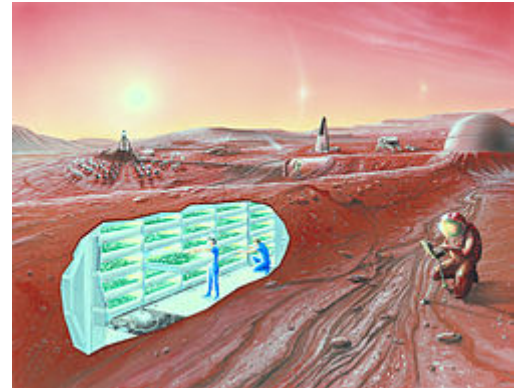


Marskolonisation

Pläne zur **Marskolonisation** beschäftigen sich mit der dauerhaften Kolonisation des Planeten Mars durch Menschen. Obwohl es wissenschaftliche Untersuchungen zum Thema gibt, die beispielsweise das sogenannte Terraforming einbeziehen, ist die Marskolonisation bislang nur eine Idee.

Die Pläne der US-Raumfahrtbehörde NASA und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) sind nach wie vor zu fiktiv, um einen bemannten Marsflug in den nächsten 10–15 Jahren realisieren zu können. SpaceX-CEO Elon Musk hat angekündigt, eine Rakete mit Namen BFR herzustellen. Diese soll nach derzeitigem Zeitplan bis 2022 fertiggestellt werden. Damit sollen in 40 Kabinen bis zu 120 Personen für eine Marskolonisation Platz finden. Ausrüstung und technische Geräte sollen vogeschickt werden.



Besiedlung des Mars, eine künstlerische Impression (NASA)



Mars mit sichtbaren Polkappen

Inhaltsverzeichnis

Ähnlichkeiten mit der Erde

Unterschiede zur Erde

Transport

Landung auf dem Mars

Transporte auf dem Mars

Versorgung

Kommunikation

Zeitrechnung

Strahlung

Energieversorgung

Solar

Nuklear

Andere

Bewohnbarkeit

Mars to Stay

Terraforming

Organisationen

Fiktionen

Literatur

Filme

Computer- und Videospiele

Comics

Siehe auch

Einzelnachweise

Weblinks

Ähnlichkeiten mit der Erde

Der Mars ist ein verhältnismäßig erdähnlicher Planet

- Die Länge des Marstages (Sol genannt) ist dem des Erdentages sehr ähnlich. Ein Sol dauert 24 Stunden, 39 Minuten und 35,244 Sekunden.
- Der Mars besitzt eine Oberfläche, die 28,4 % der der Erde entspricht und ist damit nur geringfügig kleiner als die Landfläche der Erde (29,2 % der Erdoberfläche).
- Gegen die Pole der Ekliptik des Planeten ist dessen Rotationsachse um $25,19^\circ$ geneigt. Der entsprechende Wert der Erde beträgt $23,4^\circ$. Im Ergebnis hat der Mars Jahreszeiten wie die Erde, obwohl sie fast doppelt so lang sind, weil das Marsjahr ungefähr 1,88 Erdjahre dauert.
- Der Mars besitzt eine Atmosphäre. Obwohl sehr dünn (ca. 0,6 % der Erdatmosphäre), bietet sie dennoch einen gewissen Schutz vor der kosmischen und der Sonnenstrahlung. Sie wurde zudem erfolgreich für eine Atmosphärenbremsung von Raumfahrzeugen verwendet.
- Neuere Beobachtungen von NASAs Mars Exploration Rovers der ESA-Sonde Mars Express und des NASA Phoenix Landers bestätigen das Vorhandensein von Wassereis auf dem Mars.

Unterschiede zur Erde

- Die Stärke des planetaren Magnetfelds beträgt nur ca. ein Hundertstel des Erdmagnetfelds und bietet damit nur sehr wenig Schutz gegen kosmische Strahlung. Bereits nach drei Jahren wären die Höchstwerte nach den Sicherheitsrichtlinien der NASA für Astronauten erreicht. Es gibt Spekulationen, dass das Magnetfeld zurückkommt.^[1] In welchem Zeitraum dies jedoch passieren soll, ist umstritten.
- Der Luftdruck auf dem Mars beträgt nur etwa 6 mbar (0,6 % der Erdatmosphäre), was weit unter dem Armstronglimit (61,8 mbar) liegt, bei dem Menschen ohne Druckanzüge leben können. Die sehr dünne Atmosphäre besteht vorwiegend aus Kohlendioxid. Daher müssten auf dem Mars bewohnbare Strukturen mit Druckbehältern, ähnlich wie in einem Raumschiff, gebaut werden. Das Erreichen einer erdähnlichen Zusammensetzung der Luft und Anpassung des Drucks mittels Terraforming ist schwierig, da der Sonnenwind im Laufe der Zeit ständig die oberen Schichten abtragen würde.
- Weil der Mars weiter von der Sonne entfernt ist, ist die Menge an Sonnenenergie, die die obere Atmosphäre erreicht, weniger als die Hälfte der Menge, die die obere Atmosphäre der Erde oder die Oberfläche des Mondes erreicht. Allerdings ist die Sonnenenergie, die die Oberfläche des Mars erreicht, nicht durch eine dichte Atmosphäre wie auf der Erde behindert.
- Der Mars ist mit einer durchschnittlichen Oberflächentemperatur von -23°C in der Äquaturnähe und einem Tief von -140°C in Richtung der Polkappen deutlich kälter als die Erde. Die niedrigste Temperatur, die auf der Erde gemessen wurde, ist $-93,2^\circ\text{C}$, in der Antarktis.
- Der Mars schien bis vor Kurzem geologisch fast vollkommen inaktiv. Nach neuesten Erkenntnissen könnten jedoch die Vulkane jederzeit wieder ausbrechen, das eine Verschiebung der Kontinentalplatten gegeben haben könnte oder noch immer geben kann (aufgrund der unterschiedlichen Magnetisierung vermutet).
- Es gibt keine Gewässer mit flüssigem Wasser auf der Marsoberfläche.
- Durch die weitere Entfernung zur Sonne ist das Marsjahr mit 668,590 Sols etwa doppelt so lang wie das Erdjahr.
- Die Umlaufbahn des Mars ist exzentrischer als die der Erde, was die variation der Oberflächentemperatur und Solarkonstante erhöht.

Transport

Bei der großen und stark schwankenden Entfernung zwischen Erde und Mars würden sich Reisen zum Mars sehr aufwändig gestalten. Unter Verwendung heutiger Technologien benötigt ein Raumschiff zwischen 6 und 10 Monaten für die Hinreise. Die Startfenster für den Idealfall ergeben sich aus der siderischen Periode Erde-Mars, die 779 Tage, also rund 26 Monate dauert.

Um den Mars zu erreichen, benötigt man weniger Energie pro Masseneinheit (Delta-V) als zu allen anderen Planeten außer der Venus. Auf einer Hohmannbahn erfordert eine Reise zum Mars etwa neun Monate. Andere Flugbahnen, die die Reisezeit auf sieben oder sechs Monate im All verringern, sind zwar möglich, benötigen aber höhere Mengen an Energie und Treibstoff im Vergleich zu



Mars (Viking 1, 1980)

einer Hohmannbahn und sind bereits Standard für unbemannte Marsmissionen. Die Verkürzung der Reisezeit auf unter sechs Monate erfordern eine höhere Geschwindigkeitsänderung und eine exponentiell zunehmende Menge an Treibstoff. Dies ist mit chemischen Raketen nicht realisierbar, könnte aber durch fortschrittliche Antriebstechnologien möglich gemacht werden, die gegenwärtig nicht in Gebrauch sind, wie VASIMR^[2] und nukleare Raketen. Letzteres könnte die Flugzeit potenziell auf etwa zwei Wochen verkürzen.^[3] Eine andere Möglichkeit sind konstant beschleunigende Technologien wie Solarsegel oder Ionenantriebe, die Durchlaufzeiten in der Größenordnung von mehreren Wochen ermöglichen. Beide sind derzeit realisierbar und können ohne Weiteres eine konstante Beschleunigung von 0,1 g erreichen.

Während der Reise unterliegen die Astronauten einer Strahlung, vor der sie geschützt werden müssen. Kosmische Strahlung und Sonnenwind verursachen DNA-Schäden, die das Krebsrisiko deutlich erhöhen, jedoch ist die Wirkung von langfristigen Raumfahrten im interplanetarischen Raum auf den menschlichen Körper unbekannt. NASA-Wissenschaftler, die im Allgemeinen die Strahlungsgefahr anhand des Krebsrisikos bemessen, beziffern die durch eine 1000-tägige Marsmission verursachte Wahrscheinlichkeit an Krebs zu sterben, mit 1 % bis 19 %. Hier sei jedoch zu beachten, dass diese Wahrscheinlichkeit ein zusätzliches Risiko darstellt. Dies könnte zusammen mit der Basiswahrscheinlichkeit von 20 %, dass ein 40-jähriger Nichtraucher an Krebs stirbt, zu einem 39-%-Risiko führen, an lebensendendem Krebs zu erkranken. Bei Frauen ist die Wahrscheinlichkeit an Krebs zu erkranken, bedingt durch den größeren Anteil des Drüsengewebes am Gesamtgewicht, vermutlich erhöht.^[4]

Landung auf dem Mars

Der Mars hat nur 38 % der Anziehungskraft der Erde, und die Dichte der Atmosphäre ist ca. nur 1 Prozent im Vergleich zur Erde.^[5] Die relativ starke Schwerkraft und widrige aerodynamische Effekte machen es erheblich schwieriger, ein größeres Raumfahrzeug mit Schubdüsen zu landen, wie es bei den Apollo-Mondlandungen getan wurde. Projekte mit schweren Landeeinheiten werden andere Brems- und Landungssysteme erfordern, die bei früheren bemannten Mondmissionen oder unbemannten Marsmissionen verwendet wurden.^[6]

Geht man davon aus, dass Kohlenstoffnanoröhren als Baustoff mit einer Stärke von 130 GPa verfügbar sind, könnte man einen Weltraumaufzug bauen, um Menschen und Material auf den Mars zu bringen.^[7] Ein Weltraumaufzug auf Phobos wurde auch vorgeschlagen.^[8]

Transporte auf dem Mars

Marsrover mit Radionuklidbatterien (RTGs) als Energiequelle bieten sich als erstes Transportmittel an, obwohl ein Betrieb dieser aufgrund der zu befördernden Nutzlasten nicht sonderlich effizient wäre. Hydrazin als Treibstoff könnte eine Alternative darstellen, je nach Synthetisierbarkeit auf dem Mars gäbe es auch weitere Optionen. Diese Rover sollten – wenn möglich – Wohnmodule enthalten, da mehrtägige Forschungsfahrten wünschenswert sind. Beim Aufbau mehrerer Kolonien könnten diese durch Magnetschwebbahnen verbunden werden, welche aufgrund des geringeren atmosphärischen Drucks wesentlich höhere Geschwindigkeiten als auf der Erde erreichen könnten. Aus demselben Grund wären jedoch separate Lebenserhaltungssysteme erforderlich, die auch bei Notfällen wie Druckverlust und Entgleisungen die Insassen über längere Zeit am Leben erhalten könnten.

Da eine Atmosphäre vorhanden ist, ist die Eignung von Fluggeräten wie Luftschiffen oder Flugzeugen zu untersuchen. Experimente auf der Erde haben gezeigt, dass Ballons bei genügend Volumen auch bei sehr geringem Druck fliegen und Lasten heben können.^[9] Bei einer dünneren Atmosphäre müsste ein Flugzeug entsprechend schneller fliegen, um denselben Auftrieb zu erhalten.

Auf dem Mars selbst müsste man angepasste Weltraumanzüge verwenden, denn die für Schwerelosigkeit ausgelegten Anzüge sind sehr schwer und starr. Als Alternative könnten Anzüge ähnlich einem Tauchanzug verwendet werden, die zur Gewährleistung des nötigen Innendrucks sehr enganliegend sein müssten. Bei Ausstattung mit Heizelementen und einem Drucklufthelm ermöglichen

solche Anzüge wahrscheinlich die notwendige Bewegungsfreiheit für Außenmissionen unter Schwerkraft. Zurzeit in der Entwicklung befinden sich allerdings starre, einer Rüstung ähnliche Raumanzüge mit Kunststoffgelenken.

Versorgung

Eine Lösung für die Anfänge der Marskolonie wäre, mehrere kleine Atomreaktoren mit einer Lebensdauer von ca. 15 Jahren auf den Mars zu schaffen oder dort herzustellen. Wenn man davon ausgeht, dass eine Marskolonie frühestens 2030 entstehen soll, kann man davon ausgehen, dass die Reaktortechnik sich weit genug entwickelt hat, um die Anforderung an den Mars zu erfüllen. Außerdem werden wahrscheinlich kleinere Reaktoren mehr Energie produzieren können.^[10]

Bei einer dauerhaften Besiedlung muss die Versorgung mit Nahrungsmitteln und Atemluft unabhängig vom ständigen Nachschub von der Erde mittels *In-situ Resource Utilization* bzw. *Extraterrestrial Resource Utilization* (dt. etwa Außerirdische Ressourcennutzbarmachung) ermöglicht werden.^{[11][12]} Unabdingbar ist die 100%ige Wasseraufbereitung von Anfang an. Eine Konsequenz ist der mittelfristige Aufbau eines geschlossenen biologischen Systems, bei dem die Kolonisten ihre Nahrung selbst anbauen bzw. herstellen. Eine Möglichkeit wäre es, mit Wasserstoff von der Erde und Kohlenstoffdioxid vom Mars, Wasser zu produzieren. Mit einer Tonne Wasserstoff ließen sich zwei Tonnen Methan und ca. viereinhalb Tonnen Wasser produzieren. Jedoch zeigen NASA-Analysen, dass ca. 2 % des Marsbodens aus thermisch freisetzbarem Wasser bestehen, das ebenfalls zur lokalen Erzeugung von Nutzwasser herangezogen werden kann.^[13] Diskutiert werden auch gentechnische Veränderungen, die eine bessere Anpassung der Fauna und Flora an die neue Umgebung ermöglichen.

Die Einrichtung einer Marsbasis könnte wie folgt aussehen:

- Bau von Wohnanlagen aus Containern
- Gewinnung von Rohstoffen aus der Marsoberfläche
- Produktion von Wasserstoff, Sauerstoff und Treibstoff
- Anbau von Nutzpflanzen bzw. Aufbau eines biologischen Systems

Aufgrund fortschreitender Erfolge in der Roboter- und Automatisierungstechnik und entsprechenden Projekten zur Rohstoffgewinnung auf Asteroiden u. a. ist auch eine andere Reihenfolge denkbar. Demnach würden zuerst Rohstoff- und Nährstoffgewinnungsketten bis hin zu biologischen Systemen etabliert, und erst danach u. U. unter sehr starker Nutzung der dann vorhandenen Rohstoffe und Infrastruktur größere, vom Menschen nutzbare Module errichtet, noch bevor die ersten dauerhaften Siedler eintreffen.

Kommunikation

Der Kontakt mit der Erde wäre schwierig, da die Übertragungsdauer des Signals mit der Entfernung zwischen 3 Minuten und 6 Sekunden bei günstiger Opposition (kleinste Entfernung) und 22 Minuten und 18 Sekunden bei ungünstiger Konjunktion (größter Entfernung) schwankt. Innerhalb eines Dialoges, also einer Unterhaltung zwischen einer Station auf der Erde und der Station auf dem Mars, kommen so Pausen von mindestens 6 Minuten und 12 Sekunden bis 44 Minuten und 36 Sekunden zwischen den Nachrichten zustande, verbunden mit einer signifikant geringeren Übertragungsrate. Sprachkommunikationscheidet unter diesen Umständen von vornherein wegen ihrer Ineffizienz aus, daher müsste der Dialog ausschließlich durch digital codierte Textnachrichten erfolgen. Letzteren Engpass kann man allerdings umgehen, indem man Relaisstationen zwischen Erde und Mars auf einer Sonnenumlaufbahn positioniert. Sie müssten gegen starke Strahlung resistent sein, würden durch ihre Nähe zur Sonne allerdings diese als einzige Energiequelle nutzen können, ohne auf einen Radioisotopengenerator angewiesen zu sein.

Ähnlich könnte man auf dem Mars selbst verfahren. Eine Ionosphäre ist zwar nachgewiesen, ihre Effektstärke auf dem Mars ist aber noch nicht ermittelt worden. Mittels areosynchroner Satelliten, dem Marsäquivalent zum geosynchronen Satelliten ließe sich relativ leicht eine globale Kommunikation ermöglichen. Die Etablierung einer orbitalen Infrastruktur wäre dabei eine der wichtigsten Einrichtungen zur Unterstützung der ersten Kolonien. Abhängig von den vorhandenen Ressourcen ließe sich diese in einer späteren Ausbauphase eventuell sogar auf dem Mars selbst fertigen.

Zeitrechnung

Wie bereits eingangs erwähnt, ist der Marstag Sol um 39 Minuten und 35,244 Sekunden länger und das Marsjahr mit 668,5907 Sols etwa doppelt so lang wie das Erdjahr. Dies macht eigene Kalender und Uhren für die Marssiedler notwendig. Mit diesem Problem haben sich bereits einige Experten beschäftigt. Dazu gehört der Raumfahrt-Ingenieur und Politologe Thomas Gangale. Er veröffentlichte 1985 einen Marskalender, welchen er nach seinem Sohn Darius Darischen Kalender nannte.^[14] Einige Autoren griffen diese Idee auf und veröffentlichten in den darauffolgenden Jahren Varianten des Darischen Kalenders.^[15] Andere Autoren wie Robert Zubrin^[16] oder David Powell^[17] überdachten die Idee und brachten eigene Entwürfe heraus. Letzterer stellt auch ein Konzept für marsianische Uhren auf.

Allen diesen Kalendern ist allerdings gemein, dass es sich um Solarkalender handelt. Die Marsmonde Deimos und Phobos sind im Unterschied zum Erdmond als Zeitmesser eher ungeeignet, da sie einerseits relativ schnell und andererseits nicht besonders gut zu sehen sind.

Strahlung

Der Mars hat kein globales Magnetfeld, das mit dem Erdmagnetfeld vergleichbar wäre. Kombiniert mit einer dünnen Atmosphäre erlaubt dies, dass eine erhebliche Menge an ionisierender Strahlung die Marsoberfläche erreicht. Die Raumsonde Mars Odyssey führte ein Instrument mit sich, das *Mars Radiation Environment Experiment* (MARIE), um die Gefahren für den Menschen zu messen. MARIE hat festgestellt, dass die Strahlung im Orbit über dem Mars 2,5 mal höher ist als an der Internationalen Raumstation. Durchschnittliche Dosen waren etwa 22 Millirad pro Tag (220 Microgray pro Tag oder 0,08 Gray pro Jahr). Eine dreijährige Belastung bei solchem Niveau wäre in der Nähe des Grenzwertes, der derzeit von der NASA festgelegt ist. Das Niveau auf der Marsoberfläche wäre ein wenig niedriger und stark variierend an verschiedenen Orten, je nach Höhenlage und der Stärke des lokalen Magnetfelds.

Gelegentliche Sonnenprotonenereignisse (SPEs) produzieren viel höhere Dosen. Von MARIE wurden einige SPEs beobachtet, die nicht durch Sensoren in der Nähe der Erde betrachtet werden konnten aufgrund der Tatsache, dass SPEs in eine Richtung gerichtet sind, was es schwierig macht, Astronauten auf dem Mars früh genug zu warnen.

Über Weltraumstrahlung bleibt noch vieles zu lernen. Im Jahr 2003 eröffnete das NASA Lyndon B. Johnson Space Center eine Einrichtung, das NASA Weltraumstrahlungslabor (NSRL), am Brookhaven National Labor, das Teilchenbeschleuniger verwendet um Weltraumstrahlung zu simulieren. Die Einrichtung wird die Wirkung der Teilchen auf lebende Organismen zusammen mit Abschirmungstechniken studieren.^[18] Es gibt einige Hinweise, dass bei diesem niedrigen Niveau kosmische Strahlung nicht ganz so gefährlich ist wie früher angenommen; und dass bei Strahlung Hormesis auftritt.^[19] Die Übereinstimmung zwischen denen, die sich mit dem Thema beschäftigen haben, ist, dass das Strahlungsniveau, das während des Flugs zum Mars und auf der Oberfläche des Mars auftritt, ein Problem ist. Dieses Problem verhindert aber nicht eine Reise mit aktuellerer Technik.^[20]

Folgende Vorkehrungen sind möglich:

- Eingraben: Eine mögliche Kolonie wird zuerst auf der Oberfläche errichtet und anschließend durch Marsboden abgedeckt. Diese Methode würde nicht nur vor Strahlung, sondern auch vor kleinen Meteoriten schützen, die durch die Atmosphäre bis zum Marsboden gelangen.
- Panzerung der Gebäude: Unter Verwendung vorhandener Ressourcen oder auch mit mitgebrachten Materialien ließe sich eine absorbierende Verstärkung der Decke erreichen.
- Abschirmung mit Wasser: Wasser hat strahlungsdämpfende Eigenschaften. Die Wassertanks (Kühlwasser, Abwasser, Trinkwasser) können flächig über den Aufenthaltsräumen angeordnet werden.
- Abschirmung mit künstlichen Magneten:^[21] Bei genügender Energieversorgung könnte man große elektromagnetische Felder als Ersatz für das fehlende Marsmagnetfeld zur Ablenkung von schnellen Ladungsträgern verwenden.
- Durch natürliche Formationen: Es ist bekannt, dass es auf der Marsoberfläche regional starke Unterschiede im Magnetfeld gibt. Bei der Einrichtung einer Kolonie in einem solchen Gebiet relativ starker Feldstärke könnte sie durch diese natürlichen Felder geschützt werden.

Energieversorgung

Eine leistungsfähige Energieversorgung für Heizung und Nahrungsmittelproduktion ist für eine Kolonie lebensnotwendig. Folgende Ansätze werden diskutiert:

Solar

Die Nutzung von Sonnenkollektoren und Solarzellen zur Energiegewinnung ist bei bisherigen Raummissionen eine große Hilfe gewesen, besonders bei Missionszielen innerhalb des Asteroidengürtels. Widerstand gegen äußere Krafteinwirkungen war meistens zu vernachlässigen. Auf dem Mars wird das aber anders sein, denn er besitzt eine Schwerkraft, die eine erhöhte Stabilität der Konstruktion notwendig macht. Die Solarkonstante (590 W/m^2 bei gemittelter Entfernung Sonne-Mars) ist etwa halb so hoch wie auf der Erde. Deshalb wird bei gleicher Leistung die doppelte Solarfläche im Vergleich zu Erde notwendig. Hingegen würden die global auftretenden und über längere Zeit (über Monate) anhaltenden Stürme die Produktion von Solarenergie beeinträchtigen.^[22] Aus diesem Grund müsste beim Einsatz von Solarenergie auch ein Energiespeicherkonzept ausgearbeitet werden. Des Weiteren würden diese Stürme die Solarzellen mit Staub belegen, wodurch die Leistung um bis zu 40 % reduziert werden könnte, solange die Zellen nicht gereinigt werden. Die Erfahrungen, die mit den Solarkraftwerken in Wüstengebieten gemacht wurden, zeigen deutlich, dass dieses Problem nur durch entsprechende Automatisierungstechnik^[1] dauerhaft zu lösen ist. Der manuelle Aufwand so viele Paneele in entsprechenden Intervallen immer wieder zu reinigen wäre zu groß.

Nuklear

Im Wesentlichen gibt es zwei Möglichkeiten zur Nutzung von Kernenergie:

Der Radioisotopengenerator (RTG)

ist ein in der Raumfahrt bestens erprobtes Gerät zur Energiebereitstellung über lange Zeit. Sein größter Nachteil liegt aber in der geringen Leistungsabgabe, welche aufgrund der Halbwertszeit der radioaktiven Isotope mit der Zeit abnimmt. Da man aber davon ausgehen kann, dass eine Kolonie einen hohen und im Laufe der Zeit steigenden Energiebedarf hat, müssten fortlaufend neue RTGs ins Energienetz integriert werden. Allerdings ist der Wirkungsgrad pro Masseinheit (Nutzung von rund 8 % der abgestrahlten Energie) nicht sehr hoch, während die Kosten von etwa 75 Millionen US-Dollar pro RTG nicht zu unterschätzen sind.

Der Kernreaktor

Ein mitgeführter Kernreaktor dürfte je nach Energieausnutzung das Problem relativieren. Die Sowjetunion hat bereits Erfahrungen mit orbitalen Reaktoren gemacht (siehe RORSAT), allerdings benötigt eine Kolonie eine weit höhere Energieausbeute und -effizienz pro Masseinheit, denn ansonsten wären die sicherheitstechnisch weniger problematischen RTGs die bevorzugte Wahl.

Die NASA arbeitet zurzeit an der Verwendung von Stirlingmotoren und Alkalimetallen bei RTGs, die den Wirkungsgrad auf 15–20 % steigern und somit die Nutzung effizienter machen könnten.

Andere

Es besteht natürlich immer die Möglichkeit, dass auf dem Mars Ressourcen gefunden werden, die durch chemische Prozesse nutzbar Energie freisetzen, deswegen sei der Vollständigkeit halber diese Möglichkeit noch erwähnt. Auch sollte man die Möglichkeit einer areothermischen (analog zu „geothermisch“) Energiegewinnung nicht außer Acht lassen, allerdings müssten dafür noch weitere Studien durchgeführt werden. Wie zahlreiche Sandstürme belegen, gibt es Windenergie auf dem Mars. Allerdings ist die Atmosphäre des Mars ca. 150 mal dünner als auf der Erde und somit wäre auch eine Energiegewinnung um diesen Faktor geringer.

Bewohnbarkeit

Die Bedingungen der Oberfläche des Mars sind viel näher an der Bewohnbarkeit als die Oberfläche eines anderen Planeten oder Mondes, wie z. B. die extrem heißen und kalten Temperaturen auf dem Merkur, die offenheiße Oberfläche der Venus oder die extreme Kälte der äußeren Planeten (z. B. Jupiter) und ihrer Monde.^[23] Nur die Wolkenschicht der Venus ist, im Bezug auf die Bewohnbarkeit, näher an der Erde.^[24]

Die Temperaturen in Äquatornähe sind ähnlich denen an den kältesten Orten der Antarktis; z. B. schwankten die Temperaturen am Viking 1-Landeort im Laufe eines Tages zwischen -89 und -31 °C.^[25]

Seit Beginn des 21. Jahrhunderts wurden über die Theorie hinaus verschiedene Forschungsprojekte durchgeführt, die es zum Ziel hatten, Leben auf dem Mars zu simulieren. So startete die Mars Society im Jahr 2000 ihr Mars Analog Research Station Program, welches heute aus zwei Stationen besteht, der Flashline Mars Arctic Research Station in der kanadischen Arktis und der Mars Desert Research Station in Utah. Auch von staatlicher Seite wurden themennahe Forschungsprojekte durchgeführt, wie z. B. Mars-500 durch Roskosmos und die Europäische Weltraumorganisation.

Ziel der NASA-finanzierten Studie Hawaii Space Exploration Analog and Simulation ist es, Faktoren zu bestimmen, die die Gruppendynamik auf zukünftigen Marsmissionen beeinflussen können. Die einjährige Simulation begann im August 2019.^[26]

Mars to Stay

→ *Hauptartikel: Mars to Stay*

Um Energie und Ressourcen zu sparen, schlug der Astronaut Buzz Aldrin vor, dass die ersten Astronauten für unbestimmte Zeit auf dem Mars bleiben sollten. Das Konzept einer Mars-to-Stay-Mission ist zum ersten Mal 1990 beim Workshop *Case for Mars VI* während einer Präsentation mit dem Titel *One Way to Mars* durch George Herbert systematisch geschildert worden.

Das private Projekt Mars One plant ebenfalls aus Kostengründen nach der Landung auf dem Mars den Verbleib der Astronauten. Diesbezüglich ist der Aufbau einer Kolonie angedacht, der anhand eines Zeitplans bis 2032 umgesetzt werden soll.

Terraforming

Ziel des Terraformings ist die Umwandlung des unwirtlichen Mars in einen Lebensraum, der an die Physiologie des Menschen angepasst ist. Idealerweise soll sich der Mensch nach Abschluss dieses Prozesses auch ohne Druckanzug und Atemgerät im Freien aufhalten können. Terraforming ist keine Bedingung für die Besiedlung des Mars, könnte aber die Lebensqualität erheblich verbessern.

Es stellt sich allerdings die Frage, ob die Einführung von Leben auf dem Mars wirklich gerechtfertigt ist. Sollten vor diesem Eingriff bereits Mikroorganismen im Marsboden leben, so würde das Terraforming den spezialisierten unter ihnen die Lebensgrundlage entreißen (und sie somit wahrscheinlich zum Aussterben verurteilen), oder ihnen die Möglichkeit geben, sich zu verbreiten und massenhaft zu vermehren.

Das vorhandene Wissen über die komplexen Zusammenhänge reicht nicht aus, um ein vielfältiges, stabiles Ökosystem zu etablieren. Mit Biosphäre 2 wurde bewiesen, dass wir derzeit nicht die ganze Erde im Maßstab nachbauen können. Auch die Auswahl der eingeführten Spezies birgt kaum beherrschbare Risiken.

Terraforming würde einen immensen Aufwand erfordern. Es würde Jahrzehnte dauern, ehe auch nur die ersten Ergebnisse sichtbar wären. Der gesamte Prozess muss über mehrere Jahrhunderte hinweg gesteuert werden. Die langfristige Stabilität des Ergebnisses bleibt aber umstritten. Deshalb ist aus privatwirtschaftlicher Sicht eine solche Investition kaum denkbar, womit es wahrscheinlich nur



Künstlerische Darstellung eines terraformierten Mars

als gemeinschaftsstaatliches Projekt in Angriff genommen werden würde. Am wahrscheinlichsten ist, dass Terraforming in späterer Zukunft von eventuellen dort sesshaften Kolonisten durchgeführt wird, die ihre eigenen Lebensumstände verbessern wollen. Bei ihnen dürfte das Interesse daran groß sein.

Organisationen

Es gibt auch bereits einige Organisation auf diesem Gebiet. Dies sind u. a.

- Mars Society – Gesellschaft zur weiteren Erforschung und Besiedlung des Mars
- Mars One – Initiative zur Errichtung einer menschlichen Marskolonie bis 2024^[27]
- Mars Homestead Foundation
- Mars Artists Community
- Red Colony
- MarsDrive
- Mars Institute
- SpaceX

Fiktionen

Literatur

- Von Dirk Meis Ausschnitt aus dem Buch „Die Marskolonie“. Die Besiedlung des Mars als Ausgangspunkt zur Besiedlung der Supererde gj667cc.
- Von Ray Bradbury gibt es „Die Mars-Chroniken“ aus den 1950er Jahren.
- Andreas Eschbachs Pentalogie „Das Marsprojekt“ befasst sich mit dem Alltagsleben möglicher Marskolonisten.
- Kim Stanley Robinsons „Marstrilogie“ aus den 1990er Jahren zeichnet sehr detailliert die technischen und sozialen Schwierigkeiten einer Marsbesiedelung.
- Im Warhammer 40.000-Setting wird der Mars frühzeitig besiedelt und die Kolonie hat sich bald in eine streng technophile Gesellschaft – das Mechanicum – gewandelt.^[28]
- Donald Rapp: *Human missions to Mars – enabling technologies for exploring the red planet* Springer, Berlin 2008, ISBN 978-3-540-72938-9
- Ulf von Rauchhaupt *Der neunte Kontinent – Die wissenschaftliche Eroberung des Mars* S. Fischer, Frankfurt am Main 2009, ISBN 978-3-10-062938-8
- Jesco von Puttkamer: *Projekt Mars. Menschheitstraum und Zukunftsvision* F.A. Herbig Verlagsbuchhandlung GmbH, München 2012, ISBN 978-3-7766-2685-8

Filme

- Werke wie der Film „Die totale Erinnerung – Total Recall“ zielen mehr auf Unterhaltung ab und sind weniger am wissenschaftlich Machbaren interessiert.
- Ghosts of Mars von John Carpenter, in dem der Mars eine Minenkolonie geworden ist.
- Red Planet von Antony Hoffman: Da die Erde überverschmutzt ist, wird eine Untersuchungsgruppe gesandt.
- Mission to Mars von Brian de Palma erzählt von der ersten Entdeckungsmision.
- Der Marsianer – Rettet Mark Watney von Ridley Scott erzählt von einem Astronauten, der auf dem Mars verschollen ist.

Computer- und Videospiele

- Doom und Doom 3
- Die Red Faction-Serie
- Mars: War Logs
- TEM the Firm: In diesem Spiel verkörpert der Spieler einen Terraformer, der die Kriege zwischen verschiedenen Fraktionen, die esoterischen Fälle und die Gefahren des Planeten überwinden soll.
- Take On Mars: Der Spieler kontrolliert in diesem Spiel einen Rover zur Untersuchung des Planeten.

- Surviving Mars ist ein Strategiespiel aus dem Jahr 2018, das sich mit der Marskolonisation beschäftigt.





Comics

- Aménophis IV von Dieter und Étienne Leroux.
- In den Mangas Aqua und Aria von Kozue Amano ist 90 % des Planeten von Wasser bedeckt.

Siehe auch

- Marslandung
- Kategorie:Marssonde– Übersicht der Artikel bisheriger und geplante Marssonden
- Mondkolonisation– Ausgangspunkt zur Besiedlung des Mars oder mögliche Alternative dazu
- Venuskolonisation– Erweiterung zur Marskolonisation oder Alternative dazu
- Marsflagge

Einzelnachweise

1. Kehrt das globale Magnetfeld zurück? (<http://www.astronews.com/news/artikel/2007/06/0706-002.shtml>)
2. VASIMR (<http://www.raumfahrer.net/raumfahrt/raketen/vasmir.shtml>)
3. Nuklearer Antrieb (<http://www.doppel-m.de/raumfahrt-allgemein/rueckstossantriebe/nukleare-antriebe-mit-spaltreaktoren/>)
4. Weltraumstrahlung zwischen Erde und Mars(englisch) (http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2004/17feb_radiation/)
5. Steckbrief Mars 2 (<http://neunplaneten.de/nineplanets/mars.html>)
6. Artikel über die Marsmission von Nancy Atkinson vom 17. Juli 2007 (englisch) (<http://www.universetoday.com/7024/the-mars-landing-approach-getting-large-payloads-to-the-surface-of-the-red-planet/>)
7. Weltraumaufzug (http://www.drg-gss.org/typo3/html/index.php?id=52&tx_kharticlepages_pi1%5Bpage%5D=2&cHash=c8729d1635) (Seite nicht mehr abrufbar, Suche in Webarchiven (http://timetravel.mementoweb.org/list/2010/http://www.drg-gss.org/typo3/html/index.php?id=52&tx_kharticlepages_pi1%5Bpage%5D=2&cHash=c8729d1635))  Info: Der Link wurde automatisch als defekt markiert. Bitte prüfe den Link gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis.
8. Weltraumaufzug auf Phobos, bibcode:2003AIPC..654.1227W (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2003AIPC..654.1227W>) (englisch)
9. Robert Zubrin: *Unternehmen Mars. Der Plan, den Roten Planeten zu besiedeln*. Heyne, 1997, ISBN 3-453-12608-4
10. Stefan Deiters, Dr. Norbert Pailer, Susanne Deyerler: *Astronomie: Eine Einführung in das Universum der Sterne*. S. 420–443, Komet Verlag 2008, ISBN 3-89836-598-0
11. Welcome to In Situ Resource Utilization (ISRU) (<http://isru.msfc.nasa.gov/>) isru.msfc.nasa.gov
12. Viorel Badescu: *Mars – prospective energy and material resources* Springer, Berlin 2009, ISBN 978-3-642-03628-6
13. Curiosity's SAM Instrument Finds Water and More in Surface Sample (<http://www.nasa.gov/content/goddard/curiositys-sam-instrument-finds-water-and-more-in-surface-sample/#.UtOkUhC-akM>) nasa.gov, abgerufen am 13. Januar 2014
14. Der Darische Kalender für den Mars (<https://web.archive.org/web/20130501035323/http://pweb.jps.net/~tgangale/mars/mst/darian.htm>) (Memento des Originals (<https://tools.wmflabs.org/giftbot/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fpweb.jps.net%2F%2F7Egangale%2Fmars%2Fmst%2Fdarian.htm>) vom 1. Mai 2013 im *Internet Archive*)  Info: Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe den Link gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis. (englisch)
15. Varianten des Darischen Kalenders (<https://web.archive.org/web/20120809215249/http://pweb.jps.net/~gangale4/summary/darian.htm>) (Memento des Originals (<https://tools.wmflabs.org/giftbot/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fpweb.jps.net%2F%2F7Egangale4%2Fsummary%2Fdarian.htm>) vom 9. August 2012 im *Internet Archive*)  Info: Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe den Link gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis. (englisch)
16. Der Marskalender von Robert Zubrin (<http://www.drg-gss.org/typo3/html/index.php?id=73>) (Seite nicht mehr abrufbar, Suche in Webarchiven (<http://timetravel.mementoweb.org/list/2010/http://www.drg-gss.org/typo3/html/index.php?id=73>))  Info: Der Link wurde automatisch als defekt markiert. Bitte prüfe den Link gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis.
17. Der Davidianische Marskalender im Kalenderwik (http://calendars.wikia.com/wiki/Davidian_Martian_Calendar) und im AKDave Wiki (http://akdave.wikia.com/wiki/Davidian_Martian_Calendar) (beide englisch)
18. NSRL Aufgaben (englisch) (<http://www.bnl.gov/medical/NASA/ITSF.asp>)
19. Robert Zubrin: *Unternehmen Mars. Der Plan, den Roten Planeten zu besiedeln*. Heyne, 1997, ISBN 3-453-12608-4 S. 114–116.

20. Robert Zubrin: *Unternehmen Mars. Der Plan, den Roten Planeten zu besiedeln*. Heyne, 1997, ISBN 3-453-12608-4 S. 117–121.
21. „Star Trek“-Schutzschild soll Mars-Reisendes schützen (<https://archive.is/20120707045356/http://afp.google.com/article/ALeqM5hux5ZKA8S4oxzTksLOfMq5z7INbQ>) (Memento vom 7. Juli 2012 im Webarchiv *archive.is*)
22. R. M. Halberle et al.: *Atmospheric effects on the utility of solar power on Mars* (<https://web.archive.org/web/20160305054458/http://www.uapress.arizona.edu/onlinebks/ResourcesNearEarthSpace/resources30.pdf>) (Memento des Originals (<https://tools.wmflabs.org/giftbot/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.uapress.arizona.edu%2Fonlinebks%2FResourcesNearEarthSpace%2Fresources30.pdf>) vom 5. März 2016 im *Internet Archive*) i **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe den Link gemäß [Anleitung](#) und entferne dann diesen Hinweis.
23. Steckbrief Jupiter (<http://www.astrokramkiste.de/jupiter>)
24. Steckbrief Venus (<http://www.neunplaneten.de/nineplanets/venus.html>)
25. Williams, David R.: *Mars Fact Sheet* (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html>) In: *National Space Science Data Center* NASA. 1. September 2004. Abgerufen am 24. Juni 2006.
26. Pressemitteilung der TU Ilmenau (<http://www.tu-ilmenau.de/journalisten/presse-meldungen/einzelnachricht/newsbeitrag/18031/>)
27. Mars One – Initiative zur Errichtung einer menschlichen Marskolonie bis 2027 (<http://mars-one.com/>) (englisch)
28. Lexicameintrag zum Mars (<http://wh40k-de.lexicanum.com/wiki/Mars>)

Weblinks

 **Commons: Kolonisation des Mars** – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien

- [Untersuchung von Langzeitauswirkungen verminderter Schwerkraft](#)

Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Marskolonisation&oldid=180455806>

Diese Seite wurde zuletzt am 29. August 2018 um 20:31 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.