

[ ALMOST ]  
**EVERYTHING**  
B E Y O N D

**Eine Ansammlung von für euch nahezu völlig  
unnötigen Informationen, die aber dennoch  
interessant sein könnten.**

**verfasst von Gianluca**

**mit besonderem Dank an Fabian  
für die Idee**

## 1 Was erwartet euch und wieso?

Warum schreibt jemand, der Wirtschaftsinformatik studiert, ein Buch über die Zukunft der Raumfahrt und nicht über Informationssysteme, wo das doch viel eher sein Fachgebiet wäre?

**Weil das nicht der Fall ist.** Ja, ich studiere Wirtschaftsinformatik, aber das bedeutet nicht, dass ich mehr von Informationssystemen als von der Raumfahrt verstehe. Im Gegenteil sogar, ich habe mich schon immer für die Raumfahrt interessiert und habe mein Wissen in den letzten Jahren jederzeit erweitert, wenn die Möglichkeit dazu bestand. Warum studiere ich dann nicht Luft- und Raumfahrttechnik?

Das liegt daran, dass Hochschulen, die diesen Studiengang anbieten, allesamt weit entfernt sind. Die nächste wäre in Aachen, 100 Kilometer von mir, dann Bremen, 200 Kilometer von mir, dann Stuttgart, 300 Kilometer von mir, Berlin, 400 Kilometer von mir, und München, 500 Kilometer von mir. Die Mieten in den meisten dieser Städte sind höher als hier, was bedeutet, dass Kindergeld + Geld meiner Eltern nicht gereicht hätten, um mir dort einen Wohnsitz zu finanzieren. Aufgrund meines schon immer instabilen Gesundheitszustandes konnte ich das Risiko auch nicht eingehen, meinen Wohnsitz und mein Studium von einem Job abhängig zu machen, den ich womöglich plötzlich nicht mehr werde ausüben können.

Das ist natürlich schade, aber ich will mich nicht weiter beschweren. Ich wollte klarstellen, wieso ich das alles hier schreibe: Es ist mein Herzensprojekt und ein kurzfristiges Lebenswerk, da ich momentan nicht wirklich mobil bin und meine Zeit so vergleichsweise sinnvoll nutze.

## Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort - Was erwartet euch und wieso? .....	2
2. Was steht an und warum steht das an? .....	5
2.1 Warum denn der Mars? .....	6
3. Wie und Wann? .....	7
4. Was erhoffen wir uns vom Mars? .....	9
5. Konkrete Pläne für unser Dasein auf dem Mars .....	11
6. Terraforming - Die Umsetzung des Science-Fiction-Konzepts .....	16
7. Ist es überhaupt möglich, noch weiter zu planen? .....	20
7.1 Die "Cloud Cities" auf der Venus .....	21
7.1.2 Die Probleme der Venus .....	23
7.1.3 Warum fangen wir dann nicht auf der Venus an? .....	24
7.2 Die "Space Habs" .....	25
7.2.2 Energieerzeugung für Space Habs .....	33
8. Die Suche nach außerirdischem Leben .....	38
8.1 Das Fermi-Paradoxon .....	44
8.1.2 Mögliche Erklärungen für das Fermi-Paradoxon .....	49
9. Wo liegen unsere Grenzen? .....	58
10. Schlusswort .....	63
11. Quellenverzeichnis .....	66

## **Was ist das Ziel dieses Buches?**

Auf den folgenden Seiten meines Buches will ich euch einen groben aber dennoch möglichst übersichtlichen Einblick in die womögliche Zukunft unserer Spezies ermöglichen. Ich möchte mich dabei auf die Raumfahrttechnologie und deren Potential spezialisieren. Mein Ziel ist es dabei, die vielen Konzepte, wissenschaftlichen Arbeiten, Forschungsprojekte und Zukunftspläne für euch zugänglich zu machen, die sonst leider viel zu selten ans Tageslicht gelangen.

Die Nachrichten berichten meist nämlich von Gegenwarts- oder Vergangenheitsgeschichten, selten von Zukunftsprognosen und kaum bis gar nicht von denen, die mehr als gefühlte drölf Sekunden in die Zukunft blicken. Warum? Weil das nicht wirtschaftlich ist und offenbar auch keinen zu interessieren scheint. Welchem Unternehmer oder Politiker nutzt es, zu erfahren, welch' enorme Energiemengen wir bereits in wenigen Jahrzehnten produzieren könnten, wenn sich dafür aber mehr als ein Unternehmen oder - Gott bewahre - mehr als eine Nation zusammen tun müsste, um diesen Erfolg für die eigene Spezies an Land zu ziehen? Das nützt wohl keinem von Ihnen. Was weiß ich. Bin ja kein Politiker. Anders kann ich mir die Sachlage nur einfach nicht erklären.

So schade das auch ist, möchte ich gegen nichts und niemanden hetzen. Ich möchte stattdessen lieber aufklären. Die Geschichten, die die Menschheit in wenigen Jahrzehnten erzählen könnte, verdienen es nämlich, bereits heute thematisiert zu werden.

Das Klischee, nach dem all die Raumfahrtprogramme, die ich euch hier vorstellen werde, so utopisch fiktiv wirken, schwirrt mir bereits viel zu lang' im Raum. Ich versuche euch zu zeigen, dass diese Zukunftsmusik von gar nicht allzu weit entfernt spielt. Lasst uns also loslegen.

## 2 Was steht an und warum steht das an?

Erst vor sehr kurzer Zeit stellte SpaceX ihr Konzept vor, wiederverwendbare Raketen zu entwerfen. Auch, wenn dieses Konzept und dessen von SpaceX geplante Verwendungsziele daraufhin oft belächelt wurden, schaffte SpaceX - zum Zeitpunkt, zu dem ich das hier verfasste - es erst vor wenigen Wochen, ihr größeres Modell, die "Falcon Heavy" starten zu lassen und alle Booster sicher wieder zu landen. Die Firma beginnt also damit, die Kosten für Flüge in der Erdumlaufbahn und dem "Outer Space" zu minimieren.

Zu welchem Zweck? Lohnt sich das überhaupt?

Raketen benötigen wir - wenn wir sie benötigen - meist dazu, um Satelliten in die Erdumlaufbahn zu bringen. Die Betreiber dieser Satelliten zahlen SpaceX gutes Geld, um ihre Satelliten heil dort hin zu tragen.

SpaceX versucht Flüge ins Weltall aber nicht aus diesem Grund zu kommerzialisieren.

Stattdessen plant SpaceX, einen Planeten zu kolonialisieren. CEO Elon Musk behauptet, dass irgendwann wieder ein Krieg ausbrechen könnte oder die Menschheit einer globalen Katastrophe gegenübersteht und wir uns und die Existenz unserer Spezies für diesen Ernstfall absichern sollten. Das tun wir, seiner Vorstellung zufolge zumindest, indem wir uns einen anderen Planeten suchen (der Mars soll es sein!) und anfangen, diesen zu besiedeln. Die Idee habt ihr sicherlich schonmal irgendwo aufgeschnappt. Weniger bekannt sollte vielen von euch jedoch sein, wie viele Gedanken sich um dieses Projekt gemacht wurden und wie wenig unrealistisch dieses Langzeitprojekt tatsächlich wirkt, wenn man sich ausgiebig damit beschäftigt. Beginnen wir also mit der ersten Frage, die sich mir als Außenstehender stellen würde:

## 2.1 Warum denn der Mars?

Für diejenigen, die sich mit den Lebensbedingungen auf anderen Planeten noch nie auseinandergesetzt haben, kommt möglicherweise direkt zu Beginn dieser Kolonisationsdiskussion die Frage auf, wieso wir uns den Mars als Ziel gesetzt haben und nicht etwa andere Planeten unseres Sonnensystems. Die Venus – einer der beiden erdnächsten Planeten unseres Sonnensystems – ist durchschnittlich nämlich nur 41.4 Millionen Kilometer von der Erde entfernt, während der Mars – der andere erdnächste Planet unseres Sonnensystems – durchschnittlich 78.3 Millionen Kilometer von der Erde entfernt ist<sup>1</sup>. Wir wären doch viel schneller an der Venus, wieso fliegen wir also zum Mars?

**Ganz einfach** – Im Gegensatz zur Venus sind die Lebensbedingungen des Mars' schlichtweg paradiesisch.

Im Boden des Mars' findet sich Wasser, das sich extrahieren lässt. Der Tag/Nacht Rhythmus auf dem Mars ähnelt dem der Erde deutlich mehr als der Rhythmus der Venus. Auf dem Mars dauert ein Tag 24 Erdstunden, 39 Minuten und 35 Sekunden. Auf der Venus hingegen dauert der Tag 116 Erdentage und 18 Stunden. Die Durchschnittstemperatur auf der Venus beträgt über 400 °C, während sie auf dem Mars -60 °C beträgt. Klar, unfassbar angenehm klingt das nicht. Ich würde aber lieber in einer Schicht von Thermokleidung und Winterjacken nach draußen gehen, als auf der Stelle verglüht zu werden. Wenn euch das noch nicht zu genüge abschreckt, stellt euch nun zusätzlich vor, dass auf der Venus ein Luftdruck von 90 Bar herrscht, auf dem Mars nur 0.007 Bar. Ach ja, auf der Venus regnet es zusätzlich auch manchmal Schwefelsäure. Hätt' ich fast vergessen.

**Wir versuchen's also lieber auf dem Mars, oder?**

**Dacht' ich mir doch.**

### **3 Das Warum ist geklärt. Darauf folgt das „Wie und Wann?“**

Wie kommen wir überhaupt zum Mars? Was nehmen wir mit? Wie wollen wir dort überleben? Wann fliegen wir los? Ich gebe zu, dass rein rational zunächst erst die Frage gestellt werden muss, was wir uns denn nun letztendlich von unserem Besuch (oder sogar Wohnsitz) auf dem Mars erhoffen. Da die Beantwortung dieser Frage jedoch Grundlage für Themen ist, die viel später folgen, fahre ich hier mit dem „Wie und Wann?“ fort.

**SpaceX** scheint ziemlich wohldefinierte Pläne diesbezüglich zu haben, denn SpaceX ist der Vorreiter, wenn es darum geht, auf dem Mars überhaupt etwas Fortwährendes zu erschaffen.

Wir orientieren uns also im Folgenden an den Plänen von SpaceX.

#### **2020**

Zunächst erst einmal sind weitere Testflüge geplant. Im Gegensatz zu den Testflügen der Falcon Heavy und Falcon 9 im Jahr 2019 sollen dann größere Höhen und Geschwindigkeiten die Raketen auf die Probe stellen.

#### **2022**

Laut SpaceX' CEO Elon Musk sollen mindestens zwei unbemannte Raumschiffe auf ihren Weg zum roten Planeten geschickt werden. Im Jahr 2022 stehen die Erde und der Mars nämlich am idealsten Punkt für ein solches Unterfangen, da sie sich an ihren nächsten Punkten befinden.

#### **2023**

Es folgen die ersten Flüge um den Mond im geplanten „Starship“.

## **2024**

Die beiden Planeten stehen sich erneut sehr nah, sodass erneute Cargo-Flüge zum Mars an diesem Punkt denkbar wären.

## **2025**

Die ersten bemannten Raketen – die sogenannten „Starships“ – sollen sich auf ihre Reise zum Mars begeben.

Vorherige Cargo-Raketen unterstützen die sichere Landung späterer Raketen, da sie Bauteile für Landing Pads beinhalten. Des Weiteren sollen Cargo-Raketen nach und nach weitere Bausteine der geplanten, ersten Stadt auf dem Mars liefern, um aus dem Besuch auf dem Planeten einen permanent habitablen Wohnsitz zu formen. Die „Starships“, welche sowohl Passagiere als auch Fracht zum Mars und zurück transportieren, sollen vollständig wiederverwendbar produziert werden können, um die Reisekosten zu minimieren. Erfolg bei der Produktion und dem Einsatz solch vollständig wiederverwendbaren Raketen hatte SpaceX bereits vor einiger Zeit, zunächst bei den „Falcon 9“ und 2019 auch mit dem „Falcon Heavy“ Modell des Unternehmens.

Das „Starship“ soll über eine Nutzlast von bis zu über 100 Tonnen verfügen und Passagiere für voraussichtlich 100.000 – 200.000 US-Dollar zum Mars transportieren.

**Das hätten wir also.** Für all diejenigen, die – zu *meiner Enttäuschung* – von diesen Plänen und „Hard Facts“ gelangweilt wurden:

**Das war nun der "trockenste" Teil der Geschichte. Der Rest wird interessanter.**



#### 4 Was erhoffen wir uns vom Mars?

Der Bau der Raketen, die für die Flüge zum Mars notwendig sind, ist teuer. Langfristig wird es natürlich günstiger sein, als ständig neue Einweg-Raketen ins All zu schießen und dabei zusätzlich noch ordentlich Weltraumschrott zu produzieren.

Elon Musk, der CEO der Firma SpaceX, gab an, dass der Bau einer Rakete, die sowohl Fracht als auch Menschen zum Mars transportieren kann, ungefähr 250 Millionen US-Dollar kosten wird. Noch dazu kommen Personalkosten, Frachtkosten, Treibstoffkosten uvm.

Wir haben also ein gutes Recht darauf, uns zu fragen: **Warum sollten wir so viel Geld dafür ausgeben?**

An dieser Stelle möchte ich nicht lediglich die Motivation der Firma SpaceX, welche dieses Spektakel plant, nennen, sondern versuchen, Gründe zu nennen, die **im Interesse der Menschheit** für einen Marsbesuch sprechen.



#### **Die Absicherung der Existenz unserer Spezies**

Das klassische Beispiel für diesen Grund sind die Dinosaurier: Eine Naturkatastrophe oder, nach heutigem Maße, möglicherweise ein Atomkrieg könnte das Leben auf der Erde gefährden, was für eine Kolonie spricht.



### Die Entdeckung noch unbekanntem Lebens

Sowohl aus reiner Neugier als auch aus Sicht der Evolutionsforschung wäre es interessant, Leben auf dem Mars zu entdecken – und wenn es auch bloß Mikroorganismen sind.



### Verbesserung des Lebens auf der Erde

Algorithmen und Programme, die verwendet werden, um den Mars besser zu verstehen, könnten ebenfalls genutzt werden, um Probleme und Unklarheiten auf der Erde zu behandeln. \*1



### Der Beginn etwas viel Größeren

Dieser Schritt wird notwendig sein, um Vorreiter etwas viel Größeren zu werden - denn wir beginnen nicht mit der Kolonisation anderer Sonnensysteme, ohne in unserem eigenen begonnen zu haben. Die Menschheit wird multiplanetar.

\*1 Leider können wir nicht immer wissen, welche Handlung in welchem Ergebnis resultiert. Wir brauchen auch noch gar keine Technologien, um Reisen durch das Weltall zu organisieren. Die Erde funktioniert ja schließlich noch ein paar Milliarden Jahre, oder? **Richtig.** Und deshalb ist alles, was uns zunächst motivieren kann, unsere Neugier.

## 5 Konkrete Pläne für unser Dasein auf dem Mars

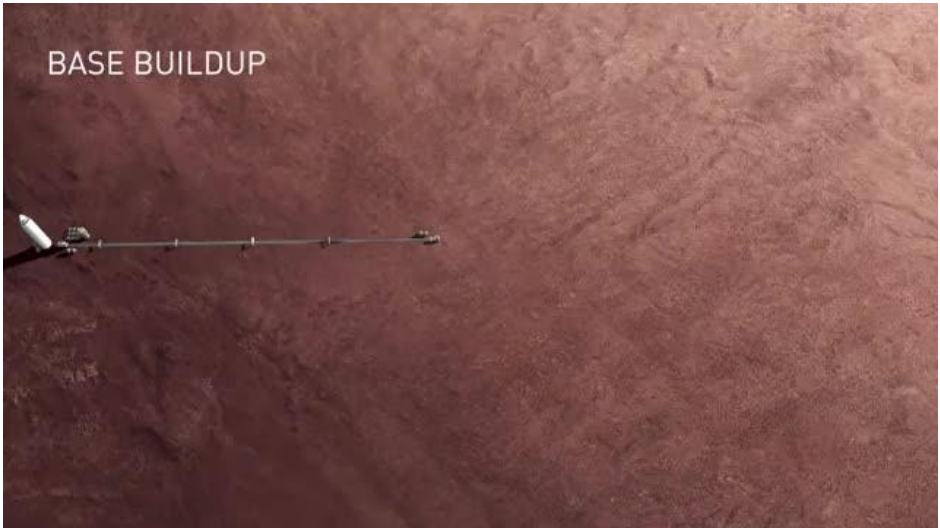
Cool, jetzt wissen wir, wieso wir dem Mars einen Besuch abstatten sollten und wissen auch, wann die erste Touri-Rakete den roten Planeten ansteuert. Aber was genau planen wir denn, dort zu tun?

In Kapitel 3 noch lagen maximal 2 Jahre zwischen verschiedenen Etappen unseres zukünftigen Abenteuers. Da unsere Reise uns aber weit, weit in die Zukunft führt, müssen wir anfangen, größere Schritte zu machen.

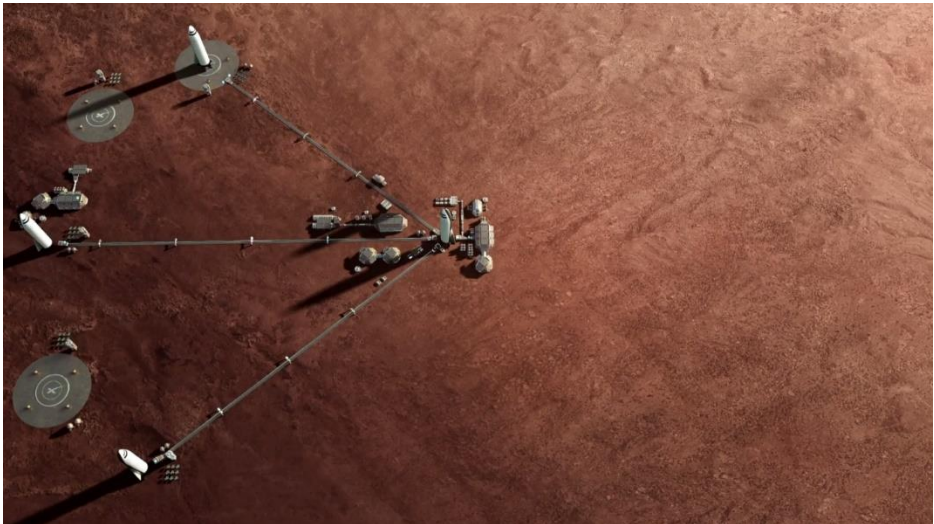
Der Plan ist es, alle 2 Jahre erneut, mit Fracht oder Personen besetzte, Raumschiffe auf den Mars zu senden und / oder Raumschiffe vom Mars zurück zur Erde zu senden, da die Planeten sich in einem Intervall von 2 Jahren am nächsten stehen.

Aus  $\text{H}_2\text{O}$  und Kohlenstoffdioxid (  $2 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = 2 \text{O}_2 + \text{CH}_4$  ) kann auf dem Mars mithilfe eines Sabatier-Prozesses in Verbindung mit einer Wasserstoff-Elektrolyse Methan und Sauerstoff hergestellt werden. Diese wiederum werden verwendet, um das Raumschiff auf dem Mars zu tanken. Mithilfe von Frachtlieferungen soll nach und nach eine Stadt, bestehend aus Forschungseinrichtungen und lebenserhaltenden Systemen, errichtet werden. Die Dauer des Ausbaus zu einer selbsterhaltenden Kolonie datiert Musk mit 7 bis 10 Jahren.

Auf den nächsten Seiten werde ich die ersten Phasen der geplanten Anreise visualisiert darstellen. SpaceX war so nett, uns auf ihrer Website diesbezügliche Grafiken zur Verfügung zu stellen.



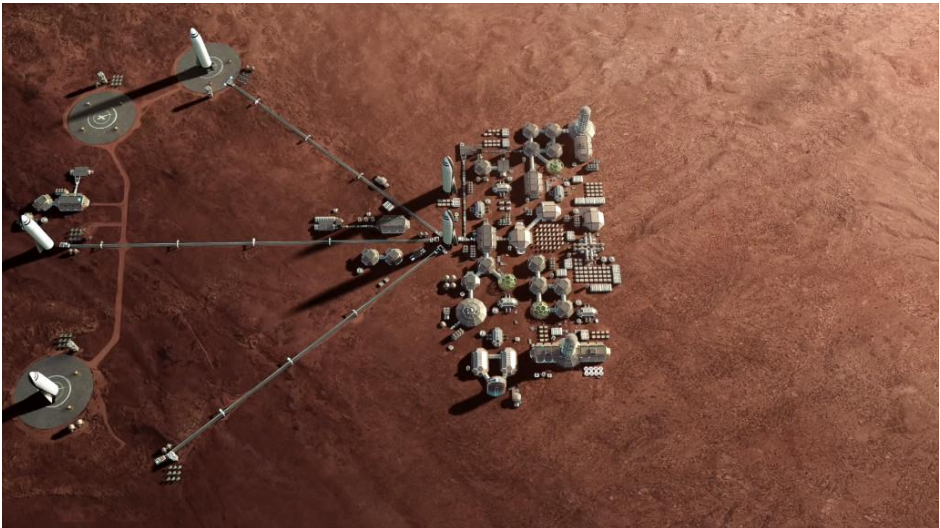
Erster Lande-Intervall soll Wasserressourcen ausmachen und Gefahren identifizieren. Diese Mission soll **unbemannt** von Statten gehen.



2 bemannte Schiffe bringen die ersten Menschen auf den Mars. 2 Cargo-Schiffe bringen mehr Equipment und Versorgungsgüter. Darüber hinaus sollen Produktionsanlagen für Raketentreibstoff konstruiert werden. Die Basis der Anlage wird auf Erweiterungen vorbereitet.

Daraufhin sollen die ersten Stromgeneratoren, Bergbaumaschinen und selbstverständlich auch die lebenserhaltenden Teile der Infrastruktur aufgebaut werden.

Große Teile des Inhalts der Raumschiffe werden von Teilen der Solaranlagen und der Produktionsanlage für Treibstoff eingenommen. In den nächsten Zyklen sollen dann größere Häuser und Verbindungen zwischen Anlagen errichtet werden.

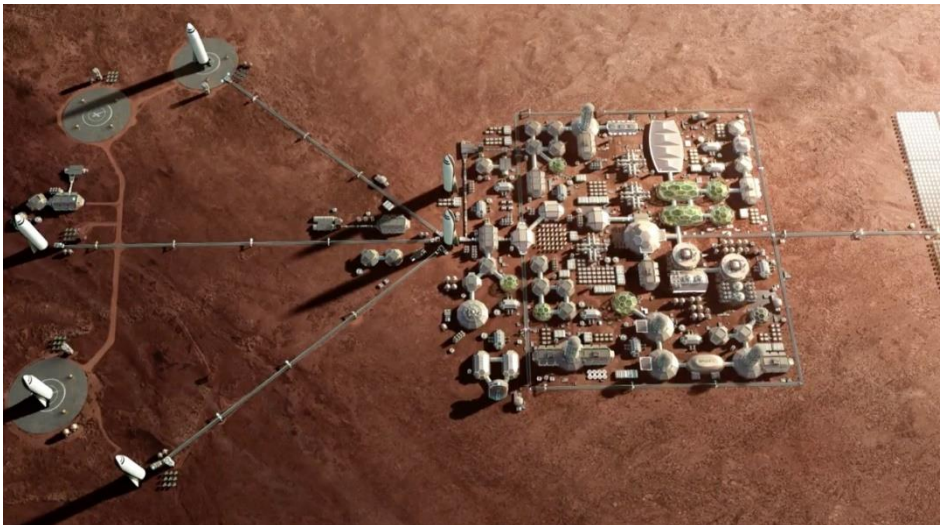


Hier sehen wir die genannten Verbindungen zwischen den Anlagen. Das Raumschiff mittig der Basis wird hier also mit einem Tunnel verbunden, der zu anderen Anlagen der Basis führt. Die Basis wird weiter ausgebaut und es werden nach und nach weitere Solarzellen in Betrieb genommen.

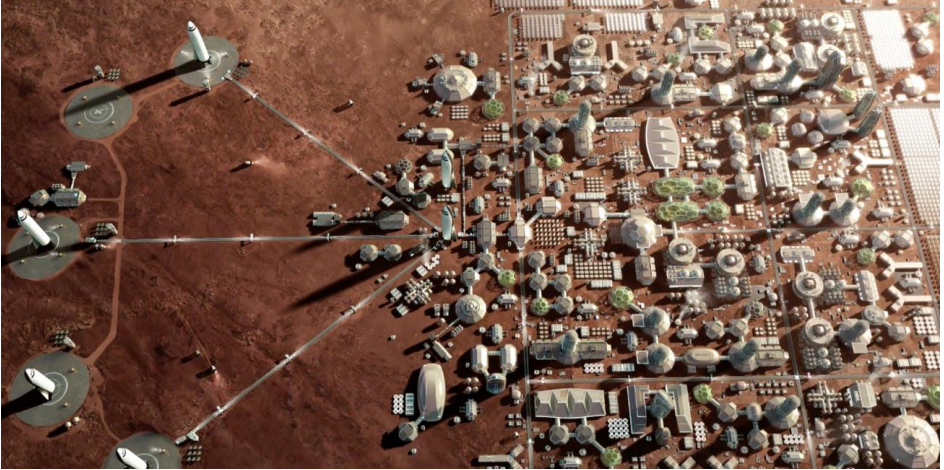
Im entferntesten Sinne kommt diese Grafik meiner Vorstellung einer futuristischen Stadt nahe. Elon Musk gibt jedoch zu, dass die ersten Anläufe an dieses Leben womöglich sehr schwer werden und schließt nicht aus, dass Menschen dabei sterben könnten.

Zusätzlich zur langen Reisedauer zum Mars (ungefähr 7 Monate) stellen diese Behauptungen nun ein für alle Mal klar: Die erstmalige Reise zum Mars ist **kein Job** für einen Astronauten sondern das Stillen purer Entdeckerneugier für jemanden, der bereit ist, **alles dafür zu opfern**.

Die Entwicklung dieser Stadt, in dem Ausmaß, in dem wir sie hier sehen, wird nicht schnell von der Hand gehen. Laut SpaceX können wir davon ausgehen, dass die Stadt auf dem Mars ungefähr 40-100 Jahre brauchen wird, um folgende Ausmaße anzunehmen.



Um die Basis herum wird eine Art Straße errichtet, um den Güter- und Personentransport zwischen verschiedenen Basisanlagen zu erleichtern. Die Basis wird um viele Stationen erweitert. Die Solarzellen werden auf eine Anlage neben der "Stadt" ausgelagert.



Sieht heftig aus, oder? Das Straßensystem wird um Anlagenblocks herum konstruiert. Die Solarzellen werden weiterhin neben der Stadt angereicht.

Mithilfe der Solarzellen könnte die Stadt mit Strom versorgt werden, mithilfe der Treibstoffproduktions-Anlage könnten Rückflüge ermöglicht und mithilfe der Gewächshäuser könnte die Ernährung der Bewohner ermöglicht werden.

Leider ist der Mars selbst auch nach 100 Jahren und diesem - Achtung, meine Meinung - richtig geilen Ausblick immer noch nicht bewohnbar. Die Anlagen sind es vielleicht, doch wer ohne Schutzanzug nach draußen in die Wüstenlandschaft tritt, wird wohl nicht allzu lang überleben.

Aber was machen wir dagegen? Können wir denn etwas dagegen machen? Entgegen der Erwartung vieler, sogar einiger prominenter Menschen lautet die Antwort: **Ja**.

**Es ist nur sehr kompliziert und dauert auch lange**, weshalb viele Menschen es als nicht lohnenswert empfinden. Es bringt ihnen ja schließlich keinen Mehrwert, sondern "nur" unseren Nachkommen.

Doch wie würde man den Mars bewohnbar machen, welche Pläne gibt es dazu und wie lange würde das denn ungefähr dauern?

Das Schlüsselwort dazu ist:

## 6 Terraforming - Die Umsetzung des Science-Fiction-Konzepts

Falls hier gerade irgendjemand mitliest, der sich tatsächlich bereits mit dem Thema Mars und unserer dortigen Zukunft auseinandergesetzt hat, wird der/diejenige bei dem Wort "Terraforming" mit Sicherheit die Stirn gerunzelt haben.

Die NASA veröffentlichte nämlich bereits am 30. Juli 2018 einen Artikel, in dem es hieß "Mars Terraforming Not Possible Using Present-Day Technology".

Bill Nye, ein amerikanischer Fernsehmoderator, welcher früher als Maschinenbauingenieur bei "Boeing" tätig war, behauptete in einem Interview, in dem es um die Besiedlung des Mars ging, zusätzlich folgendes:

*"They'll make discoveries about planets and our place in the cosmos by knowing more about this other planet. But I am very, very skeptical that anybody's gonna go there and build a skate park and have Starbucks (...) and have society. (...) It sounds cool but it's just not likely."*

Der Unterschied zwischen der NASA und Herrn Nye ist jedoch, dass die NASA bereits im Titel des Artikels betonte, dass es **mit heutiger Technologie nicht möglich** sei, Terraforming auf dem Mars zu betreiben, während Bill Nye eine Bewohnbarkeit des Mars anscheinend grundsätzlich auszuschließen wusste. Höchstwahrscheinlich ist das darauf zurück zu führen, dass der Artikel der NASA wissenschaftlicher



Natur ist und das Interview mit Herrn Nye den Entertainment-Faktor in den Vordergrund rückte.

Da ich unsere Reise hier chronologisch navigiere, ist allerdings zu vermerken, dass auch niemand behauptet hat, den Mars mit heutiger Technologie zu einer zweiten Heimat formen zu wollen. Wie wir im letzten Kapitel feststellten, dauert der Bau einer Stadt auf dem Mars allein bereits ungefähr 100 Jahre.

### **Wie genau soll denn nun unser Terraforming-Konzept aussehen?**

Zugegeben, das herauszufinden war bisher der zeitintensivste Teil meiner Recherche für dieses Buch. Es wurden viele vorgestellt, wenige wurden konkretisiert und noch viel seltener wurden Beweise geliefert.

Ich konnte kein für mich tatsächlich effizient wirkendes Konzept finden, weshalb ich mein eigenes - eine Kombination aus verschiedenen Vorschlägen - für euch bereithalte. Ein Großteil des Konzepts stammt von James Lovelock, der seines im Jahre 1984 erstmals präsentierte. Weitere Quellen findet ihr selbstverständlich im Quellenverzeichnis.

#### **Soweit, so förmlich, Folgendes soll passieren:**

Supertreibhausgase, sogenannte Perfluorcarbone (PFC), beispielsweise Tetrafluormethan ( $\text{CF}_4$ ), Hexafluorethan ( $\text{C}_2\text{F}_6$ ), Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) oder Octafluorpropan ( $\text{C}_3\text{F}_8$ ) sollen in die Marsatmosphäre gebracht werden. Dies würde mithilfe hunderter Produktionsanlagen umgesetzt werden, die jeweils ungefähr so groß wie ein Auto wären und mithilfe von Sonnenlicht und dem Gesteinsboden des Mars die PFC anreichern. Diese Supertreibhausgase absorbieren die Energie, die mithilfe des Sonnenlichts und des Regolithgesteins freigesetzt wird. Es wäre hierbei effizient, Treibhausgase mit maximalem

Wärmepotential zu nutzen, um sicherzustellen, dass die erzeugte Atmosphäre viele Jahre bestehen bleibt. Somit minimieren wir den Nachschub dieser Treibhausgase, der innerhalb von 1.000-10.000+ Jahren nötig wird, um die Atmosphäre des Mars aufrecht zu erhalten.

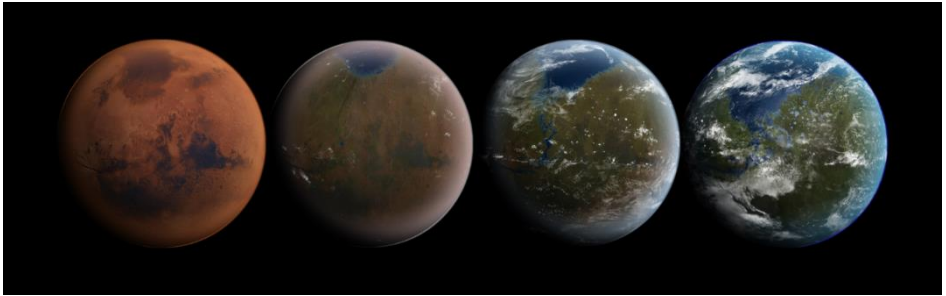
Indem man eine Verbindung aus Tetrafluormethan, Hexafluorethan und Schwefelhexafluorid nutzt, wird man die benötigte Masse der Treibhausgase von einigen Milliarden Tonnen (bei alleiniger Nutzung von CO<sub>2</sub>) auf wenige Millionen Tonnen schrumpfen können. Fluor könnte in die Atmosphäre abgelassen werden und würde zusammen mit Kohlenstoffdioxid zu Tetrafluormethan reagieren. Zusätzlich dazu würde atembare Sauerstoff bei der Reaktion entstehen.

Diese **deutlich effizientere Methode** würde die Realisierung des Projekts schon **früher ermöglichen, als oftmals angenommen**.

### **Wie lange dauert das? Was passiert daraufhin?**

Nach 100 Jahren würden an der Oberfläche des Mars Temperaturen von durchschnittlich -40 °C herrschen - statt der bisherigen -60 °C. Der Luftdruck würde auf 0.3 bis 2 bar ansteigen. Es würde jedoch weitere ~500 Jahre dauern, bis das Wasser im Mars verflüssigt würde und an die Oberfläche gelangt. Durch den erhöhten Atmosphärendruck würde die Verdunstung des Wassers verhindert werden. Es bilden sich Seen und Meere.

Nach insgesamt 600 Jahren würde der Mars damit etwa wieder in seinen ehemaligen Zustand zurückversetzt, denn die Lebensbedingungen auf dem roten Planeten waren nicht immer so bedrohlich wie heute. Untersuchungen der NASA belegen, dass der Mars vor 3.8 bis 3.1 Milliarden Jahren alle Voraussetzungen für Leben erfüllt habe.



Visualisierung des Terraforming-Prozesses am Beispiel des Mars

Nachdem der Transport und damit der Grundbaustein für den Verkehr zwischen Mars und Erde von SpaceX gelegt worden wäre, würden andere, private oder verstaatlichte Organisationen ihr Interesse an der Besiedlung oder Kommerzialisierung des Mars dort ausleben können. SpaceX Konzept für den Mars endet an diesem Punkt. Die folgenden Punkte unseres Blicks in eine mögliche Zukunft werde ich also wieder selbst bestimmen.

## **7 Ist es überhaupt möglich, noch weiter zu planen?**

Selbstverständlich besteht diese Möglichkeit. Es ist eben nur nahezu unmöglich, mit hundertprozentiger Sicherheit zu bestimmen, wohin es für den Menschen in unserer Zukunft gehen wird, wenn er den Mars, seine Ressourcen und seine möglichen Lebensräume ausgeschöpft hat. Zeitangaben erübrigen sich an diesem Punkt logischerweise auch. Es ist zwar nicht unmöglich, zu bestimmen, wann der Mensch diesen Punkt erreicht, doch bräuchte ich zur Bestimmung dieses Punktes sämtliche Variablen, die unseren Planeten und unsere Spezies beeinflussen und noch dazu einen Computer, der zur Verarbeitung dieser Daten im Stande wäre. Die Formel, die all diese Variablen umfasst, nennt sich "Weltformel" oder auf englisch - "Theory of Everything". Sollte euch das interessieren, findet ihr Informationsquellen zu diesem Thema im Quellenverzeichnis. Das Einzige, was sicher ist, ist, dass der Zeitpunkt, zu dem wir (nach dem Mond und dem Mars) erneut zu einem Ort aufbrechen werden, weit in der Zukunft liegt, genauer gesagt einige hundert Jahre.

## **Welche Alternativen stehen denn grundsätzlich im Raum?**

**Nicht viele.** In die engere Auswahl nehme ich das Konzept der sog. "Cloud Cities" auf der Venus und die "Space Habs" zwischen Planeten unseres Sonnensystems, deren Herstellungsressourcen wir aus dem Asteroidengürtel unseres Sonnensystems abtragen würden. Ihr könnt euch an dieser Stelle frei entscheiden, welche dieser möglichen Zukünfte ihr euch zuerst anschauen wollt.

## 7.1 Die "Cloud Cities" auf der Venus

Moment, ich dachte, wir hätten die Venus als Kolonisierungsziel bereits zu Beginn ausgeschlossen?

**Nicht ganz.**

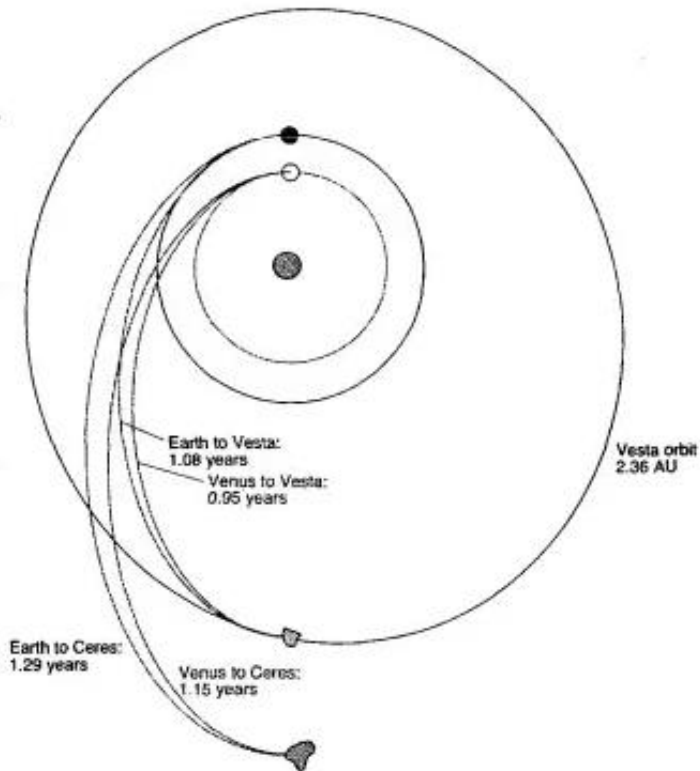
Wir haben ausgeschlossen, den Gesteinsboden der Venus zu kolonialisieren, was ich auch weiterhin ausschließen werde.

Die "Cloud Cities" machen ihrem Namen nämlich alle Ehre.

In der höheren Atmosphäre der Venus herrscht ein Luftdruck, der ungefähr dem Luftdruck der Erde entspricht (1 bar) und die Temperatur pendelt sich ungefähr zwischen 0°C und 50°C ein. Die Gravitation entspricht dem 0.9-fachen der Erdgravitation und die Atmosphäre beinhaltet Kohlenstoff, Schwefel, Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff - allesamt wichtige Stoffe für die Nachhaltigkeit dortigen Lebens. Da die "Cloud Cities" oberhalb der Wolken errichtet würden, würde sich der Standort zusätzlich optimal eignen, um Solarenergie zu sammeln.

**Es kommt noch besser!**

Die Venus liegt signifikant näher\* an einigen großen Asteroiden, welche in einer multiplanetaren Ökonomie zum Rohstoffabbau essenziell und für viele Unternehmen interessant würden, da sie hohe Konzentrationen von Edelmetallen und Seltenerdmetallen beinhalten. Ein Objekt mit einem Durchmesser von 1km beispielsweise könnte den heutigen Bedarf an Metallen in der Industrie bereits für Jahrzehnte decken.



(Minimalflugbahnen zwischen der Erde, der Venus, Vesta und Ceres)

Die obige Grafik zeigt sogenannte "minimum energy trajectories", zu Deutsch: "Minimalflugbahnen" zwischen der Erde, der Venus, Vesta und Ceres. Vesta und Ceres sind hierbei die zwei schwersten Objekte des Asteroidengürtels. Vesta's Durchmesser beträgt durchschnittlich 516 Kilometer, während Ceres so groß ist, dass er als Zwergplanet klassifiziert wird und einen Äquatordurchmesser von 964 Kilometern aufweist. Wie die Grafik veranschaulicht würde ein Flug zu o.g. Himmelskörpern deutlich schneller ablaufen, wenn man von der Venus startet. Beim Flug zur Vesta spart man 0.13 Jahre (~47 Tage), beim Flug zu Ceres 0.14 Jahre (~51 Tage).

### **7.1.2 Die Probleme der Venus und wie wir sie bewältigen könnten**

**1.** Es ist nicht allzu leicht, in diesen luftigen Höhen an Wasser zu kommen. Wenn wir innerhalb der Cloud Cities Pflanzen züchten wollen, benötigen wir eine hohe konstante Zufuhr an Wasser. Die Atmosphäre der Venus hat einen Schwefelsäurekreislauf, der auf natürliche Weise Wasserdampf erzeugt. Die Schwefelsäuretröpfchen fallen auf die Oberfläche und verdampfen zu Schwefeldioxid und Wasserdampf. Diese beiden Stoffe gelangen erneut in die Atmosphäre, bilden neue Schwefelsäure und der Kreislauf beginnt von vorn.

Mithilfe sogenannter "Sonnenöfen", welche Sonnenstrahlung konzentrieren, könnten die Tröpfchen erhitzt werden, um das Wasser von den Schwefeldioxyden zu trennen. Auf diese Weise könnte genug Wasser für die Städte produziert werden.

**2.** Sowohl die Wände, Dächer und sonstigen Grenzen der Cloud Cities als auch jeder, der sich aus ihnen herauswagt, muss vor den Schwefelsäuren in der Atmosphäre geschützt werden. Hierfür kommen Blei, Wolfram, Teflon oder Glas in Frage. Besonders attraktiv für den Bau der Städte - zumindest der Außenwände - ist hierbei aus rein optischer Perspektive natürlich das Glas. Viele vorgestellte Konzepte für eine solche Konstruktion der Stadt greifen dabei auf eine sogenannte "geodätische Kuppel" zurück.

**3.** Die hohe UV-Strahlung müsste vom Glas der Städte zurückgehalten werden. Zugegebenermaßen, das sollte mithilfe speziell beschichteter Gläser kein Problem sein. Sonnenbrillen sind schließlich auch keine Erfindung des 35. Jahrhunderts.

**4.** Die Tage auf der Venus entsprechen ungefähr 4 Erdtagen. Das klingt natürlich lang, sollte das Überleben der Erdorganismen jedoch noch gerade so ermöglichen. Im schlimmsten Fall baut man eben ein System

ein, dass die Glaswände der Städte mit einem Sonnenschutz - beispielsweise einem Rollo - versieht und die Helligkeit innerhalb der Stadt dem Tag-Nacht-Rhythmus unseres Heimatplaneten anpasst.

**Man könnte also zusammenfassend schließen, dass die Vorteile der "Cloud Cities" auf der Venus deren Nachteile überwiegen.**

### **7.1.3 Warum fangen wir dann nicht auf der Venus an?**

Das, was ihr bis jetzt über die Venus gehört habt, klingt alles klasse. Alle Probleme lassen sich bewältigen. Warum also fangen wir nicht dort an, zu bauen?

Wir tun das nicht, weil kleine Fehler in den Landungen und Starts auf und von der Venus weg große Probleme machen können, wenn wir diese Prozesse nicht zu 100% verstehen. SpaceX und die NASA tun sich mittlerweile nicht mehr schwer damit, Raketen sicher starten zu lassen aber ab und zu kommt es dennoch zu Komplikationen. Bevor wir diese Technologie nicht sprichwörtlich "im Schlaf" beherrschen, setzen wir die Kolonien und damit den in 50km Höhe angesiedelten Städten einer zu großen Gefahr aus - bspw. bei Explosionen oder dem Verfehlen der Landestationen.

**Wir nutzen den Mond und den Mars also erstmal als "Practice Labs" und wenn wir's draufhaben, schauen wir uns die Venus an.**





Konzeptgrafik der "Cloud Cities" auf der Venus in mehreren Kilometern Höhe.

## 7.2 Die "Space Habs"

Um das Thema einzuleiten, möchte ich zunächst erstmal ein Klischee sprengen, dessen Existenz in euren Köpfen das Verständnis dieser Thematik bereits in ihren Grundrissen problematisiert.

Der Bau sog. "Space Habs" - Habitate (Lebensräume) im Weltall würde höchstwahrscheinlich mithilfe von Material aus dem Asteroidengürtel ermöglicht werden. Doch bestehen - entgegen eben diesem Klischee - diese Asteroiden lange nicht alle tatsächlich nur aus Gestein.

Nur ca. 17% entsprechen diesem Muster. Es gibt verschiedene Arten von Himmelskörpern, die im Asteroidengürtel und Umfeld unseres Sonnensystems anzufinden sind. Einige davon sind tatsächlich einfache Gesteinsbrocken, viele allerdings beinhalten wertvolle Ressourcen und selbst die Brocken finden sinnvolle Verwendung in unserem futuristischen Szenario.

Zunächst einmal existieren 5 verschiedene, für uns relevante, Arten von Asteroiden:

- C-Type: "kohlige Chondriten" = enthalten Kohlenstoff, Wasser und andere Mineralien. Sie machen ungefähr 3% aller Asteroiden aus.
- S-Type: bestehen aus Zusammensetzungen von Steinen
- M-Type: bestehen aus Eisen, Nickel und anderen Metallen inkl. Platin
- D-Type: bestehen inhaltlich womöglich aus Eisklumpen
- Extinct Comets: bestehen zu geringen Anteilen aus Eis

Aus dem aufgetauten Eis lässt sich beispielsweise durch Elektrolyse Sauerstoff extrahieren. Wasser ist für den Beginn des Projekts "Space Hab" essenziell, da es sowohl für die Lebenserhaltung, die mineralogischen und chemischen Prozesse der Ressourcenverarbeitung als auch für Treibstoffproduktion benötigt wird.

### **Wir brauchen also Wasser.**

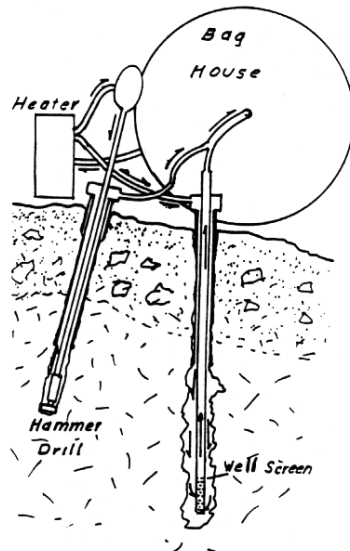
Wo fangen wir an, zu suchen? Das nächste Objekt, welches für die Versorgung des erdnahen Teils des Sonnensystems mit Wasser in Frage käme, ist der Mond des Mars, Deimos.

Die Oberfläche Deimos' ist sehr dunkel und ähnelt damit der von kohlenstoffhaltigen Asteroiden. Es fehlt allerdings jede Spur nach Merkmalen, die auf chemisch gebundenes Wasser verweisen.

Als "chemisch gebunden" wird Wasser bezeichnet, wenn es in die Struktur eines Feststoffes eingebaut ist - bspw. bei feuchten Wohnungen, in denen Wasser in die Wände geriet. Die bisher

ausgemachten Merkmale des Mondes schließen also lediglich chemisch gebundenes, aber kein interstitielles Wasser aus. Interstitielles Wasser wiederum kann bspw. in einem Hohlraum eines anderen Körpers, in diesem Beispiel innerhalb des Mondes, eingeschlossen sein. Aufgrund seiner geringen Dichte wird außerdem davon ausgegangen, dass Deimos einst einer der o.g. "D-Type" Asteroiden war. Daraus würde resultieren, dass Deimos noch nie auf eine Temperatur erhitzt wurde, die ausreicht, um das Wasser im Inneren an Feststoffe zu binden. Aufgrund dieser Hinweise darauf, dass Deimos der erdnächste Versorger für Wasser innerhalb des Erdrbits ist, stellte David Kuck im Jahre 1998 zum ersten Mal seinen Vorschlag vor, eine "Deimos Water Company" zu gründen, um den erdnahen Weltraum mit der wertvollen Ressource versorgen zu können. Kuck setzt bei der Umsetzung auf "Kuck Mosquitoes".

Diese kleinen, unbemannten Raumschiffe sollen aus nicht viel mehr als Bohranlagen, Hezelementen und einem Lagerkessel bestehen, zu Deimos fliegen und Wasser extrahieren. Einen kleinen Teil des extrahierten Wassers würden sie dabei als Treibstoff nutzen, um Deimos zu verlassen.



Kuck Drill Rig

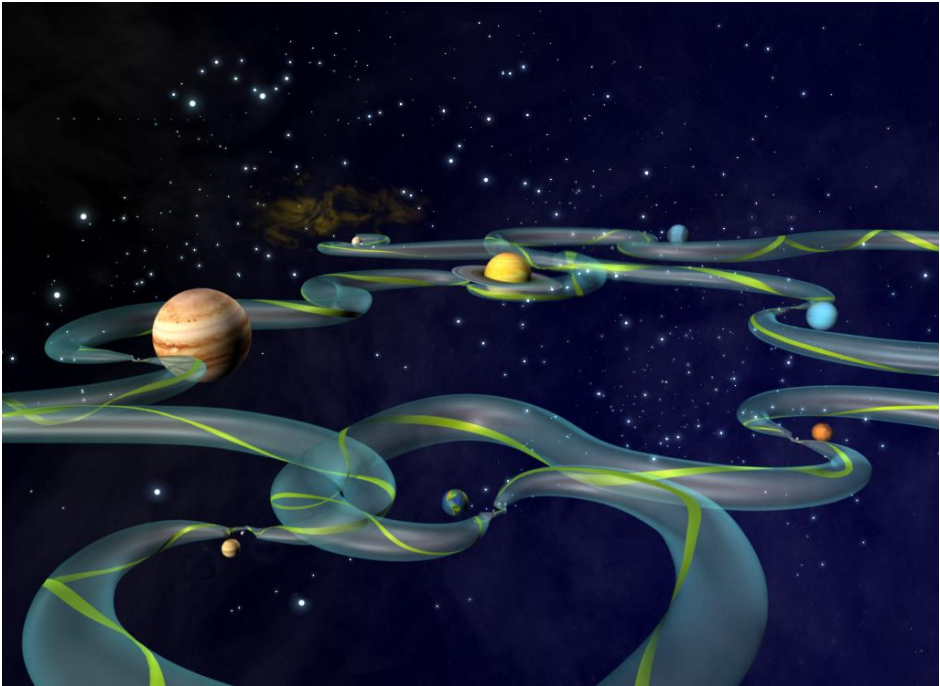
**Klingt recht solide, finde ich.** Klar, Wasser an Bord herzustellen wäre sicher komfortabler, aber man kann sich die Gesetze der Physik nun mal nicht aussuchen. Wenigstens haben wir eine Lösung für unseren Wassermangel gefunden. Was steht als nächstes an?

**Die Frage des Ressourcentransports.** Sollten wir Weltallgestein und dessen Mitbringsel nutzen, um uns daraus Kolonien zu bauen, werden wir viele Trips durch unser Sonnensystem unternehmen müssen. Wird das nicht kostspielig, in Hinsicht auf Treibstoff und dadurch erzeugte Beschleunigungs- und Abbremsenergie?

**Nein,** darum brauchen wir uns ausnahmsweise mal nicht zu sorgen. Möchten wir reine Frachttransporte innerhalb unseres Sonnensystems unternehmen, so können wir dafür beinahe kostenfrei - in Hinsicht auf Treibstoff - das "**Interplanetary Transport Network**" nutzen.

Dabei handelt es sich nicht um eine von weiterentwickelten Menschen im Weltall errichtete Version der A42, wie der Name vermuten lässt, sondern um ein Transportnetz, das aus einer Ansammlung von Schwerkräften verschiedener Körper besteht. Diese bilden gemeinsam eine Reisemöglichkeit für Objekte, die nur sehr wenig Energie beansprucht.

Das Objekt kreist hierbei antriebslos um zwei Körper an sogenannten "Lagrange-Punkten" entlang. Wenn das Objekt den Teil der Umlaufbahn absolviert hat, der für eine Beförderung ans Ziel effizient ist, nutzt es einen kleinen Antriebsschub, um aus diesem Gravitationsfeld zu entkommen und in das nächste zu gelangen. Diese Trips dauern zwar länger als die eines stark beschleunigten Raumschiffs, doch sollte uns das bei reinem Frachttransport und diesem sehr langfristig ausgelegten Projekt keinen Strich durch die Rechnung machen.



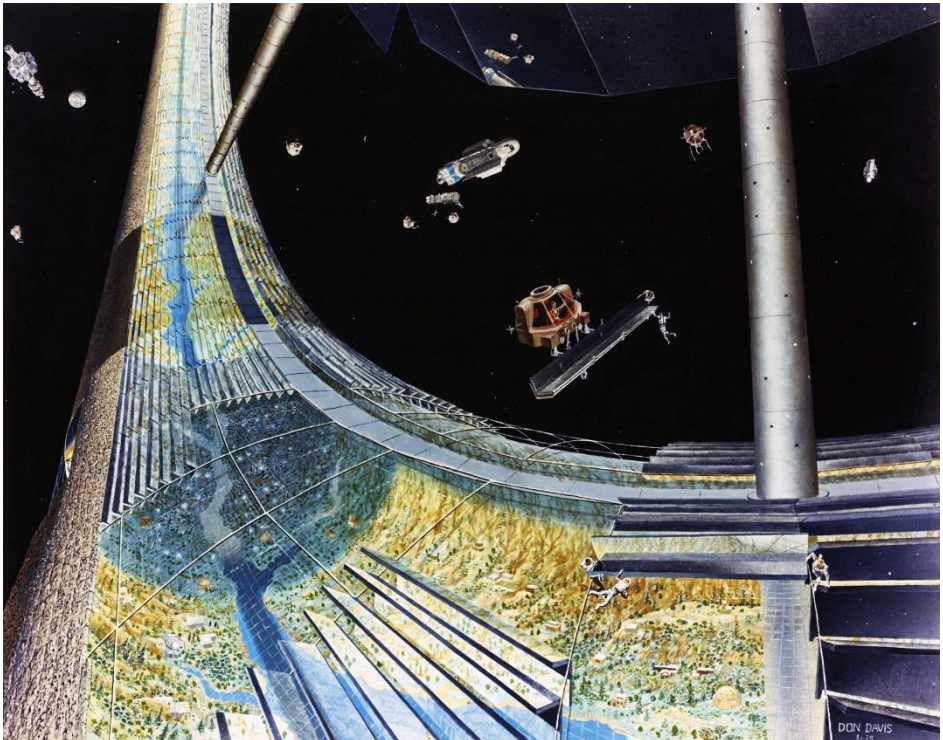
Visualisierung des "Interplanetary Transport Network". Die dünne, grüne Linie innerhalb des dunkleren Rohrs stellt einen von zahlreichen, mathematisch möglichen Wegen entlang des Transportnetzwerkes dar. Punkte, an denen sich die Zielrichtung des Rohres zu ändern scheint, sind Austrittspunkte aus dem Gravitationsfeld bei den sogenannten "Lagrange-Punkten".

Nachdem wir nun alle "Wie?"s geklärt haben, können wir anfangen, praktisch zu denken. Beinhaltet der Asteroidengürtel genug Materialien für unsere Space Habitats?

Ich frage euch an dieser Stelle mal, um euch einen Einblick in die Dimensionen zu verschaffen, die das Konzept der Space Habs ermöglicht:

Was meint ihr, wie groß muss der Durchmesser eines Asteroiden ungefähr sein (rund, ~oval-geformt), damit wir mit seinen enthaltenen Ressourcen ein Space Habitat errichten könnten, dass **dieselbe Landfläche wie die Erde** besitzt?

Zuerst einmal: ~95% der Masse, die wir für den Bau dieses Space Habs bräuchten, würde aufgebraucht werden, um das Hab von außen vor kosmischer Strahlung zu schützen. Als Beispiel für die Verwirklichung nutzen wir ein Space Hab nach dem "Stanford Torus" Prinzip.



NASA Art from the 70's for the Stanford Torus, Source/Quelle: NASA Ames Research Center.

Kommt euch bekannt vor? Falls ja, ich denke, ich weiß woher. Im Film "Elysium" mit Matt Damon steht ein Space Hab dieser Art im Vordergrund der Geschichte. Das Projekt wirkt für diejenigen von euch, die den Film gesehen haben, sicherlich wie ein nicht-verwirklichbares, utopisches Konzept der Science-Fiction, doch entspringt das Stanford-Torus Konzept einem Studienprogramm der NASA, das an der Stanford University durchgeführt wurde und ist fortlaufend viel zahlreicher durchgerechnet worden, als diese utopische Grafik vermuten lässt.

### **Stürzen wir uns nun selbst in die Mathematik.**

Bereits vorangegangene Rechnungen bezüglich des Torus fanden heraus, dass ein Habitat mit einer Lebensfläche von 0.68 Quadratkilometern 10 Millionen Tonnen Material benötigen würde. Daraus ergeben sich:

$$10.000.000 \text{ t} / 680.000\text{m}^2 = 14,7 \text{ t/m}^2$$

t = Tonnen

Wir benötigen also 15 Tonnen Material für den Bau und Schutz eines Quadratmeters Lebensfläche innerhalb des Habitats. Ein riesiger Himmelskörper des Asteroidengürtels - der Größte beispielsweise: Ceres - besitzt eine Dichte von 2.077 Tonnen pro Kubikmeter. Nutzen wir seine Ressourcen zum Bau eines solchen Habitats, so werden wir also ungefähr  $15 / 2 = 7.5$  Kubikmeter Material für einen Quadratmeter Lebensraum im Habitat benötigen.

Nun berechnen wir , wie groß die Masse sein wird, die wir für den Bau letzten Endes benötigen werden. Dazu nutzen wir die Fläche der Erde (unsere Zielfläche) und die "Höhe" derselben Fläche im Bau des Space Habitats:

148.300.000 km<sup>2</sup> (Erdoberfläche) \* 0.0075 km (7.5 m<sup>3</sup> Material pro m<sup>2</sup> Lebensraum) = 1.112.250 km<sup>3</sup>

**Nun müssen wir nur noch den Radius des Asteroiden berechnen, der dieses Material für uns bereitstellen würde:**

$$1.112.250 / ((4 * \pi) / 3)^{1/3} = \sim 64.27 = r$$

Es bräuchte also lediglich einen einzigen Asteroiden mit einem Durchmesser von 128.5km, um einen vor Strahlung geschützten Lebensraum im Weltall zu bauen, der so viel Fläche bereithält wie unser Heimatplanet.

**Immer noch nicht beeindruckt?**

Ceres, der größte Himmelskörper des Sonnensystems, allein hält genug Material für über 400 dieser Habitate bereit, die jeweils genau so viel Lebensraum beinhalten wie unsere Erde. Ceres macht "nur" 31% der Masse aller Asteroiden unseres Sonnensystems aus, was darauf schließen lässt, dass alle zusammen möglicherweise den Bau von 1200+ dieser Space Habs ermöglichen. Das bedeutet, wir haben Platz für 1200x so viele Menschen wie jetzt. Ihr seht also: Es gibt mittelfristig keinen Grund, unser Sonnensystem aus Platzmangel zu verlassen.

Ich habe in dieses Kapitel viel mehr Zeit und Arbeit für Recherche investiert als in alle Bisherigen, was allerdings schlicht daraus resultiert, dass es so deutlich wichtiger ist. Der Mars besitzt ungefähr dieselbe Landfläche wie die Erde, doch gibt es in unserem Sonnensystem nur einen davon. 1200 davon klingen doch deutlich relevanter, oder?



## 7.2.2 Energieerzeugung für Space Habs

Eigentlich wollte ich nur über die koloniale Entwicklung des zukünftigen Menschen und nicht über die damit verbundene Technologie sprechen, doch habe ich nun das Gefühl, dass es interessant sein könnte, zu erfahren, wie man 1200 Zivilisationen mit Strom versorgt, die allesamt so groß sein könnten wie unsere Erdbevölkerung.

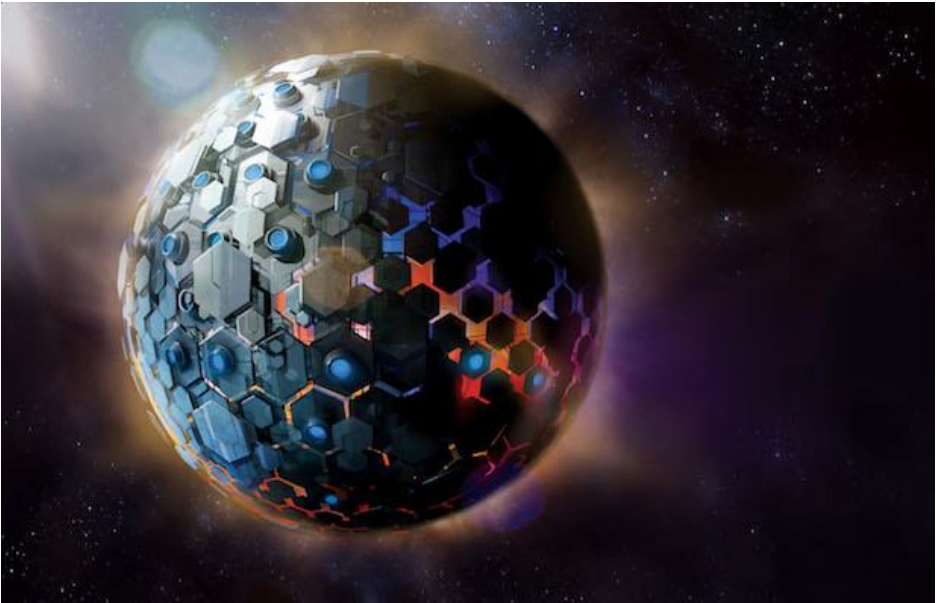
Eine Verdopplung der Energie, die wir auf unserem Planeten zu diesem Zeitpunkt produzieren, wäre mit effizienter Fusionsenergie und zahlreichen erneuerbaren Energieerzeugern bestimmt möglich. Eine Erhöhung um das 1200-fache des Momentanwertes scheint aber nicht denkbar, zumindest nicht, wenn man dafür nur Ressourcen unserer Erde verwenden würde. Das würde ja schließlich bedeuten, dass wir momentan nur 1/1200stel des Potentials nutzen, das uns zur Verfügung steht. In meinen Ohren klingt das unrealistisch.

Wo nehmen wir also die Energie für all unsere Kolonien her?

Sollen wir den Mond, den Mars und die Venus etwa mit zigtausenden Atomkraftwerken versehen?

Nein. Weshalb uns die Teile Probleme bereiten, brauche ich bestimmt nicht zu erläutern. 3.6 Röntgen und so. Stattdessen könnten wir ein futuristisches Konzept wie die sogenannte "Dyson-Sphäre" nutzen, um nahezu die gesamte, verfügbare Energie unseres Sonnensystems einzufangen.

Eine Dyson-Sphäre ist ein Bauwerk bzw. eine Ansammlung von Bauteilen, genauer gesagt - Solarzellen - die um die Sonne herum platziert werden. Unsere Sonne produziert so viel Energie, wie 100.000.000.000.000.000.000 unserer effizientesten Reaktoren gemeinsam produzieren könnten.



So würde das Ganze wohl kaum aussehen. Ein so massereicher Körper wie die Sonne zieht mit seiner hohen Gravitation viele Himmelskörper an, die unsere "Hülle" um die Sonne zerstören und dafür sorgen würden, dass diese nach und nach in die Sonne purzelt. Image Credit: J. Wong

Stattdessen ist es wahrscheinlicher, dass wir eine Vielzahl an Solarzellen in die Sonnenumlaufbahn schießen, um dort für uns Solarenergie zu sammeln. Allerdings ist die Sonne ein - für unsere Verhältnisse - gigantischer Stern. Wir würde **30 Billionen** (30.000.000.000.000.000) Solarzellen benötigen und **jede davon** müsste **einen Quadratkilometer** Fläche mitbringen, um ein solches Projekt zu vollenden.

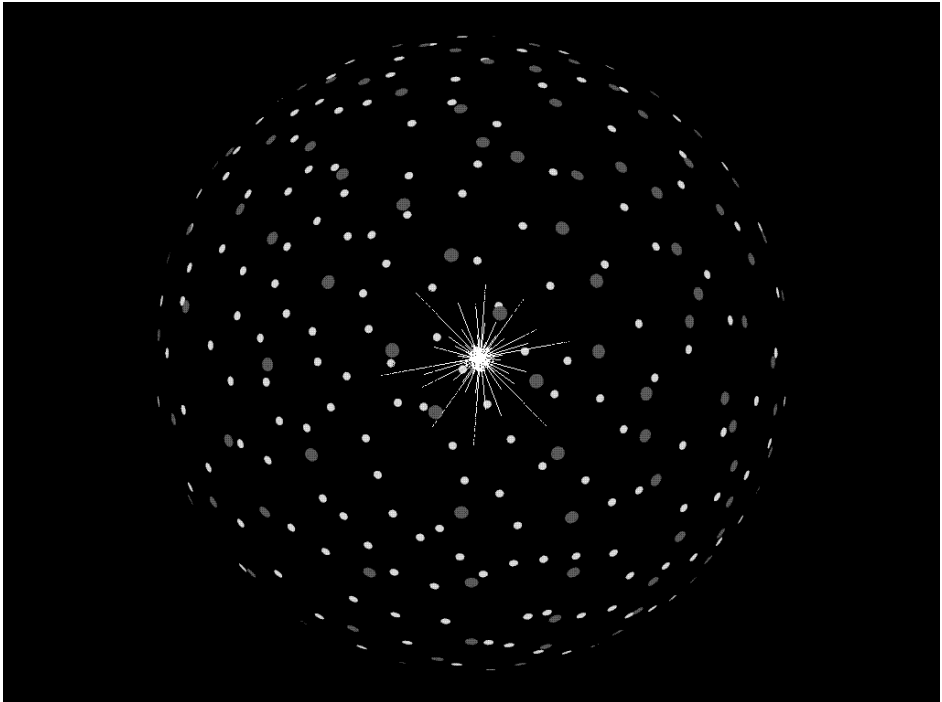
Das muss man erstmal sacken lassen. Warum aber wird über dieses Konzept so oft referiert, wenn es doch scheinbar maßlos überzogen erscheint? Dazu müssen wir uns den gesamten Zyklus dieses Projekts ansehen und fangen dort wie gewohnt "vorne" an.

Für den Projektablauf bedienen wir uns des Konzepts von "George Dvorsky" vom 20.3.2012, welcher sich wiederum auf Forschungen von Stuart Armstrong, Physiker der Oxford University, bezieht. Das Projekt "Dyson Sphäre" würde grob 5 Schritte durchlaufen: Energiebeschaffung, Abbau des Merkurs zur Materialbeschaffung (möglichst autonom), Material in den Orbit schießen, dort Solarzellen aus dem Material herstellen und aus der Nutzung dieser Solarzellen letzten Endes Energie gewinnen.

Wir wählen dabei den Merkur als unsere Baustelle, da Merkur in gemüthlicher Sonnennähe liegt und größtenteils aus nützlichen Baustoffen für unser geplantes Unterfangen besteht. Die Masse des Merkur beträgt  $3.3 \times 10^{23}$  kg, wobei etwas mehr als die Hälfte dessen (Eisen und Sauerstoff) nützlich für unser Projekt erscheint. Die für uns nutzbare Masse des Mars beträgt  $1.7 \times 10^{23}$  kg.

Armstrong schlägt vor, das Projekt in Zyklen von jeweils 10 Jahren zu unterteilen. Die ersten 10 Jahre sollten wir demnach nutzen, um so viel Material abzubauen und zu verarbeiten, wie wir mit der verfügbaren Energie zu Beginn können. Der nächste Zyklus würde dann mithilfe der Energie der bereits funktionstüchtigen Solarzellen betrieben. Während dieses Prozesses können wir uns das exponentielle Wachstum der Energiegewinnung zu Gute kommen lassen. Aus der Energie zweier Solarzellen lassen sich 2 weitere produzieren, aus diesen 4 werden 8, aus diesen 8 daraufhin 16 und daraus wiederum 32.

Nach etwa 60 Verdopplungsprozessen ( $2^{57} = 144.115.188.075.855.872$ ) - oder nach Armstrong: 40 Jahren, also 4 Zyklen - haben wir Merkur für unsere Zwecke gänzlich aufgebraucht. Mit der Energie, die uns daraufhin zur Verfügung stünde, könnten wir die Venus in nur etwa einem weiteren Jahr abtragen.



"Dyson-Schwarm gebildet aus einer Vielzahl von Einzelobjekten"

Auch, wenn Armstrong postuliert, dass die Gesamtenergie, die die Sonne für uns so zur Verfügung stellen könnte, ausreicht, um unsere Bedürfnisse zu sättigen, denke ich nicht, dass das alles ist, was der Mensch anstrebt. Es ist mir nicht möglich, zu sagen, in welchem Jahr wir dieses Konzept verwirklichen können, doch denke ich, es dauert noch einige Jahrzehnte. Vielleicht wird dieser Dyson-Schwarm 100, 200, vielleicht 500, vielleicht 1.000 Jahre lang konstant so viel Energie für uns gewinnen, dass wir keine weiteren Quellen benötigen werden. Doch unser Sonnensystem und Universum wird noch viel länger bestehen als 1.000 Jahre. Wenn der Mensch sich vorher nicht gegenseitig auslöscht, kann er das auch.

Unsere letzte, große Entwicklung wird dieser Dyson-Schwarm wohl wahrscheinlich nicht sein. Doch macht es Sinn, noch weiter in die Zukunft zu sehen und sich zu überlegen, welche Energiequellen wir als nächstes anzapfen können?

Ich denke, eine allgemeingültige Antwort auf diese Frage gibt es nicht. Ich bin mir hingegen sicher, dass sämtliche Prognosen, die wir über eine Zivilisation treffen, die hunderte, wenn nicht Tausende Jahre in der Zukunft lebt, wohl eher dem sprichwörtlichen "im Trüben fischen" als tatsächlicher Wissenschaft entsprechen.

Das ist auch der Grund, weshalb die Dyson-Sphäre, oder genauer gesagt der Dyson-Schwarm das letzte, konkretisierte Konzept sein wird, das ich euch innerhalb dieses Werks näherbringen möchte. Wir konnten uns innerhalb der bisherigen Seiten genug mögliche Zukunftsprojekte der Menschheit anschauen. Mindestens genauso interessant finde ich nun - nennen wir es "abschließend" - die Frage: "Wenn all diese Entwicklungen sinnvoll erscheinen und wir mittlerweile bereits in der Lage sind, weit entfernte Galaxien, Sonnensysteme und Planeten durch unsere riesigen Teleskoprohre zu beobachten, wieso haben wir dann noch keine Dyson-Sphäre entdeckt?"

Wieso haben wir noch keine Sonnensysteme beobachten können, in denen hunderte, planetengroße, elektrisch betriebene Lebensräume verteilt liegen? Das Universum ist viele Milliarden Jahre alt und den Homo Sapiens gibt es erst einige hunderttausend Jahre. Es muss doch eine Zivilisation geben, die noch vor uns angefangen hat, zu existieren. Wenn es auch nur einige tausend Jahre wären, müssten sie technologisch nicht so weit entwickelt sein, dass wir ihre riesigen, leuchtenden Himmelskörper ausmachen können?

Mit diesen und vielen weiteren Fragen will ich mich in den folgenden Kapiteln befassen.

## **8 Die Suche nach außerirdischem Leben**

Wenn wir nach Leben außerhalb unserer Erde suchen, sollten wir erst einmal in unserem Sonnensystem beginnen, finde ich. Die Planeten und Monde dort sind näher als die anderer Sonnensysteme, besser beobachtbar und wenn man genug Hinweise auf Leben auf oder in einem findet, kann man sogar ferngesteuerte Roboter hinschicken, um unsere Hinweise zu überprüfen.

Auf welchen Planeten und Monden unseres Sonnensystems wäre Leben denn überhaupt möglich und welche Hinweise darauf haben wir?

### **Der Merkur**

Angefangen beim sonnennächsten Planeten unseres Sonnensystems muss ich euch leider bereits enttäuschen. Der Merkur ist nah an der Sonne, seine Oberfläche ist extrem heiß und trocken und die Atmosphäre ist deutlich dünner als auf der Erde.

### **Die Venus**

Auch, wenn es, wie wir in Kapitel 7 besprochen haben, wahrscheinlich möglich wäre, die obere Atmosphäre der Venus zu kolonialisieren, so macht das die Oberfläche der Venus leider nicht gastfreundlicher. Die Atmosphäre der Venus besteht zu einem sehr großen Teil aus Kohlenstoffdioxid und der atmosphärische Druck ist deutlich zu hoch, um Leben zu ermöglichen, wie wir es kennen. Außerdem wirkt der Kohlenstoffdioxid auf der Venus wie ein Treibhausgas und erhitzt die Oberfläche auf durchschnittlich 460 °C. Die Sowjetunion schickte im Rahmen des "Venera" Projekts zwischen 1961 und 1984 bereits verschiedene Sonden auf die Venus. Die Mission galt als Erfolg: "Venera 4" war die erste Sonde, die in die Atmosphäre eines fremden Planeten eindrang (18. Oktober 1967), "Venera 7" die erste Sonde, der eine

weiche Landung auf einem fremden Planeten gelang, "Venera 9" lieferte die ersten Bilder der Venusoberfläche (8. Juni 1975) und "Venera 15" bot uns die ersten, hochauflösenden Radaraufnahmen des Planeten (2. Juni 1983). Leider erlagen alle Sonden in einem Zeitraum von 23 Minuten bis ungefähr 2 Stunden der gnadenlos heißen Oberfläche. Forscher vermuten, dass die Venus einst zumindest Wasser beherbergte. Ihnen zufolge sorgten die Bedingungen in der Atmosphäre jedoch dafür, dass der Planet zu heiß wurde und das Wasser verdampfte.

## **Der Mars**

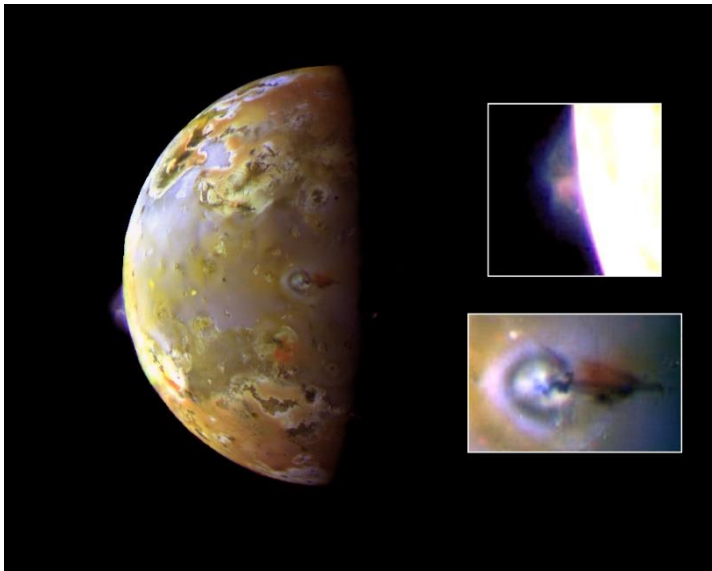
Der Mars ist DER Planet, wenn es darum geht, dass man sich der Existenz außerirdischen Lebens unsicher ist. Wissenschaftler sind sich diesbezüglich seit mehr als einem Jahrhundert unsicher und haben bisher auch nichts dergleichen beweisen können. Zuerst war man sich unsicher und dachte, dass die farblichen Änderungen der Oberfläche darauf zurückzuführen seien, dass Pflanzen auf dem Mars ihre Farbe wechseln - mittlerweile ist man sich jedoch sicher, dass diese farbliche Änderung aus den riesigen Staubstürmen resultiert, die regelmäßig auf dem roten Planeten wüten. Auch, wenn wir glauben, dass auf dem Mars vor langer Zeit Wasser floss, haben wir bisher keinerlei Beweise für die damalige Existenz von Leben auf dem Mars finden können. Wie ihr vielleicht mitbekommen habt, wurde flüssiges Wasser auf dem Mars erst vor ungefähr einem Jahr entdeckt. Es bleibt also spannend, auch, wenn zu erwarten ist, dass es sich bei möglichem Leben auf dem Mars eher um mikrobiologisches als intelligentes Leben handelt.

## Die vielen Monde des Jupiters

Der Jupiter hat nicht einen, nicht zwei, nicht 5 und nicht 9, sondern 79 Monde - zumindest sind das alle, die wir bisher ausmachen konnten. Ist ja auch ein großer Körper, ne... Da kann schonmal einiges zusammenkommen. 4 der großen Monde könnten für uns von Interesse sein: Io, Europa, Ganymede und Callisto.

### Io

Über Io erstrecken sich Vulkane, Seen aus geschmolzenem Schwefel und Lavaflüsse. Wenn wir also nach einem Szenario suchen, das wir für Kampfszenen eines Science-Fiction-Films nutzen können, wissen wir jedenfalls, wo wir hinfliegen können. Leben wiederum finden wir hier nicht, denke ich.



Zwei große vulkanische Eruptionen: Die links am Horizont sichtbare hat eine Höhe von 140 km, die rechts unten vergrößerte eine von 75 km (Galileo, 1997)



## **Europa**

Die Oberfläche Europa's besteht aus einer dicken Eisdecke, die mindestens 3-4 Kilometer und maximal 25 Kilometer dick sein könnte. Viele Wissenschaftler vermuten, dass sich unter dieser Eisdecke flüssiges Wasser befinden könnte, das einen mehr als 40 Kilometer tiefen Ozean bildet. Die 2 besten Hinweise hierfür sind:

1. Magnetometer-Untersuchungen der Galileo-Sonde entdeckten ein induziertes Magnetfeld nahe Europa's Oberfläche, das darauf hin, dass in einer Tiefe von ungefähr 30 Kilometern ein großer Körper aus leitfähigem Material - beispielsweise Salzwasser - liegt.
2. Die Oberfläche Europa's weist Brücke und Aufprallstrukturen auf, die auf bewegliches Material im Inneren des Himmelskörpers zurückzuführen sein könnten.

Das klingt zwar alles sehr schön, solange wir aber noch keine Sonde mit einer überdimensionalen Bohrmaschine und einer Kamera ausstatten und die auf Europa schicken, um uns die Ozeane mal genauer anzuschauen, können wir leider nicht mit Sicherheit sagen, dass Europa Leben beherbergt.

## **Ganymede**

Auch auf Ganymede soll unter einer Eiskruste ein Salzwasserozean liegen. Die Gezeiten Ganymede's produzieren jedoch nicht genug Energie, um das Wasser im Inneren flüssig zu halten, weshalb davon ausgegangen wird, dass ein flüssiger Eisenkern diese Arbeit übernimmt.

Falls wir einen der beiden Unterwasserozeane von Europa und Ganymede besuchen wollen, werden wir uns allerdings eher für Europa entscheiden. Die NASA hat die Eiskruste von Ganymede nämlich mit ungefähr 800 Kilometern angegeben. Ein bisschen viel für unsere Bohrmaschine, wenn ihr mich fragt.

## **Callisto**

Auch auf Callisto findet sich eine Eisschicht und möglicherweise auch ein Ozean wieder.

## **Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und von mir aus auch Pluto**

Kurz und knapp: Diese Planeten (ganz ehrlich, keine Ahnung, ob Pluto jetzt noch oder schon wieder ein Planet ist, ich bin auch zu faul, das jetzt zu recherchieren) liegen außerhalb der habitablen Zone und bekommen so deutlich zu wenig Sonnenstrahlung ab, um Leben zu ermöglichen.

Wir könnten uns nun frustriert darüber zeigen, dass in unserem Sonnensystem kein zweiter Planet mit solch angenehmen Voraussetzungen für Leben wie unsere Erde existiert, doch könnten wir auch einfach in andere Sonnensystem oder sogar in andere Galaxien schauen:

## **Gibt es dort überhaupt erdähnliche Planeten?**

Eine Analyse hat ergeben, dass ungefähr 22% aller Sterne, die wir an unserem Nachthimmel sehen, von einem Planeten umkreist werden, der, genau wie die Erde,

in dessen habitabler Zone liegt. Damit kämen wir auf eine Anzahl von erdähnlichen Planeten in der Milchstraße, die im zweistelligen Milliardenbereich liegt. Unsere Teleskope mögen nicht ausreichen, um nachzuschauen, ob auf den Planeten schon Fußballfelder und Pommesbuden stehen. Es wäre aber doch denkbar, dass zumindest auf ein wenig von diesen Planeten eine Spezies lebt, die vor uns anfing, zu existieren. Daraus würde resultieren, dass diese Spezies auch weiterentwickelt ist, und, wie wir in den vorangegangenen Artikeln feststellten, dass sie sich in ihrem Sonnensystem ausgebreitet haben sollte.

Damit leite ich die interessanteste Frage dieses Kapitels ein:

### **Wo sind die ganzen Aliens?**

Mir gefällt der Begriff "Alien" übrigens nicht. Klar, übersetzt würde es nur bedeuten, dass sie uns fremd sind, doch das Wort "Alien" liefert für mich in der deutschen Sprache einen bitteren, trashigen Beigeschmack, bei dem ich an "Alien: Covenant" und "Alien vs. Predator" erinnert werde.

### **Ich schweife ab.**

Etwas fachlicher ausgedrückt stellen wir uns also die Frage:

### **Warum finden wir in unserer Galaxie keinen Beweis für Leben?**

Die Antwort auf diese Frage könnte sein, dass wir einfach Glück hatten. Das die Voraussetzungen auf der Erde viel, viel seltener sind, als wir dachten und die meisten primitiven Spezies bei Naturkatastrophen sterben und deshalb keine weitere intelligente Spezies existiert. Das wäre vielleicht etwas langweilig, da wir dann allein wären, aber es hätte auch eine gute Seite: Es würde erstmal nicht für den sogenannten "Großen Filter" sprechen.

Der große Filter ist nämlich die andere Antwort, die diese Frage ebenso gut beantworten könnte und außerdem eine Antwort auf das sogenannte "Fermi-Paradoxon". Das - und den komischen Filter, der hoffentlich nichts mit diesen Uploadfiltern zu tun hat - schauen wir uns nun genauer an.

## 8.1 Das Fermi-Paradoxon

Wir haben uns bereits vor Augen gehalten, wie viele Planeten in unserer Galaxie potentiell leben beherbergen könnten. Noch viel merkwürdiger als die Tatsache, dass wir auf keinem dieser Planeten überhaupt irgendein Leben beobachten konnten, ist die Tatsache, dass unser Planet erst ungefähr 4.5 Milliarden Jahre alt ist. Ein Großteil der Planeten, die innerhalb unserer Galaxie prinzipiell bewohnbar sind, ist bereits früher entstanden, was bedeutet:

Wenn auf nur einem dieser Planeten Leben begonnen hat zu existieren, müsste das intelligente Leben auf diesem Planeten bereits viel weiter als wir und damit für uns sichtbar sein. **Ist es aber nicht.**

Lasst uns dafür unsere Erde mit einem Planeten vergleichen, nennen wir ihn "Planet 0", der 3.5 Milliarden Jahre älter, also 8 Milliarden Jahre alt ist. Wenn wir davon ausgehen, dass die Evolution auf Planet X ungefähr genauso schnell / langsam verläuft wie auf der Erde, müsste uns die Zivilisation auf diesem Planeten 3.5 Milliarden Jahre voraus sein. Sollte die Evolution langsamer verlaufen, sind es meinetwegen auch nur 2 Milliarden, 1 Milliarde oder 2 Millionen Jahre. Wie wir in vorangegangenen Kapiteln bemerkten, reichen bereits 1.000-2.000 Jahre für uns aus, um uns so weit zu entwickeln, dass die Existenz intelligenten Lebens in unserem Sonnensystem auch für die meisten Außenstehenden in unserer Galaxie sichtbar wäre.

Wir können uns gar nicht ausmalen, wie fortgeschritten eine Zivilisation sein muss, die uns 3.5 Milliarden Jahre voraus ist - wir können es uns ja nicht einmal von einem Tausendstel (3.5 Millionen Jahre) oder einem Millionstel (3.500 Jahre) vorstellen.

Um uns das aber doch etwas genauer vorstellen zu können, nutzen wir die Veranschaulichung der Entwicklung einer Spezies durch den russischen Astronom Nikolai Kardaschow:

Kardaschow entwickelte die sogenannte "Kardaschow-Skala", eine Kategorisierung von intelligentem Leben in Entwicklungsstufen, um uns vor Augen zu halten, wie weit wir entwickelt sind und wie weit andere Spezies bereits entwickelt sein könnten.

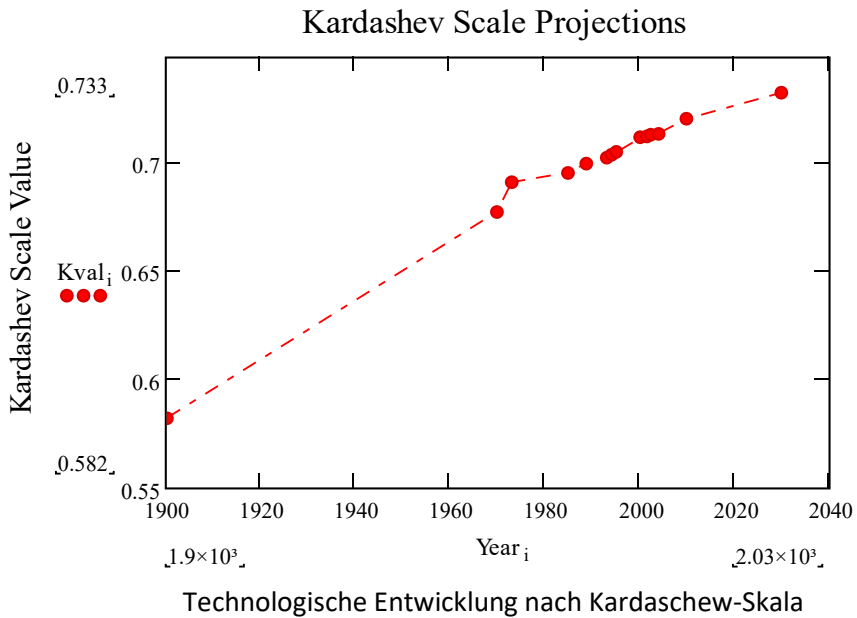
Die Kardaschow-Skala unterteilt die Entwicklung einer Spezies grundsätzlich in 3 Typen.

Eine Typ-I (Typ 1) Zivilisation ist in der Lage, die gesamte Energie ihres Heimatplaneten zu nutzen. Dies entspräche ungefähr  $10^{17}$  W (im Fall der Erde  $1.74 \cdot 10^{17}$  W).

Eine Typ-II (Typ 2) Zivilisation ist in der Lage, die gesamte Energie des zentralen Sterns ihres Sonnensystems zu nutzen. Dies entspräche ungefähr  $4 \cdot 10^{26}$  W.

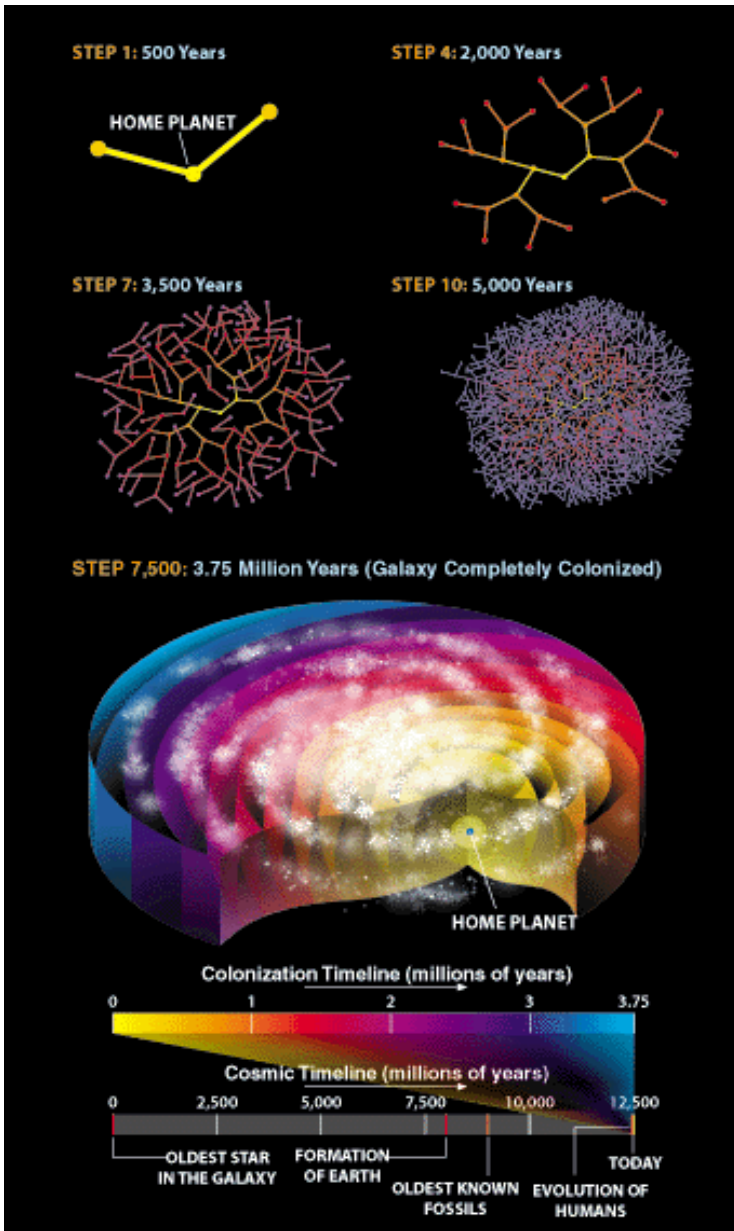
Und eine Typ-III (Typ 3) Zivilisation wiederum wäre in der Lage, sämtliche Energie innerhalb ihrer Galaxie für sich zu nutzen. Dies wären in etwa  $4 \cdot 10^{37}$  W.

Die Menschheit wurde von Carl Sagan, einem US-amerikanischen Astronom, als Typ-0.7 Zivilisation kategorisiert. Er nutzte dafür eine Formel, die unsere momentane Energieerzeugung auf der Erde mit der maximalen Energieerzeugung der Erde



Eine Hypothese von Robert A. Freitas Jr. besagt, dass eine sinnvolle Kolonisation der gesamten Galaxie von einer weiter entwickelten Spezies mithilfe autonomer Maschinen unternommen würde. Diese würden auf einem Planeten landen, ungefähr 500 Jahre benötigen um die Rohmaterialien des Planeten abzutragen und daraus neue Maschinen herzustellen, die dasselbe Ziel verfolgen. Aus dem sich daraus ergebenden, exponentiellen Wachstum resultiere, dass eine Spezies, die dieses Konzept umsetzt und sich nicht einmal ansatzweise mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, 3.75 Millionen Jahre benötigen würde, um die gesamte Galaxie durchforstet zu haben.

3.75 Millionen Jahre klingen natürlich erstmal heftig, sind allerdings ein Wimpernschlag, wenn man sie mit der Zeit vergleicht, die uns Planet 0 voraus ist. Genauer gesagt ist es ja ungefähr ein Tausendstel dieser Zeit.



Source: Scientific American: "Where Are They"

Wenn wir pessimistisch denken und davon ausgehen, dass nur ein einziger Prozent der intelligenten Spezies in unserer Galaxie in der Lage war, sich so weit zu entwickeln und sich vorher nicht in unnötigen Atomkriegen, Klimakrisen oder durch Nachhelfen einer Naturkatastrophe ausgelöscht hat, so bleiben immer noch 1.000 Typ-III Zivilisationen, die wir in unserer Galaxie allein antreffen müssten. Selbstverständlich ist das nicht möglich, denn nicht 1.000 Zivilisationen können gleichzeitig die gesamte Energie derselben Galaxie anzapfen. Dann gäbe es Krieg - oder, für den Fall, dass diese intelligenten Spezies tatsächlich intelligent sind - verschiedene Territorien. In unserer Galaxie müsste der Teufel los sein. Stattdessen sitzen wir auf unserem blaugrünen Stein in einem einsamen Sonnensystem und sehen keinen Arsch weit und breit, nicht einmal, wenn wir durch unsere Teleskope schauen.

**Ja, wo sind die denn alle, verdammt nochmal?**

**Ja, gute Frage, keine Ahnung.** Liegt jetzt aber ausnahmsweise mal nicht daran, dass ich über etwas schreibe, von dem ich keine Ahnung habe. Ich bin da nämlich nicht der Einzige. Willkommen beim Fermi-Paradoxon.

Wie der Name schon verrät, werde ich euch auch in den nächsten Seiten keine eindeutige Antwort dazu liefern können, sonst würde mir wohl der Nobelpreis oder so verliehen werden. Das bedeutet allerdings nicht, dass wir keine Theorien darüber aufstellen können, weshalb wir allein sind. Wir müssen uns theoretisch auch gar nicht die Mühe machen, selbst welche aufzustellen, Theorien dieser Art stehen zu genüge im Raum.



### 8.1.2 Mögliche Erklärungen für das Fermi-Paradoxon

Eine mögliche Erklärung wäre, dass tatsächlich keine weit entwickelten, anderen Zivilisationen existieren. Hier kommt endlich der "große Filter" ins Spiel, von dem ich euch bereits im Voraus erzählt habe. Die Theorie des großen Filters besagt, dass es ein oder mehrere "Events" in der Geschichte einer intelligenten Spezies gibt, die diese Spezies ausrotten. Das könnte alles Mögliche sein. Von einem Atomkrieg über Klimawandel bis zu dem Betätigen des falschen Knopfs in einem zukünftigen Fusionsreaktor. Der große Filter würde demnach dafür sorgen, dass all die Spezies, die wir sehen müssten, zwar existierten, aber alle ausgestorben sind, da sie diesen Filter nicht überwinden konnten. Wenn wir in der Geschichte der Menschheit zurückblicken, finden wir auch einige "Filter", die wir allerdings zum Glück überstanden haben. Da wären beispielsweise der erste und zweite Weltkrieg, besonders der zweite, da dort Atomwaffen eingesetzt wurden. Es wäre denkbar, dass, mit den falschen Leuten in hohen Positionen, dieser Krieg deutlich

dramatischer ausgeartet wäre, als er es in unserem Fall ist. Versteht mich nicht falsch, ich möchte damit nicht sagen, dass wir mit schätzungsweise 80 Millionen Toten im zweiten Weltkrieg glimpflich davongekommen sind. Ich möchte nur veranschaulichen, dass wir diesen "Filter" überwunden haben - wenn auch zu einem inakzeptablen Preis.

Gehen wir noch weiter in unsere Vergangenheit zurück, so landen wir im 14. Jahrhundert in Europa, als der "schwarze Tod", die Pest, ausbrach, der ein Drittel der damaligen Bevölkerung Europas zum Opfer fiel. Die Bewältigungsmethoden für diese Seuche waren mit Sicherheit sehr schlecht, da sonst nicht ein Drittel der Bevölkerung Europas daran gestorben wäre, doch hätte diese Seuche noch größere Teile der Welt

befallen und auslöschen können, wären diese Eindämmungsmethoden noch schlechter gewesen.

Die Frage, die für uns in der Gegenwart interessant ist, lautet nun aber:

### **Liegt dieser "große" Filter vor oder hinter uns?**

Auch hier können wir uns die verschiedenen Szenarien genauer ansehen. Beginnen wir mit dem Schönsten:

#### **Szenario 1: Der große Filter liegt hinter uns.**

Das würde uns und unsere technologischen Entwicklungen zu einer extremen Rarität machen. Aber warum sollten Spezies wie unsere denn bereits an diesem Punkt verkackt haben? Was kann denn bis hierhin so schrecklich schief laufen? Möglich wäre, dass die Existenz bzw. das Entstehen von Leben noch viel seltener und ungewöhnlicher ist, als wir bisher annehmen. In diesem Szenario hätte bisher außer uns kaum bis gar keine intelligente Spezies in unserer Galaxie existiert. Wir wären quasi der "Mittelpunkt des Universums" - was mich ehrlich gesagt eher ans Mittelalter erinnert. Eine andere Erklärung dafür wäre, dass das Universum in den letzten Milliarden Jahren deutlich weniger lebensfreundlich war als jetzt und wir uns in einer stillen, angenehmen Phase der Entwicklung des Universums befinden. Demzufolge wären vor unserer Existenz entweder keine anderen Lebewesen entstanden oder bereits frühzeitig wieder ausgelöscht worden - durch Gammablitzbeispielsweise. Das würde allerdings auch bedeuten, dass wir an einem Punkt entstanden, an dem es für Lebewesen erstmals möglich wurde, überhaupt zu entstehen. Es wäre also denkbar, dass wir in Zukunft gleichzeitig mit anderen Spezies anfangen, unsere Galaxie zu kolonialisieren.

Ich finde, das ist das interessanteste Szenario, da wir hier keine Typ-III Zivilisation anfinden werden, die uns maßlos überlegen ist. Wenn wir uns nicht dumm verhalten, wäre es denkbar, Handel mit anderen Zivilisationen zu betreiben und Seite an Seite in einem doch nicht so trostlosen Universum zu leben.

## **Szenario 2: Der große Filter liegt noch vor uns**

Eine andere Möglichkeit wäre, dass der große Filter in unserer Zukunft liegt. Das könnte bedeuten, dass irgendeine - beispielsweise technologische - Entwicklung, die so grundlegend und naheliegend ist, dass sie von allen Zivilisationen irgendwann erforscht und getestet wird, das Ende der jeweiligen Zivilisation verheißen hat. Dieses Szenario wäre schrecklich für uns, denn wenn Millionen, wenn nicht sogar Milliarden von intelligenten Zivilisationen denselben Fehler machen, wieso sollten wir ihn dann nicht machen?

Nick Bostrom, Philosoph der Oxford University schrieb in seiner Ausarbeitung "Where are they? Why I hope the search for extraterrestrial life finds nothing", dass die Entdeckung von Leben auf anderen Planeten in unserem Sonnensystem in jedem Fall ein schlechtes Zeichen ist. Das begründet er ungefähr so:

Wenn wir mikrobiologisches Leben finden, beispielsweise auf dem Mars, bedeutet das, dass die Entstehung von Leben schon einmal nicht so unglaublich wahrscheinlich ist, da sie allein in unserem Sonnensystem dann zweimal stattgefunden hat. Umso weiter diese Lebewesen entwickelt wären, umso schlimmer würde es um die Position unseres großen Filters stehen. Das leuchtet ein, denn, wenn wir eine Zivilisation finden, deren Lebensbedingungen denen unseres Mittelalter ähneln, wäre schon einmal klar, dass kein großer Filter in der Zeit bis zum

Mittelalter liegen kann. Finden wir eine Spezies, die bereits Atomwaffen erforscht hat, würde das bedeuten, dass auch Atomwaffen und deren Erfindung keinen großen Filter darstellen. Finden wir eine Spezies, die genau so weit entwickelt wäre wie wir, wären das die schlimmsten Nachrichten, die wir uns vorstellen könnten, denn das würde nahelegen, dass dieser Filter geradezu hundertprozentig in unserer Zukunft liegt.

In Bezug auf diesen Filter könnten wir also froh sein, in unserer Galaxie allein zu sein und könnten aufatmen, wenn wir auch auf allen anderen Planeten, die wir besuchen, keine Lebewesen finden. Ich finde, es wäre dennoch recht langweilig. Die aus Science-Fiction bekannte Vorstellung von der gesellschaftlichen Interaktion zweier völlig verschiedener Spezies - friedlicher Natur selbstverständlich - gefällt mir dabei deutlich besser. Hoffen wir also, dass der Filter hinter uns liegt oder gar nicht existiert.

### **Wie, "gar nicht existiert"?**

Richtig gehört. Der Filter ist nämlich nur eine von vielen Erklärungen für unser Fermi-Paradoxon. Hier sind einige davon:

#### **1. Es gibt viele, weiterentwickelte Spezies um uns herum. Wir sind nur noch nicht in der Lage, sie zu finden**

Möglicherweise sind andere Zivilisation in der Lage, ihre Existenz zu verschleiern, bewusst sozusagen, um dem potentiell tödlichen Kontakt zu anderen Lebewesen aus dem Weg zu gehen. Das könnte erklären, wieso wir bisher nur unbewohnte Planeten fanden.

Eine Möglichkeit dazu wurde von den Forschern Kipping und Teachey bereits vor einiger Zeit vorgeschlagen:

Die Biosignaturen der Erde soll durch Überlagerung von künstlich erzeugten Laserstrahlen für Außenstehende manipuliert werden, sodass es aussieht, als würde die Atmosphäre unseres Planeten kein Leben zulassen. Für einen Laser dieser Art, so sagen die beiden, sei ein Laser mit einer Leistung von 160 Kilowatt nötig. Stephen Hawking warnte bereits vor dem Kontakt, da fremde Lebensformen womöglich mit der Intention bei uns vorbeischaun könnten, nach einem neuen Heimatplaneten, Kolonisationsziel oder einer potentiellen Rohstoffquelle zu suchen. Es wäre also nicht völlig undenkbar, dass auch unsere "Aliens" (ugh) von dieser Methode Gebrauch gemacht haben.

## **2. Es gibt eine weiter entwickelte Spezies und sie beobachtet uns.**

Klingt gruselig und erinnert an einen Zoo. Die Bewahrheitung dieser Theorie würde bedeuten, dass eine technologisch weiter fortgeschrittene Zivilisation uns so lange beobachtet, bis wir an einen bestimmten Punkt der Entwicklung kommen. Dann würde sie wohl entweder Kontakt zu uns aufnehmen oder uns auslöschen. Klingt stupide, aber viel mehr Gründe fallen mir nicht ein, um jemanden zu beobachten. Passt also auf, wer euch in der Bahn anglotzt!

## **3. Möglicherweise haben uns bereits außerirdische Lebewesen kontaktiert, doch die Regierung verschweigt uns das.**

Oookay. Das wäre wohl die erste Theorie, an die jeder Verschwörungstheoretiker denken würde. Im Internet gibt es auch immer wieder neue Artikel, Videos, Bilder etc. etc., die beweisen wollen, dass dies der Fall ist. Ich für meinen Teil glaube das nicht und finde diese Theorie sogar eher idiotisch. Berichte, die über den Kontakt mit Außerirdischen berichten, reichen oft weit ins 20. Jahrhundert zurück, was bedeutet, dass viele Menschen in der Regierung und ähnlichen Einrichtungen von diesem "Geheimnis" wüssten. Das kann ich mir einfach nicht vorstellen,

denn ich bezweifle, dass bei beispielsweise 1.000 Eingeweihten niemand darüber spricht oder diese angeblichen Beweise enthüllt. Natürlich lässt sich darauf auch wieder argumentieren, dass diese Eingeweihten bedroht werden und deshalb alles geheim halten, doch könnten diese Menschen die Beweise ja zum Ende ihres Lebens enthüllen, da sie ja in dieser Hinsicht dann "nichts mehr zu verlieren haben". Ganz ehrlich, ich komme mir vor wie ein Verschwörungsjournalist, wenn ich so eine belegfreie Scheiße hier schreibe. Lasst uns mit anderen Theorien fortfahren.

#### **4. Intelligentes Leben hat die Erde bereits besucht - und zwar vor uns.**

Seit wann sind wir in der Lage, die Geschichte unserer Spezies nachhaltig zu dokumentieren? Seit wenigen Jahren. Seit wann ist die Erde bewohnbar? Seit Millionen von Jahren. Es wäre also durchaus denkbar, dass eine intelligente Spezies unseren Planeten besucht hat, als wir noch nicht da waren oder noch nicht so weit entwickelt waren wie heute. Würde heute eine 550 Meter große Untertasse über Manhattan fliegen, stände das einen Tag später weltweit in jeder Zeitung. Eine andere Zivilisation könnte also die Zeit genutzt haben, in der wir noch keine global vernetzten Nachrichtensysteme hatten.

Auch, wenn es nicht viel Sinn macht, darüber zu spekulieren, ob solche Berichte aus der Vergangenheit nun der Wahrheit entsprechen oder Lügen einer Person sind, die sich wichtigmachen wollte, finde ich diese Theorie sehr interessant. Besonders deshalb, weil mehrere, ältere Gemälde - beispielsweise bereits aus dem 15. Jahrhundert - unbekannte Objekte in der Luft beinhalten. Sie werden dort zwar oft als Götter abgetan, was in Hinblick auf die damalige Wissenslage völlig nachvollziehbar ist, lassen aber viel Platz für Spekulation.



"The Annunciation, with Saint Emidius", by Carlo Crivelli

Darstellen soll dieses Gemälde beispielsweise die Verkündigung des Herrn. Gemalt wurde es für die römische, katholische Kirche Santissima Annunziata. Der gelbe Strahl aus der Luft soll vom heiligen Geist hervorgerufen worden sein. Da die gemalte Situation der Kreativität des Künstler entspringt, ist hier allerdings wohl kaum mit einer UFO-Sichtung zu rechnen.



Madonna mit Kind und dem Johannesknaben, vermutlich von Sebastiano Mainardi

Dem Vordergrund dieses Bilds, in dem das Jesuskind zu sehen ist, schenken die meisten Menschen weit weniger Beachtung als dem merkwürdigen, fliegenden Objekt im Hintergrund. Ein Mann scheint hinauf zu schauen und ein Hund neben ihm scheint das Objekt ebenfalls zu beobachten. Ob das Objekt auch nur ein himmlisches Symbol oder ein unbekanntes, tatsächlich existentes Objekt darstellen soll, bleibt wohl ungeklärt.

## **Interessant? Vielleicht.**

Aber ich würde sagen: Genug UFO-Theorien für dieses Buch.

### **5. Die Erde liegt möglicherweise in einem einsamen Teil der Galaxie**

Da wir mit unseren ausgesandten Signalen bisher nur ungefähr 100 Lichtjahre und damit 0.1% der gesamten Galaxie erreicht haben, wäre es möglich, dass in diesem kleinen Bereich um uns herum tatsächlich niemand lebt, ein anderer Teil der Galaxie vor Leben jedoch blüht.

### **6. Fortgeschrittene Außerirdische haben Besseres zutun**

Eine Zivilisation, die Space Habs bauen und ihr Sonnensystem damit kolonisiert hat, könnte der Ansicht sein, dass diese Ausbreitung ihrer Art genügt. Möglicherweise haben sie gar kein Interesse daran, den Rest der Galaxie zu erkunden. Sie könnten ihre Gedächtnisse in einem sogenannten "Matrioshka-Gehirn" hochgeladen und in eine Simulation eines von ihnen erstellten Universums versetzt haben, die deutlich angenehmer ist als das Leben in unserem Universum. Weitere Informationen über das Konzept des Matrioshka-Gehirns findet ihr im Quellenverzeichnis.

### **7. Alle anderen Spezies sind nicht grundlos still**

Wenn irgendwo in unserer Galaxie oder einem anderen Teil des Universums eine Typ-III Zivilisation lebt, die die Ressourcen und Planeten anderer Zivilisationen an sich reißt, würde es nur Sinn machen, wenn alle anderen Zivilisationen keine Signale versenden. Wir sollten also vorerst auch vorsichtig sein, wohin wir unsere Signale schicken und ob wir überhaupt welche verschicken.



Es gibt noch weitere, vorgeschlagene Antworten auf die Fragen des Fermi-Paradoxon. Ich beschränke mich jedoch auf diese, da ich sie für am relevantesten halte (bis auf die 3. Theorie, die ist purer Schwachsinn, denke ich. lol).

Wie wir wissen, wissen wir nichts. Auch, wenn wir noch keine Beweise für eine dieser Theorien gefunden haben, ist es wichtig, sich als Spezies damit auseinander zu setzen. Würden wir ignorant übersehen, dass alles um uns herum tot und leer ist, wären wir möglicherweise weniger vorsichtig. Und wenn wir schon nicht wissen, ob eine zukünftige Entwicklung unsererseits unser Ende bedeutet, dann brauchen wir genau das. Vorsicht.

Alle von mir als relevant empfundenen Aspekte der Zukunft unserer Raumfahrt haben wir nun besprochen. Wir haben in unsere nahe, ferne und sogar möglicherweise niemals existente Zukunft geschaut und uns sogar nach unseren Nachbarn umgesehen.

Wir sind also nun an diesem Punkt, an dem es nicht mehr viel zu erzählen gibt. Die zukünftige Geschichte der Menschheit ist an diesem Punkt unbestimmt. Ich habe genau so wenig Ahnung wie ihr, was wir an diesem Punkt in unserer Zukunft tun werden. Komisch, oder? Wir existieren seit ein paar tausend Jahren, das Universum wird noch Milliarden von Jahren bewohnbar für uns sein und wir wissen nicht einmal, was wir in ein paar Millionen davon tun.

Das Einzige, was wir jetzt noch über unsere Zukunft erforschen können, sind unsere Grenzen. Denn es gibt sehr wohl Grenzen, an die wir uns auch noch in einigen Millionen Jahren werden halten müssen. Lasst uns also abschließend darüber sprechen, wo unser Highscore liegen könnte.

## 9 Wo liegen unsere Grenzen?

Unsere Galaxie, die Milchstraße hat einen Durchmesser von ungefähr 100.000 Lichtjahren. Sie befindet sich, zusammen mit vielen anderen Galaxien, der Andromeda-Galaxie beispielsweise, innerhalb der sogenannten "Lokalen Gruppe". Die lokale Gruppe wiederum ist eine von hunderten Galaxiegruppen innerhalb des "Laniakea", einem Supergalaxienhaufen, bestehend aus unserer lokalen als auch vielen weiteren Galaxiegruppen. Laniakea wiederum ist nur einer von Millionen Supergalaxienhaufen innerhalb des für uns beobachtbaren Universums. Das bedeutet, die Menschheit hat extrem viele Möglichkeiten, sich auszubreiten, oder nicht?

**Jein.** In Relation zu unserer momentanen Entwicklung kann man schon sagen, dass wir noch sehr viel vorhaben. In Relation zur Größe des Universums jedoch nicht. Alles, was wir je bewohnen, kolonialisieren oder besuchen können, ist die lokale Gruppe. Die lokale Gruppe macht 0.00000000001% des Universums aus, was bedeutet, dass wir 99.9999999999% des Universums nie zu sehen bekommen.

Aber warum ist das so? Woher will ich wissen, dass wir niemals weiterkommen werden? Der Grund dafür ist "dunkle Energie". Ja, ich weiß. Das klingt total trashig. Ich hab mir diesen Begriff aber auch nicht ausgedacht. Bedankt euch bei Michael S. Turner, einem US-amerikanischen Astrophysiker, der ist nämlich stattdessen für den Namen zuständig. Was wie eine Macht aus Star Wars oder dem Marvel-Universum klingt, ist aber real und sorgt dafür, dass wir auf unseren Fleck im Universum begrenzt werden. Wir wissen zwar nicht, wie genau dunkle Energie funktioniert, doch was wir wissen ist Folgendes: Dunkle Energie sorgt dafür, dass die Ausweitung des Universums beschleunigt wird. Unsere lokale Gruppe stört das erstmal eher weniger, da die Objekte innerhalb unserer Gruppe gravitational aneinandergebunden

sind. An andere Gruppen sind wir allerdings nicht gebunden. Mit der Ausweitung des Universums vergrößern sich also die ohnehin schon gewaltigen Distanzen zwischen den verschiedenen Gruppen, was dazu führt, dass wir zunehmend schnellere Transportmittel entwickeln müssten, um dieser Entwicklung standzuhalten.

### **Es kommt aber noch härter.**

Charles Bennett zufolge, Physiker der Johns Hopkins University, ist es im Rahmen dieser Ausweitung möglich, dass sich das Universum schneller als das Licht ausweitet. Albert Einsteins Theorie, dass sich nichts schneller als das Licht bewegen kann, wird dadurch allerdings nicht verworfen, da das Universum grundsätzlich aus "nichts" besteht. Da wir, materie-gebundene Wesen, uns aber nicht so schnell wie das Licht und erst recht nicht schneller bewegen können, werden wir dieser Entwicklung nicht standhalten können und uns auf unser Leben innerhalb der lokalen Gruppe begrenzen müssen. Auch Photonen werden nicht mehr in der Lage sein, uns zu erreichen, sobald die Beschleunigung der Ausweitung unseres Universums die Lichtgeschwindigkeit überschreitet.

Das bedeutet für uns, dass wir außer unserer lokalen Gruppe nichts mehr sehen können. Wo auch immer wir hinsehen, wir sehen nichts.

Es ist aber nicht so, als säßen wir damit im Glashaus, denn unsere lokale Gruppe wird auch von niemandem mehr gesehen werden können, der sich außerhalb befindet. Spezies in der Zukunft werden denken, das Universum ist statisch, bewegt sich nicht und besteht lediglich aus ihrer lokalen Gruppe.

## Sollte uns das stören?

Nein. Das sollte es nicht. Zumal es euch noch deutlich weniger tangieren kann als Zivilisationen der Zukunft, da ihr von all dem nichts mitbekommen werden. Auch die Zivilisationen der Zukunft sollten und werden sich von diesem Ereignis hoffentlich nicht deprimieren lassen.

Denn das Universum wird noch viel, viel, viel länger existieren, als du glaubst. Möglicherweise wird es damit niemals aufhören. Gehen wir nach der heutigen Entwicklung und unserem momentanen Wissenstand, so werden nach ungefähr

10.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000

( $10^{40}$  Jahren)

alle massereichen Körper verschwunden sein. Keine Planeten, keine Sterne, keine Sternenreste, kein einziges Gramm Staub wird übrig sein.

Was übrigbleiben wird, sind lediglich Strahlung, Lichtpartikel und schwarze Löcher. Die sogenannte "Black Hole Era" beginnt. In diesen  $10^{40}$  Jahren wird es also keiner Spezies mehr möglich sein, zu überleben, da sie keine einzige Energiequelle mehr finden kann. Das Universum ist damit aber noch lange nicht gestorben. Schwarze Löcher und die übrige Strahlung wird sich lange Zeit lassen, bis auch sie verschwinden. Um genau zu sein:



und es ist ohnehin schon extrem unwahrscheinlich, also mach daraus, was du willst.

Lass dir endlich scheißegal sein, was andere Menschen von dir denken. Na gut, tu' mir den einen Gefallen und sorg' nach bestem Gewissen dafür, dass du niemandem schadest. Das ist die einzige Regel, die ich dir vorsetzen möchte. Alles andere entscheidest du. Ich möchte mich an dieser Stelle für deine diesmal etwas längere Aufmerksamkeit danken und hoffe, ich konnte dir etwas erzählen, was du noch nicht wusstest.

Falls dem nicht so ist, melde dich ganz schnell bei mir, ich mach' dir nen Platz bei der NASA klar.

Denn auch ich habe beim Schreiben dieses Buches mehr erfahren, als ich ursprünglich wusste, obwohl ich das nicht erwartet hatte. Tatsächlich hatte ich nur vor, ein Buch über den Mars und unsere Kolonialisierung dessen zu schreiben. Mir ist dann aufgefallen, dass das deutlich zu wenig Material war, um es als "Buch" zu veröffentlichen. Das wäre eher eine Hausarbeit für die Uni gewesen. Auch jetzt, mit ungefähr... (weiß gar nicht) 70 Seiten ist das Buch kein Wälzer. Ich habe aber auch versucht, mich auf die wesentlichen Aspekte zu beschränken und nicht künstlich mehr Lesestoff zu erzeugen, als nötig wäre, um den Zusammenhang zu verstehen.

Stichwort künstlicher Lesestoff, hierauf folgt nun nur noch mein Schlusswort. Lies also entweder noch ein paar Seiten weiter oder leg das Buch beiseite und mach dir einen schönen Tag.

*Liebe Grüße und ein erneutes Danke - Gianluca.*

## 10 Schlusswort

Die passendste Frage für dieses Schlusswort wäre meiner Meinung nach "Was erwarte ich mir hiervon?". Die Antwort darauf lautet:

Ehrlich gesagt nicht viel. Ich habe das hier geschrieben, weil ich momentan unter einer chronischen Erkrankung leide und noch keine Besserung in Sicht ist. Da die Probleme, die damit zusammenhängen zunehmend größer werden und meine Leistungsfähigkeit auch zunehmend negativ beeinflussen, schrieb ich das hier, um etwas für den Fall zu hinterlassen, dass all das nicht besser wird. Ich wäre nämlich nicht gerade glücklich, würde ich in 3 Jahren kaum noch in der Lage sein, zu sprechen und zu schreiben und würde wissen, dass ich die 23 Jahre meines Lebens zweckfrei verbracht habe. Stattdessen gebe ich euch etwas mit und versuche, mein bisheriges Wissen innerhalb dieses Buches zu konservieren. Ich habe Angst davor, vergessen zu werden, auch, wenn es unausweichlich ist, doch zumindest will ich, dass meine Familie und meine Freunde sich noch ein paar Jahrzehnte an mich erinnern.

Wenn man monatelang nichts tun kann außer zu schreiben und sich alle paar Wochen mal aufraffen kann, um etwas mit Freunden zu unternehmen, erlangt man so etwas namens "Mortality Motivation". Mortality Motivation beschreibt eine intrinsische Motivation, die daraus resultiert, dass dein Bewusstsein feststellt, wie kurz und verwundbar menschliches Leben ist und, dass dessen Vergeudung nahezu respektlos erscheint. Es ist ironisch, denn jetzt, wo ich kaum etwas tun kann, würde ich am liebsten alles gleichzeitig machen.

Mir hilft das nicht mehr wirklich, schätze ich, doch euch soll es helfen. Legt das Buch weg, schmeißt es in irgendeine nicht allzu hässliche Ecke eures Zimmers und unternimmt etwas.

Mit Freunden. Familie. Wem auch immer. Tut mir nur einfach den Gefallen und macht etwas aus dem, was ihr habt. Danke.

--



**"ENDE"**

**Auf den folgenden Seiten findet ihr noch das  
Quellenverzeichnis.**

## 11 Quellenverzeichnis

- [1] Page 6 (Seite 6): Mars-One, "Why Mars, and not another planet?"
- [2] Page 6 (Seite 6): theplanets.org, "Distances between planets"
- [3] Page 7-8 (Seite 7-8): Mike Brown, inverse.com, "SpaceX Has a Bold Timeline for Getting to Mars and Starting a Colony"
- [4] Page 8-9 (Seite 8-9): Wikipedia, "Starship and Super Heavy"
- [5] Page 7 (Seite 7): Jessica Orwig, 21. April 2015, businessinsider.com, "5 undeniable reasons humans need to colonize mars - even though it's going to cost billions"
- [6] Page 9-10 (Seite 9-10): Fine Line Vector Icons, Big Bundle: Designed by Vectorpocket / Freepik
- [7] Page 11 (Seite 11): Wikipedia, "Sabatier-Prozess"
- [8] Page 11-15 (Seite 11-15): SpaceX, "Mars"
- [9] Page 16 (Seite 16): NASA, 30. Juli 2018, "Mars Terraforming Not Possible Using Present-Day Technology"
- [10] Page 16 (Seite 16): Newsweek, 17.12.2018, "Bill Nye Says Settling On Mars 'Not Likely'
- [11] Page 17-18 (Seite 17-18): Prof. Dr. Ulrich Walter, 06.04.2016, Welt.de, "So ließe sich der Mars zur zweiten Erde machen"
- [12] Page 17-18 (Seite 13-14): Anna Käfer, 30.07.2008, scienceinschool.org, "Leben auf dem Mars: Terraforming des Roten Planeten (übersetzter Artikel, Ursprungstext von Margerita Marinova)
- [13] Page 17-18 (Seite 17-18): "Terraforming", oocities.org

[14] Page 18 (Seite 18): Welt.de, 01.06.2017, "Mars war Millionen Jahre lang lebensfreundlich"

[15] Page 14 (Seite 19): Mars Transition: CC BY-SA 3.0,

[ <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=5888255> ]

[16] Page 20 (Seite 20): Wikipedia, "Theory of everything"

[17] Page 21-24 (Seite 21-24): Robert Walker, 12.01.2014, science20.com, "Will We Build Colonies That Float Over Venus Like Buckminster Fuller's "Cloud Nine"?"

[18] Page 21-22 (Seite 21-22): Wikipedia, "Asteroidenbergbau"

[19] Page 21-25 (Seite 21-25): NASA, "Colonization of Venus"

[20] Page 22 (Seite 22): Wikipedia, "(4) Vesta"

[21] Page 22 (Seite 22): Wikipedia, "(1) Ceres"

[22] Page 23 (Seite 23): Schwefelsäure auf der Venus: Wikipedia, "Sulfuric acid" [https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfuric\\_acid#Venus](https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfuric_acid#Venus)

[23] Page 23 (Seite 23): Wikipedia, "Sonnenöfen"

[24] Page 23 (Seite 23): Wikipedia, "Geodätische Kuppel"

[25] Page 25 (Seite 25): Concept Graphic for Cloud Cities:

<https://accelerator-origin.kkomando.com/wp-content/uploads/2014/12/cloud-city-970x546.jpg>

[26] Page 26 (Seite 26): Wikipedia, "D-type-asteroid"; Wikipedia, "M-type asteroid"; Wikipedia, "S-type asteroid"; Wikipedia, "Extinct comet"; Wikipedia "Carbonaceous chondrite"

[27] Page 26-27 (Seite 26-27): David L Kuck, 08.05.1997, "The Deimos Water Company"

[28] Page 26-27 (Seite 26-27): Wikipedia, "Deimos (moon)"

[29] Page 27 (Seite 27): David L Kuck, 08.05.1997, "The Deimos Water Company"; "Figure 2. Drill rig proposed in "Exploitation of Space Oases" in 1995."

[30] Page 28-29 (Seite 28-29): Wikipedia, "Interplanetary Transport Network"

[31] Page 29 (Seite 29): Stylized depiction of the ITN: By NASA, **[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interplanetary\\_Superhighway.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interplanetary_Superhighway.jpg)**

[32] Page 28-29 (Seite 28-29): Wikipedia, "Stanford Torus"

[33] Page 30 (Seite 30): Space Colony Art from the 1970s, NASA: **<https://settlement.arc.nasa.gov/70sArtHiRes/70sArt/art.html>**

[34] Page 30 (Seite 30): Wikipedia, "List of exceptional asteroids"

[35] Page 25-32 (Seite 25-32): Robert Walker, 17.09.2018, "Asteroid Resources Could Create Space Hubs For Trillions; Land Area Of A Thousand Earths"

[36] Page 33-34 (Seite 33-34): Wikipedia, "Dyson-Sphäre"

[37] Page 33 (Seite 33): "One Hundred Quintillion Times more powerful than our most efficient reactor:"

Ibrahim Semiz\* and Salim Oğur: "Dyson Spheres around White Dwarfs"

[38] Page 34 (Seite 34): Image Credit: J. Wong

**<https://www.spaceanswers.com/futuretech/what-is-a-dyson-sphere/>**

[39] Page 34 (Seite 34): "Thirty Quadrillion Solar Satellites, Each Satellite is a square kilometer:"

George Dvorsky, 20.03.2012, "How to build a Dyson Sphere in five (relatively) easy steps"

[40] Page 35 (Seite 35): George Dvorsky, 20.03.2012, "How to build a Dyson Sphere in five (relatively) easy steps"

[41] Page 33-34 (Seite 33-34): YouTube, "von Neumann probes, Dyson spheres, exploratory engineering and the Fermi paradox", 01.02.2012

**[https://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=zQTfuI-9jIo](https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=zQTfuI-9jIo)**

[42] Page 35 (Seite 35): Wikipedia, "Mercury (planet)"

[43] Page 35 (Seite 35): 60 Verdopplungsprozesse: Kurzgesagt "How to Build a Dyson-Sphere?":

**<https://www.youtube.com/watch?v=pP44EPBMb8A>**

[44] Page 36 (Seite 36): Dyson-Schwarm gebildet aus einer Vielzahl von Einzelobjekten: by Ralf C. Von Rfc, CC BY-SA 3.0,

**<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23028743>**

[45] Page 37 (Seite 37): Wikipedia, "Homo"

[46] Page 38-43 (Seite 38-43): The Possibility and Search for Life in Our Solar System:

**<https://lco.global/spacebook/possibilities-and-search-life-our-solar-system/>**

[47] Page 38-39 (Seite 38-39): Wikipedia, "Venera"

[48] Page 40 (Seite 40): Wikipedia, "Io"

[49] Page 40 (Seite 40): Io,

**<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=612680>**

[50] Page 41 (Seite 41): Geology.com, "Life on Europa"

**<https://geology.com/stories/13/life-on-europa/>**

[51] Page 41-42 (Seite 41-42): NASA Science, "Ganymede"

**<https://solarsystem.nasa.gov/moons/jupiter-moons/ganymede/in-depth/>**

[52] Page 42 (Seite 42): NASA Science, "Callisto"

**<https://solarsystem.nasa.gov/moons/jupiter-moons/callisto/in-depth/>**

[53] Page 42-43 (Seite 42-43): Wikipedia, "Habitable Zone"

[54] Page 42-43 (Seite 42-43): 04.11.2013, Keckobservatory.org, "One In Five Stars Has Earth-Sized Planet In Habitable Zone"

[55] Page 44-56 (Seite 44-56): Tim Urban, 21.05.2014, "The Fermi Paradox", published on "waitbutwhy.com"

[56] Page 43-56 (Seite 43-55): Robin Hanson, 15.09.1998, "The Great Filter - Are We Almost Past It?"

[57] Page 45-46 (Seite 45-46): Wikipedia, "Kardaschow-Skala"

[58] Page 46: Kardashev Scale Projections:

Von Brianpeiris - Eigenes Werk, Gemeinfrei,

**<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4586540>**

[59] Page 46-48 (Seite 46-48): Robert A. Freitas Jr., "A Self-Reproducing Interstellar Probe"

[60] Page 47 (Seite 47): Colonizing the Galaxy: Source: Scientific American: "Where Are They?"

**<https://waitbutwhy.com/2014/05/fermi-paradox.html>**

**<http://www.nature.com/scientificamerican/journal/v283/n1/pdf/scientificamerican0700-38.pdf>**

[61] Page 49 (Seite 49): Wikipedia, "Tode des zweiten Weltkriegs"

[62] Page 49-50 (Seite 49-50): Wikipedia, "Schwarzer Tod"

[63] Page 51-52 (Seite 51-52): Nick Bostrom, "Where Are They?"

[64] Page 52-53 (Seite 52-53): Spiegel.de, 01.04.2016, Eine Laser-Tarnkappe für die Erde

**<https://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/schutz-vor-alienangriff-laser-tarnkappe-fuer-die-erde-a-1084998.html>**

[65] Page 52-53 (Seite 52-53): David M. Kipping and Alex Teachey, 30.03.2016, "A cloaking device for transiting planets"

[66] Page 53 (Seite 53): Christoph Titz, Spiegel.de, "Sprecht bloß nicht mit den Aliens"

**<https://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/warnung-von-astrophysiker-hawking-spricht-bloss-nicht-mit-den-aliens-a-691115.html>**

[67] Page 55 (Seite 55): Wikipedia, "The Annunciation, with Saint Emidius"

[68] Page 54 (Seite 54): Wandernd.de, 17.08.2016, "Die Madonna mit dem Ufo im Palazzo Vecchio, Florenz"

**<https://wandernd.de/2016/08/17/die-madonna-mit-dem-ufo-im-palazzo-vecchio-florenz/>**

[69] Page 56 (Seite 56): Wikipedia, Matrioshka-Brain

[70] Page 58-59 (Seite 58-59): Kurzgesagt, "How Far Can We Go?"

**<https://www.youtube.com/watch?v=ZL4yYHdDSWs>**

[71] Page 58 (Seite 58): Wikipedia, "Laniakea"

[72] Page 58 (Seite 58): Wikipedia, "Michael S. Turner"

[73] Page 58-59 (Seite 58-59): Wikipedia, "Dunkle Energie"

[74] Page 59 (Seite 59): Sarah Fecht, 10.09.2013, popsci.com, "FYI: Can Anything Move Faster Than Light?"

[75] Page 60 (Seite 60): Wikipedia, "Future of an expanding universe"

[76] Page 59-60 (Seite 59-60): melodysheep, 20.03.2019, "TIMELAPSE OF THE FUTURE: A Journey to the End of Time (4K)" on YouTube:

**<https://www.youtube.com/watch?v=uD4izuDMUQA>**



