



Beschreibung:

Diese Arbeit befasst sich mit der Möglichkeit, mit wissenschaftlichen Prozessen den Mars in einen bewohnbaren Himmelskörper zu verwandeln

GROBEN Pit (LEM)  
2MB

Terraforming des Mars  
Mémoire individuel

# TERRAFORMING

DES MARS

2015-2016

MÉMOIRE INDIVIDUEL

Je déclare sur l'honneur que ce mémoire a été écrit de ma main, sans aide extérieure non autorisée

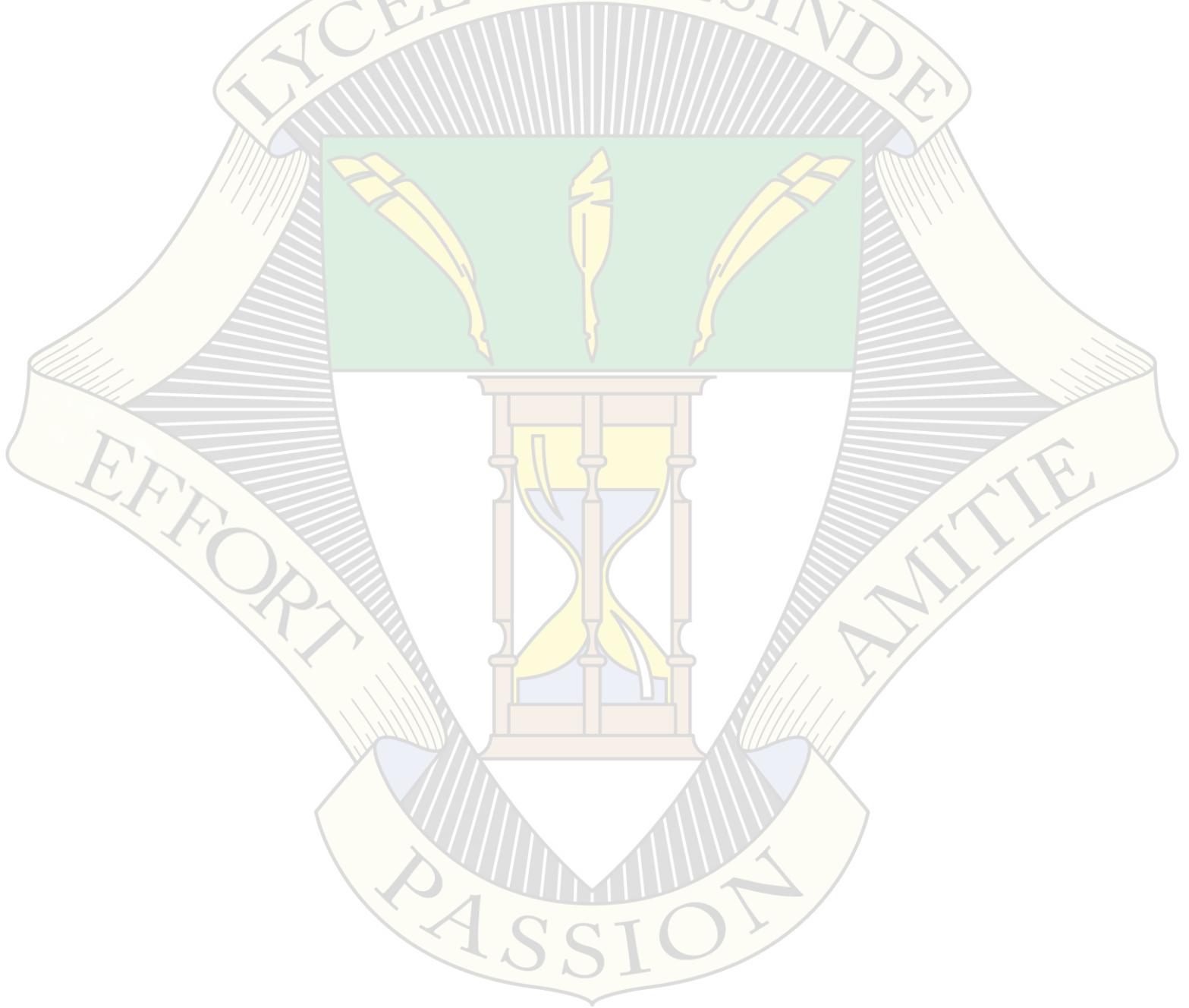
## INHALTSVERZEICHNIS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Zusammenfassung.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>Der Planet Mars .....</b>  | <b>4</b>  |
| Der heutige Mars.....   | 4         |
| <i>Der Mars und die Erde im Vergleich.....</i>                                | <i>7</i>  |
| <i>Wetter auf dem Mars.....</i>   | <i>10</i> |
| Vergangenheit von Mars.....   | 10        |
| Geschichte der Raumfahrt zum Mars.....  | 13        |
| Mögliches Leben auf dem Mars.....   | 16        |
| <b>Terraforming des Mars .....</b>  | <b>20</b> |
| Definition von terraforming.....  | 20        |
| Warum Terraforming .....  | 20        |
| Terraforming des Mars.....  | 21        |
| Mögliche Szenarien von Terraforming auf dem Mars.....                         | 21        |
| <i>Das Aufwärmen von Mars und die Erhöhung des Drucks.....</i>                | <i>21</i> |
| <i>Herstellen einer atembaren Atmosphäre.....</i>                             | <i>26</i> |
| <b>Ethik des Terraformings.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>Ökonomischer Nutzen des Terraformings und der Besiedlung des Mars.....</b> | <b>30</b> |
| <b>Heutige Projekte .....</b>   | <b>31</b> |
| Mars Direct.....  | 32        |
| Mars One.....   | 32        |
| Space X.....  | 33        |
| <b>Szenarien welche die Menschheit bedrohen.....</b>                          | <b>33</b> |
| <b>Fazit .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>Quellen .....</b>  | <b>38</b> |

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Terraforming ist der Begriff, der die Veränderung von Planeten mithilfe von technischen Mitteln, damit diese den Bedingungen für Leben genügen, beschreibt. Mithilfe heutiger oder in für nahe Zukunft vorhersehbare Technologie ist es möglich den Mars zu erwärmen und für primitive und komplexe Lebensformen bewohnbar zu machen. Das Ziel dieser Arbeit ist es diese einzelnen Technologien zu analysieren und sich auf ökonomischer und philosophischer Ebene mit der Idee des Terraforming auseinanderzusetzen.





# DER PLANET MARS

## DER HEUTIGE MARS

Mars ist der erdähnlichste Planet in unserem Sonnensystem. Er hat einen Durchmesser von 6800 Kilometer, was etwa die Hälfte des Erddurchmessers beträgt. Die Fallbeschleunigung beträgt ca.  $3,69 \text{ m/s}^2$ , was etwa 38% der irdischen beträgt. Ein Jahr dauert auf dem Mars 687 Tage und ein Tag etwa 24h37min.

Durch die ähnliche Achsenneigung sind die Jahreszeiten auf dem Mars denen der Erde sehr ähnlich. Jahreszeiten werden nämlich durch Temperaturunterschiede innerhalb eines Jahres definiert. Durch die Neigung der erreichen in manchen Perioden des Jahres mehr weniger Sonnenstrahlen die Oberfläche einer Region, Temperaturschwankungen auslöst.

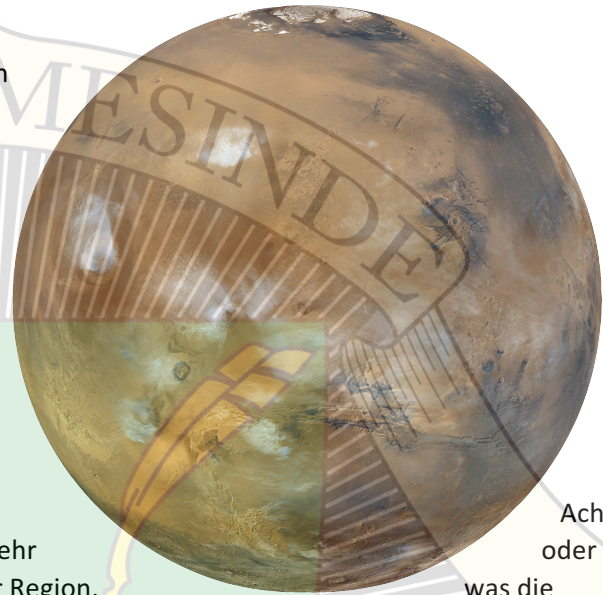
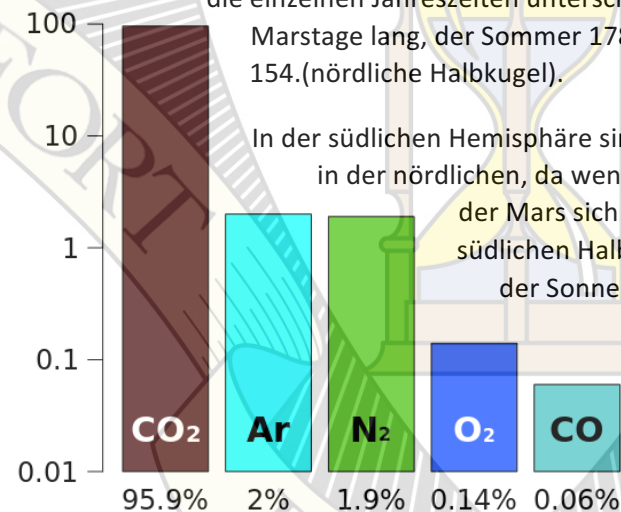


FIGURE 1: COMPUTERGENERIERTES BILD DES MARS

Die Umlaufbahn vom Mars um die Sonne ist jedoch sehr exzentrisch, das heißt sie weicht von der Idealen Kreisform ab, was dazu führt, dass die einzelnen Jahreszeiten unterschiedlich lange dauern. Der Frühling ist 194 Marstage lang, der Sommer 178, der Herbst 142 und der Winter 154.(nördliche Halbkugel).



In der südlichen Hemisphäre sind die Jahreszeiten jedoch viel ausgeprägter als in der nördlichen, da wenn auf der südlichen Hemisphäre Sommer ist der Mars sich nah an der Sonne befindet und wenn auf der südlichen Halbkugel Winter ist, der Mars sich weit weg von der Sonne befindet.

Die Durchschnittsoberflächentemperatur beträgt  $-62^{\circ}\text{C}$ , wobei diese auf dem Mars stark schwankt.

Die Atmosphäre des Mars besteht hauptsächlich aus CO<sub>2</sub>, jedoch wurden auch Spuren von Methan gefunden, dessen Herkunft noch unklar ist, wahrscheinlich kann es auf geologische Prozesse zurückgeführt werden, jedoch ist eine organische Herkunft nicht ausgeschlossen. Die Atmosphäre des Mars ist jedoch sehr dünn (6hPa/entspricht 0,7% der Erdatmosphäre), sodass Menschen sich nicht ohne Druckanzüge auf dem Mars bewegen könnten.

Der Mars besitzt heute noch mehrere kleine Magnetfelder, die durch geladene Eisenbrocken

innerhalb der Marskruste erhalten werden.

FIGURE 2: ZUSAMMENSETZUNG DER MARSATMOSPHERE



Diese lokalen Magnetfelder sind wohl Reste des früheren globalen Magnetfeldes auf Mars, das vor über 4 Milliarden Jahren existierte.

Auf seinen Polen besitzt Mars gefrorenes Wasser und Kohlenstoffdioxid, was einem Terraforming Prozess nützlich wäre. Die nördliche Polkappe besitzt einen Durchmesser von 1100 km und eine Durchschnittsdicke von 2 km. Von dieser Eismasse sind 0,821 Millionen Kubikmeter Wassereis, laut Messungen vom Mars Reconnaissance Orbiter.

Die südliche Polkappe besitzt hingegen nur einen Durchmesser von 400 km und ist durchschnittlich nur 1,5 km dick. Sie liegt jedoch höher und ist dadurch kälter. Von dieser Eismasse sollen 0,2 Millionen Kubikmeter Wassereis sein.

Beide Polkappen zeigen spiralförmige Gräben auf, dessen Ursprung bis heute nicht geklärt ist.

Außerdem gibt es in der Marskruste viele hydrierte Mineralien sowie möglicherweise auch unterirdische Wasserreserven. Auch flüssiges Wasser auf der Oberfläche von Mars im Frühling hält die Wissenschaft für nicht abwegig. So konnten auf Aufnahmen im Zeitrahmen zwischen 2006-2009 festgestellt werden, dass Rinnen die von steilen Hängen herunter immer dünner werden, sich im Laufe von 3 Jahren vergrößert hatten. Durch eine hohe Konzentration von Perchloraten im Wasser wäre es theoretisch möglich, dass das Wasser bis zu Temperaturen von -70 °C flüssig bleibt. Wissenschaftler gehen davon aus, dass Wasser im Frühling oben von den Hängen herunterfließt und auf seinem Weg verdunstet oder versickert. Massenspektrometermessungen ergaben 2015 dass es in diesen Rinnen tatsächlich Vorkommen an verschiedenen Perchloraten (Magnesiumperchlorat, Magnesiumchlorat und Natriumperchlorat) gibt.

Neueste Fotos von der Marsoberfläche zeigen Ströme von flüssigem Wasser unterhalb der Oberfläche des Mars. In der Nacht kann an den Polkappen sogar Schnee fallen. In vielen Regionen auf dem Mars finden sich Strukturen von Flussdeltas, was noch einmal verdeutlicht, dass es früher auf dem Mars flüssiges Wasser gegeben haben muss.

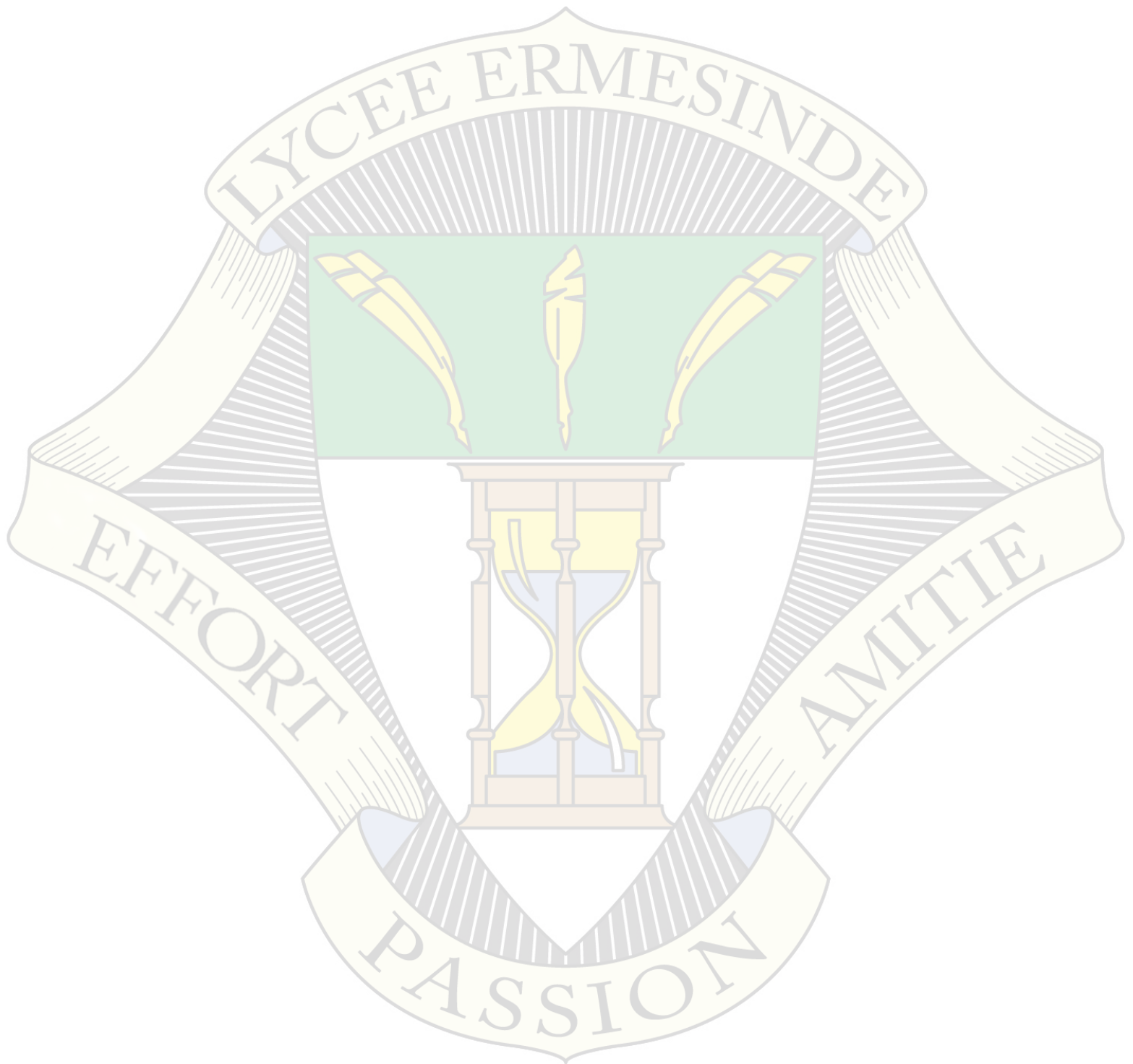
Auch interessant an der Oberfläche von Mars sind die schwarzen Flecken inmitten einer rot-orangen Oberfläche. Diese schwarzen Flecken können sich sogar bewegen, schrumpfen oder wachsen. Wissenschaftler halten die schwarzen Flecken nur für Stellen, an denen der Wind den rot-orangen Staub abgetragen hat und ältere, dunklere Gesteinsschichten zum Vorschein bringt. Andere Wissenschaftler wagen es, die schwarzen Flecken seien auf Mikroorganismen zurückzuführen. (Um dies zu klären bedarf es jedoch genaueren wissenschaftlichen Erkenntnissen wie Bodenproben.)

In der südlichen Hemisphäre besitzt Mars auch große Salzlager, welche auch wiederum auf Ablagerungen durch Oberflächenwasser schließen lassen.

Die Oberfläche des Mars ist mit Eisenoxid-Staub bedeckt, welcher dem Planeten seine rote Farbe gibt. Die Süd- und die Nordhemisphäre unterscheiden sich deutlich voneinander. Die südliche Hemisphäre ist viel älter als die nördliche, und zeigt auch deutlich mehr Krater auf. Die nördliche Hemisphäre wurde wahrscheinlich durch einen gewaltigen Aufprall in der Vergangenheit des Mars zerstört. Deshalb liegt auch ein großer Teil der nördlichen Hemisphäre 3-6 km tiefer als der Rest des Planeten.

Mars besitzt 2 Monde (Phobos und Deimos), welche wahrscheinlich aus Asteroiden bestehen, welche einmal auf dem Mars aufgeschlagen sind und wieder abgeprallt wurden. Auffällig bei den

beiden Monden ist ihr fast exakte kreisförmige Bahn. Deimos, der entferntere der beiden Monde hat eine Umlaufbahn mit einem Radius von ca. 23.500 km. Phobos besitzt einen Radius von 9400 km und ist damit nur etwa 6000 km von der Oberfläche von Mars entfernt.



## DER MARS UND DIE ERDE IM VERGLEICH

| <i>Eigenschaft</i>                 | <i>Mars</i>   | <i>Erde</i>                                       |
|------------------------------------|---|---|
| <i>Atmosphärischer Druck</i>       | 0,5-1kPa  | 101,3kPa  |
| <i>Durchschnittstemperatur</i>     | -60°C   | 15°C  |
| <i>Temperaturschwankungen</i>      | -145°C bis 20°C                                       | -60°C bis 50°C                                    |
| <i>Komposition der Atmosphäre</i>  | 95% CO <sub>2</sub><br>2,7% N <sub>2</sub><br>1,6% Ar | 78% N <sub>2</sub><br>21% O <sub>2</sub><br>1% Ar |
| <i>Sonnenlichteinstrahlung</i>     | 149W/m <sup>2</sup>                                   | 344W/m <sup>2</sup>                               |
| <i>UV-Licht</i>                    | >190nm  | >300nm  |
| <i>Oberflächengravitation</i>      | 3,73 m/s <sup>2</sup>                                 | 9,80 m/s <sup>2</sup>                             |
| <i>Sonnentag</i>                   | 24h 39min 35s   | 24h   |
| <i>Dauer einer Sonnenumrundung</i> | 687 Tage  | 365,26 Tage                                       |
| <i>Neigung der Achse</i>           | 25,2°   | 23,5°   |
| <i>Exzentrizität</i>               | 0,093   | 0,017   |
| <i>Distanz zur Sonne</i>           | 1,52 AU   | 1 AU (1.49x108 km)                                |
| <i>Masse</i>                       | 0,107   | 1   |

Anhand dieser Tabelle kann man feststellen, dass der Mars und die Erde viele Gemeinsamkeiten haben. Die Exzentrizität sowie die Dauer des Tages beider Planeten sehr ähnlich. Die größten Unterschiede gibt es bei der Gravitation und der Sonnenlichteinstrahlung sowie der Jahres- und Jahreszeitendauer. Jedoch stellen diese Unterschiede keine entscheidenden Hindernisse für einen Terraformingprozess dar. Bevor man sich mit dem Terraformingprozess beschäftigen kann muss man zuvor die Grenzen der Bewohnbarkeit definieren. Die meisten Wissenschaftler beziehen sich hierfür auf die 1991 von McKay veröffentlichte Tabelle:



| Table 1. Habitability (adapted from McKay <i>et al.</i> [5]). |              |   |
|---|--------------|---|
| Parameter   | Limits       | Note  |
| Global temperature  | 0°C - 30°C   | Earth = 15°C  |
| Composition for plants, algae, microorganisms                 |              |   |
| Total pressure  | > 1 kPa      | Water vapor pressure plus O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> |
| CO <sub>2</sub>   | >0.015 kPa   | Lower limit set by photosynthesis<br>No clear upper limit                   |
| N <sub>2</sub>  | >0.1 - 1 kPa | Nitrogen fixation   |
| O <sub>2</sub>  | >0.1 kPa     | Plant respiration   |
| Composition for breathable air                                |              |   |
| Total pressure:   |              |   |
| Pure O <sub>2</sub>   | > 25 kPa     | Lung water vapor plus CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>                      |
| Air mixture   | > 50 kPa     | Based upon high elevation   |
|   | < 500 kPa    | Buffer gas narcosis   |
| CO <sub>2</sub>   | < 1 kPa      | Set by toxicity   |
| N <sub>2</sub>  | > 30 kPa     | Buffer gas  |
| O <sub>2</sub>  | > 13 kPa     | Lower limit set by hypoxia  |
|   | < 30 kPa     | Upper limit set by flammability   |

FIGURE 3: PARAMETER FÜR DIE BEWOHNBARKEIT EINES PLANETEN

Damit Organismen überleben können benötigt ein Planet Kohlenstoffdioxid, Stickstoff und Wasser. Weitere Elemente wie Schwefel, Phosphor, Natrium, Chlor, Kalium sowie weitere Spurenelemente sind für Leben unabdingbar. Die Existenz all dieser Elemente auf dem Mars ist noch nicht sicher, jedoch kann man aus der Entstehungstheorie von Mars schließen, dass diese Elemente vorhanden sein müssten.

Die 3 wichtigsten Elemente sind sicher auf dem Mars vorhanden: CO<sub>2</sub> in Form von Trockeneis an den Polkappen und in Form von Karbonaten in der Erdkruste, N<sub>2</sub> in Form von Nitraten und H<sub>2</sub>O als Permafrost im Regolith und an den Polkappen. Wissenschaftler sind sich einig, dass es wahrscheinlich genügend CO<sub>2</sub> und Wasser auf dem Mars gibt, um Leben zu ermöglichen, nur beim Stickstoff sind die oberen Schätzungen zu den Reserven auf dem Mars bei den niedrigsten Schätzungen zu den Anforderungen einer für Menschen atembaren Atmosphäre.

Es könnte sein das Mars einmal die nötigen Mengen an Stickstoff besaß und diese Mengen sich als Nitrat im Sediment abgesetzt haben. Trotz dieser Vermutungen reichen die Stickstoffvorkommen wahrscheinlich nicht für einen Terraformingprozess. Deshalb ist das Volumen der Stickstoffreserven der wahrscheinlichste Grund, warum ein Terraformingprozess nicht stattfinden wird, bezugsweise gar ganz unmöglich ist.

Mehr als  $10^{15}$  Tonnen an  $N_2$  werden für eine atembare Atmosphäre auf dem Mars benötigt. Zum Vergleich schafft ein Space-Shuttle es 20 Tonnen Ladung ins Weltall zu befördern. Deshalb fällt ein Import von der Erde aus. Mengen in dem Maßstab könnte die Menschheit eh nicht entbehren, ohne gleichzeitig.

|                            | $CO_2$ (kPa)       | $N_2$ (kPa) | $H_2O$ (m)         |
|----------------------------|--------------------|-------------|--------------------|
| Required for plants        | >200 (for warming) | >1          | >500               |
| Required for humans        | >20 (for oxygen)   | >30         | >500               |
| Present Mars atmosphere    | 1                  | 0.02        | $7 \times 10^{-6}$ |
| Earth scaling              | 270                | 30          | 1,200              |
| Range of current estimates | 20–200             | 0.2–30      | 6–1,000            |

Adapted from McKay and Stoker (1989).

FIGURE 4: BEDARF AN  $CO_2$   $N_2$  UND  $H_2O$  FÜR LEBEN

---

## WETTER AUF DEM MARS

---

Im Vergleich zur Erde leidet der Mars unter extremen Wettererscheinungen. Da es auf dem Mars extreme Unterschiede zwischen der Nacht und Tagestemperatur gibt, gibt es morgens und am Abend starke Winde von bis zu 400 km/h. Im Frühjahr gibt es vermehrt starke Sandstürme, die große Teile des Planeten für Wochen und Monate verhüllen können. In diesen Staubstürmen können große elektrische Spannungsunterschiede entstehen, welche sich in Gewittern entladen. Die Staubwolken können so dicht sein, dass sie die Oberflächentemperatur des Mars um 10 °C verringern können. Auch Sanddünen können sich auf der Oberfläche vom Mars formieren.

## VERGANGENHEIT VON MARS

---

Der Mars entstand vor etwa 4,5 Milliarden Jahren und ist damit fast genauso alt wie die Erde. Der Mars ist im Gegensatz zur Erde jedoch in seinem Status als Planeten-Embryo stecken geblieben. Während die Erde wie die meisten anderen Planeten durch Zusammenstöße mehrerer Planeten-Embryos mit Durchmessern von mehreren tausend Kilometern entstand, blieb Mars solchen Kollisionen in seiner Entstehung weitgehend fern, weshalb der Mars ein sehr kleiner Planet ist. Seine Entstehung dauerte nur 2 bis 4 Millionen Jahre, eine im astronomischen Bereich verschwindend kleine Zahl.

Es gibt vielerlei Hinweise darauf, dass Mars früher bewohnbare Konditionen besaß. Während seiner ersten 800 Millionen Jahren besaß Mars wohl einen riesigen Ozean namens „Oceanus Borealis“ in seiner nördlichen Hemisphäre. Der Ozean fror zu und sublimierte mit der Zeit bis er ganz verschwand. Man geht davon aus, dass dieser Ozean eine Tiefe von bis zu 1km besaß. Auch heute noch gibt es Systeme aus Gräben und Flussdeltas, die ein Indiz darauf geben, dass auf dem Mars früher große Mengen an Wasser geflossen sein müssen.

Es ist möglich, dass unterhalb der Erdoberfläche, geschützt vor der tödlichen Strahlung, haben chemolithotrophische Mikroorganismen überlebt haben, d.h. solche die ohne Licht und organische Umgebung auskommen.

Mars litt dann ungefähr 300 Millionen Jahre lang unter Trockenheit welche durch einen abrupten Anstieg der vulkanischen Aktivität beendet wurde, da große Mengen an CO<sub>2</sub> freigesetzt wurden. Der Mars besaß wieder für kurze Zeit einen Ozean, welcher aus den selben Gründen wie schon beim ersten wieder verschwand.

Jedoch ist bis heute nicht klar wie Mars seine bewohnbaren Konditionen verlor. Jedoch ist die schlüssigste Theorie, dass Mars seine kohlendioxidreiche Atmosphäre wegen seiner geringen Masse verlor. (Mars besitzt nur etwa 1/10 der Masse der Erde). Wegen seiner geringen Masse konnte Mars wahrscheinlich seine Atmosphäre wegen Sonnenwinden die die Atmosphäre ins All abtragen und Asteroideneinschlägen, welche durch ihre Aufschlagsenergie die Atmosphäre „wegsprengten“, nicht halten. Auch die Bindung von Kohlenstoff in der Atmosphäre von Mars verringerte wohl die Dichte der Atmosphäre.



Die Erde besitzt wegen ihrer Größe auch den Vorteil des sogenannten „Recycling von Material“: Da die Erde wegen ihrer Masse mehrere tektonische Platten besitzt, welche sich unter andere tektonische Platten schieben, vulkanische Aktivität. Durch diese Aktivität werden dauernd neue Gase und neue Materie aus dem Inneren der Erde auf der Oberfläche verteilt. Die alten Gesteinsschichten werden jedoch durch die Verschiebungen ins Innere der Erde transportiert.

Das Fehlen dieser geologischen Aktivität führte bei Mars dazu, dass dieser seinen Großteil der Atmosphäre verlor, da kein neues CO<sub>2</sub> freigesetzt wurde und das vorhandene durch Sonnenwinde abgetragen, da Mars kein Magnetfeld besitzt, was stark genug wäre diese zu reflektieren.

Dieser Mangel an tektonischer Aktivität stellt die gesamte Idee des Terraforming vor ein neues Problem. Die Bewohnbarkeit eines terraformten Mars wäre endlich.

Mars könnte seine vom Menschen künstlich gegebenen bewohnbaren Eigenschaften nicht selbst erhalten. Die Lebensdauer des terraformten Mars wird auf 10 bis 100 Millionen Jahren geschätzt. Für menschliche Verhältnisse ist das jedoch eine wahrhaft astronomische Zeitspanne, wenn man bedenkt, dass es die zivilisierte Menschheit seit ungefähr 10.000 Jahren gibt.

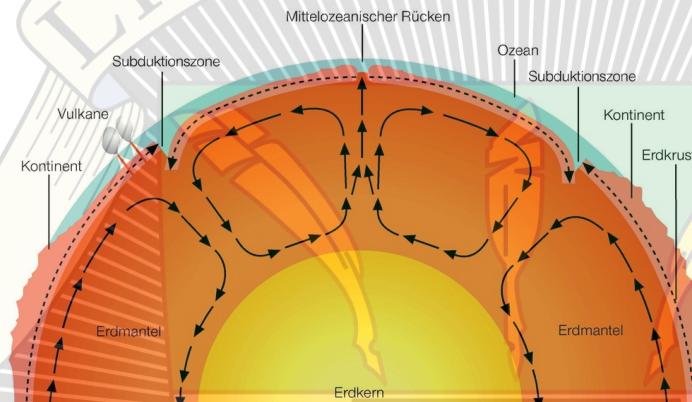


FIGURE 5: VEREINFACHTE DARSTELLUNG DER PLATTENTEKTONIK DER ERDE

#### GEOLOGISCHE EONE DES MARS

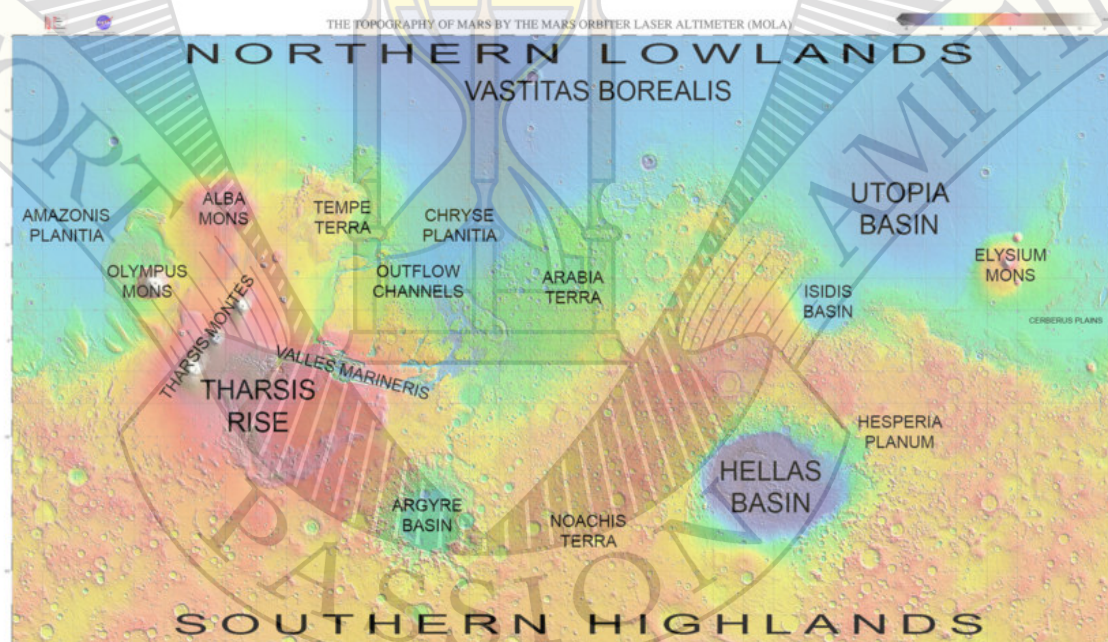


FIGURE 6: TOPOGRAFISCHE KARTE VON MARS

## PRE-NOACHIANISCHE ERA

Die pre-noachianische Era beschreibt die Zeit zwischen 4500 Mio. Jahren und 4100 Mio. Jahren. In dieser Zeit formte sich der Mars. Die meisten geologischen Daten dieser Zeit gingen durch Erosion und Meteoriteneinschläge verloren. In dieser Zeit entstand auch das Hellas Becken in der südlichen Hemisphäre von Mars. Das Hellasbecken ist einer der größten Krater Mars und der größte und tiefste sichtbare Krater im ganzen Sonnensystem. Auch 2 weitere der größten Krater, Argyre und Isidis, entstanden in dieser geologischen Era. Die tiefer gelegenen Landschaften in der nördlichen Hemisphäre entstanden auch in dieser Zeit.

## NOACHIANISCHE ERA

Die ältesten Oberflächen vom heutigen Mars stammen aus der noachianischen Zeit. Auch aus dieser Zeit stammen viele gigantische Krater. Die bekannte „Tharsis“ Ausbuchtung entstand durch hohe vulkanische Aktivität in dieser Zeit. Möglicherweise riss ein Einschlag dort ein Loch in die Erdkruste, sodass gigantische Mengen an Magma aus dem Inneren des Planeten herausströmten.

In der noachianischen Era hatte die Oberfläche von Mars eine konsistente Erosionsrate mit der von flüssigem Wasser, was als Beweis für die Existenz von Meeren und Seen gilt. Dass es in dieser Zeit Leben gab gilt als ziemlich wahrscheinlich. Die noachianische Era war vor 4,1 Milliarden bis vor 3,7 Milliarden Jahren.

## HESPERIAN ERA

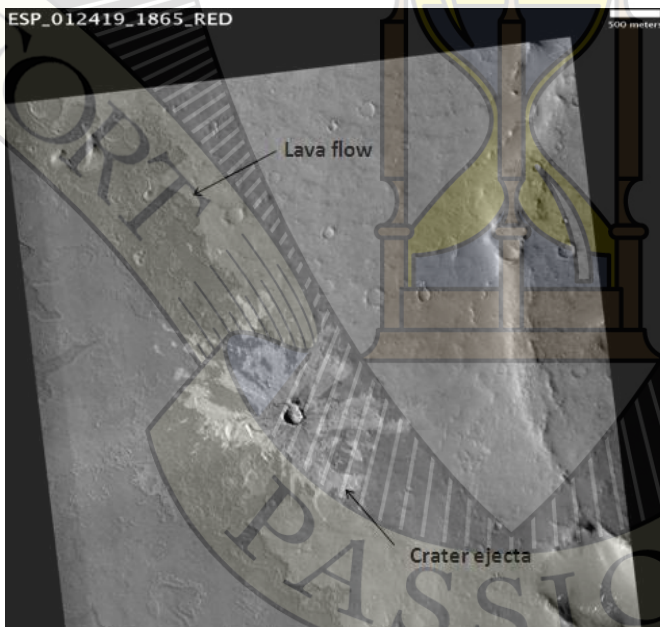


FIGURE 7: DIE DUNKLERE LAVA ÜBERLAPPT DAS RECHTS LIEGENDE GESTEIN UND IST DEHALB JÜNGER

In der hesperianischen Era von Mars nahm die Bombardierung von Asteroiden ab und die geologische Aktivität zu. Mars erlebte zu dieser Zeit gigantische Vulkanausbrüche. So entstand zu dieser Zeit der mit 22km Gipfelhöhe und 600km Durchmesser größte Vulkan von Mars, Olympus Mons. In der hesperianischen Zeit gab es auch fließendes Wasser, jedoch waren die Seen und Flüsse nicht dauerhaft und verschwanden relativ schnell wieder. Dennoch war der Mars in dieser Zeit Zeuge von gigantischen Fluten, welche bis heute ihre Spuren hinterlassen haben.

Ein Großteil des flüssigen Wassers setzte sich wohl als Permafrost im Regolith und an den Polkappen ab.



## AMAZONIANISCHE ERA

Die amazonianische Periode dauert von bis heute seit ca. 3 Mrd. Jahren an. Sie ist geprägt von wenigen Einschlägen und periodisch fließender Lava. Die Oberflächentemperaturen sind relativ niedrig, sodass an den Polkappen Trocken und Wassereis gebunden ist. Auch seltene Ausstöße von Wasser sind zu beobachten. Die Abwesenheit von geologischer Aktivität verhindert das Recycling von Material, was zur Erosion der oberen Schichten führt. Der Luftdruck schwankt beim Mars über einen Zyklus von Jahrmillionen, was an der Inkonsistenz der Umlaufbahn vom Mars um die Sonne liegt. So ändert sich der Abstand zur Sonne systematisch, deshalb auch die Lufttemperatur.

Mars kommt wahrscheinlich gerade aus einer Eiszeit heraus, was an den schmelzenden Polkappen zu beobachten ist. Deshalb wäre eine Erwärmung des Planeten zum jetzigen Zeitpunkt günstiger als noch vor ein paar Millionen Jahren.

## GESCHICHTE DER RAUMFAHRT ZUM MARS

---

Nachdem die USA es im Juli 1969 schaffte den ersten Menschen auf dem Mond landen zu lassen, war es der nächste logische Schritt in der Raumfahrt, unseren Nachbarplaneten zu erforschen. Doch im Gegensatz zum Mond ist der Mars ein richtiger Sondenfriedhof. Mehr als die Hälfte aller Missionen schlugen fehl, die meisten davon waren sowjetisch. Der erste Versuch einen unbemannten Flugkörper auf den Mars zu schicken wagten die Sowjets im Jahr 1960. Auch die folgenden vier sowjetischen und eine amerikanische Sonde erreichten den Mars nicht. Erst die US-amerikanische Sonde Mariner 4 erreichte den Mars und lieferte mehrere Aufnahmen vom Planeten. Mariner 4 flog etwa 10.000 km von der Oberfläche entfernt am Mars vorbei. Auch Mariner 6 und 7 flogen erfolgreich am roten Planeten vorbei und lieferten weitere Aufnahmen. Die erste sowjetische Sonde (Mars 2) erreichte den Mars 1971.

Die erste Sonde die erfolgreich in eine stabile Umlaufbahn flog und die Oberfläche von Mars kartographierte war die amerikanische Mariner 9 Mission am 30. Mai 1971. 1975 gelang die erste Landung mit den beiden Viking Missionen, welche als erstes Indizien für Leben auf dem Mars lieferten.

1996 lieferte der Mars Global Surveyor der USA erstmals hochauflösende Bilder vom Mars, während mit dem Mars Pathfinder der erste erfolgreiche Rover auf den Mars gesetzt wurde.

In den Jahren nach 2000 erreichten mehrere Orbiter und Rover den Planeten, welche fast alle bis heute aktiv sind. So setzte die NASA 2001 die Mars Odyssey aus, 2003 die beiden Rover MER-A Spirit und die MER-B Opportunity, 2005 den Mars Reconnaissance Orbiter, 2004 den Rover und den Orbiter Phoenix und Dawn, 2011 den Rover Curiosity, 2013 den Orbiter MAVEN. Auch die ESA unternahm eine Handvoll an Mission zum Mars wie 2003 den Orbiter Mars Express, 2004 die Sonde Rosetta und 2016 den ExoMars Trace Gas Orbiter, sowie den Lander Schiaparelli. Vor allem die ExoMars Missionen könnten in naher Zukunft tiefe Einblicke in die Vergangenheit von Mars und das mögliche Leben auf dem Mars in der Gegenwart, was laut vielen Wissenschaftlern gar



nicht so unwahrscheinlich ist. Für das Jahr 2018 hat die europäische Raumfahrtbehörde ESA geplant ihren neuesten Rover ExoMars zu entsenden. Hauptziel der Mission soll es sein, nach möglichen primitiven Lebensformen auf Mars zu suchen. ExoMars kann dafür 2m tief bohren im Bodenproben zu nehmen um nach Beweisen für Leben zu suchen. Die Sonde welche den Mars umkreist besitzt eine spezielle Einheit, welche Spurenelemente in der marsianischen Atmosphäre untersucht. Damit soll endgültig die Herkunft vom Methan in der marsianischen Atmosphäre geklärt werden. Möglicherweise findet sich hier bereits der Beweis für Leben auf dem Mars.

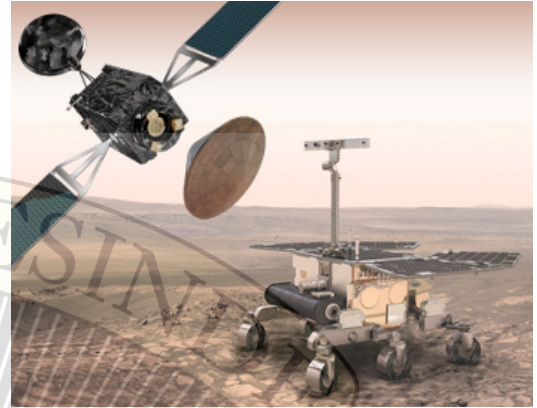


FIGURE 8: KONZEPT VON EXOMARS

### DAS MAGNETFELD VON MARS

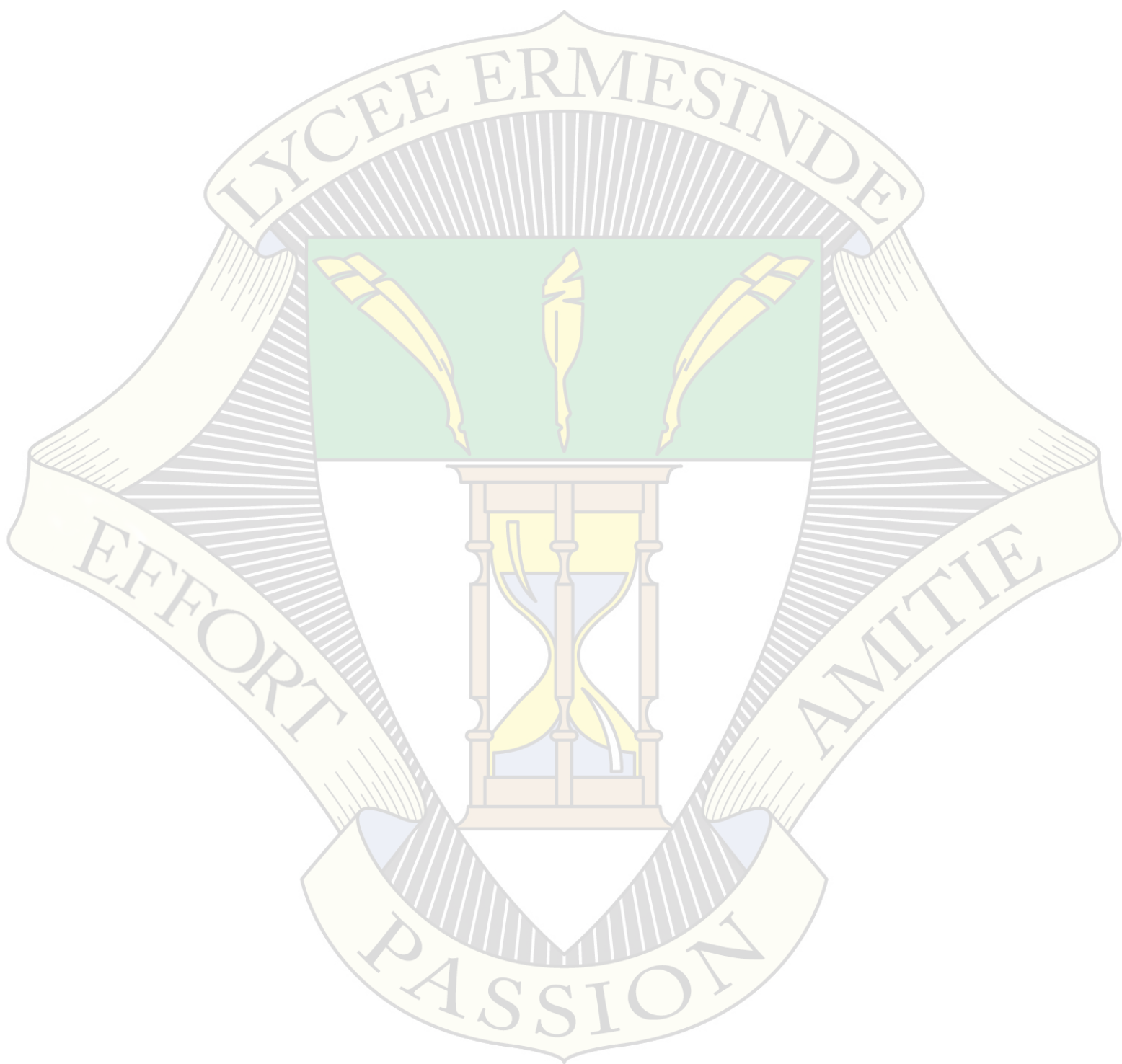
Mars besitzt seit 4 Milliarden Jahren kein eigenes Magnetfeld mehr, weshalb Mars auch keine dichte Atmosphäre hat, da Sonnenwinde nicht vom Magnetfeld reflektiert werden und somit die Atmosphäre „mitreißen“ können. Der Grund für Verlust des Magnetfeldes ist nicht gewiss, jedoch gibt es hierfür zwei Theorien:

Die wohl geläufigste Erklärung ist, dass der Mars sein Magnetfeld verlor, da innerhalb des Marses nicht mehr die benötigte Energie vorhanden war, damit die Konvektionsströmungen aufrechterhalten werden können. Somit verlor der Mars seinen Dynamoeffekt und damit auch sein Magnetfeld.

Die zweite Theorie ist, dass Mars am Anfang seiner Geschichte mehrere gigantische Monde besaß, welche durch ihre Masse den Kern des Mars anzogen und somit dort Konvektionsströmungen auslösten. Mit der Zeit sollen diese Monde durch die Gravitation des Mars in ihn eingeschlagen haben und somit dem Mars die Quelle seines Magnetfeldes entzogen haben.

Ein Team von Schweizer Wissenschaftlern hat 2007 herausgefunden, dass es gut möglich ist, dass Mars in Zukunft sein Magnetfeld wiedererlangt.

Die Temperatur im Kern des Mars sinkt stetig, sodass sich irgendwann die Eisen-Schmelze Mischung kristallisieren könnte und in Flocken in die Mitte des Kerns absinken. Die dabei freigesetzte Energie könnte wieder Konvektionsströmungen antreiben und somit einen starken Dynamoeffekt auslösen. Exakt vorhersagen lässt sich so etwas natürlich nicht, da es unmöglich ist die genaue Temperatur im inneren des Planeten zu messen. Falls diese Kristallisation jedoch eintreten würde, wäre ein Terraformingprozess um einiges einfacher zu bewerkstelligen, als ohne globales Magnetfeld. Unmöglich wäre es jedoch nicht, die ultravioletten Strahlen auch ohne Magnetfeld zu reflektieren, jedoch bräuchte man dazu einen sehr hohen Ammoniak Partialdruck in der Atmosphäre.



## MÖGLICHES LEBEN AUF DEM MARS

Es gibt viele mögliche Szenarien für Leben auf dem Mars, jedoch bis heute keine gültigen Beweise für dessen Existenz. Viele Wissenschaftler halten es jedoch für plausibel, dass das Leben auf dem Mars, falls es jemals dort existierte, bis heute überdauert haben könnte. Außerdem gibt es vielerlei Hinweise darauf, dass Mars heute primitive Lebensformen beherbergt:

### METHAN:

Im marsianischen Sommer kommt es vermehrt zu Ausstößen von Methan in der nördlichen Hemisphäre und bindet sich in Gaswolken, welche sich in der Atmosphäre verteilen. Im Sommer werden ca. 0,6 Kg Methan pro Sekunde ausgestoßen. Während auf der Erde 90-95% des Methans biologisch hergestellt wurden, ist der Ursprung des Methans auf Mars unbekannt.

Wahrscheinlich wird das Methan das ganze Jahr über unterirdisch produziert (geologisch, chemisch oder vielleicht auch biologisch) und nur im Sommer, wenn der Permafrost teilweise verschwindet, freigesetzt.

Auf jeden Fall ist das unterirdisch produzierte Methan ein Beweis für flüssiges Wasser unterhalb der Oberfläche von Mars, was als Grundvoraussetzung für Leben gilt. Die plausibelste Erklärung für das Methan ist jedoch die chemische Produktion unterirdisch. Biologische Herkunft kann nach wie vor nicht ausgeschlossen werden.

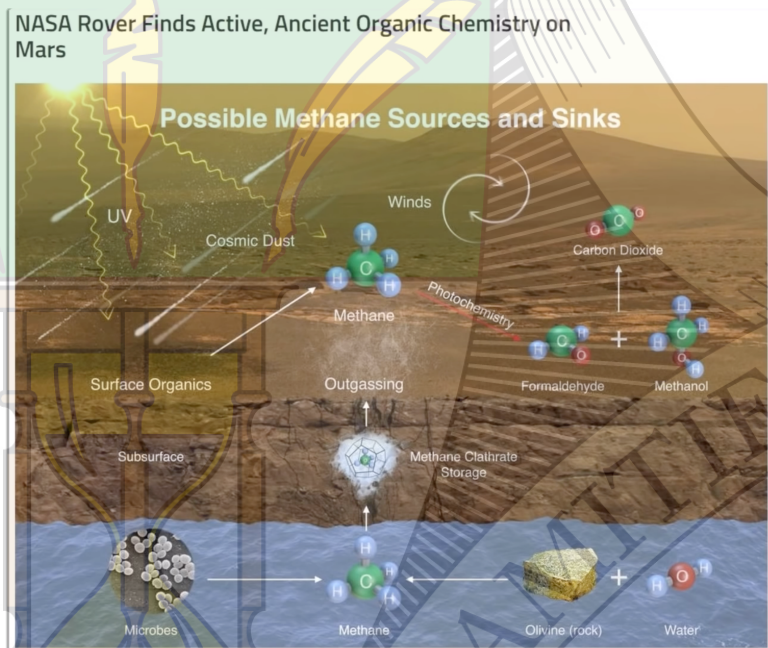


FIGURE 9: MÖGLICHE QUELLEN FÜR DAS AUSTRETENDE METHAN AUF DEM MARS

### IRDISCHES LEBEN AUF DEM MARS

Manche Wissenschaftler gehen davon aus, dass die Menschheit das Terraforming unbewusst bereits längst begonnen hat. In den 70iger Jahren wurde Raumsonden vor dem Start noch nicht sterilisiert bis herausgefunden worden ist, dass superresistente Bakterien im Vakuum des Alls überleben können. 2013 fanden NASA-Wissenschaftler nämlich in mehreren Reinnräumen weltweit Bakterienstämme die dort überlebten, was bis zu dem Zeitpunkt eigentlich als unmöglich galt. Die



NASA muss sich jetzt neue Reinigungsmittel ausdenken, da die üblichen Sterilisationsverfahren wie das Nutzen ultravioletter Strahlung und diversen Chemikalien manchen Bakterien nichts anhaben konnten. Wissenschaftler gehen deshalb jetzt davon aus, dass Bakterien sich an den ersten sowjetischen Sonden Mars 2 und Mars 3 sowie den amerikanischen Viking Sonden festgesetzt haben und die Reise zum Mars möglicherweise überlebten. *Bacillus pumilus* ist ein solcher Stamm von superresistenten Bakterien. Es wäre nicht unmöglich, dass sich die Bakterien im möglicherweise wasserreichen marsianischen Boden festgesetzt haben und sich seither dort vermehren oder zumindest überleben.

#### VIKING-MISSION

Die Viking Missionen 1 und 2 hatten unter anderem das Ziel, die Möglichkeit nach Leben auf dem Mars zu untersuchen. Zu diesem führte die Viking Sonde 4 Experimente durch. In einem ersten chemischen Versuch konnten keine Spuren von kohlenstoffhaltigen organischen Strukturen nachgewiesen werden. In einem zweiten Experiment wurde der marsianische Boden mit einer Nährlösung gemischt. Die Viking Sonde registrierte daraufhin Abgaben großer Mengen von Sauerstoff vom Boden.

In einem weiteren Experiment wurden eine Nährlösung mit radioaktiven Kohlestoffatomen auf eine weitere Probe von marsianischen Boden gegeben. Im entweichenden Gas konnten nachher radioaktive Kohlenstoffatome nachgewiesen werden, was auch auf einen biologischen Stoffwechsel schließen lässt. Auch ein weiteres biologisches Experiment fiel positiv aus.

Doch wegen dem ersten negativen chemischen Experiment konnte die Viking Mission keinen Beweis für Leben auf dem Mars liefern.

## HÖHLENSYSTEME AUF DEM MARS



FIGURE 10: HÖHLENEINGANG IN DER THARSISREGION

Die amerikanische Raumfahrtbehörde hat mit dem Mars Odyssey Aufnahmen um den Vulkan Arsia Mons in der Tharsis-Erhebung geschossen. Auf diesen Fotos sind eindeutig Höhleneingänge zu erkennen. Diesen Höhlen wird eine Tiefe von mindestens 100m zugesagt. Höhlen auf dem Mars gehören auch zu den wohl wahrscheinlichsten Orten um auf primitives Leben zu treffen, da innerhalb der Höhlen für Leben akzeptable UV-Strahlung herrscht. Auch fließendes Wasser innerhalb der Höhlenstrukturen ist nicht auszuschließen.

Auch auf der Erde gibt es Lebensformen, welche in Höhlen von 10.000 Metern Tiefe überleben, was ein Indiz sein kann, dass Leben in den marsianischen Höhlen ebenfalls möglich ist. Denn auch in tiefen irdischen Höhlen wurde Leben für lange Zeit für unmöglich gehalten. Genau so in der Arktis im Permafrost. Trotzdem konnten an beiden Orten Mikroorganismen gefunden werden, welche unter den harschen Konditionen überlebten. Somit kann man nicht ausschließen, dass durch Evolution sich marsianischen Lebensformen im Laufe der Zeit an die heutigen Konditionen auf dem Mars angepasst haben.

## ASTEROIDEN VOM MARS

Bisher konnte noch keine unbemannte Mission Material vom Mars zur Erde zurückbringen. Trotzdem können Wissenschaftler marsianisches Gestein in Laboren auf der Erde untersuchen. Mehrere Meteoriten mit Ursprung vom Mars wurde auf der Erde gefunden. Besonderes mediales und wissenschaftliches Interesse erregte 1996 der Meteor ALH 84001. Der Meteor wurde 1984 in der Antarktis gefunden und wird von Wissenschaftler auf ein Alter von 3,5 – 4 Milliarden Jahren geschätzt. Der 1,94 kg schwere Meteor stammt also aus der Zeit, von der Wissenschaftler ausgehen, dass Mars bewohnbare Konditionen besaß.

Ein Wissenschaftlerteam um Dr. David S. McKay fand innerhalb des Meteoriten Strukturen die auf Leben schließen lassen. Untersuchungen im Elektronenmikroskop ließen Spuren erkennen, die fossilen Bakterien sehr ähnlich sind. Obwohl die gefundenen Strukturen im Nanometerbereich liegen und Bakterien normalerweise größer sind, gehen Wissenschaftler davon aus, dass es auch Nanobakterien gibt.

Im Gestein fand sich auch eine Magnetitkonstellation, welche auf der Erde nur von Bakterien hergestellt wird. Dieser Magnetit ließ sich jedoch in einem Versuch auch chemisch herstellen was die These dass es sich um ein bakterielles Produkt handelt, etwas entkräftet. Außerdem fand das Forscherteam Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, welche auch ein biologisches Abfallprodukt sind. Auch hier lässt sich nicht ausschließen, dass sie eine chemische Herkunft haben, weshalb auch dieser Fund keine Beweiskraft für die vergangene Existenz von Leben auf dem Mars ist. Jedoch werden beide Produkte auf der Erde nicht von Natur aus chemisch hergestellt. Die Wahrscheinlichkeit dass es doch biologischer Herkunft ist ist also nach wie vor sehr hoch, nur als wissenschaftlicher Beweis geht es nicht mehr durch.

Auch andere Meteoriten vom Mars welche auf der ganzen Welt verteilt gefunden wurden geben Indizien für Leben.



# TERRAFORMING DES MARS

---

## DEFINITION VON TERRAFORMING

---

*"Terraforming ist der wissenschaftliche Begriff für die "Umformung" von anderen Planeten in bewohnbare, erdähnliche Himmelskörper mit Hilfe von zukünftlicher Technologie"*

## WARUM TERRAFORMING

---

Die Idee des Terraformens fremder Himmelskörper entstand in den letzten Jahrzehnten vor allem aus Ungewissheit um die Zukunft der Menschheit auf der Erde. Die Aktuelle Entwicklung der Demographie und des Klimas auf der Erde ist mit Sorge zu betrachten, denn niemand kann mit Sicherheit sagen, dass diese Entwicklungen keine dramatischen Folgen auf unsere Zivilisation haben wird. Außerdem hat das Ansiedeln menschlichen Lebens auf anderen Planeten den Vorteil, dass die menschliche Spezies durch die 2 Aufenthaltsorte im Sonnensystem besser vor der Auslöschung geschützt ist.

Aus diesen Sorgen heraus sowie aus dem menschlichen Forscherdrang, beschäftigen sich Wissenschaftler weltweit mit den technischen Möglichkeiten eines Terraformingprozesses des Mars und einer darauffolgenden Besiedlung. Ein solcher Prozess würde zwar Jahrhunderte bis Jahrtausende dauern bis er komplett abgeschlossen wäre, jedoch wäre er theoretisch im Rahmen des machbaren.

*„Doch warum gerade Mars als Terraformingobjekt?“*

Da Mars der einzige bekannte Planet ist, der mit absehbarer Zeit erreichbar und „terraformbar“ ist, zumal Wissenschaftler davon ausgehen, dass es bereits früher Leben auf dem Mars gab. Außerdem ist Mars der Planet der bereits am meisten erforscht ist und wo ein Terraformingprozess am günstigsten gestartet werden kann, da die Konstanten wie Tagesdauer und Neigung sowie die Jahreszeiten denen der Erde nicht allzu fremd sind sowie die Entfernung zu Erde nicht allzu groß ist.

Um den Planeten Mars in einem bewohnbaren Planeten zu verwandeln sind folgenden Ziele zu erreichen:

- Der wichtigste Schritt im möglichen Terraformingprozess ist es den Druck der Atmosphäre zu erhöhen, auf mindestens 63 hPa, da ansonsten Wasser bei 37°C kocht. Bei einem Druck über diesem Wert kann der Mensch ohne Druckanzug überleben (Dieser Wert wird auch als „Armstrong Grenze“ bezeichnet).
- Die Oberflächentemperatur müsste auf über 0°C erhöht werden
- Ein weiterer Schritt im Terraformingprozess ist es flüssiges Wasser auf dem Mars herzustellen und nutzbar zu machen. Ohne Wasser wäre ein Überleben auf dem Mars über längere Zeit undenkbar.
- Um freie Bewegung ohne künstliche Sauerstoffversorgung zu ermöglichen müsste neben einer Druckerhöhung die Zusammensetzung der Atmosphäre verändert werden. Ideal für die menschliche Atmung ist eine Zusammensetzung von ungefähr 20% Sauerstoff und 80% Stickstoff

### MÖGLICHE SZENARIEN VON TERRAFORMING AUF DEM MARS

---

#### DAS AUFWÄRMEN VON MARS UND DIE ERHÖHUNG DES DRUCKS

---

Eine der wohl meist diskutierten Vorschläge zur Erhöhung des Drucks und der Temperatur der Atmosphäre des Mars ist es das Trockeneis der Polkappen zu nutzen um damit die Atmosphäre mit CO<sub>2</sub> anzureichern, was einen Treibhauseffekt hervorrufen würde. Chris McKay von der NASA formulierte die nötige Menge CO<sub>2</sub> mathematisch in folgendem Klimamodell:

$$T_{\text{mean}} = S^{0.25} T_{\text{BB}} + 20(1+S) P^{0.5}$$

(S ist die solare Konstante die momentan 1 entspricht, T<sub>BB</sub> ist die schwarze-Körper Temperatur, also die Absorptionskraft von Strahlung der Oberfläche von Mars (213,5 K). P entspricht dem atmosphärischen Druck und ist in Bar angegeben. T<sub>mean</sub> entspricht der Durchschnittstemperatur)

Die Temperatur an den Polen kann mathematisch wie folgt definiert werden:

$$T_{\text{pole}} = T_{\text{mean}} - \Delta T / (1 + 5P)$$

(ΔT drückt in diesem Fall Die Temperaturdifferenz zwischen der globalen und der an den Polen ohne Einfluss einer Atmosphäre aus)

Durch den benötigten Druck kann man errechnen, wieviel CO<sub>2</sub> man benötigt, um den Mars zu einer gewünschten Temperatur aufzuheizen.

Mögliche Lösungen um die Kappen zum schmelzen zu bringen gibt es einige. Man könnte die Polkappen durch andere Treibhausgase, die um das 20.000-fache effektiver als CO<sub>2</sub> sind, zum schmelzen bringen. (z.B Schwefelhexafluorid SF<sub>6</sub>, Hexafluoretan C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, Tetrafluorkohlenstoff CF<sub>4</sub>, Octofluorpropan C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>). Denkbar wären Fabriken auf dem Mars welche die Treibhausgase produzieren. Diese sogenannten Supertreibhausgase würden die Temperatur soweit erhöhen, dass mehr CO<sub>2</sub> schmilzt, was wiederum den Treibhauseffekt antreiben würde. Ab etwa 4°K wäre

das schmelzen der Polkappen autark. Bei der Wahl der Supertreibhausgase müsste vor allem ein Auge auf die Lebensdauer in der Atmosphäre gelegt werden. Da Mars eine sehr dünne Ozonschicht besitzt besitzen alle Gase in der Atmosphäre von Mars eine geringere Lebensdauer als

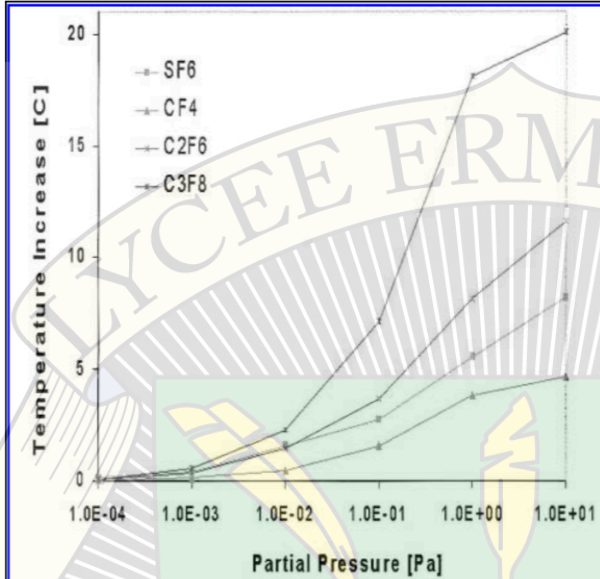


FIGURE 11: EFFIZIENZ DER VERSCHIEDENEN TREIBGASE (TEMPERATURERHÖHUNG IN RELATION ZUM ATMOSPHERISCHEN DRUCKES DES GASES)

in der irdischen Atmosphäre. Die Ozonschicht auf der Erde schützt uns nämlich vor der tödlichen UV-Strahlung und schützt die Moleküle in der Atmosphäre vor Zerstörung durch das UV-Licht. Da die Ozonschicht auf Mars so dünn ist kommen mehr UV-Strahlung durch sie durch. Das UV-Licht spaltet die Moleküle der Supertreibgase auf. Deshalb ist die Halbwertszeit von Elementen auf dem Mars viel niedriger. Die Halbwertszeit definiert die Zeit, in der statistisch die Hälfte aller Moleküle sich auflösen.

Außerdem sollten die Treibhausgase von Bakterien hergestellt werden können, damit die erreichte Temperatur der Atmosphäre beibehalten werden kann. Des Weiteren ist nicht nur das Treibhauspotenzial entscheidend, man muss auch aufpassen das gesamte Infrarotspektrum abzudecken, damit

der Mars möglichst wenig Hitze ins All abgibt.

Eine andere Möglichkeit Treibhausgase freizusetzen wäre es anaerobe Bakterien künstlich auf dem Mars anzusiedeln, welche ohne Sauerstoff auskommen, Kohlenstoffdioxid „atmen“ und Methan produzieren, welches treibhauseffekt-technisch einem CO<sub>2</sub> Äquivalent von 21 entspricht. Die amerikanische Raumfahrtbehörde NASA hat bereits mehrere Testkapseln in Planung, welche auf dem Mars ausgesetzt werden und analysieren ob die Ansiedlung dieser Bakterien auf dem Mars funktioniert. Das Ansiedeln von Mikroorganismen würde außerdem den Marsboden mit wichtigen Nährstoffen wie Stickstoff anreichern, ohne die höhere Pflanzen nicht gedeihen können.

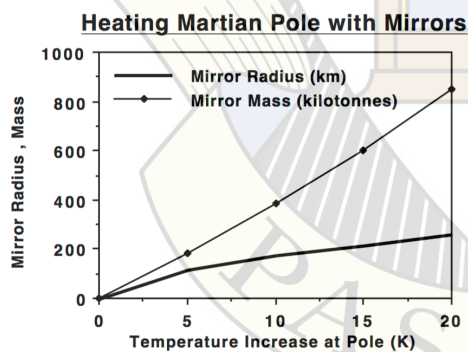


FIGURE 12: RADIUS UND MASSE DES SPIEGELS (PRO °K TEMPERATURERHÖHUNG AN DEN POLEN DES MARS)

Andere Wissenschaftler greifen die Idee eines Weltraumspiegels aus PET-Alufolie auf, welcher Sonnenstrahlen auf die südliche Polkappe bündelt, um das dortige CO<sub>2</sub> Reservoir zum schmelzen zu bringen. Dieser Spiegel müsste jedoch mindestens einen Diameter von 100km besitzen um die Kappen zum schmelzen zu bringen. Dieser Spiegel könnte im Weltraum mit Material von den Monden von Mars gebaut werden und würde um die 200.000 Tonnen wiegen. Der Energieaufwand um einen solchen Spiegel zu bauen beläuft sich Schätzungen zufolge auf 120 Megawatt Jahren. Der Energieaufwand könnte mit Hilfe von mobilen Nuklearreaktoren gedeckt werden, die bis zu 5 Megawatt liefern könnten.

[HTTP://WWW.MARSPAPERS.ORG/PAPERS/ZUBR\\_1993\\_3.PDF](http://www.marspapers.org/papers/zubr_1993_3.pdf)



Auch das plötzliche tauen der Kappen durch die Nutzung von nuklearer Energie ist nicht ausgeschlossen, laut Elon Musk, Chef von SpaceX und Alan Mole. Denn es könnte sein, dass der Treibhauseffekt von dem  $\text{CO}_2$ , welches in der Polkappen gebunden ist, nicht ausreicht um das restliche Kohlenstoffdioxid im Regolith zum sublimieren zu bringen. Eine Lösung für dieses Problem würden unterirdisch gezündete Atombomben sein, welche das im Regolith gespeicherte Wasser und  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre freisetzen. Eine andere Anwendung der Kernspaltung auf dem Mars wäre es die unterirdischen Atombomben dazu zu benutzen, Staub auf die Polkappen zu verteilen, welche das Sonnenlicht absorbieren und somit die Kappen erhitzen, um eine Kettenreaktion bei dem Treibhauseffekt auszulösen.

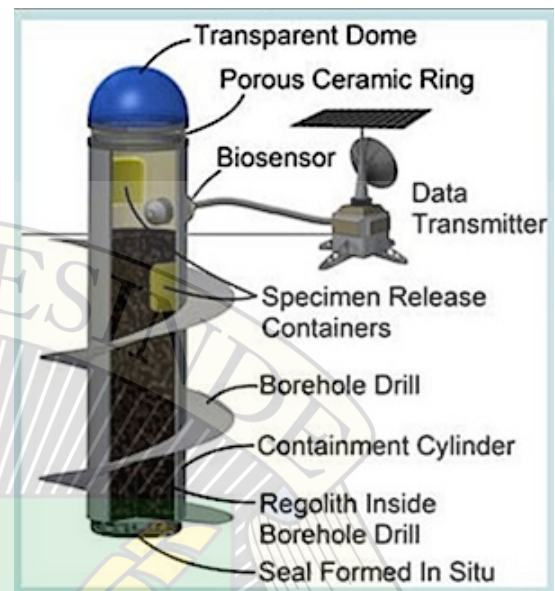


FIGURE 13: ILLUSTRATION EINER GEPLANTEN TESTKAPSEL

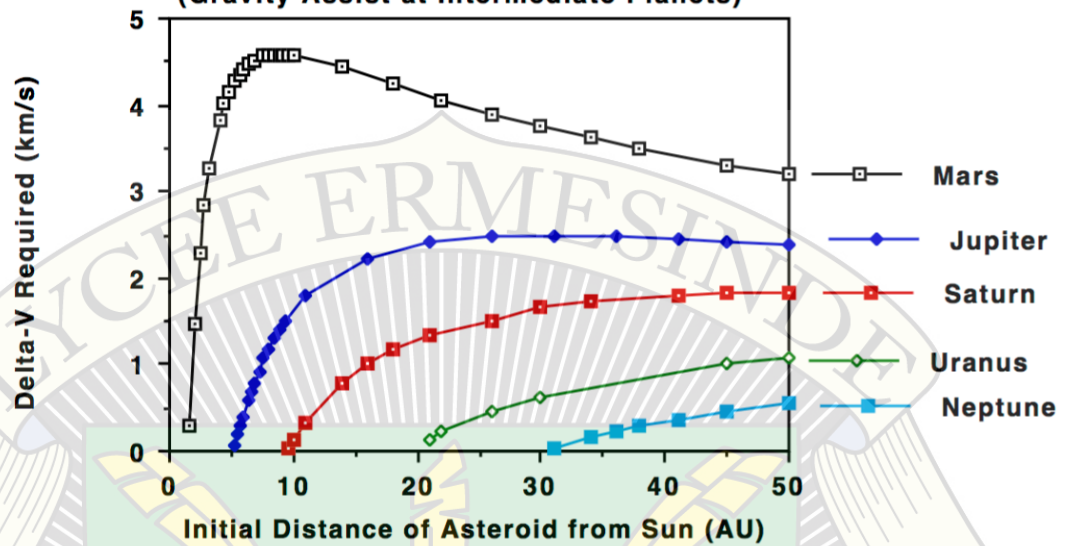
Atombomben haben bloß den einen Negativpunkt, dass sie das Potenzial haben die Oberfläche des Mars für Jahrzehnte bis Jahrhunderte radioaktiv zu verseuchen, was im kompletten Gegensatz zu den Idealen von Terraforming steht. Jedoch gehört die Anwendung von Atombomben im Terraformingprozess zu den Technologien, welche am ehesten in nicht allzu ferner Zukunft einsetzbar sind.

Insgesamt könnten 400 Millibar  $\text{CO}_2$  freigesetzt werden, welches fast reichen würde um die globale Temperatur auf ca.  $0^\circ\text{C}$  zu erhöhen.

In unserem Sonnensystem befinden sich außerdem große Mengen an Ammoniak, welches sich in Form von Kometen und kleineren Planeten in die Atmosphäre vom Mars lenken lassen könnten. Dies wäre eine sogar sehr preiswerte Idee, da dies einen relativ niedrigen Energieaufwand benötigen würde. Das liegt daran, dass Himmelskörper, welche weit entfernt von der Sonne sind, sich weniger schnell bewegen. Es benötigt also eine niedrigere Geschwindigkeitsveränderung um die Umlaufbahn von einer kreisförmigen zu einer elliptischen zu ändern.

Konkrete Vorschläge wie man solche Asteroiden bewegen könnte liegen bereits vor. Wenn man von einem Asteroiden mit einem Durchmesser von 2 bis 3 km. Mit einem 5GW starken nuklearen Reaktor könnte man den Asteroiden so weit erhitzen, dass das entweichende Gas den Asteroiden antreibt und so seine Umlaufbahn so weit ändert, dass man mit Hilfe der Schwerkraft von Saturn in den Mars steuern kann, wenn man davon ausgeht, dass 25% der Energie in Hitze umgewandelt werden. Ein solcher Asteroid könnte etwa 10 Mrd. Tonnen Ammoniak enthalten. Die Existenz solcher Asteroiden in unserem Sonnensystem wurde noch nicht geklärt, jedoch gilt es als sehr wahrscheinlich, dass solche Himmelskörper am Rande unseres Sonnensystems existieren. Um etwa  $0,3 \text{ m/s}$  würde die Geschwindigkeit des Asteroiden verändert werden, um ihn auf die Umlaufbahn von Saturn zu bringen, welche ihn weiter beschleunigen würde. 8% der Masse würden bei der Reise verloren gehen. Der Asteroid bräuchte ungefähr 10 Jahre zum beschleunigen und würde danach noch eine zwanzigjährige Reise zum Mars benötigen.

## Velocity Change Required to Transport Asteroids to Mars (Gravity Assist at Intermediate Planets)



Die freigesetzte Energie bei einem solchen Aufprall wären enorm: Allein der Aufprall an sich würde etwa 10 TW-Jahre an Energie freisetzen, was genügen würde um 1 Billionen Tonnen an Wasser zum schmelzen zu bringen. Das freigesetzte Ammoniak würde die Oberflächentemperatur um etwa 3°C erhöhen und Mars vor einem großen Teil der tödlichen UV- Strahlung schützen.

Ein Problem stellt dieser Prozess jedoch da. Ammoniak zersetzt sich nach ca. 100 Jahren, sodass man ständig neue Asteroiden auf den Mars lenken müsste. Außerdem ist die Aufprallenergie mit ca. 70.000 Megatonnen TNT Equivalent ziemlich lebensfeindlich. Deshalb ist eine Besiedlung nicht möglich, wenn man Mars immer wieder dieser Energie aussetzen müsste.

Wissenschaftler schlagen deshalb bereits Lösungen für diese Probleme vor. Die Existenz von Bakterien welche aus Stickstoff und Wasser Ammoniak herstellen ist bereits nachgewiesen. Wenn man dieser Bakterien auf Mars ansiedeln könnte müsste man nicht mehr dauernd neues Ammoniak nach Mars schicken. Somit könnte sich die Atmosphäre von alleine halten.

Dieses Prinzip könnte genauso mit Methan wiederholt werden, welches auch wie Ammoniak sehr kurzlebig ist.

## Heating Mars with Imported Ammonia

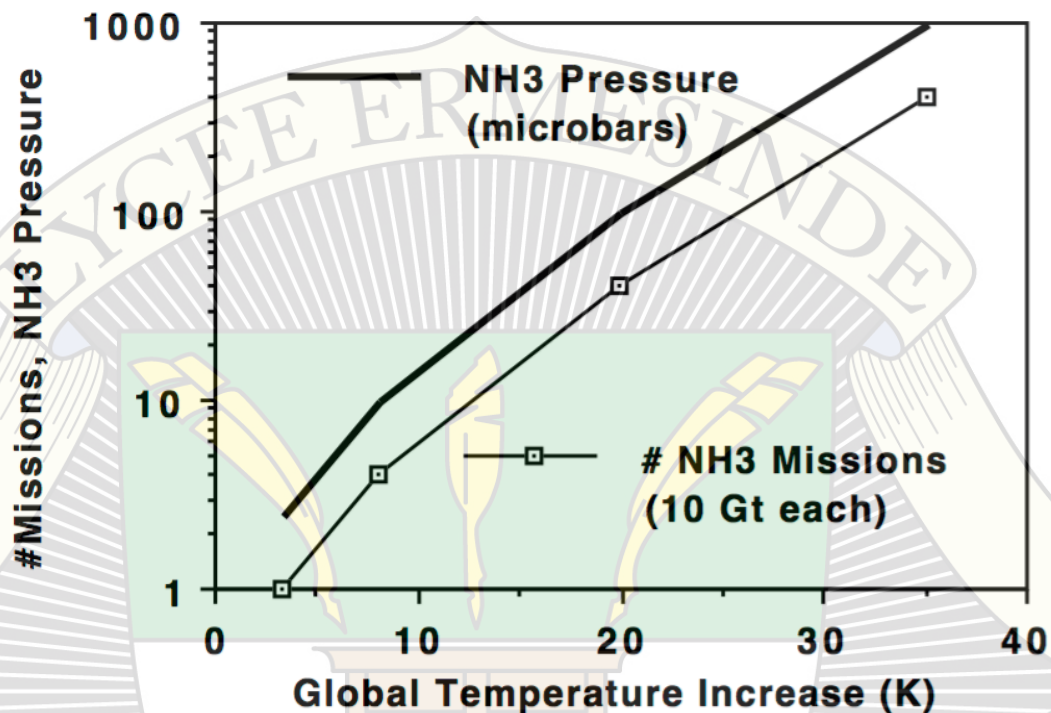


FIGURE 14: IMPORTIERTE ASTEROIDEN UND ATMOSPHERISCHER DRUCK VON AMMONIAK PRO °K GLOBALE TEMPERATURERHÖHUNG. DIE PUNKTE STELLEN DIE EINZELNEN IMPORTIERTEN AMMONIAK-ASTEROIDEN DAR.

Mars besitzt eine eher hellere Farbe auf der Oberfläche, weshalb die Oberfläche wenig Hitze absorbiert, sondern die Sonnenstrahlen zu einem großen Teil reflektiert. Wenn man es bewerkstelligen würde schwarzen Staub von Phobos und Deimos auf der Marsoberfläche zu verstreuen könnte man die Absorptionsrate erhöhen und somit automatisch auch die Temperatur.

Das Einleiten des Treibhauseffektes würde den Atmosphärendruck automatisch erhöhen. Somit erreicht man den menschenfreundlichen Druck und die menschenfreundliche Temperatur mit einem Schritt.

Sobald die Temperatur und der Druck dafür ausreichen, könnte man Bakterienstämme in den Karbonatreservoirs ansiedeln, die das Karbonat zersetzen und somit weiteres CO<sub>2</sub> ausstoßen. Somit könnte der Temperatur- und Druckanstieg noch einmal beschleunigt werden.



---

## HERSTELLEN EINER AMTEMBAREN ATMOSPHÄRE

---

Obwohl Menschen oberhalb der Armstrong-Grenze ohne Druckanzug überleben können, würden sie beim Einatmen der vorher produzierten Atmosphäre sterben, da sie kein Sauerstoff enthalten würde. Der menschliche Körper braucht eine wenigstens 120 millibar starke Sauerstoffatmosphäre um atmen zu können. Der Prozess des Terraforming den Planeten so zu verändern, dass Mikroorganismen überleben können wird in der Wissenschaft *ecopoiesis* genannt.

Der nächste Schritt des Terraformingprozesses wäre es also ein atembares Gasgemisch herzustellen, bestehend aus Sauerstoff (ca. 20%) und einem Puffergas wie Stickstoff (ca. 80%). Dieses Puffergas ist notwendig um eine Sauerstofftoxizität zu vermeiden sowie spontane Verbrennungen vorzubeugen.

In der Ersten Phase müsste man künstlich mindestens 1mb Sauerstoff herstellen, damit erste Lebensformen auf dem Mars überleben können. Dies könnte man mit Weltraumspiegeln machen. Wissenschaftler rechnen hierbei mit ca. 25 Jahren.

In einer 2. Phase schlagen Wissenschaftler vor spezialisierte Bakterienstämme auf dem Mars anzusiedeln. Auf der Erde haben Wissenschaftler sich mit Cyanobakterien beschäftigt, welche es seit ca. 3,5 Milliarden Jahren auf der Erde gibt und somit zu den ältesten Lebensformen der Erde gehört. Cyanobakterien brauchen nur Wasser und Sonnenlicht um zu überleben und können ihre eigene Nahrung herstellen. Damit wären sie perfekt geeignet um sie im großen Stil auf Mars Oberfläche anzusiedeln um den Sauerstoffgehalt der Atmosphäre zu erhöhen. Diese Bakterien könnten auch durch Gentechnik verändert werden um sie noch resistenter gegen die tödlichen UV-Strahlung von 6 Watt pro Quadratmeter auf Mars Oberfläche zu machen. Außerdem könnte man die Photosynthese des Bakterienstammes gentechnisch verbessern. NASA Wissenschaftler wie Chris McKay gehen davon aus, dass die Bakterien zwanzig bis dreißig Jahre brauchen werden, um sich über die gesamte Marsoberfläche zu verbreiten. Die Bakterien würde nach und nach die Gesteinsschicht zersetzen und fruchtbaren Boden produzieren, auf welchem je nach Sauerstoffgehalt der Atmosphäre Moose und Flechten sowie manche Pilzsorten gedeihen könnten.

Das zweite Art Bakterium das uns Menschen bekannt ist und extremophil genug ist um auf dem Mars zu überleben ist das *Deinococcus radiodurans*. Diesem Bakterium gelingt es noch bei einer chronischen Bestrahlung mit 60 Gy (Gray[J/Kg]) zu wachsen. Die mittlere Lethaldosis, also die Dosis bei der 50% der Bakterien überleben wenn sie kurz bestrahlt werden liegt bei 10.000 Gy. Vereinzelt können die Bakterien auch 17.000 Gy überleben. Im Vergleich sterben Menschen ab einer Dosis von 7-10 Gy mit einer Wahrscheinlichkeit von 100%. Seine außergewöhnliche Strahlenresistenz verdankt das Bakterium seiner Fähigkeit besonders effizient seine DNS zu reparieren und seiner starken Zellwand, die das Bakterium vor der UV-Strahlung schützt.

Ein dritter Bakterienstamm der in Frage kommen würde um in einem Terraformingprozess eingesetzt zu werden ist das Bakterium *Rhodospseudomonas sphaeroides*, welches  $\text{NO}_2^-$  zu  $\text{N}_2$  konvertieren kann. Jedoch könnten dieses Bakterien erst später im Terraformingprozess eingesetzt werden, da sie biologisches Material sowie Wasser und Sauerstoff benötigen um wachsen zu können.

Sobald sich flüssiges Wasser auf der Oberfläche von Mars zu Seen und Meeren formt, kann man dort Algen ansiedeln, welche auch wiederum durch Fotosynthese  $\text{O}_2$  produzieren. Wasser hat

außerdem den Vorteil, dass bereits eine mehrere Meter dicke Wasserschicht effektiv vor extremen UV-Dosen schützt.

Bis diese Lebensformen jedoch genug Sauerstoff produziert haben damit Menschen diese atmen können vergehen laut Expertenmeinungen 10.000 bis 100.000 Jahre.

TABLE 4. ENERGY REQUIREMENTS FOR TERRAFORMING MARS

| Initial state                          | Final state                            | Amount  | Energy<br>(J m <sup>-2</sup> ) | Solar<br>energy (yr) <sup>a</sup> | Time (yr) |
|--|--|---|--------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| Surface warming                        |  |   |                                |                                   |           |
| CO <sub>2</sub> (s) at 125°C           | CO <sub>2</sub> (g) at 15°C            | 200 kPa; 5.4 × 10 <sup>4</sup> kg m <sup>-2</sup> | 3.7 × 10 <sup>10</sup>         | 7.9                               |           |
| Dirt at -60°C                          | Dirt at 15°C                           | ~10 m; 2 × 10 <sup>4</sup> kg m <sup>-2</sup>     | 1.2 × 10 <sup>9</sup>          | 0.3                               |           |
| H <sub>2</sub> O(s) at -60°C           | H <sub>2</sub> O(l) at 15°C            | 10 m; 1 × 10 <sup>4</sup> kg m <sup>-2</sup>      | 5.5 × 10 <sup>9</sup>          | 1.2                               |           |
| H <sub>2</sub> O(s) at -60°C           | H <sub>2</sub> O(g) at 15°C            | 2 kPa; 5.4 × 10 <sup>2</sup> kg m <sup>-2</sup>   | 1.6 × 10 <sup>9</sup>          | 0.33                              |           |
| Total                                  |  |   |                                | 10                                | 100       |
| Deep warming                           |  |   |                                |                                   |           |
| H <sub>2</sub> O(s) at -60°C           | H <sub>2</sub> O(l) at 15°C            | 500 m; 5 × 10 <sup>5</sup> kg m <sup>-2</sup>     | 2.8 × 10 <sup>11</sup>         | 56                                | 500       |
| Making O <sub>2</sub>                  |  |   |                                |                                   |           |
| CO <sub>2</sub> (g) + H <sub>2</sub> O | CH <sub>2</sub> O + O <sub>2</sub> (g) | 20 kPa; 5.4 × 10 <sup>3</sup> kg m <sup>-2</sup>  | 8 × 10 <sup>10</sup>           | 17                                | 100,000   |

Adapted from McKay et al. (1991).

<sup>a</sup>Energy divided by the total solar energy reaching Mars in a year, 4.68 × 10<sup>9</sup> J m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>.

FIGURE 15: ENERGIE UND ZEITAUFWAND DER EINZELNEN TERRAFORMING-ETAPPEN

Jahre, was im Vergleich eine relativ kurze Zeit ist, da dieser Prozess in der Entstehungsgeschichte der Erde über 1 Milliarde Jahre andauerte. Dies schließt jedoch nicht aus, dass Menschen nicht bereits vor der Vollendung der marsianischen Atmosphäre den Mars kolonisieren können.

So wäre es möglich große Biosphären zu installieren, in welchen Menschen fest wohnen könnten, um den Terraformingprozess zu beschleunigen/kontrollieren. Mit gigantischen Fusionsreaktoren im Terrawattbereich könnte man O<sub>2</sub> aus metallischen Oxiden herstellen. Andere Wissenschaftler wie Robert Zubrin schlagen sich selbst reproduzierende Maschinen im Nanobereich vor, welche den gesamten Planeten bedecken und durch die Energie des Sonnenlichts O<sub>2</sub> herstellen. Wenn der gesamte Planet mit diesen Maschinen bedeckt wäre und diese mit einer Effizienz von 30% arbeiten würden, wäre eine 120 Millibar starke Sauerstoffatmosphäre in ca. 30 Jahren erreicht.

Im Endeffekt halten es jedoch die meisten Wissenschaftler außerhalb der menschlichen Kompetenz die marsianische Atmosphäre atembar zu machen. Es bedarf ausgereifteren Technologien um in einem menschlichen Zeitramen eine Atmosphäre zu erstellen.

Ein weiteres Problem ist die hohe Strahlung, die auf die Oberfläche des Planeten treffen. Erst eine dichtere Atmosphäre und ein stärkeres Magnetfeld würden dies verhindern. Es gibt Spekulationen, dass das Magnetfeld von Mars sich in Zukunft automatisch erholt, andere gehen davon aus, dass die Menschheit hier nachhelfen könnte um das Magnetfeld widerherzustellen, wie dies zu bewerkstelligen ist ist noch unklar.

Ein Vorschlag der Wissenschaft sieht vor die Umlaufbahn vom Zwergplaneten so zu ändern, dass dieser in eine exzentrische Bahn um den Mars gelenkt wird. Die Masse von Pluto würde somit durch seine Umlaufbahn eine Reibung innerhalb des Kerns von Mars erzeugen, welche das Metall innerhalb des Kerns zum schmelzen bringen würde. Das somit erzeugte Energiefeld würde sich Rechnungen zufolge bis etwa 1000km oberhalb der Marsoberfläche erstrecken und den Planeten effektiv vor der Weltraumstrahlung schützen. Dieser Prozess würde jedoch 5 Millionen Jahre dauern und ist deshalb eher impraktikabel. Auch wie man die Umlaufbahn ändern soll ist

ungeklärt. Manche Wissenschaftler reden von der Möglichkeit in ferner Zukunft Wurmlöcher herzustellen, mit denen man die Position von Himmelskörpern im Raum schlagartig ändern kann.

Wahrscheinlich wird das Wiederherstellen des marsianischen Magnetfeldes wohl doch nicht Bestandteil eines Terraformingprozesses sein.

Andere Wissenschaftler stellen das Vorhandensein eines Magnetfeldes nicht als Bedingung für eine Besiedlung des Mars voraus. Eine dicke Atmosphäre würde reichen um gegen die Weltraumstrahlung zu schützen. Sonnenwinde würden zwar die Atmosphäre abtragen, jedoch könnte man die Atmosphäre von Mars künstlich erneuern.





## ETHIK DES TERRAFORMINGS

---

Die Idee des Terraformens von anderen Planeten wirft die Frage auf, ob der Mensch das Recht besitzt andere Planeten künstlich zu verändern, damit sie einen Nutzen für den Menschen haben. Diese Frage gibt es auch bereits lange auf der Erde, und die verschiedenen Ansichten lassen sich direkt auf Mars übertragen. Insgesamt gibt es 3 verschiedene ethische Ansichten:

- **Anti-Humanismus:** Der Mensch besitzt kein Recht die Umwelt mit seinen Technologien zu verändern. Der Mensch besitzt keine besonderen Rechte gegenüber anderen Spezies der Erde.
  - Dieses Axiom vertritt die Meinung, dass alle Spezies auf der Erde gleichberechtigt sind. Es sei falsch, dass sich eine Spezies über die anderen stellt und somit direkt in das gesamte Ökosystem eingreift. Der Mensch sollte darauf achten in keiner Weise seine Umwelt zu manipulieren.
- **Utilitarismus:** Der Mensch besitzt die Verantwortung die Ressourcen seiner Umwelt weise und nachhaltig zu nutzen und darf die Umwelt zu seinen Gunsten verändern.
  - Der Mensch darf sich über die anderen Lebensformen setzen und sie für seine Zwecke benutzen, hat jedoch die Verantwortung dies auf eine nachhaltige und weise Art zu bewerkstelligen. Nichtsdestotrotz steht der Nutzen für die Menschheit an erster Stelle und der Schutz von anderen Lebensform ist zwar wichtig, jedoch zweitrangig.
- **Intrinsischer Wert:** Der Nutzen für den Menschen ist nicht das wichtigste. Jede Lebensform hat seinen eigenen Wert, unabhängig vom Nutzen für den Menschen.
  - Laut diesem Axiom besitzt jede Lebensform seinen eigenen Wert und hat somit die gleiche Daseinsberechtigung wie die Menschheit. Der Nutzen für die Menschen steht unter dem Schutz aller Lebensformen.

Den Mars zu terraformen könnte alle Lebensformen der Erde schützen, denn in diesem Fall wären die Spezies auf 2 Planeten verteilt, was ihre langzeitige Überlebenschance erhöht. Der Anti-Humanismus ist folglich die einzige ethische Ansicht die mit dem Terraforming in Konflikt steht.

Es stellt sich jedoch die Frage, wie die Menschheit darauf reagieren sollte, falls Leben auf dem Mars gefunden wird. Möglicherweise würde von Menschenhand importiertes Leben das vorhandene Leben auf dem Mars verdrängen, was mit der Ansicht des intrinsischen Wertes und dem Anti-Humanismus im Konflikt steht. Möglicherweise könnte man auf dem Mars eingefrorenen Mikroben wiederbeleben und dort wiederansiedeln, parallel zu irdischem Leben. Auch ob das marsianische Leben und das irdische den selben Ursprung haben spielt in der Ethik eine Rolle, denn falls das Leben auf dem Mars von einem anderen genetischen Strang als das irdische stammt, müsste man sich die Frage stellen ob es in Ordnung ist diese 2 möglicherweise völlig verschiedenen Lebensformen zu vermischen.

Viele Wissenschaftler gehen nämlich davon aus, dass alles Leben auf der Erde seinen Ursprung auf dem Mars hatte. Tatsächlich gibt es stichhaltige Indizien dass das irdische Leben mit Kometen vom Mars importiert wurde. Somit wäre es also in Ordnung beide Lebensformen in Kontakt zu bringen, da sie ja eigentlich den selben Ursprung haben.

## EKONOMISCHER NUTZEN DES TERRAFORMINGS UND DER BESIEDLUNG DES MARS

---

Wie im vorherigen Kapitel erklärt, kostet ein möglicher Terraformingprozess des Mars gigantische Mengen an Energie und Zeit, weshalb sich die Frage stellt, wer diesen Prozess finanzieren sollte und warum.

Wahrscheinlich ließe sich ein solches Unterfangen nur in weltweiter Kooperation verwirklichen und würde über unzählige Generationen hinweg gigantische finanzielle Mittel verschlingen, weshalb sich die Frage aufdrängt, ob ein solches Unterfangen überhaupt rentabel ist.

Da der Terraformingprozess möglicherweise Menschen benötigt, die den Prozess überwachen und steuern, ist wahrscheinlich eine Kolonie von Menschen auf dem Mars notwendig. Wenn mehrere tausend Menschen auf dem Mars benötigt werden, können sich die Regierungen der Welt den andauernden Export von Gütern zum Mars möglicherweise nicht leisten. Im Moment kostet es ca. 34.000 Dollar, um 1 Kilogramm Fracht auf den Mars zu transportieren. Diese Kosten würden selbstverständlich im Laufe der Jahre sinken, jedoch wird es immer ein erheblichen Kostenaufwand darstellen, größere Mengen an Frachtgut ins All zu heben.

Eine mögliche Lösung wäre es, ein Handelsnetzwerk aufzubauen, d.h. die Kolonie muss einen Export aufbauen, um seine Importe zu finanzieren.

Eine weitere Möglichkeit wäre es, wenn die Kolonie völlig autark funktionieren würde, was in der näheren Zukunft als sehr unwahrscheinlich gilt. Man müsste jedoch auf jeden Fall die dringlichsten Dinge wie Wasser, Sauerstoff und Nahrung unabhängig von der Erde zur Verfügung haben. Das Wasser könnte man aus dem Regolith entnehmen und ein geschlossenes Wassersystem aufbauen. Sauerstoff könnte man auch entweder aus der dünnen Luft des Mars filtern oder durch Elektrolyse aus dem Wasser gewinnen. Außerdem eignet sich der Mars generell für Landwirtschaft:

So könnte man 50-100m breite Domes aus Glas erbauen, welche die tödliche UV-Strahlung abhalten und ca. 10kPa innerhalb des Doms aufrechterhalten, damit Pflanzen gedeihen können. Diese Lebensmittel könnten dann gehandelt werden, z.B. mit Konzernen, welche Mineralien von Asteroiden im Orbit abbauen, und auf Lebensmittelimporte angewiesen sind. Denn sogar falls die Start- und Treibstoffkosten für einen Raketenstart auf Mars 10-mal so hoch wie auf der Erde sind, ist es immer noch stark rentabel, vom Mars aus zu starten, da Mars eine geringere Fliehkraft besitzt. Vorbild für dieses Handelssystem ist das Dreieckssystem der britischen Kolonialzeit. Hochtechnologie der Erde müsste auf den Mars exportiert werden, da die Herstellung von komplexen Maschinen auf dem Mars mittelfristig nicht möglich sein wird. Mars könnte Lebensmittel an die Minen im All schicken, welche wiederum ihre seltenen Mineralien und Metalle an die Erde senden. Somit würde sich die Marskolonie selbst finanzieren und müsste nicht aus dem Budget der Regierungen finanziert werden.

Man müsste sich bloß fragen, wie die Siedler zum Mars gebracht werden und wie dies zu finanzieren ist. Entweder der Transport wird von den Regierungen übernommen und organisiert, oder private Anbieter bieten One-Way Tickets an. Schätzungen zum kommerziellen Transport von Menschen zum Mars reichen von 30.000 Dollar bis zu 40 Millionen Dollar pro Person. Dies hängt

aber immer stark von den Umständen ab. Wenn der Transport routiniert und standardisiert abläuft, ließen sich die Kosten weit drücken.

Falls sich das Kostenproblem lösen ließe, wäre es theoretisch mit vorhersehbarer Raketentechnik möglich in einer einzigen Ladung bis zu 20-30 Menschen komfortabel zum Mars zu bringen.

Wenn man genauso viele Marsmissionen wie bis 2011 Spaceshuttle Missionen pro Jahr entsendet nämlich 8 Stück, könnte man jährlich 192 Menschen zum Mars entsenden. Wenn es der Menschheit gelingen würde die marsianischen Ressourcen zu nutzen, ließe sich innerhalb von ein paar Generationen eine beachtliche Kolonie aufbauen.

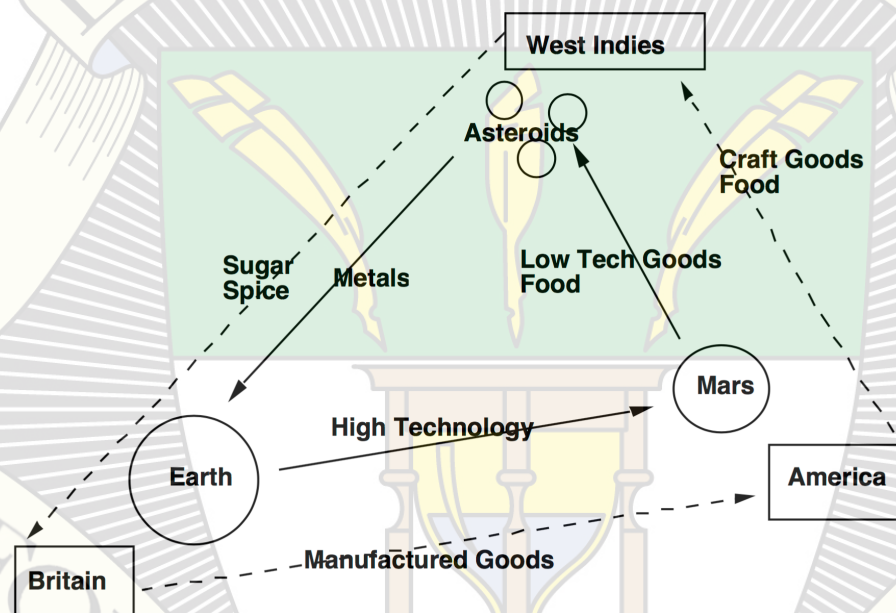


FIGURE 16: MÖGLICHES HANDELSYSTEM FÜR EINE MARSKOLONISATION IM VERGLEICH ZUM HANDELSYSTEM DER BRITISCHEN KOLONIALZEIT

Das Hauptproblem bei der Finanzierung des Terraformingprozesses ist jedoch die Aufmerksamkeitsspanne des Menschen und die einer Gesellschaft. So können Regierungen ihr Budget nicht Jahrzehnte im Voraus planen. Außerdem setzen sich Menschen und Regierungen normalerweise Ziele, die sie in ihrer eigenen Lebensdauer erreichen können. Da ein Terraformingprozess bis zu seiner Vollendung wahrscheinlich mehrere zehntausend Jahre dauern wird, wäre eine durchgehende Finanzierung schwierig. Deshalb bleibt die Eigenfinanzierung des gesamten Projektes die wohl einzig realistische Möglichkeit, ein solches Unterfangen zu finanzieren.

## HEUTIGE PROJEKTE

Obwohl noch keine Regierung der Welt und kein Konzern bis jetzt konkret das Ziel verfolgt, den Mars oder andere Himmelskörper zu terraformen, gibt es bereits einige Projekte, die in naher



Zukunft Mensch auf den Mars senden wollen mit dem Ziel dort eine Kolonie zu erschaffen. Hier eine kleine Übersicht:

### MARS DIRECT

---

Der Plan von Mars Direct wurde vom renommierten Raumfahrt Ingenieur Robert Zubrin entwickelt. Der Ansatz ist es möglichst kosteneffizient eine kleine Kolonie von Menschen auf dem Mars anzusiedeln. Als erstes soll ein Rückfluggefährt auf den Mars geflogen werden, welches selbstständig auf dem Mars mit Sauerstoff und Methan sein eigenes Kraftstoffreservoir für den Rückflug auffüllt. Die Besatzung von 4 Menschen fliegt später nach und soll 1-2 Jahre Experimente auf dem Mars ausführen. So könnten alle 2 Jahre eine neue Crew und ein neues Rückfluggerät zum Mars geschickt werden. Außerdem ließe sich über die Zeit die Kolonie durch neue Elemente ausbauen. Vorgesehen ist auch ein Nuklearreaktor, dessen Energie genutzt wird um konventionellen Treibstoff zu produzieren. Die Mars-Direct Initiative hat jedoch noch keinen festen Zeitplan geschweige denn die notwendige Finanzierung.

### MARS ONE

---

Der Plan der Mars One Mission ist es eine permanente Siedlung auf dem Mars zu errichten. Mars One besitzt bereits einen konkreten Missionsplan. Im Jahr 2020 und 2022 soll eine unbemannte Mission zum Mars erfolgen, welche die verwendeten Technologien bei der bemannten Mission testen soll. Ein Kommunikationssatellit soll auch in die Umlaufbahn von Mars gebracht werden. Ein Mars Rover soll den künftigen Landeplatz inspizieren. 2024 sollen dann die Wohneinheiten und die Vorratseinheiten für die bemannte Mission zum Mars gebracht werden. Der Rover soll die verschiedenen Einheiten empfangen und platzieren. Die Einheiten soll marsianischen Boden schmelzen um daraus Wasser und durch Elektrolyse Sauerstoff zu gewinnen. Energie soll aus Solarpanels gewonnen werden.

2026 soll bereits die erste bemannte Crew entsendet werden, 2 Jahre später, 2028 soll die zweite Crew sich auf den Weg machen. Mars One sieht jedoch keine Rückkehr vom Mars vor, was die gesamte Mission kostengünstiger und realistischer macht. Bereits seit Jahren wird eine Crew gesucht. Mittlerweile hat sich die Auswahl auf 100 Kandidaten beschränkt. Auswahlkriterien sind soziale Offenheit, psychologische und physische Stabilität, starke Englischkenntnisse sowie allgemeiner Nutzen für die Mission. Man hat bereits eine Crew 6 Monate lang in einer Testkapsel ausharren lassen, um die Langzeitfolgen einer solchen Reise zu studieren.

## SPACE X

---

Auch die Firma Space X geführt vom Milliardär Elon Musk ist an einer bemannten Mars Mission interessiert. Ende 2016 soll ein konkreter Plan vorliegen, bis ca 2025 will Elon Musk den ersten Menschen auf den Mars fliegen. Space X ist ein sehr vielversprechender Kandidat für Marsreisen, da sie bereits erfolgreich Boosterraketen, welche normalerweise in den Ozean fallen durch eine ausgeklügelte Technik zurück auf die Erde geführt hat. Für routinierte Flüge auf den Mars ist es unabdingbar die Kosten erheblich zu drücken. Das recycling von Boosterraketen ist der erste Schritt in diese Richtung.

Space X entwickelt ähnliche Raketen mit einer Transportkapazität von 13 Tonnen. Somit könnte auch das kommerzielle Reisen zum Mars langfristig ökonomischer werden, was wahrscheinlich langfristig die größte Herausforderung bleiben wird.

## SZENARIEN WELCHE DIE MENSCHHEIT BEDROHEN

---

Einer der Hauptvorteile von der Kolonisation/des Terraforming fremder Himmelskörper ist es, den Erhalt des menschlichen Lebens besser abzusichern. Es gibt vielerlei mögliche Szenarien, in welchen eine Kolonisation das menschliche Leben retten würde.

Unsere Sonne z.B. besitzt das Potenzial alles Leben auf der Erde zu vernichten. Am Ende ihrer Lebenszeit wird sie sich auf etwa das hundertfache ihres Volumens ausdehnen. Dies wird der Fall sein sobald das sogenannte „Wasserstoffbrennen“ im inneren ihres Kerns erloschen ist. (Wasserstoff der zu Helium fusioniert). Infolge dessen wird sie sich ausdehnen und wärmer im Kern werden, wo nun Helium zu Kohlenstoff „brennt“. In diesem Fall wäre Leben auf dem Mars jedoch auch unmöglich, weswegen nur die Kolonisation eines noch weiter entfernten Planeten in Frage kommt.

Eine andere Möglichkeit wäre es, dass ein gigantischer Asteroid mit der Erde kollidiert, so wie es die Dinosaurier vor ca. 70 Millionen Jahren getroffen hat. Der sogenannte Chicxulub-Meteor hatte einen Durchmesser von ca. 10 Kilometer. Ein solcher Einschlag vernichtet alles Leben in einem Umkreis von etwa 500km, verdunkelt die Erde für Jahre und löst weltweit Flächenbrände aus. Es ist unwahrscheinlich dass die Menschheit eine solche Katastrophe heil übersteht.

Auch massenreiche Sterne in anderen Sonnensystemen bedrohen die Erde. Denn wenn sehr massenreiche Sterne das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben, kollabieren sie zu schwarzen Löschern. Die dabei freigesetzte Energie wird in Form von Gammablitzen abgegeben. Gammablitz dauern nur wenige Sekunden bis Minuten, was für astronomische Verhältnisse enorm wenig ist. Ein Gammablitz kann in dieser Zeit mehr Energie abgeben als die Sonne in mehreren Milliarden Jahren. Falls ein solcher Gammablitz unsere Erde treffen würde wäre alles Leben auf der Erde ausgelöscht.

Wenn ein Stern mehr als 8 Sonnenmassen hat, (1 Sonnenmasse = die Masse unserer Sonne) endet sie am Ende ihrer Lebensdauer als Supernova. Wenn das Wasserstoffbrennen zum Erliegen kommt, kollabiert der Stern unter seiner eigenen Masse. Denn durch die hohe Masse des Sterns fusionieren die Elemente bis zu Eisen. Wenn die Masse des Kerns einen gewissen Punkt

überschreitet implodiert der ganze Stern. Direkt danach explodiert der Kern und die Masse des Sterns wird in alle Richtungen geschleudert. Falls eine Supernova 5 bis 10 Lichtjahre von der Erde entfernt stattfindet, wäre alles Leben auf der Erde vernichtet.

Das letzte Szenario ist, dass der Mensch selbst die Erde durch sein Handeln unbewohnbar macht. Überbevölkerung und Umweltverschmutzung sowie das Ausrotten anderer Tierarten und nukleare Verseuchung wären Szenarien wie der Mensch sich selbst auslöschen könnte. Viele Wissenschaftler schließen daraus, dass die Kolonisation des Mars der Ausweg ist.

Meiner Meinung nach ist dies jedoch die komplett falsche Richtung, die die Menschheit nehmen könnte, um diese Probleme zu lösen. Das eigentliche Problem ist meiner Meinung nach nicht, dass die Ressourcen der Erde nicht ausreichen, damit die Menschheit langfristig auf der Erde überleben kann, sondern dass die Menschheit sie bis heute nicht nachhaltig nutzt.

Das Hauptproblem ist nämlich unser wirtschaftliches System des übertriebenen Kapitalismus. Dieses System kann nämlich nur gesund funktionieren wenn ein Land ständiges Wirtschaftswachstum hat. Das Wirtschaftswachstum wird durch Schulden erschafft und die Schulden können nur noch mit dem Wachstum der Wirtschaft geschultert werden. Wir befinden uns in einem Teufelskreis, und das hauptsächlich auf Kosten unserer Umwelt und seinen fossilen Ressourcen.

Das Terraformen und Kolonisieren von anderen Himmelskörpern würde ein enormes Wirtschaftswachstum produzieren, was die Probleme hier auf der Erde nur noch verstärken würde.

Die Menschheit hätte besser sich um die Überbevölkerung der Erde zu kümmern und lernen eine nachhaltige Wirtschaft aufzubauen.



## FAZIT

---

Dass Terraforming als Unternehmen zur Sicherung der menschlichen Spezies einen enormen Wert besitzen könnte, steht außer Frage. Wie in der vorliegenden Arbeit gezeigt ist es mit heutigen Technologien mit großem finanziellen Aufwand möglich, die Konditionen von Mars drastisch zu verändern, sodass er lebensfreundlich für primitive Lebensformen und vielleicht sogar höhere Lebensformen wird.

Trotzdem gibt es noch einige ungelöste Probleme und unbeantwortete Fragen im Bezug auf Terraforming, vor allem was die langfristige Finanzierung eines solchen Projektes biblischen Ausmaßes betrifft. Ich persönlich halte das Terraformen von Mars in naher Zukunft für sehr unwahrscheinlich und mit unseren heutigen Kapazitäten für kaum umsetzbar. Ein weiteres Problem ist die enorme Zeit welche ein vollständiges Terraformen von Mars benötigen würde. Während das Aufwärmen des Mars maximal hundert Jahre dauern würde, was für die menschliche Zivilisation noch ein beschauliches Zeitfenster ist, benötigt das Anreichern der Atmosphäre mit Sauerstoff bis zu 100.000 Jahre. Das Aufmerksamkeitsfenster eines Menschen ist jedoch bekanntlich sehr winzig. Da jedoch die meisten Nationen und Regierungsformen sich nur mehrere hunderte Jahre halten, ist ein kontrollierter Prozess über den gesamten Zeitraum sehr unrealistisch. Die einzig plausible Lösung für dieses Problem wäre eine Beschleunigung dieses Prozesses, welcher sich mit heutigen Technologien nicht erklären lässt.

Erst wenn alle unbeantworteten Fragen zufriedenstellend beantwortet werden können wäre es für Regierungen sinnvoll, sich ernsthaft Gedanken um die Umsetzung eines solchen Projektes zu machen.

Was für die nahe Zukunft wohl viel wahrscheinlicher ist ist die Ansiedlung einer kleinen bis mittleren Bevölkerung auf dem Mars. Immer dringlicher Rohstoff und Energiemangel werden die Menschheit immer mehr zur Ausbeutung fremder Himmelskörper treiben. Wie im vorherigen Kapitel bereits beleuchtet eignet sich Mars nicht sonderlich zum Abbau von Mineralien, jedoch hat Mars das Potential zur Kornkammer unseres Sonnensystems zu werden. Wegen der geringen Fliehkraft sind Raketenstarts vom Mars nicht so energieaufwändig wie Starts von der Erde. Somit haben Raketen vom Mars eine erheblich größere Transportkapazität als welche, die von der Erde aus gestartet werden.

Mars würde auch einen Platz in einem interplanetaren Handelssystem finden. Meiner Meinung nach werden sich verschiedene wichtige Mineralien und seltene Erden auf der Erde so weit verteuern, dass der immens aufwendige Abbau und Abtransport von diesen Materialien von Kometen sich rentieren wird, sodass sehr viele finanzielle Mittel in die Raumfahrt gesteckt werden. Diese Investitionen werden die Kosten und die Effizienz der kommerziellen Raumfahrt verringern, sodass immer größere Mengen an Gütern zwischen Mars und der Erde transportiert werden können. Ansätze hierfür liefern bereits heutzutage Konzerne wie Space X, welche die ersten wiederverwendbaren Booster Raketen der Welt produzieren. Auch neuere Raketentechnik wie die geplante Ariane 6 der europäischen Raumfahrtbehörde ESA drücken den Preis pro kg Ladung ins All weiter herunter. Ariane 6 soll 50% geldeffizienter Güter ins All transportieren als das Vorgängermodell, Ariane 5. Wenn diese Entwicklung die nächsten Jahrzehnte bis Jahrhunderte

ungebremst weiterläuft, wird eine interplanetare Logistik mittleren Ausmaßes irgendwann finanzierbar.

Der Handel benötigt wahrscheinlich Personal auf dem Mars, was eine Marssiedlung erforderlich macht. Die immer größeren Mengen an Personal auf dem Mars macht einen möglichen Terraformingprozess wohl immer verlockender. Heutige Initiativen wie Mars One und Mars Direct mögen vielleicht in den nächsten Jahren an finanziellen Mitteln scheitern, jedoch zeigen sie, dass eine Marskolonisation mit heutiger Technologie eigentlich bereits umsetzbar ist. Nur einen ökonomischen Nutzen müsste für eine solche Marskolonie gefunden werden, damit private Investoren ein solches Unterfangen finanzieren würden. Die Alternative wäre natürlich eine von der Regierung finanzierte Mission. Die NASA leidet seit Jahrzehnten unter finanziellen Problemen, da die Regierung ihr Budget wegen anderen Prioritäten immer weiter beschränkte. Das Budget der NASA macht heutzutage nur noch etwa 0,5% des Bruttoinlandproduktes aus. Im Jahr 1969 während den Apollo Missionen zum Mond flossen etwa 5% des gesamten BIP direkt in die Apollo Missionen. Die Geschichte zeigt also, dass es nicht außerhalb unserer Möglichkeiten ist ein gigantisches Unterfangen zu unternehmen, sondern eine Frage des Willens. In den 60iger Jahren war es die Konkurrenz mit der Sowjetunion in der Raumfahrt welche den Pioniergeist der Menschen beflügelte. Eine internationale Kooperation wäre das wohl beste Finanzierungsmodell, möglicherweise eine Hybridfinanzierung bestehend aus öffentlichen und privaten Investitionen. Auch könnte man die Kolonisation vom Mars durch ein System ähnlich dem amerikanischen während der Kolonisation des amerikanischen Kontinents finanzieren. So könnte man, ehe man die Gebiete erschlossen hat, Grundstücke auf dem Mars an private Investoren verkaufen. Die Gesamtfläche vom Mars hätte Schätzungen zufolge heutzutage einen Gegenwert von mehreren Milliarden USD. (Das Problem wäre dann nur welches Land/welche Länder das Recht hat/haben Grundstücke auf dem Mars zu verkaufen, bzw. wer/welche diese besitzt.)

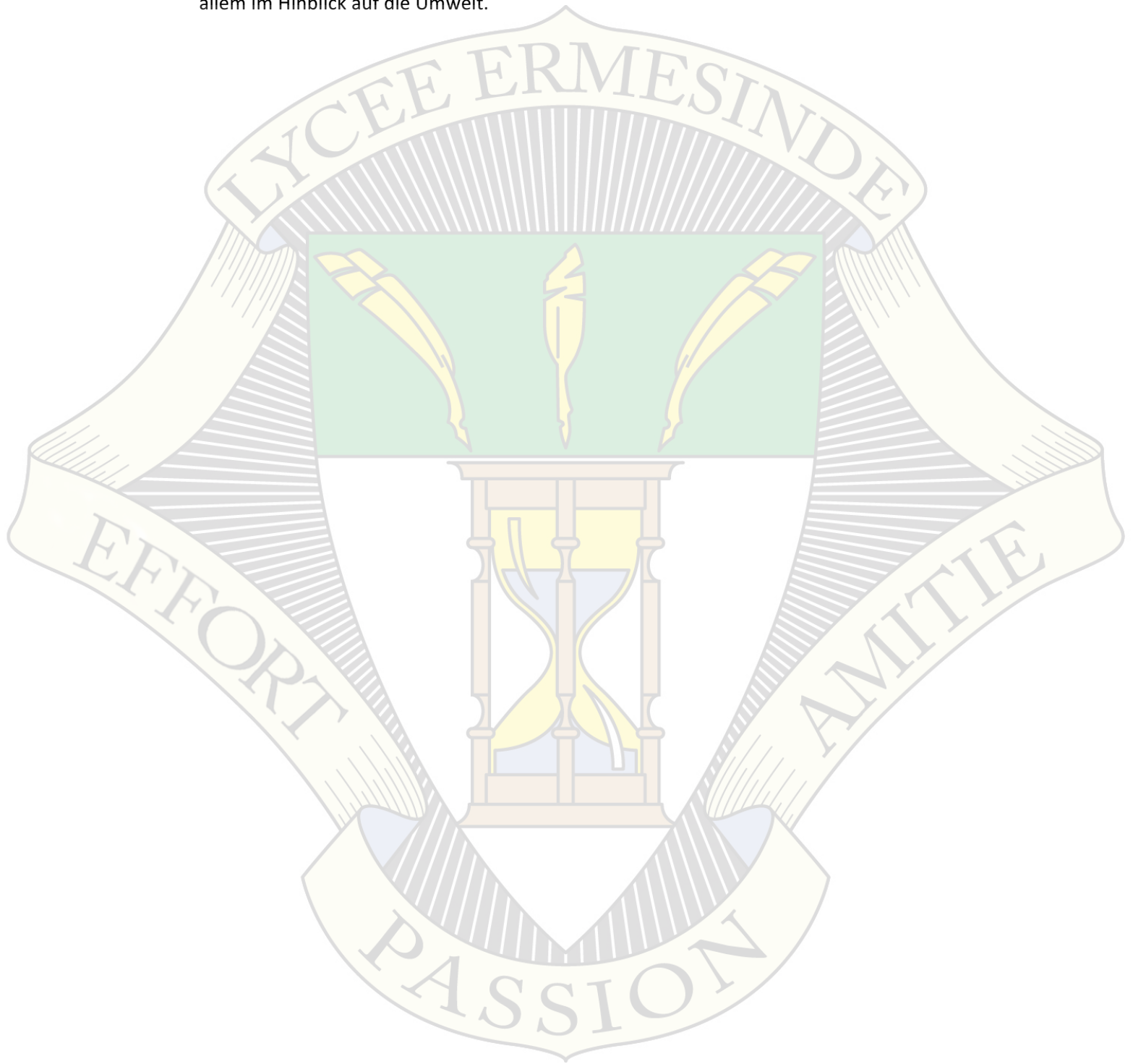
Heutzutage sind die meisten Menschen jedoch mehr auf die Lösung ihrer Probleme im Alltag fokussiert und unterstützen wenig öffentliche Ausgaben für die Erkundung des Weltraums. Im Vorfeld einer Marskolonisation müsste wahrscheinlich eine große Überzeugungsarbeit geleistet werden, ehe sich eine solche Mission finanzieren ließe. Vor allem könnte eine Kolonisation des Mars dazu beitragen Probleme wie Überbevölkerung und Arbeitslosigkeit auf der Erde zu bekämpfen, da durch die Kolonie die globale Wirtschaft wachsen würde.

Ich persönlich halte jedoch die Gründe der Menschheit zur Besiedlung des Mars für falsch. Der Mars sollte nicht wegen Überbevölkerung der Erde oder Ressourcenmangel besiedelt werden, sondern um das menschliche und irdische Leben vor dem Aussterben zu schützen. Denn die Besiedlung des Mars ist keine Alternative dazu, dass wir unsere Probleme hier auf der Erde wie Klimawandel, Überbevölkerung, Nutzung fossiler Energien... in den Griff bekommen.

Doch im Endeffekt wird sich die Besiedlung von Mars wohl nicht stoppen lassen. Genau wie in den letzten Jahrhunderten der amerikanische Kontinent von den Europäern besiedelt wurde, werden sich auch bei Mars in den kommenden Jahrhunderten genug Menschen finden, die bereit sind alles hinter sich zu lassen um in einer fremden Welt eine neue Existenz aufzubauen. Wenn sich die Kolonisation für die globale Marktwirtschaft rentiert werden auf dem Mars wahrscheinlich deutlich höhere Gehälter gezahlt, sodass sich genug Menschen finden werden um überzusiedeln.

Die globale Marktwirtschaft ist der wichtigste Motor in solchen langwierigen Prozessen, jedoch birgt sie auch die größte Gefahr für die Menschheit insgesamt. Falls die Menschheit nicht lernt der eigenen Gier Riegel vorzuschieben wird die Menschheit sich durch das eigene Bevölkerungs- und

Wirtschaftswachstum selbst zum Aussterben bringen. Unser gesamtes Wirtschaftsmodell ist auf unendliches Wachstum fernab jeder Realität und Kapazität ausgerichtet. Die Wirtschaft wächst nicht, weil die Menschheit es braucht, sondern weil sie wachsen muss, damit unser System von Negativzinsen funktioniert. Dieses System unseres Welthandels halte ich für sehr bedenklich, vor allem im Hinblick auf die Umwelt.





## QUELLEN

---

- Robert Zubrin 1996 (The Case for Colonizing Mars)
- iGEM Valencia Team 2010 (The ethics of terraforming Mars: a review)
- Christopher McKay 1991 (Making Mars habitable)
- Jonathan M. Budzik 2000 (HOW TO TERRAFORM MARS: AN ANALYSIS OF ECOPOIESIS AND TERRAFORMING RESEARCH)
- Christopher McKay 2007 (Planetary Ecosynthesis on Mars: Restoration Ecology and Environmental Ethics)
- Robert Zubrin 1998 (The Economic Viability of Mars Colonization)
- Robert Zubrin, Christopher McKay 1993 (Technological Requirements for Terraforming Mars)
- Robert Alan Mole 2002 (TERRAFORMING MARS WITH (LARGELY) SELF REPRODUCING ROBOTS\*)
- Shaun Moss 2006 (Terraforming Mars)
- Christopher McKay, Margarita Marinova 2001 (The Physics, Biology, and Environmental Ethics of Making Mars Habitable)
- Christopher McKay, Margarita Marinova 2001 (TERRAFORMING MARS AND GREENHOUSE GASES)
- Robert Zubrin 1995 (Mars: America's New Frontier)
- Charles R. Hancox 1996 (TERRAFORMATION OF MARS)
- Payton E. Pearson 2014 (e-Igniting the Magnetosphere of Mars by Culling Pluto into Orbit around the Planet)
- Brian Hanley 2002 (ECONOMIC PLAN FOR MARS COLONIZATION)
- [https://www.nasa.gov/pdf/376589main\\_04%20-%20Mars%20Direct%20Power%20Point-7-30-09.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/376589main_04%20-%20Mars%20Direct%20Power%20Point-7-30-09.pdf)
- <http://www.spacex.com/falcon-heavy>
- [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/msl/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html)
- <https://commons.wikimedia.org/wiki/>
- <https://de.wikipedia.org/>
- <http://www.astronews.com/news/artikel/2007/06/0706-002.shtml>