



Terraforming - Kann der Mensch schon heute
Planeten bewohnen?

Marlon Pösse

Facharbeit Seminarfach Astronomie

Fachlehrer: Florian Riemer

Jahrgang 12

Greselius Gymnasium

Schuljahr 2023/24

Abgabetermin: 14.03.2023

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	4
2. WAS IST TERRAFORMING.....	5
3. THEORETISCHE ANSÄTZE.....	5
4. Vorwort.....	5
5. THEORETISCHER ANSATZ ZUM TERRAFORMEN DER VENUS.....	6
5.1. Geologische Eigenschaften.....	6
5.2. Venus abkühlen.....	6
5.3. CO ₂ entfernen und H ₂ O hinzufügen.....	8
5.4. Venus in ein erdähnliches Klima bringen.....	8
5.5. Leben auf der Venus.....	9
5.6. Venus langfristig bewohnbar machen.....	10
6. THEORETISCHER ANSATZ ZUM TERRAFORMEN DES MARS.....	11
6.1. Geologische Eigenschaften.....	11
6.2. Oberfläche schmelzen.....	11
6.3. Stickstoff auf den Mars bekommen.....	12
6.4. Die Biosphäre.....	13
6.5. Magnetfeld erzeugen.....	14
7. HISTORISCHE SOWIE WISSENSCHAFTL. PROBLEME.....	15

8. REALISTISCHER BLICK AUF DAS TERRAFORMEN.....	16
9. ERSTE TERRAFROM-MISSION.....	17
10. WARUM SOLLTE MAN ÜBERHAUPT TERRAFORMEN?.....	18
11. FAZIT.....	18

Einleitung:

Zu Zeiten geprägt von Überpopulationen und Klimawandel scheint die Zukunft der Menschen unsicher. Politische Spaltungen, unsere Gier und unsere Schwächen machen es schwer, unsere Zukunft in einem positiven Licht zu sehen. Bedenken wir, dass wir uns momentan an so einem kritischen Punkt der Menschheitsgeschichte befinden, braucht der Mensch sehr kurzfristige Problemlösungen globaler Herausforderungen. Ich habe mich mit dem Thema Terraforming und interplanetarer Kolonien auseinandergesetzt zu der Frage, ob Terraforming mit menschlicher Technologie möglich ist. Ich habe mir dieses Thema ausgesucht, weil das vorhin erwähnte kurzfristige Denken, um Probleme zu lösen, in Relation zum Terraforming komplett irrelevant ist, da es noch Zukunftsmusik ist und rein theoretisch bleibt. Im Folgenden bewerte ich diese aus meiner Perspektive auf wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Sicht und urteile, ob Terraforming heutzutage möglich ist. Es gibt noch kein vom Menschen geterraformtes Gebiet seit dem Bestehen der Menschheit, die Erde ausgenommen. Und doch ist die Idee, einen komplett neuen Planeten für den Menschen umzuformen, Klima zu verändern oder eine komplett neue Flora und Fauna zu schaffen, zeitlich gar nicht so verkehrt zu haben. Der moderne Mensch hatte seit seiner Entstehung viele industrielle und gesellschaftliche Revolutionen erfahren. Bezogen auf die heutige Zeit, in der digitale Technologie sich tagtäglich in einer Vielzahl an Bereichen verbessert, entwickelt sich die interstellare Technologie schneller denn je. Da allgemeine Arten von Terraforming nicht existieren, beziehe ich mich in meiner Facharbeit auf das theoretische, spezifische Terraforming der Planeten Mars und Venus. Ebenfalls gehe ich auf die Herausforderungen des Terraformings ein, die es nicht möglich machen, Terraforming in einem effektiven Ausmaß zu betreiben. Mein Ziel ist es, Terraforming als theoretisch möglich darzustellen.

Was ist Terraforming?

Um die folgenden Methoden und Prozesse zu verstehen, muss zuerst der Begriff Terraforming definiert werden.

Terraforming (lat. terra=Erde; engl. forming= formen) bedeutet, einen Himmelskörper so umzuformen, dass menschliches Leben möglich ist. Das bedeutet unter ungefähren Lebensbedingungen, die uns die Erde bietet. Dabei spielt besonders die Atmosphäre eine wichtige Rolle, denn zum Leben ohne Einschränkungen brauchen wir ein Gasgemisch aus ca. 21% Sauerstoff, 78% Stickstoff und 0,04% Kohlenstoffdioxid¹. Außerdem muss die Oberfläche des Planeten lebensfreundlich für Tiere und Pflanzen gemacht werden, um ein stabiles Ökosystem zu schaffen. Die Temperatur muss ebenfalls gleichbleibend sein. Wichtig zu beachten ist, dass sich alle Faktoren, die genannt wurden, gegenseitig beeinflussen. Deshalb muss vor der menschlichen Kolonialisierung eine Stabilisierung dieser priorisiert werden.

Theoretische Ansätze zum Terraformen:

Vorwort:

Beachten wir, dass jeder Himmelskörper unterschiedliche geologische Eigenschaften hat und diese sich im Laufe der Zeit ändern könnten, gibt es keine allgemeinen Theorien, die für alle Himmelskörper funktionieren könnten. Jedoch gibt es gewisse Erfindungen, die das Terraformen finanziell und zeitlich sehr erleichtern, es folglich realitätsnäher schaffen.

¹<https://www.philognosie.net/wp-content/uploads/2019/08/Tabelle3.gif.webp> (08.03.2023)

Theoretischer Ansatz zum Terraformen der Venus:

Geologische Eigenschaften:

Die Venus ist mit einer Temperatur von 464°C einer der heißesten Planeten und damit einer der lebensfeindlichsten Orte in unserem Sonnensystem. Das liegt an dem enormen Treibhauseffekt, der durch eine Atmosphäre aus 97% Kohlenstoffdioxid verursacht wird. Deswegen herrscht außerdem ein Druck von 93 bar auf dem Planeten. Der Planet dreht sich langsamer um seine eigene Achse, was seinen Tageszyklus verlängert. Trotz dieser Klimaextremen besitzt die Venus eine recht praktische Eigenschaft. Die planetare Anziehungskraft entspricht ungefähr 8.9m/s^2 , was ungefähr 90% unserer Erdanziehungskraft von 9.81m/s^2 entspricht. Das bedeutet auf langfristiger Sicht können Menschen problemlos zwischen den Planeten Erde und Venus reisen und auf beiden für längere Zeit leben, ohne enorme gesundheitliche Folgen davon zu tragen. Schnell wird klar, an welchen Punkten gearbeitet werden muss. Wir brauchen eine kühlere, sich unter Normaldruck befindende Venus.

Venus abkühlen:

Um die Temperatur auf der Venus zu sinken, muss sie abgekühlt werden. Da die Temperatur nur wegen des extremen Treibhauseffekts so hoch ist, muss der Kohlenstoffdioxid aus der Venus-Luft entfernt werden. Eine Möglichkeit wäre es, einen riesigen Spiegel zwischen Venus und Sonne zu installieren, um so die Bestrahlung, und damit auch den Treibhauseffekt, zu verhindern. So kann man das CO_2 kondensieren und dann einfrieren und so den Druck in der Atmosphäre senken. Um den Spiegel kostengünstig zu halten, fertigt man eine dünne Spiegelschicht aus Aluminium, welches selbst bei einer Dicke von 30 Nanometern einen Reflexionsgrad von 90% hat, während andere Reflektoren wie z.B. Silber ihren Reflexionsgrad bei kleinerer Dicke verlieren¹. Den Spiegel platziert man an den Librationspunkten² L1 und L2 der Venus und der Sonne. Professor Paul Birch hat dazu eine Theorie³

¹<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9d/Image-Metal-reflectance.png/220px-Image-Metal-reflectance.png>

²<https://astrokramkiste.de/images/pics/lagrangepunkte.png>

³Paul Birch „terraforming mars quickly“

entwickelt, in der man ringförmige Spiegellamellen so an den L1-Punkt anordnet, dass der Sonnendruck die Spiegel nicht verschiebt. Dazu müssen an dem L2-Punkt ebenfalls Spiegel platziert werden, die das Sonnenlicht wieder zurück zum Lamellen-Spiegel leiten. Die Kräfte des Sonnendrucks am L1-Punkt und des von dem Spiegel am L2-Punkt reflektierte Licht gleichen sich miteinander aus, sowie die Anziehungskraft der Venus und der Sonnendruck der auf die L2-Spiegel wirkt. Somit haben wir ein Konstrukt, das mit der Venus um die Sonne rotiert und den Planeten komplett abdeckt. Diese Infrastruktur zu positionieren, dauert ungefähr 4 Jahre, doch danach beginnt sich der Planet abzukühlen. Nach ungefähr 60 Jahren hat die Venus eine Temperatur von 31°C. Bei einem Druck von 91 bar, ist der kritische Punkt 1 von CO₂ erreicht und es fängt an zu kondensieren. Es entstehen Ozeane aus flüssigem CO₂ auf der ganzen Venus. Der Druck in der Atmosphäre und die Temperatur nehmen gleichzeitig ab. Ab einer Temperatur von -31°C gefriert das CO₂, folglich auch die Meere, und das restliche CO₂ in der Atmosphäre fällt als Schnee auf den Venusboden. Nun herrscht ein Druck von 3 bar auf der Venus, da die Atmosphäre jetzt zu 99% aus Stickstoff besteht. Die Temperatur beträgt ungefähr -81°C. Nun ist die Ausgangssituation für den nächsten Schritt des Terraformens der Venus erreicht. Der Grund, warum wir den Planeten abgekühlt haben, ist, dass wir nun die Venus betreten könnten. Um die Venus vollständig zu terraformen, müssen noch mehr Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit u.ä. gesammelt werden. Dies geht unter jetzigen Bedingungen viel besser als mit 464°C Außentemperatur und einem Druck von 91 bar. Ein weiterer Punkt ist, dass nun auch Menschen den Planeten mit entsprechender Ausrüstung betreten können/ in der Venusatmosphäre mit Hilfsmittel überleben können. In Bezug auf das Terraformen ist nun das CO₂ handlicher zum Abbau und Export aus der Venus gemacht worden.

CO₂ entfernen und H₂O hinzufügen:

Nun da das CO₂ gefroren ist und der Mensch auf der Venusoberfläche arbeiten kann, müssen wir dieses entfernen. Unter erdgleichen Bedingungen, welches unser Ziel des Terraformings ist, würde das CO₂

wieder schmelzen und verdampfen und so den Treibhauseffekt und damit die Temperatur drastisch erhöhen. Am Ende wäre die Venus wieder an ihrem Ausgangspunkt angelangt. Also teilen wir das Eis in kleine Klötze und schießen sie mithilfe elektromagnetischer Katapulte ¹ in die Umlaufbahn der Venus. Dort können sie von „Spacetethers“ ² aufgefangen werden, die aus dem gefrorenen CO₂ einen Mond formen können und so das CO₂ für zukünftige Zwecke lagern. Wichtig ist, dass während des Exports an CO₂, gleichzeitig Wasser importiert wird. Ein Tether opfert Schwung, um seine Nutzlasten zu beschleunigen. Wenn ein Halteseil an einer Raumstation befestigt ist, würde diese Raumstation für jedes Kilogramm, das sie in den Orbit zieht, etwa 6000 kg.m/s verlieren. Mit der Idee, dass der Impuls, der beim Einfangen des CO₂ und dessen Beschleunigung in die Umlaufbahn verloren geht, wiedergewonnen wird, wenn das Wassereis auf das Spacetether trifft und für Schub sorgt, sparen wir sehr viel Energie und Zeit.

Venus in ein erdähnliches Klima bringen:

Ein siderischer Tag ist die Zeit, die ein Planet für eine vollständige Umdrehung um seine Achse benötigt. Die Venus rotiert sehr langsam, so dass so ein Tag etwa 5832 Stunden oder 243 Erdtage dauert. Tatsächlich dauert eine Umdrehung der Venus länger als ihre Umkreisung um die Sonne, die 224,7 Erdtage lang ist ³. Diese Tag- und Nachtzyklen sind für die Lebewesen, die sich auf der Erde entwickelt haben, nicht praktikabel und sie schaffen auch kein angenehmes Klima. Um ein Klima, wie auf der Erde, zu garantieren, benötigen wir einen Tag-Nachtzyklus wie auf der Erde. Paul Birch hat dazu eine weitere Spiegelkonstruktion ¹ entwickelt, die um die Venus kreist und jeweils Sonnen- und Mondlicht simuliert. Die Sonnenstrahlen, die auf die Venus fallen, sind stärker als die der Erde, also baut man in das Spiegelkonstrukt einen Lichtfilter, der für erdähnliche

¹https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f7/Coilgun_animation.gif/220px-Coilgun_animation.gif

²<https://cordis.europa.eu/article/id/36584-bare-electrodynamic-tethers-thin-as-a-rail-strong-as-a-rock/de>

³<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/venusfact.html>

¹https://www.orionsarm.com/fm_store/TerraformingVenusQuickly.pdf

Sonnen- und Mondstrahlen auf der Venus sorgen. Durch diese Konstruktion schafft man ein Klima wie auf der Erde und ermöglicht bestmögliche Bedingungen um Lebewesen von der Erde auf der Venus zu immigrieren.

Leben auf der Venus:

Um den restlichen Stickstoff aus der Atmosphäre zu filtern und Sauerstoff zu produzieren, werden Cyanobakterien, auch bekannt als Blaualgen, in die Venusozeane zugefügt. Diese sind für den „Great Oxidation Effect“², den es vor Milliarden Jahren auf der Erde gab, verantwortlich, welcher die toxische Atmosphäre der Erde durch Fotosynthese der Bakterien in eine sauerstoffreiche verwandelt hat, in der komplexere Lebewesen leben konnten. Cyanobakterien können außerdem Stickstoff in sauerstoffarmen Umgebungen in Mineralien umwandeln, die dann von Pflanzen und anderen Bakterien aufgenommen werden können. Folglich entwickelt sich ein fruchtbarer Ozean und die Venusatmosphäre entwickelt sich immer mehr zu die der Erde. Jedoch reagieren Cyanobakterien sensibel auf Sauerstoff in der Atmosphäre und verlieren ihre Fähigkeit Stickstoff umzuwandeln³, wenn der Sauerstoffanteil in der Luft zu groß ist. Deshalb müssen entweder andere Bakterienarten oder stickstoffbindende Pflanzen diese Aufgabe übernehmen. Um eine Flora auf der Venus zu formen, muss der steinige Boden zuerst aufgedröselt werden, damit Pflanzen Wurzeln schlagen können. Die ersten Pflanzen wie zum Beispiel Moos, Palmen, Bambus oder Farn weichen mit ihren Wurzeln den Boden auf und bereiten nach ihrem Absterben Mineralstoffe und einen lockeren Boden für größere Pflanzen vor. Dieser Vorgang wiederholt sich, sodass Der Boden schon bald für Pflanzen jeder Art passabel ist. Durch die von Mensch gesteuerte Sonne und dem überflüssigem CO₂ in der Venus-Umlaufbahn kann, falls nötig, das Pflanzenwachstum gefördert werden, indem die Fotosynthese durch zusätzliches CO₂ angetrieben wird.

²<https://asm.org/Articles/2022/February/The-Great-Oxidation-Event-How-Cyanobacteria-Change>

³<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470015902.a0021159.pub2>

Venus langfristig bewohnbar machen:

Die Venus ist nun in einen für den Menschen bewohnbaren Planeten umgewandelt worden. Um die Sicherheit der Menschen auf der Venus zu vergewissern und menschliches Leben attraktiv zu machen, muss der restliche Stickstoff und Kohlenstoffmonoxid aus der Atmosphäre gefiltert werden. Dieser Vorgang wird lange dauern, da die Atmosphäre nach dem Abkühlen sehr sensibel auf Veränderungen reagieren würde. Die Temperatur wäre angenehm, so dass normale Kleidung ausreichen würde. Die Luft hat den richtigen Druck und ist nicht giftig, aber es fehlt ihr an Sauerstoff. Mit einer Sauerstoffmaske, wie sie in einem Krankenhaus verwendet wird, könnte man normal weiteratmen. Der Sauerstoff würde aus Flaschen zugeführt werden, wie sie von Tauchern verwendet werden¹, ohne dabei einen negativen Effekt auf den Menschen zu haben. Nun liegt es an den ersten Kolonisten der Venus, auf ihr eine Infrastruktur aufzubauen und, auch wenn dies sehr lange dauern würde, eine eigenständige Kolonie zu bilden.

¹https://westfalen.dlrg.de/fileadmin/groups/13000000/Layout_2019/Fuer_Mitglieder/Fachbereiche/Tauchen/Downloads/Medizin/Sauerstoff_-_Mythos_und_Wirklichkeit.pdf

Theoretischer Ansatz zum Terraformen des Mars

Geologische Eigenschaften:

Der Mars ist ein trockener Wüstenplanet, der kein Leben, wie wir es kennen, ermöglichen könnte. Er hat einen Atmosphärendruck von ungefähr 6mbar, welcher viel zu tief ist, um atmen zu können. Außerdem hat er kein Magnetfeld, wie die Erde, welches es ermöglicht die radioaktive Sonnenstrahlung abzuwehren. Die Durchschnittstemperatur beträgt -63°C , damit unter dem Gefrierpunkt von Wasser, was der Grund für das Vorhandensein großer Polarkappen auf dem Mars ist. Das Wetter ist geprägt von Staubstürmen, die den ganzen Planeten bedecken könnten, und großen Temperaturschwankungen. Anders wie bei der Venus, kann eine Atmosphäre nicht so leicht geschaffen werden und doch ist diese der wichtigste und erste Schritt in Richtung einem von Menschen bewohnbaren Mars.

Oberfläche schmelzen:

Die rote Farbe des Mars verleiht ihm seine Oberfläche aus Oxiden, hauptsächlich Eisenoxid und Carbonate. Um eine menschenfreundliche Atmosphäre zu bilden, benötigen wir erneut ein Gasmisch aus 21% Sauerstoff, 78% Stickstoff und 0,04% Kohlenstoffdioxid. Der Sauerstoff, der in den Oxiden fixiert ist, kann durch Thermolyse freigesetzt werden. Dazu benötigt man einen konstanten Laserstrahl, der auf den Mars schießt. Am effizientesten geht dies mit einem solarbetriebenen Laser, da dieser direkt an der Energie der Sonne speist und keine Energie im Voraus produziert werden muss. So kann die Kraft, die dieser Laser hat, nachhaltig gesammelt werden und der Laser fungiert nur zum Bestrahlen, da man sich Akkusysteme und weiteres sparen kann. Mit einer riesigen Spiegelkonstruktion rund um den Laser, kann dieser die benötigte Energie zum Bestrahlen bekommen. Beim Bestrahlen wird nun Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid freigesetzt, die sich in der Atmosphäre verteilen. Nachdem der Laser aufgehört hat zu schießen, kühlt der Marsboden aufgrund der Temperatur schnell ab, Metalle sublimieren wieder und fallen

als Schnee auf den Boden. Durch das Bestrahlen des Mars mit Lasern schmelzen unterirdische Wasserreservoirs sowie die Polarkappen und es regnet. Der Regen reinigt die Oberfläche und die Atmosphäre von giftigen Stoffen, wie zum Beispiel Chlor, das während der Thermolyse freigesetzt wurde. Die daraus resultierende Atmosphäre besteht aus fast 100 % Sauerstoff und nur 0,2 bar. Sie ist schwer zu atmen und sehr entflammbar. Der Mensch kann Luft mit einem viel niedrigeren Druck als 1 bar atmen. Es fühlt sich nicht anders an, wenn der Sauerstoffanteil in der Luft erhöht wird. Eine Person, die bei halbem Druck (0,5 bar) atmet, kann zum Beispiel die gleiche Leistung erbringen, wenn der Sauerstoffanteil verdoppelt wird (auf 42 %). Astronauten atmen reinen Sauerstoff bei einem Mindestdruck von nur 0,2 bar. Für eine sichere Atmosphäre benötigen wir noch den 78% großen Anteil an Stickstoff.

Stickstoff auf den Mars bekommen:

Die Atmosphäre braucht nun nur noch Stickstoff, um perfekt für den Menschen zu sein. Jedoch gibt es auf dem Mars selbst kaum fixierten Stickstoff, welchen man dafür nutzen könnte. Man muss den Stickstoff also von einem anderen Himmelskörper nehmen. Zum Beispiel von dem Saturnmond Titan. Das ist zwar nicht einfach, aber machbar. Um so viel von der Titan-Atmosphäre zu verarbeiten, müssen wir auf der Oberfläche riesige automatisierte Fabriken bauen, die von unseren Lasern, welche auch nach der Schmelzung der Marsoberfläche brauchbar als Energiequelle sind, angetrieben werden, um die Atmosphäre anzusaugen und zu einer Flüssigkeit zu verdichten. Diese wird in kugelförmige Tanks gepumpt, die eine Gaußkanone bis zum roten Planeten schießt, wo sie explodieren und sich mit dem Sauerstoff vermischen. In nur wenigen Jahren konnten wir bereits einzelne Missionen zum Saturn schicken¹. Mit den uns bereits vom Terraforming der Venus bekannten Techniken und den Erfahrungen einer Lieferkette durch unser Sonnensystem (Eistransport Europa-Venus) können

¹<https://astrokramkiste.de/saturn-missionen>

wir viel besser und genauer berechnen, wie lange jenes dauern und wie viel es kosten würde. Was ebenfalls praktisch ist, falls die Venus vor dem Mars geterraformt wurde, ist, dass der Stickstoff, der sowieso von der Venus entfernt werden müsste, einfach zum Mars hinübergeleitet werden könnte und man so beide Projekte gleichzeitig miteinander ausspielt. So spart man Zeit und Geld. Nachdem der Stickstoff hinzugefügt wurde, haben wir auf dem Mars das richtige Gasgemisch für die Menschen. Um Temperatur notfalls zu korrigieren könnte man extra CO₂, das von dem Venus-Terraforming reichlich übriggeblieben ist, in die Atmosphäre lassen.

Die Biosphäre:

Eine funktionstüchtige Biosphäre zu schaffen, ist sehr schwierig, da, besonders am Anfang einer solchen, kleinste Überpopulationen von Tieren, Pflanzen oder auch Fremdeinwirkungen die komplette Biosphäre zerstören könnte¹. Von daher müssen wir sehr vorsichtig sein, welche Pflanzenarten mit einander kollaborativ existieren können. Um eine Biosphäre aufzubauen, muss man immer am Anfang einer Nahrungskette anfangen. So entwickeln sich nach und nach Tier- und Pflanzenarten, deren Population abhängig von der Population jener, die in der Nahrungskette vorheriger sind. So entsteht ein ökologisches Gleichgewicht auf dem Mars. Wichtig ist die Entstehung neuer Ökosysteme zu überwachen, da diese sich im Laufe der Zeit immer wieder verändern und/oder sich gegenseitig auslöschen. Die Reaktion auf solche Veränderungen, muss geplant und sorgfältig durchgeführt werden, sonst kann dies zu einer Zerstörung der Biosphäre führen. Konkretisiert würde man zur Schaffung einer Ökosystem-Kette im Ozean des Mars Mikroorganismen, die sich aufgrund des hohen Salzgehalts des Marsozeans eine Energiegewinnung aus chemischen Reaktionen, wie Methanogenese bereitstellen, freisetzen. Diese dienen dann als Nahrung für tierisches Plankton, diese sind Nahrung für kleine Fische, diese sind Nahrung für Raubfische, usw. So bildet sich ein stabiles Ökosystem im Ozean. Jedoch muss immer noch kontrolliert werden, ob eventuell invasive

¹<https://klassewasser.de/content/language1/html/3710.php>

Tier- oder Pflanzenarten das Ökosystem beeinflussen oder zerstören könnten. Außerdem sollte es einem bewusst sein, dass die Nahrungskette sehr anders aussehen würde als auf der Erde und dass das Verständnis von Wechselwirkungen zwischen den Organismen im Mars-Ökosystem auch anders sein werden. Deshalb ist viel Forschung nötig, um das Ökosystem nachhaltig zu machen. Werden alle diese Aspekte berücksichtigt, kann Leben auf dem Mars entstehen. Die Pflanzenwelt ist ebenfalls eine Herausforderung und erfordert viel Planung und Sorgfalt. Nur speziell angepasste Pflanzen können auf der Marsoberfläche überleben und gedeihen. Daraufhin kann eine Nahrungskette an der Oberfläche entstehen, die ebenfalls speziell an die Voraussetzungen des Mars angepasst werden muss.

Magnetfeld erzeugen:

Das fehlende Magnetfeld des Mars bereitet Lebewesen auf dem Planeten langfristig Probleme, da der kosmischen Strahlung der Sonne ausgesetzt sind. Diese Strahlung kann Krebs oder Erbkrankheiten erzeugen ¹. Den Lagrange-Punkt L1, der beim Terraforming Projekt der Venus ebenfalls zum Einsatz kam, nutzen wir, um dort einen riesigen Magnetring ² zu positionieren. Dieser erzeugt ein Magnetfeld, das wie das Magnetfeld der Erde die Sonnenstrahlung ablenkt. Das heißt der Magnet umkreist die Sonne mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit wie der Mars und bleibt daher in der gleichen relativen Position in Bezug auf die Sonne und den Mars.

Historische sowie wissenschaftliche Probleme:

Das Terraforming ist ein spannendes und aufregendes Thema, dass, wenn man sich damit auseinandersetzt, direkt Tatendrang in einem auslöst. Jedoch sind alle Theorien zum Terraforming, die bis jetzt aufgestellt wurden, eben nur Theorien. Eine Aussagekraft hat keine. Der Mensch hat in diesem

¹https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Stratosphärische_Ozonabnahme_und_Gesundheit#:~:text=Ohne%20die%20Existenz%20der%20stratosphärischen,schädliche%20UV-Strahlung%20der%20Sonne.

² <https://www.hou.usra.edu/meetings/V2050/pdf/8250.pdf>

Bereich keine Erfahrungen gesammelt. Wir wissen zwar wie wir mit unserem Heimatplaneten Erde umgehen sollten, jedoch gibt es selbst hier geologische Probleme, die wir nicht lösen können oder wollen. Ein Beispiel wäre die tagtägliche Desertifikation, die durch den Klimawandel und Wasserknappheit ausgelöst wird. Ein Problem, das uns lange bekannt ist, jedoch findet niemand eine gute Lösung dazu. Wie sollen wir also einen Wüstenplaneten wie den Mars terraformen, wenn nicht einmal unsere Wüste auf der Erde kontrollieren können? Diese durchaus berechtigten Fragen geben dem terraforming, wie jeder zu guten Idee, einen Realitätscheck. Historisch bestand nie ein richtiges Interesse an der Kolonialisierung interplanetarer Himmelskörper. In Anbetracht, dass die Mondlandung auch nur ein Wettstreit zwischen USA und Sowjetunion war, gab es nie politisches oder nationales Interesse. Die Investition ist auch kaum vorhanden. Forschungsunternehmen können schlecht Geld mit ihrer Forschung verdienen, besonders, wenn diese für die späte Zukunft gedacht ist, wie beim Terraformen. Es finden sich dazu keine Investoren, die in ein Projekt investieren, das ihnen direkt einen Gewinn erzielen kann. Staatliche Unterstützung gibt es auch relativ gesehen viel zu wenig. Das jährliche Budget der NASA beträgt im Jahr 2023 knapp 26 Milliarden ¹, während jährlich über 700 Milliarden Dollar² in die US-amerikanische Armee investiert wird. Dieses Verhältnis stellt ein weiteres Problem sehr gut dar. Unser ideologisches Denken, politische Konflikte, die gar nicht erst zustande kommen, wenn Parteien ordentlich miteinander kommunizieren würden, zeigen, dass Gier und Kurzsichtigkeit, menschliche und nicht persönliche Defizite sind. Wenn diese nicht verbessert werden, wird eine interstellare Kolonie niemals möglich sein. Kompetenzen, die zusammengefügt werden könnten, technologisch wie mechanisch, könnten Raumfahrt auf ein komplett neues Niveau bringen. Auf der anderen Seite gibt es viele wissenschaftliche Probleme, die ebenfalls das Terraforming einschränken. Der Fakt, dass wir die Beschaffenheit der Planeten viel zu

¹<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36647/umfrage/budget-der-nasa>

²<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157935/umfrage/laender-mit-den-hoechsten-militaerausgaben>

wenig erforscht haben, um eine Theorie mit 100% Erfolgchance zu entwickeln, reicht allein, um eine Terraform-Mission gar nicht erst zu planen. Im Bereich der Biosphäre müssen ebenfalls noch Pflanzen entwickelt werden, die an die Strahlung der Sonne und gleichzeitig auch die Beschaffenheit des Marsbodens angepasst sind und sich unter den gegebenen Voraussetzungen wachsen können. Um solche Pflanzen zu entwickeln, müssen die Informationen über die Marsoberfläche erst einmal gesammelt und ausgewertet werden und die Pflanzenforschung im Bereich Genveränderungen fortschreiten, bevor überhaupt Pflanzen existieren würden, die auf dem Mars überleben könnten. Würde die Technologie in jedem Bereich vollständig entwickelt sein, gäbe es immer noch so viele Faktoren, die beim Terraformen wichtig sind und nicht in die Theorie mit einbezogen werden können, da man jene Faktoren nur praktisch erfahren kann.

Realistischer Blick auf das Terraforming:

Die Probleme, die eben genannt wurden, sind immer noch präsent, jedoch haben die Entwicklungen der letzten Jahre für viel Aufmerksamkeit, auch im Bereich Terraforming, gesorgt. Der Klimawandel, der für eine Umstellung in zahlreichen gebieten sorgt und auch sorgen wird, zwingt die Welt, Lösungen zu erfinden, die das Klima, wenn auch nur minimal, zu verändern. Indirekt kann man das Terraforming nennen, denn an der Atmosphäre wird versucht durch menschliche Technologie etwas zu verändern, auch wenn der Klimawandel im gewissen Maße von dem Menschen verursacht wurde. Die Erfahrungen im Bereich Atmosphäre im Zusammenhang mit der Biosphäre, die Erhaltung stabiler Ökosysteme, sei es im Meer oder auf Land werden jetzt gerade gesammelt. Wissenschaftler versuchen Lösungen zu finden, die finanziell viel einfacher umzusetzen sind, um das Klima zu verändern. Auch wenn Ansätze hier auf der Erde nicht funktionieren würden, weil der Eingriff in die Biosphäre zu schädlich wären, könnten sie auf anderen Planeten funktionieren, weil dort die Bedingungen ganz anders sind. So können Pflanzen, die auf der Erde nicht

wachsen können, weil die Gravitationskraft zu stark ist, auf dem Mars wachsen, auf dem die Gravitationskraft kaum so stark ist, wie auf der Erde.

Die erste Terraform-Mission:

Bevor man überhaupt über eine Kolonialisierung des Mars oder der Venus nachdenken sollte, muss erst einmal der Mond besiedelt werden. Es gibt mehrere Gründe, dies zu tun. Der Mond ist der Erde am nächsten und dadurch ein perfekter Ort, um eine erste Kolonie dort aufzubauen. Die Reaktionszeit ist eine viel Kürzere im Vergleich zum Mars oder Venus, denn wann dort Unfälle passieren, müssen die Marskolonisten komplett isoliert von der Erde reagieren, auch wenn sie dazu nicht die nötigen Ressourcen haben. In Anbetracht der Gravitationskraft des Mondes ist ein Raketenstart vom Mond viel günstiger also von der Erde. Man nehme an es ist eine Marsmission geplant, also wäre es folglich viel effektiver diese Missionen vom Mars aus zu starten. Mit unserer Technologie könnten sich Mondkolonisten die Ressourcen des Mondes zu Nutze machen und so autark und unabhängig von der Erde werden, indem sie sich durch Handel finanzieren. Der Mond dient damit als Ausgangspunkt jeder interstellaren Raumfahrtmission und bietet Praxiserfahrung im Bereich des Terraformings, auch wenn die Menschen nur in künstlich erzeugten Habitaten leben würden.

Warum sollte man überhaupt terraformen?

Terraforming kann dazu beitragen, den begrenzten Lebensraum der Erde zu erweitern, indem menschliches Leben auf anderen Planeten oder Monden ermöglicht wird. Damit würde beispielsweise die Überpopulation entlastet werden. Durch die Erforschung planetarer Eigenschaften können neue Erkenntnisse, die für die Erde relevant sind, gesammelt werden. Rohstoffe, die es nicht auf der Erde gibt, sind in unserem Sonnensystem in Massen zu finden. Terraforming könnte das Überleben der Menschheit sichern, falls

eine globale Katastrophe auf der Erde eintreten sollte. Wenn man in der Lage ist, einen Planeten oder Mond zu terraformen, kann man auch andere Formen von Leben entdecken oder sogar erschaffen, die für die Wissenschaft und für die menschliche Erfahrung von unschätzbarem Wert sein werden.

Fazit:

Ich habe während meiner Recherche festgestellt, dass das Terraforming in der heutigen Zeit möglich ist, aber die Situation, in der sich die Erde momentan befindet, eine mögliche Besiedlung fremder Planeten in naher Zukunft irrelevant macht. Nichtsdestotrotz habe ich mich viel für das Thema faszinieren können, weil es viele Probleme der Erde lösen könnte und das Ausmaß menschlicher Fähigkeiten beweisen könnte. Der Mensch ist viel schlauer, als ich mir das vorgestellt habe. Es wäre ein Meilenstein für die Menschheit und es würde so viele neue Möglichkeiten eröffnen interstellare Kolonien zu besitzen. Auf der anderen Seite ist das Terraforming eine Idee, die wir als Ländersystem auf der Erde nicht lösen können. Rivalitäten könnte man nicht ausschließen, Kriege um Macht oder Reichtum außerhalb der Erde könnte man nicht ausschließen. Es birgt also auch Gefahren, in den Weltraum zu expandieren. Außerdem gibt es, so wie beide Ansätze von Paul Birch es beschrieben, keine vollständige Umwandlung von dem Mars, die geringe G-Kraft würde bei Menschen in kurzer Zeit gesundheitliche Probleme in Knochen und Muskulatur auslösen. Da ist es wichtig zu wissen, dass man auf dem Mars nur in Habitaten leben kann. Deshalb ist ein weltweiter Austausch von Informationen wichtig, denn ein anderer Wissenschaftler hätte eventuell eine Lösung dafür gehabt. Außerdem musste ich feststellen, dass in Deutschland kaum nennenswerte Forschungsartikel zu finden waren, was zeigt, dass das Thema selbst in Industrieländern noch nicht so präsent ist. Ebenfalls wird nicht berücksichtigt, dass solche Projekte generationsübergreifend sind und Investoren schwer zu finden sind, wenn Profit erst in mehreren Jahrzehnten zu erwarten ist. Das gleiche gilt für Regierungen. Abschließend stelle ich mir die Frage, ob Terraforming noch

so eine Zukunftsmusik ist, oder ob der Mensch gesellschaftlich einfach nicht in der Lage dazu ist, sich als planetare Gesellschaft zu identifizieren und nationale oder kontinentale Konflikte zu beenden. Die Frage, wann und wo der letzte Mensch geboren wurde, ist faszinierend, denn nachdem ich mich mit Terraforming auseinandergesetzt habe, komme ich zu dem Ergebnis, dass interplanetare Kolonisation durch unter anderem Terraforming stattfinden wird.

Literaturverzeichnis:

Literatur:

BIRCH, PAUL: Terraforming Venus Quickly. Journal of The British Interplanetary Society Vol.45, 1991, S. 157-167

https://www.orionsarm.com/fm_store/TerraformingVenusQuickly.pdf
(12.03.2023)

BIRCH, PAUL: Terraforming Mars Quickly, Journal of The British Interplanetary Society, Vol 45, 1992, S. 331-340

https://www.orionsarm.com/fm_store/TerraformingMarsQuickly.pdf
(12.03.2023)

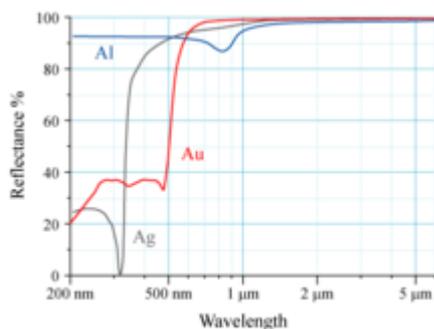
BURGHER, REBECCA; DETORA, TONY; FISHER, HOLLY;STEIN, MICHAEL: Red Mars - Green Mars? Mars Regolith as a Growing Medium

<https://www.lpi.usra.edu/lpi/HEDS-UP/RedMars2.pdf>

Internetquellen:

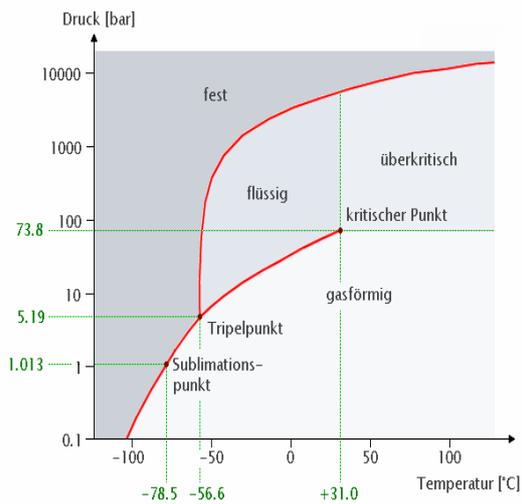
<https://www.philognosie.net/wp-content/uploads/2019/08/Tabelle3.gif.webp>
(08.03.2023)

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/venusfact.html>
(12.03.2023)

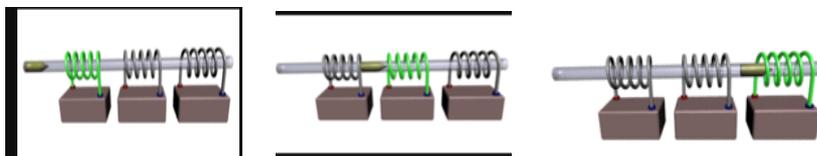


<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9d/Image-Metal-reflectance.png/220px-Image-Metal-reflectance.png> (12.03.2023)

<https://cordis.europa.eu/article/id/36584-bare-electrodynamic-tethers-thin-as-a-rail-strong-as-a-rock/de> (12.03.2023)



http://anorganik.chemie.vias.org/img/phasendiagramm_kohlendioxid.png



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f7/Coilgun_animation.gif/220px-Coilgun_animation.gif (12.03.2023)

GARCIA-PICHEL, FERRAN

<https://journals.asm.org/doi/10.1128/mbio.00561-19> (12.03.2023)

<https://www.rarepalmseeds.com/de/stickstoffbindend> (12.03.2023)

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470015902.a0021159.pub2>
(12.03.2023)

<https://solarsystem.nasa.gov/missions/cassini/the-journey/timeline/#descent-to-titan> (12.03.2023)