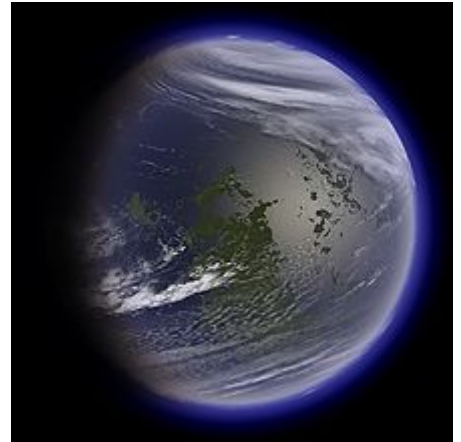


Terraforming

Terraforming (entlehnt aus dem lateinischen *terra* und [lateinisch-~~englischen~~ *forming* für die „[Um-]Bildung zur [Ersatz-~~Erde~~“ oder kurz „Erdumbildung“) ist die Umformung von anderen Planeten in bewohnbare erdähnliche Himmelskörper mittels zukünftiger Techniken. Planeten oder Monde sollen so umgestaltet werden, dass darauf menschliches Leben mit geringem oder ohne zusätzlichen technischen Aufwand möglich wird.

Der Begriff geht auf den Science-Fiction-Roman *Collision Orbit* von Jack Williamson aus dem Jahre 1942 zurück und wurde später von der Wissenschaft aufgegriffen.



Künstlerische Darstellung eines terraformten Mondes (Vorderseite)



Künstlerische Darstellung eines terraformten Mondes (Rückseite)

Inhaltsverzeichnis

Die Grenzen der Bewohnbarkeit

Venus

- Ausgangsbedingungen
- Das Problem des Wassers und der nicht ausreichenden Temperaturinversion
- Methoden für die Venus

Mars

- Ausgangsbedingungen
- Methoden für den Mars
 - Weltraum-Spiegel
 - Asteroid
 - Ruß
 - Mikroben
- Partielles Terraforming
- Vollständiges Terraforming

Kritik

Paraterraforming

Andere Möglichkeiten

Siehe auch

Weblinks

Einzelnachweise

Die Grenzen der Bewohnbarkeit

Die Grenzen der Bewohnbarkeit werden von McKay wie folgt geschätzt:^[1]

Parameter	Grenzen	Wert auf Erde	Bemerkungen zu Grenzen
Globale Temperatur	0–30 °C	15 °C	
Nur Pflanzen			
Gesamtdruck	> 10 hPa	1000 hPa	Wasserdampfdruck + O ₂ , N ₂ , CO ₂
Kohlendioxid	> 0,15 hPa	0,39 hPa	Untergrenze der <u>Photosynthese</u> ; keine klare Obergrenze
Stickstoff	> 1–10 hPa	800 hPa	<u>Stickstofffixierung</u>
Sauerstoff	> 1 hPa	200 hPa	Pflanzliche Atmung
Menschen			
Luftgemisch	> 500 hPa < 5.000 hPa	1000 hPa	Entspricht 5,5 km über NN auf Erd-Gebirgen <u>Stickstoffnarkose</u>
Kohlendioxid	< 10 hPa	0,39 hPa	Begrenzt durch CO ₂ -Vergiftung
Stickstoff	> 300 hPa	800 hPa	Pufferwirkung
Sauerstoff	> 130 hPa < 300 hPa	200 hPa	Untergrenze durch Atemnot Obergrenze durch Brandgefahr und durch <u>Toxizität</u>

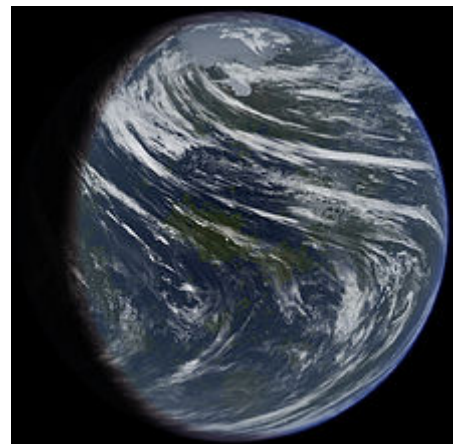
Venus

Ausgangsbedingungen

Auf der Venus-Oberfläche herrschen Temperaturen von mehr als 450 °C und ein Druck von rund 92.000 hPa. Jede bekannte Form organischen Lebens würde sofort verkohlen. Außerdem sind die Tage auf der Venus sehr lang (243 Erdtage). Selbst wenn es gelänge, den Treibhauseffekt zu reduzieren, würden sich außerhalb der Polregionen möglicherweise starke Temperaturschwankungen zwischen Tag- und Nachtseite einstellen.

Ein weiteres Problem ist die Wärmekapazität des Gesteinsmantels. Selbst wenn die Atmosphäre nach einigen Jahrhunderten künstlich auf für Menschen erträgliche Temperaturen gesenkt worden wäre, wäre die Oberfläche der Gesteine noch immer rund 400 °C heiß – und das Auskühlen könnte weitere Jahrhunderte dauern.

Die Atmosphäre der Venus besteht hauptsächlich aus CO₂. In etwa 50 km Höhe herrschen Temperaturen zwischen 20 °C und 100 °C (je nach Höhe) und Luftdruck von einigen wenigen (Erd-)Atmosphären. In dieser Höhe gibt es schwefelsäurehaltige (also für viele bekannte Lebewesen giftige) Wolken.



Künstlerische Darstellung einer terrageformten Venus

Das Problem des Wassers und der nicht ausreichenden Temperaturinversion

Auch auf der Venus gibt es eine Temperaturinversion (vgl. Tropopause auf der Erde).

Auf der Erde liegt in einer Höhe von 9 bis 17 Kilometern eine kalte Luftschicht (–60 °C). Diese führt dazu, dass dort Wasserdampf kondensiert bzw. gefriert. Darum sind die darüber liegenden Schichten der Atmosphäre äußerst trocken. Dadurch wird nur sehr wenig Wasser in den oberen Schichten durch UV-Strahlung gespalten. Infolgedessen entweicht nur sehr wenig Wasser (Wasserstoff) von der Erde in den Weltraum.

Die Temperaturen auf der Venus sind aber zu hoch, sodass Wasserdampf zwar abgekühlt, aber nicht flüssig wird. Die Atmosphäre ist sehr dicht, wodurch sie sehr viel Wasserdampf aufnehmen kann. Der Wasserstoff gewinnt an Auftrieb. Durch den Sonnenwind werden so stetig enorme Mengen an Wasserstoff in den Weltraum abgetragen. Die Venus hat dadurch einen Großteil ihrer

Wasservorräte verloren.

Methoden für die Venus

Terraforming könnte beispielsweise durch das Einbringen von Grünalgen in die CO₂-reiche Atmosphäre geschehen. Dies soll eine Anreicherung von Sauerstoff bei gleichzeitiger Reduzierung des Treibhauseffekts durch den Verbrauch von CO₂ durch die Photosynthese der Algen bewirken. Das dafür benötigte Wasser müsste aus der Zersetzung von Schwefelsäure oder durch das Einfangen von Kometen gewonnen werden. Ohne Wasser ist die Schwefelsäure heute aber zu hoch konzentriert. Außerdem entsteht Schwefelsäure zwar als Stoffwechselprodukt irdischer Bakterien, es gibt aber keine bekannten Organismen, die sie als Nahrung nutzen und aufspalten.

In höheren Atmosphärenschichten sind Druck und Temperatur gemäßigt. Dort könnte es also günstigere Bedingungen für schwebende Pflanzen, quasi *Luftplankton*, geben. Die chemischen Bedingungen sind geprägt vom hohen Gehalt an Schwefelsäure. Die Grünalgen-Idee scheint nicht direkt umsetzbar zu sein, denn die Bedingungen für das Überleben der Pflanzen müssten von ebendiesen Pflanzen erst geschaffen werden. Allerdings ist es denkbar, dass die Algen aus Schwefelsäure und CO₂ Wasser und Kohlenwasserstoffe erzeugen und somit in ihre Biomasse umwandeln. Solche Algen sind auf der Erde jedoch nicht bekannt, zumal sie in einem weitgehend wasserlosen Milieu existieren müssten.

Wenn die Venus unter den kritischen Punkt von 374 Grad käme, würde Wasser unter dem hohen Druck flüssig werden und ausregnen. Dadurch entfiel der Treibhauseffekt des Wasserdampfes, der rund 20-mal so effektiv wie CO₂ sein soll. Außerdem würde das flüssige Wasser noch zusätzlich Wärme in den Weltraum reflektieren. Vorher würden die Temperaturen durch das freigesetzte Wasser allerdings noch weiter ansteigen, was ein weiteres Hindernis für die Terraformierung der Venus ist.

Vorstellbar ist in Verbindung mit einer Kolonisierung auch der Bau luftschiffähnlicher, schwebender Stationen in der Hochatmosphäre der Venus, und vielleicht auch die Zucht schwebender, ballonähnlicher Pflanzen als Nahrungsmittel. Die schwebenden Städte könnten – laut Robert Zubrin – mit Schilden verbunden werden, die einen Schatten werfen und somit den Planeten kühlen würden. Außerdem könnten diese Schilde aus Kohlenstoff erzeugt werden, den es vor Ort in Massen in der Atmosphäre gibt. Die Venus bleibt, was das Terraforming betrifft, trotzdem ein extrem schwieriger Planet.

Der Venusboden enthält vermutlich große Mengen an einfach oxidierten Metallen (FeO, MgO, CaO, ...). Bis heute ist ungeklärt, warum die Stoffe im Regolith (Venusboden) nicht in größeren Mengen mit Kohlendioxid ($\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$) reagiert haben. In der schwefelsauren Umgebung sind Carbonate nicht stabil.

Es wurde vorgeschlagen, den Boden kräftig zu durchpflügen, um so durch eine Kohlenstoffsенke größere Mengen des Treibhausgases zu binden.^[2]

Mars

Ausgangsbedingungen

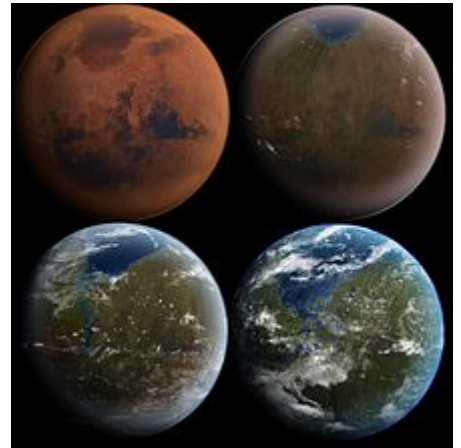
- Der vorhandene atmosphärische Druck liegt bei 0,75 % des irdischen Druckes.
- Die Temperaturen an der Oberfläche schwanken (je nach Pol- bzw. Äquatornähe) zwischen -85 °C und +20 °C
- Die Atmosphäre besteht zu 95 % aus CO₂.
- Solange das planetare Magnetfeld fehlt, kann der Mars unter Einfluss des Sonnenwindes eine Atmosphäre nicht dauerhaft halten. Sobald der innere Kern erstarrt ist, bildet sich durch den fehlenden Dynamo-Effekt kein Magnetfeld mehr.

Damit sich der Mars zu einer so genannten „zweiten Erde“ entwickeln kann, wären folgende Veränderungen notwendig:

- Die Oberflächentemperatur müsste um etwa 60 Kelvin erhöht werden.
- Die Dichte der Atmosphäre müsste erhöht werden. Untergrenze wäre hierabhängig vom Gasgemisch, 300 hPa, was 1/3 des Drucks auf der Erde entspricht. Eine 1000 hPa (1 bar) dichte Atmosphäre würde aufgrund der geringeren Schwerkraft bedeuten, dass die Atmosphärenhöhe fast dreimal so hoch wie auf der Erde wäre. Die Stickstoffreserven des Mars werden als gering eingeschätzt; Schätzungen sprechen hier nur von einer Menge von

100–300 hPa Stickstoff. Möglicherweise hat er sich auch mineralisch abgelagert.

- Flüssiges Wasser müsste verfügbar gemacht werden (tritt bei dichter Atmosphäre automatisch ein).
- Der Anteil von O₂ (Sauerstoff) und Inertgasen^[3] wie N₂ (Stickstoff) in der Atmosphäre müsste erhöht werden, wobei (ein gewisser Prozentsatz an) Stickstoff den Vorteil mit sich bringt, dass er Pflanzen das Leben ermöglicht, allerdings wäre auch jedes andere reaktionsträge Gas (oder Gasgemisch wie Stickstoff mit Xenon) denkbar.
- Man müsste die Atmosphäre so auslegen, dass sie eine Tropopause in tieferen Schichten hat, die das Wasser unterhalb dieser gefangen hält. Dieser Effekt hat die Erde vor Austrocknung geschützt. Im Gegensatz zur Venus, wo selbst die kältesten Schichten nicht unter 0 °C sind, sodass das Wasser nicht abregnet und weiter in die höheren Schichten durchtritt. Dort wird es dann photodissoziiert und der Wasserstoff durch den Sonnenwind in den Weltraum geblasen.^[2]



Umwandlung des Planeten Mars in vier Stufen

Methoden für den Mars

Beim Mars kann ein Terraforming am Kohlendioxid (CO₂) ansetzen, das in großen Mengen im Polkappeneis gespeichert ist. Schätzungen umfassen etwa 300 bis 600 hPa (oder englisch *mb*).^[4] Größere Mengen (450–900 hPa) von CO₂ sind im Regolith gebunden. Damit ließe sich theoretisch eine dichte kohlendioxidhaltige Atmosphäre schaffen, die aber für Menschen giftig ist. Selbst Pflanzen können nur eine Menge von rund 50 hPa CO₂ vertragen.^[5] Jedoch ist von Algen bekannt, dass diese sich selbst in reinen Kohlendioxidatmosphären wohlfühlen. Manche Algenarten gedeihen sogar am besten in reinem CO₂. Zur Initiierung des Treibhauseffektes sind verschiedene Methoden denkbar.



Künstlerische Darstellung eines terraformten Mars

Bei allen Methoden ergeben sich durch verkettete Reaktionen folgende Resultate:

- Dichtere Atmosphäre durch das freigewordene CO₂. Ist diese genügend dicht (etwa 1/3 des irdischen Luftdrucks, was dem Luftdruck auf dem Mount Everest entspricht), dann entfällt die Notwendigkeit für einen Druckanzug.
- Höhere Temperaturen durch Treibhauseffekt, dadurch auch weitere Anreicherung der Atmosphäre durch sich selbst verstärkendes Abschmelzen der Marspolkappen.
- Flüssiges Wasser durch Druck- und Temperaturerhöhung.
- Flüssiges Wasser bildet unter Einfluss der kohlendioxidreichen Atmosphäre Kohlensäure, die aus dem Regolith CO₂ lösen kann.
- Die Kohlensäure könnte unter Umständen Stickstoff aus den nitratreichen Mineralien extrahieren, somit die Atmosphäre mit Stickstoff anreichern und verdicken.
- Der freiwerdende Wasserdampf ist ein gutes Treibhausgas (4-fache Effektivität von CO₂).

Nach einer durch die NASA unterstützten und 2018 veröffentlichten wissenschaftlichen Studie gibt es jedoch auf dem Mars nicht genügend Kohlenstoffdioxid, das in der Atmosphäre einen Treibhauseffekt auslösen könnte, der für lebensfreundliche Verhältnisse sorgen würde.^[6]



Fotomontage, die einen terraformten Mars darstellt. In der Mitte sieht man die Mariner-Bay und am nördlichen Rand einen Teil des Acidalia-Planitia-Polarmeeres.

Weltraum-Spiegel

Eine sehr aufwändige und damit kostspielige Methode, der Marsumwelt die benötigte Energie zuzuführen, wäre die Positionierung mehrerer gigantischer Spiegel, sogenannter Solettas, in einem Mars-Orbit. Die Spiegel hätten einen Durchmesser von jeweils zirka 100 bis 200 km und besäßen eine Masse von einigen hunderttausend bis einigen Millionen Tonnen. Das von ihrer mit Hilfe von

polymerverstärkter Alu-Folie verspiegelten Oberfläche reflektierte Sonnenlicht wird auf die vereisten Polregionen gelenkt und diese zum Schmelzen gebracht. Der damit initiierte CO₂-Ausstoß in die Atmosphäre würde einen gewünschten Treibhauseffekt auslösen, der den Mars weiter erwärmt.

Asteroid

Die Manipulation der Flugbahn eines Asteroiden mutet zwar fantastisch an, ist aber wenigstens theoretisch möglich. Ein Asteroid oder Komet mit einem großen Gehalt an flüchtigen Stoffen (Volatilen) soll durch eine Manipulation seiner Flugbahn auf den Mars geführt werden und gäbe beim Eintritt in die Mars-Atmosphäre oder beim Aufschlag auf die Oberfläche diese Stoffe frei. Dadurch aktivierte er analog den anderen Methoden einen selbstverstärkenden Treibhauseffekt. Der wahrscheinlich hohe Wassergehalt eines Kometen würde zusätzlich große Mengen an Wasserdampf in die Atmosphäre bringen. Der dadurch verursachte gewaltige Aufschlag könnte auch zusätzlich unterirdische Wasserreservoirs freisetzen. Zwar ist diese Methode bisher technisch nicht umsetzbar, könnte aber zu dem in weiter Zukunft liegenden Zeitpunkt, an dem Terraforming am Mars durchgeführt werden sollte, verfügbar sein.

Ruß

Die einfachste Methode, den Mars zu erwärmen, besteht in der Verteilung von Ruß oder anderen lichtabsorbierenden Stoffen über den Eis- bzw. Trockeneisflächen der Polkappen. Die stärkere Absorption von Licht bewirkt einen Temperaturanstieg, der das Eis bzw. das Trockeneis sublimieren lässt.

Mikroben

Zudem könnten recht „früh“ während des Terraformens Mikroben, Bakterien von der Erde auf dem Mars angesiedelt werden, die unter niedrigem Druck, mit kaum oder gar keinem Sonnenlicht und ohne Sauerstoff existieren können (wie auf der Erde in Vulkanen, auf dem Meeresboden oder in Schwefelquellen). Auch gibt es die Idee, dass Mikroben mit Pigmenten, also dunklen Zellhäuten – über die Pole verteilt – das Eis zum Schmelzen bringen könnten, da sich dunkle Farben im Licht besser aufheizen als helle.

Partielles Terraforming

Durch das Abschmelzen der Polkappen (die sowohl aus Trocken- wie Wassereis bestehen) ließe sich also eine bedeutend dichtere Atmosphäre schaffen, jedoch würde diese fast ausschließlich aus Kohlendioxid bestehen. Von den Vikingsonden ist bekannt, dass das Marsregolith unter dem Einfluss von Kohlendioxid und Wasser große Mengen Sauerstoff freigibt. Das Regolith scheint hier also eine mögliche Sauerstoffquelle darzustellen. Die Frage ist jedoch, ob auch genügend Wasser auf dem Mars vorhanden ist und wie sich dies in die Marsatmosphäre freisetzen ließe. Zwar ist Kohlendioxid ein Treibhausgas, aber selbst eine vollständige Freisetzung des gesamten Kohlendioxids in Form von Trockeneis und dem Regolith von 1.000 bis 2.000 hPa würde wahrscheinlich nicht ausreichen, die Temperatur um die notwendigen 60 Kelvin zu erhöhen. Weitere, effektivere Treibhausgase wie FCKW (wobei FCKW eine mögliche Ozonschicht zerstört) oder Octafluorpropan (es hat das 7000-fache Treibhauspotenzial von Kohlendioxid, ist über 2600 Jahre beständig und kann gemeinsam ohne Schädigung mit einer Ozonschicht existieren^[7]) müssten hier zusätzlich in großen Mengen zugeführt werden, um diese Marke dauerhaft zu erreichen und flüssiges Wasser zu ermöglichen. Höhere Luftfeuchtigkeit würde ebenfalls den Treibhauseffekt verstärken. Auch der „Import“ von Asteroiden mit hohem Methan- und Ammoniakanteil könnte treibhauseffektivere Gase zuführen.

Am Ende dieses Prozesses stünde ein wärmerer, feuchterer und von einer dichten Kohlendioxidatmosphäre umgebener Mars, wie er möglicherweise bereits vor 3,5 bis 4 Milliarden Jahren bestand. Da dieser Prozess rein chemisch in Gang gesetzt werden kann und keinerlei biologische Vorgänge erfordert, ließe sich dies bereits in relativ kurzer Zeit von 100 bis 1.000 Jahren realisieren. Am Ende wären die Voraussetzungen für irdisches Pflanzenwachstum gegeben und ein Aufenthalt von Menschen im Freien wäre (bei Verwendung einer Sauerstoffmaske) möglich.

Vollständiges Terraforming

Für ein komplettes Terraforming müsste der hohe Kohlenstoffdioxidgehalt reduziert werden, was bedeutend längere Zeiträume beanspruchen dürfte. Dies könnte durch Pflanzen soweit reduziert werden, dass es für den Menschen atembar ist. Da Kohlenstoffdioxid jedoch auch zum Treibhauseffekt beiträgt, würde eine Reduzierung auch wieder zu einer Abkühlung führen. Um dies zu verhindern, müssten hier wiederum Treibhausgase eingebracht werden, die diesen Effekt ausgleichen. Neben dem Sauerstoff müsste die Atmosphäre auch ein Puffergas in signifikanten Mengen erhalten. Auf der Erde ist dieses Puffergas der Stickstoff, der fast 80 Prozent der Erdatmosphäre ausmacht. Der Anteil auf dem Mars müsste nicht so hoch sein, sollte aber zumindest der Menge des Sauerstoffs entsprechen. Ob genügend Stickstoff auf dem Mars vorhanden ist, ist jedoch fraglich. Neben Stickstoff könnten auch Argon oder andere Inertgase als Ersatz oder in Kombination dienen (wobei ein Mindestanteil an Stickstoff vorhanden sein müsste, um ein Pflanzenwachstum zu gewährleisten).

Kritik

Kritiker bezeichnen die Theorien zum Terraforming aus mehreren Gründen als unrealistisch:

- Keiner der für das Terraforming theoretisch in Betracht gezogenen Planeten ist genügend erforscht, um auch nur halbwegs fundierte Aussagen machen zu können.
- Keiner der Prozesse, die das Terraforming herbeiführen sollen, ist bisher soweit verstanden, dass die Auswirkungen der Methoden hinreichend genau vorhergesagt werden können.
- Zeitliche, materielle und energetische Dimensionen eines Terraformings sprengen jeden für eine westlich-industriell geprägte Kultur akzeptablen Rahmen.
- Es bleibt darüber hinaus unklar, ob der Mars die so mobilisierte Atmosphäre halten könnte oder ob sich nicht zum Beispiel durch das erzwungene Auftauen auch noch die dort verbliebenen Reste des Wassers in den Weltraum verflüchtigen würden und der Planet letztlich durch das so genannte Terraforming noch weniger „bewohnbar“ gemacht werden würde. Außerdem verfügt der Mars über kein nennenswertes Magnetfeld, was dazu führt, dass die Teilchenstrahlung der Sonnenwinde die Gasmoleküle ungehemmt „fortspülen“ würde.
- Die Verbringung ganzer Maschinenparks oder riesiger Anlagen wie Spiegel, Methan- oder FCKW-erzeugende Fabriken liegt außerhalb jeglicher Reichweite; der Transport eines Buggies, eines kleinen Wassertanks und einer fünfköpfigen Mannschaft auf den Mond ist die jetzige Grenze des Machbaren. Der Verbrauch der gesamten heute erschließbaren Energievorräte der Menschheit würde einen Bruchteil der benötigten Materialien in die Erdumlaufbahn bringen.
- Es sei unsinnig, sich Gedanken über die Bewohnbarmachung fremder Planeten zu machen, solange es nicht einmal auf der Erde gelingt, die vergleichsweise lebensfreundlichen, aber nahezu unbewohnten Gebiete Wüsten und Steppen ökonomisch sinnvoll dauerhaft zu besiedeln. Tatsächlich ist nicht einmal der gegenteilige Prozess gestoppt, die Desertifikation und Versteppung schreitet weiter voran.
- Ebenso gibt es ethisch-ökologische Argumente gegen ein Terraforming, da ein eventuell vorhandenes Ökosystem durch das Terraforming zerstört würde. Dieses Dilemma wird u. a. in dem Science-Fiction-Roman Roter Mars dargelegt, der das Recht einer fremden Umwelt auf Bewahrung aufzeigt. Warher müsste also noch nachgeforscht werden, ob sich dort Ökosysteme entwickelt haben – und ob sie bei höheren Temperaturen besser gedeihen oder gar absterben würden.
- Die rein ökonomische Dimension des Terraforming ist bisher kaum erschlossen, was als notwendige Bedingung gelten dürfte, um Ressourcen für Terraforming verfügbar zu machen. Einfacher ausgedrückt: Wie viel kostet der Transport einer Tonne Material zum Mars?
- Besitz- und Nutzungsfragen des terraformierten Raumes sind bisher ungeklärt, sowohl formal-juristisch als auch völkerrechtlich.

Paraterraforming

Gerade wegen der Aufwändigkeit eines vollständigen Terraformings hat sich auch noch das Konzept eines *Para-* oder *Pseudoterraforming* auch *Worldhouse* genannt (aus dem englischen ‚worldhouse [concept]‘; weiter lehnübersetzt *Welthaus*[-Konzept]), herausgebildet.

Beim Paraterraforming wird ein bewohnbares Habitat gebaut, welches die freie Atmung ermöglicht. Derartige Bauwerke werden üblicherweise bedeutend größer gedacht als gegenwärtig übliche Tragflughallen und bestehen aus einem ein bis mehrere Kilometer hohen Dach, das über Türme und Kabel befestigt, luftdicht umschlossen und mit einer atembaren Atmosphäre versehen wird. Auch besteht grundsätzlich die Möglichkeit, eine Schutzhülle lediglich mit Hilfe des innen herrschenden Überdrucks und ohne Abstützung, eben einer Tragflughalle gleich, aufzublasen. Der Überdruck wäre ohnehin erforderlich, da der Druck gegenüber einer nicht

vorhandenen oder sehr dünnen Atmosphäre (ähnlich wie beim Mars) für menschliches Leben ungeeignet oder zu gering ist. Die Kabel und Türme dienen in solchen Fällen mehr dazu, das Bauwerk am Boden zu halten anstatt vor dem Zusammenstürzen zu bewahren.

Paraterraforming ließe sich schneller verwirklichen und beliebig modular erweitern, von einer kleinen Region bis zur Umfassung eines gesamten Planeten. Unterstützer dieses Konzeptes behaupten, dies ließe sich bereits mit der heutigen Technologie verwirklichen. Schließlich wird auch nicht die Menge von Gasen benötigt wie bei dem eigentlichen Terraforming, sondern nur ein kleiner Teil. Aufgrund seiner Modularität lässt es sich auch auf Asteroiden verwirklichen, die ~~keine~~ ^{keine} Atmosphäre halten können.

Ein großer Nachteil ist jedoch der notwendige Aufwand für Konstruktion und Wartung. Ein Welthaus wäre auch von Leckagen gefährdet. Dies ließe sich durch Sektionierung und Sicherungsmechanismen reduzieren. Auch die Gefährdung durch Meteoriten kommt ins Spiel.

Das Paraterraforming kann jedoch auch als Ergänzung und Zwischenschritt zu einem kompletten oder teilweisen Terraforming Verwendung finden, in der einzelne für Menschen bewohnbare Regionen von einem Welthaus umgeben sind, während der Rest des Planeten soweit mit dem traditionellen Terraforming umgewandelt wurde, dass ausreichender Druck und Temperatur zur Atmung für Pflanzen vorhanden ist.

Versuche, ein autonomes Ökosystem auf der Erde zu entwickeln, gab es in den Projekten Biosphäre 2 und Biosphäre 3

Andere Möglichkeiten

Eine weitere Option, lebensfeindliche Orte (Planeten, Asteroiden usw.) zu nutzen, besteht darin, nicht den Ort zu terraformen, sondern den Menschen anzupassen – durch Veränderung seiner Physis durch Gentechnik, Biotechnologien (Cyborg u. a.). Beispiele wären das Anpassen der Organe an Niedrigschwerkraft, das Vergrößern des Lungenvolumens für Atmosphären mit geringerer Sauerstoffkonzentration, ein Exoskelett für große Druckverhältnisse, und dergleichen. Allerdings dürften – abgesehen von derzeit vorhandenen biotechnischen Umsetzungsschwierigkeiten – vor allem durch die psychologischen Auswirkungen enorme Widerstände gegen eine Durchführung mobilisiert werden. Zudem wäre das Anwendungsgebiet immer noch begrenzt, da kein infrage kommender Himmelskörper Probleme aufweist, für die die genannten Lösungen nach gegenwärtigen ~~V~~ ^Wstellungen ausreichend wären.

Siehe auch

- Geo-Engineering kann als Terraforming der Erde angesehen werden
- Venuskolonisation
- Mondkolonisation
- Marskolonisation
- Saturnmond Titan, einziger Mond im Sonnensystem mit dichter Atmosphäre
- Darwin-Experiment auf der Insel Ascension. Forscher sehen dies heute als erstes, erfolgreiches Terraforming-Experiment.^[8]

Weblinks

 **Commons: Terraforming** – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien

 **Wiktionary: Terraforming** – Bedeutungserklärungen, Wortherkunft, Synonyme, Übersetzungen

- Was ist Terraforming? aus der Fernseh-Sendereihe alpha-Centauri (ca. 15 Minuten). Erstmals ausgestrahlt am 7. Nov. 1999.
- Terraforming - Der Mars – *Deutsche Raumfahrt Gesellschaft*
 - Seite 9: 6. Das Welthauskonzept
- Terraforming - Wie man einen Planeten bewohnbar macht – *Christoph Kulmann*, 1997; Terraforming des Mars (*Memento* vom 13. November 2010 im Internet Archive)
- Worldhousekonzept (englisch)

Einzelnachweise

1. C. McKay, J. Kasting, O. Toon: *Making Mars Habitable*(<http://www.nature.com/nature/journal/v352/i6335/pdf/352489a0.pdf>) (englisch) – *Nature* (Ausgabe 352), am 8.August 1991, S. 489–496
2. Mark A. Bullock, David H. Grinspoon: *The stability of climate on Venus*. In: *Journal of Geophysical Research: Planets*. 101, 1996, S. 7521, doi:10.1029/95JE03862 (<https://doi.org/10.1029/95JE03862>) siehe auch PDF (<http://www.boulder.swri.edu/~bullock/Homedocs/JGR1996.pdf>)
3. Sridhar KR, Finn JE, Kliss MH: In-situ resource utilization technologies for Mars life support systems (<https://web.archive.org/web/20060902161150/http://ares.ame.arizona.edu/publications/cospar-98.pdf>) Memento vom 2. September 2006 im *Internet Archive* (englisch) – *Adv Space Res*; 2000;25(2):249-55 PMID 11542809
4. *Technological Requirements for Terraforming Mars* (englisch) – *SAO/NASA ADS Astronomy Abstract Service*; Juni 1993 bibcode:1993jpmc.confX....Z (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1993jpmc.confX....Z>) siehe auch [1] (<http://www.ussers.globalnet.co.uk/~mfogg/zubrin.htm>)
5. 5. Zusammenfassung und Ausblick (http://www.drg-gss.org/typo3/html/index.php?id=74&tx_kharticlepages_pi1%5Bpage%5D=8&cHash=5be92f9bab) (Seite nicht mehr abrufbar, Suche in Webarchiven (http://timetravel.mementoweb.org/list/2010/http://www.drg-gss.org/typo3/html/index.php?id=74&tx_kharticlepages_pi1%5Bpage%5D=8&cHash=5be92f9bab))  Info: Der Link wurde automatisch als defekt markiert. Bitte prüfe den Link gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis. – *Terraforming - Der Mars* Seite 8; *Deutsche Raumfahrt Gesellschaft* u. a. mit „[...] und Pflanzen nicht viel mehr als 50 millibar“ (abgerufen am 2. Oktober 2016)
6. Heise Newsticker: *NASA: Mit absehbaren Mitteln kein Terraforming des Mars möglich* (<https://www.heise.de/newsticker/meldung/NASA-Mit-absehbaren-Mitteln-kein-Terraforming-des-Mars-moeglich-4123634.html>)
7. Eintrag zu CAS-Nr. 76-19-7 ([http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll?f=id&t=default.htm\\$vid=gestisdeu:sdbdeu\\$id=490973](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll?f=id&t=default.htm$vid=gestisdeu:sdbdeu$id=490973)) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 6. Mai 2015
8. Charles Darwin's ecological experiment on Ascension island (<http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-11137903>) (englisch) – *Howard Falcon-Lang* für *BBC News*, am 1. September 2010

Abgerufen von „<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Terraforming&oldid=179886548>“

Diese Seite wurde zuletzt am 10. August 2018 um 11:40 Uhr bearbeitet.

Der Text ist unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ verfügbar; Informationen zu den Urhebern und zum Lizenzstatus eingebundener Mediendateien (etwa Bilder oder Videos) können im Regelfall durch Anklicken dieser abgerufen werden. Möglicherweise unterliegen die Inhalte jeweils zusätzlichen Bedingungen. Durch die Nutzung dieser Website erklären Sie sich mit den Nutzungsbedingungen und der Datenschutzrichtlinie einverstanden.

Wikipedia® ist eine eingetragene Marke der Wikimedia Foundation Inc.