwendig machen würde. Auch ans Material eines Raumschiffes müssten hohe Ansprüche gestellt werden.

Der Weltraum ist nicht völlig leer, sondern mit interstellarer Materie aufgefüllt. Diese Materie würde mit annähernder Lichtgeschwindigkeit auf das Raumschiff treffen. Auch die Kollision mit größeren Objekten wäre möglich, da ein rechtzeitiges Ausweichen bei solch hohen Geschwindigkeiten unwahrscheinlich wäre. Natürlich müsste die Besatzung in einem Raumschiff auch vor der Kosmischen Strahlung geschützt werden, das ist allerdings schon bei einem Flug von der Erde zum Mars erforderlich. Eine andere Frage wäre die Möglichkeit von Mehrgenerationen-Raumschiffen, d.h. in diesem Fall würde eine entsprechend lange Reisezeit eingeplant. Letztendlich hängt die Wahrscheinlichkeit einer interstellaren Raumfahrt von der notwendigen Zurücklegung der Entfernung ab. Selbst wenn es rund eine Millionen außerirdischer Zivilisationen gäbe, läge nach Schätzungen der durchschnittliche Abstand zwischen ihnen etwa in einem Bereich von 100 bis 1.000 Lichtjahren. Die Frage ist, ob selbst bei fortschrittlicher Raumfahrttechnik solche Missionen durchgeführt werden können oder würden. Hinzu müsste auch kommen, dass die Erde vor einer solchen Mission bereits durch eine außerirdische Zivilisation entdeckt worden sein sollte. Ein zufälliges Aufeinandertreffen dürfte ebenfalls unwahrscheinlich sein.

Im Ergebnis kann die heutige Wissenschaft nichts Verbindliches über die Möglichkeit einer interstellaren Raumfahrt aussagen. Ausgeschlossen werden kann diese Möglichkeit jedoch nicht. Die Wahrscheinlichkeit der Möglichkeit einer interstellaren Raumfahrt dürfte in Abhängigkeit von der Länge der Reisedistanz abnehmen. Auch ist noch völlig unbekannt, ob bestimmte Phänomene der Raumzeit oder ähnliches die Möglichkeit einer interstellaren Raumfahrt auf große Distanzen eröffnen. Nach dem gegenwärtigen Forschungsstand in Verbindung mit den Ergebnissen der bisherigen Erforschung des UFO-Phänomens dürfte die Möglichkeit eines Besuches von außerirdischen Lebewesen auf der Erde in der Vergangenheit oder in der Gegenwart zwar nicht völlig ausgeschlossen werden, jedoch unwahrscheinlich sein. Die Zukunft wird zeigen, ob wir hier einmal zu anderen Schlussfolgerungen kommen werden.

## **8.0 Fazit und Ausblick**

Leben außerhalb der Erde auf anderen Planeten und sonstigen astronomischen Objekten ist prinzipiell möglich. Die Existenz und Entwicklung von Leben auf der Erde beweisen dies. Das Leben auf der Erde ist auf Kohlenstoffbasis aufgebaut und nutzt gewöhnlich Wasser als Lösungsmittel für biologisch-chemische Prozesse. Leben kann theoretisch auch auf einer anderen Basis, etwa Silizium, aufgebaut sein oder andere Lösungsmittel für biologisch-chemische Prozesse verwenden. Allerdings sind Kohlenstoff und Wasser nach bisherigem Kenntnisstand die geeignetsten Grundlagen für Leben. Daher wird bei der Suche nach Leben im Weltraum unter anderem das Leben auf der Erde als Referenz verwendet, da uns andere Vergleichsmöglichkeiten fehlen.

Dies führt uns zum Begriff der habitablen Zone, das ist der Abstandsbereich eines Planeten von einem Stern, in dem flüssiges Wasser existieren kann. In diesem Fall wird auch von einer solaren bzw. stellaren habitablen Zone gesprochen. Dies hängt allerdings nicht alleine von der Entfernung Erde – Stern ab. Auch die Größe bzw. Masse des Planeten und die Planetenatmosphäre spielen eine wichtige Rolle. So hängt der Aggregatzustand von Wasser vor allem vom Druck und der Temperatur ab. Beide Größen hängen von der Planetenatmosphäre ab. Im Falle der Temperatur kommt auch zusätzlich noch der Abstand zum Stern hinzu. Auf dem Planeten kann es allerdings auch „lokale bzw. planetare habitable Zonen“ geben, etwa in der Nähe einer planetaren Wärmequelle. Auch auf galaktischer Ebene dürfte es eine „galaktische habitable Zone“ geben. In der Nähe zum galaktischen Zentrum ist die Sterndichte höher, es kommt häufiger zu Supernovae-Ereignissen und diese wirken sich negativ auf die Entstehung und Entwicklung von Leben aus. In den äußeren Bereichen der Galaxis fehlen die Elemente schwerer als Wasserstoff und Helium, die sogenannten Metalle. Ohne die fehlenden Elemente fehlen die Bausteine für die Planeten und das Leben.

Wie wahrscheinlich die Entwicklung von Leben unter bestimmten Rahmenbedingungen ist, wissen wir noch nicht. Auf der Erde waren viele Bedingungen Voraussetzung und Schritte notwendig, bis Leben entstanden ist und sich entwickelt hat. Die Wahrscheinlichkeit, dass alle Entwicklungsschritte auf statistischen Zufällen beruhen, dürfte aus wissenschaftlicher Sicht gering sein. Daher wird ein physikalisch-chemisch-biologisches Ursachen-Wirkungs-System angenommen, welches die Entwicklung von Leben ermöglicht und fördert. Gleichwohl kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass die Entstehung von Leben auf der Erde eine Verkettung von Zufällen war. Unter der Annahme, dass die Entstehung von Leben unter geeigneten Voraussetzungen und Rahmenbedingungen ein normaler Prozess ist, dürfte sich Leben auch auf anderen Planeten und sonstigen astronomischen Objekten, etwa den Trabanten von Planeten, entwickelt haben. Über die Wahrscheinlichkeit der Entstehung und Entwicklung von Leben außerhalb der Erde wurde und wird viel spekuliert. Resultate dieser Spekulationen sind unter anderem die Drake-Gleichung und das Fermi-Paradoxon. Verbindliche Wahrscheinlichkeitsaussagen sind allerdings noch nicht möglich.

Bei der Suche nach außerirdischem Leben stehen uns drei Verfahrensweisen zur Verfügung, die alle in der Forschung auch Anwendung finden. Zum Ersten durch die direkte Untersuchung von astronomischen Objekten, was den Untersuchungsbereich derzeit auf das Sonnensystem beschränkt. Zum Zweiten durch den Nachweis von bestimmten Molekülen, die als biologische Indikatoren geeignet sind. Im Falle einer kulturell-technisch entwickelten außerirdischen Zivilisation, die der Kommunikation fähig ist, kann zum Dritten nach künstlichen elektromagnetischen Signalen dieser Zivilisation gesucht werden.

Bisher ist noch kein Leben außerhalb der Erde nachgewiesen worden. Allerdings steht die Forschung diesbezüglich noch am Anfang. Erst seit 1992 werden extrasolare Planeten nachgewiesen. Heute wissen wir, dass die Entstehung von Planeten ein normaler Vorgang und Nebenprodukt der Sternentstehung ist. Bisher ist der Nachweis von terrestrischen Planeten, also Gesteinsplaneten mit fester Oberfläche, noch schwierig und nur in wenigen Fällen zweifelsfrei möglich. Entsprechend schwierig sind auch Messungen zur möglichen Atmosphäre eines extrasolaren Planeten.

Eine direkte Kommunikation zwischen Menschen und einer möglicherweise existierenden kulturell-technisch entwickelten außerirdischen Zivilisation, die kommunizieren kann und will, wird durch die Lichtgeschwindigkeit begrenzt. Im Durchschnitt dürften außerirdische Zivilisationen, wenn sie existieren sollten, etwa 100 bis 1.000 Lichtjahre voneinander entfernt sein. Entsprechend lange würde auch die Kommunikation (Frage und Antwort) dauern. Eine direkte bzw. zeitnahe Kommunikation wäre wohl nur bei einem Besuch von einer kulturell-technisch entwickelten außerirdischen Lebensform auf der Erde möglich. Die Möglichkeit eines derartigen Besuches kann zwar nicht ausgeschlossen werden, doch dürfte er nach dem gegenwärtigen Forschungsstand unwahrscheinlich sein. Die Erforschung des UFO-Phänomens liefert auch keine Hinweise auf die Existenz von außerirdischen Raumschiffen, welche die Erde besuchen.

Die Beobachtungstechnik wird sich weiterentwickeln und zunehmend verbessern. Zunächst wird die Verifizierung von terrestrischen extrasolaren Planeten weiter voranschreiten. Damit wird auch die Zahl der nachgewiesenen terrestrischen extrasolaren Planeten deutlich ansteigen. Die Atmosphären dieser Planeten werden ebenfalls besser untersucht werden können, so dass wir mehr über deren physikalischen Zustand und chemische Zusammensetzung erfahren. Dann werden wir auch in den Bereich kommen, mögliche molekulare biologische Indikatoren in den Atmosphären der extrasolaren Planeten nachzuweisen. Die Wahrscheinlichkeit, vielleicht sogar einmal Signale einer kulturell-technisch entwickelten außerirdischen Zivilisation aufzufangen, steigen mit zunehmender Beobachtungsdauer und einer verbesserten zielgerichteten Suche.

Fazit: Die Entstehung und die Entwicklung von Leben außerhalb der Erde sind möglich und haben wahrscheinlich auch stattgefunden. Der Nachweis von Leben außerhalb der Erde ist ebenfalls möglich. Die Wahrscheinlichkeit eines möglichen Nachweises von außerirdischem Leben steigt mit der Entwicklung der Beobachtungstechnologien, der immer zielgerichteteren Suche und der Beobachtungsdauer.

Zum Schluss noch etwas über die Anzahl möglicher außerirdischer Zivilisationen. Bei unseren Betrachtungen beschränkten wir uns weitgehend auf unsere Galaxis. Selbstverständlich gelten die Schlussfolgerungen zum Leben auch für andere Galaxien. Nur ist ein Nachweis von Leben außerhalb der Galaxis bis auf Weiteres nicht möglich. Wenn nur eine entwickelte außerirdische Zivilisation pro Galaxie existieren würde, wären das bei der Anzahl der Galaxien immer noch mehrere Hundert Milliarden. Wir können daher wohl davon ausgehen, dass es im ganzen Universum von Leben wimmelt.

## 9.0 Schlusswort

Die Antwort auf die Frage, ob es außerhalb der Erde Leben im Weltraum gibt, müssen wir in dieser Abhandlung noch schuldig bleiben. Allerdings ist eine Antwort prinzipiell möglich und wird vielleicht eines Tages Eingang in eine überarbeitete Version finden können. Die Abhandlung „Astrobiologie – die Möglichkeit von Leben auf anderen Planeten und sonstigen astronomischen Objekten“ stellt eine Literaturrecherche da. Die verwendete Literatur ist im Literaturverzeichnis angegeben, wobei diese nur einen Querschnitt des Themas wiedergeben kann und nicht abschließend ist. Allerdings sind alle wesentlichen Fakten in dieser Abhandlung aufgeführt, auch wenn sie nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann. Es ergibt sich auch beim Studium von anderen Quellen kein wesentlich anderes Bild vom Sachverhalt.

Bereits seit dem 04.01.1987 beschäftige ich mich mit der Frage, ob es Leben außerhalb der Erde geben könnte bzw. bereits gibt. An diesem Tag fing ich an Zeitungsausschnitte zum Thema zu sammeln und entsprechende Literatur zu studieren. Interessant war hierbei für mich vor allem die Frage, wie wahrscheinlich die Entstehung und Existenz von kulturell-technisch entwickelten außerirdischen Zivilisationen ist. Dabei beschäftigte ich mich sowohl mit der Astrobiologie als auch mit dem UFO-Phänomen. Auf Basis des heutigen Wissensstandes muss ich natürlich ein ernüchterndes Fazit ziehen. Bisher konnten wir kein Leben außerhalb der Erde nachweisen und können auch nichts Verbindliches über die Wahrscheinlichkeit der Entstehung und Entwicklung von Leben im Weltraum aussagen. Das UFO-Phänomen liefert ebenfalls keinen Hinweis auf außerirdisches Leben. Die überwiegende Anzahl der UFO-Sichtungen kann auf bekannte Phänomene zurückgeführt werden. Ein kleiner Anteil kann auf Grund der Datenlage nicht weiter verifiziert werden. Ein anderer kleiner Anteil wird tatsächlich als unbekannt eingestuft und muss weiter erforscht werden. Doch gibt es bisher keine Belege dafür, dass selbst ein kleiner Teil des UFO-Phänomens mit außerirdischen Raumschiffen assoziiert ist.

Dennoch lohnt sich die Forschung auf diesem Gebiet, weil unser Weltbild unmittelbar davon berührt wird. Ein Großteil der Menschheit ist neugierig und möchte wissen, ob wir allein sind. Die Antwort auf diese Frage hat auch Einfluss auf unsere kulturelle Entwicklung. Ich selbst bin auf Basis meines wissenschaftlichen Kenntnisstandes davon überzeugt, dass die Entstehung und Entwicklung von Leben ein normaler Vorgang im Universum ist. Auch wenn wir nicht wissen, wie wahrscheinlich diese Entstehung und Entwicklung ist. Ich nehme auch an, dass zu dieser normalen Entwicklung die Existenz von kulturell-technisch entwickelten außerirdischen Zivilisationen gehört. Letztendlich wird uns möglicherweise nur die Zukunft eine Antwort auf alle diese Fragen geben.

Diese Abhandlung wurde von Stefan Antheck Korrektur gelesen. Dafür und für seine grundsätzliche Unterstützung möchte ich Ihm sehr danken!



## 10.0 Literatur- und Bilderverzeichnis

Folgende Literatur fand bei der Erstellung dieser Abhandlung Verwendung und kann zur Vertiefung der Thematik empfohlen werden:

- 1) Mathias Scholz, Astrobiologie, 2015.
- 2) Mathias Scholz, Planetologie extrasolarer Planeten, 2013.
- 3) Arnold Hanslmeier, Einführung in die Astronomie und Astrophysik, 2013.
- 4) A. Weigert, H.J. Wendker, L. Wisotzki, Astronomie und Astrophysik, 2009.
- 5) G. Czihak, H. Langer, H. Ziegler, Biologie, 1992.
- 6) Rudolf Kippenhahn, Unheimliche Welten, 1987.
- 7) Joachim Herrmann, Lexikon der Astronomie, 1986.
- 8) Joachim Herrmann, Astronomie, 1981/1988.
- 9) David Bergamini, LIFE-Radaktion, Das Weltall, 1964.
- 10) Peter Brookesmith, UFO, 1995.

Bilderverzeichnis:

Titel-Bild: <http://www.esa.int/>

Bild 1: <http://www.esa.int/>

Bild 2: <http://www.chemgapedia.de/>

Bild 3: <http://www.pbs.org/>

Bild 4: <https://astrokramkiste.de/ptolemaeus/38-planetologie>

Bild 5: <http://www.gym-vaterstetten.de/faecher/astro/Sterne/Sterne.HTM>

Bild 6: <http://www.ard.de/home/ard/23116/index.html?q=ard.de+galerie>

Bild 7 <http://abenteuer-universum.de/planeten/exo.html>

Bild 8: <https://www.marspages.eu>

Bild 9: <http://www.starobserver.org/>

Bild 10: <http://maspox.deviantart.com/art/>

Bild 11: [https://en.wikipedia.org/wiki/George\\_Adamski](https://en.wikipedia.org/wiki/George_Adamski)