

# Mars

## Science und Fiction im Spiegel der Zeiten

eine Materialsammlung zum Thema „Terraforming Mars“

SFGH-Treffen 15.09.2018

### Science

Der **Mars** ist, von der [Sonne](#) aus gezählt, der vierte [Planet](#) im [Sonnensystem](#) und der äußere Nachbar der [Erde](#). Er zählt zu den [erdähnlichen \(terrestrischen\) Planeten](#).

Sein Durchmesser ist mit knapp 6800 Kilometer etwa halb so groß wie der der Erde, sein Volumen beträgt gut ein Siebtel des Erdvolumens. Damit ist der Mars nach dem [Merkur](#) der zweitkleinste Planet des Sonnensystems, hat jedoch eine vielfältige [Geologie](#) und die höchsten Vulkane des Sonnensystems. Mit einer durchschnittlichen Entfernung von 228 Millionen Kilometern ist er rund 1,5-mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde.

Die Masse des Mars beträgt etwa ein Zehntel der Erdmasse. Die [Fallbeschleunigung](#) auf seiner Oberfläche beträgt  $3,69 \text{ m/s}^2$ , dies entspricht etwa 38 % der irdischen. Mit einer Dichte von  $3,9 \text{ g/cm}^3$  weist der Mars den geringsten Wert der terrestrischen Planeten auf. Deshalb ist die [Schwerkraft](#) auf ihm sogar geringfügig niedriger als auf dem kleineren, jedoch dichteren Merkur.

Der Mars wird oft auch als *der Rote Planet* bezeichnet. Diese Färbung geht auf [Eisenoxid](#)-Staub ([Rost](#)) zurück, der sich auf der Oberfläche und in der dünnen  $\text{CO}_2$ -[Atmosphäre](#) verteilt hat. Seine orange- bis blutrote Farbe und seine Helligkeitsschwankungen am irdischen Nachthimmel sind auch der Grund für seine Namensgebung nach dem römischen Kriegsgott [Mars](#).

In größeren Fernrohren deutlich sichtbar sind die zwei [Polkappen](#) und mehrere dunkle Ebenen, die sich im Frühjahr etwas verfärben. Fotos von [Raumsonden](#) zeigen eine teilweise mit [Kratern](#) bedeckte Oberfläche und starke Spuren früherer [Tektonik](#) (tiefe Canyons und einen über 20km hohen [Vulkan](#)). Marsroboter haben schon mehrere Gebiete geologisch untersucht.

Der Mars besitzt zwei kleine, unregelmäßig geformte [Monde](#), die 1877 entdeckt wurden: [Phobos](#) und [Deimos](#) (griechisch für *Furcht* und *Schrecken*).

### **Rotation**

Der Mars rotiert in 24 Stunden und 37,4 Minuten um die eigene Achse ([Siderischer Tag](#)). In Bezug auf die Sonne ergibt sich daraus ein [Marstag](#) (auch Sol genannt) von 24:39:35. Die Äquatorebene des Planeten ist um  $25,19^\circ$  gegen seine Bahnebene geneigt (Erde  $23,44^\circ$ ), somit gibt es [Jahreszeiten](#) ähnlich wie auf der Erde. Sie dauern jedoch fast doppelt so lang, weil das [siderische](#) Marsjahr 687 Erdtage hat. Da die Bahn des Mars aber eine deutlich größere [Exzentrizität](#) aufweist, als die der

Erde, und Mars-Nord tendenziell in Richtung der großen Bahn-Ellipsenachse weist, sind die Jahreszeiten unterschiedlich lang. In den letzten 300.000 Jahren variierte die [Rotationsachse](#) zwischen 22° und 26°. Zuvor lag sie mehrmals auch über 40°, wodurch starke [Klimaschwankungen](#) auftraten, es Vereisungen auch in der Äquatorregion gab und so die starken [Bodenerosionen](#) zu erklären sind.

Der Nordpol des Mars weist zum nördlichen Teil des Sternbilds [Schwan](#), womit sich die Richtung um etwa 40° von jener der Erdachse unterscheidet. Der marsianische [Polarstern](#) ist [Deneb](#) (mit leichter Abweichung der Achse Richtung [Alpha Cephei](#)).

Die Rotationsachse führt eine [Präzessionsbewegung](#) aus, deren Periode 170.000 Jahre beträgt (7× langsamer als die Erde). Aus diesem Wert, der mit Hilfe der [Pathfinder](#)-Mission festgestellt wurde, können die Wissenschaftler auf die [Massenkonzentration](#) im Inneren des Planeten schließen.

## Atmosphäre

Die Marsatmosphäre besteht zu 95,97 % aus [Kohlenstoffdioxid](#). Dazu kommen noch 1,89 % [Stickstoff](#), 1,93 % [Argon](#), geringe Anteile an [Sauerstoff](#) (0,146 %) und [Kohlenstoffmonoxid](#) (0,0557 %) sowie Spuren von [Wasserdampf](#), [Methan](#), [Schwefeldioxid](#), [Ozon](#) und anderen Verbindungen aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Chlor und Schwefel.

Die Atmosphäre ist ziemlich staubig. Sie enthält Teilchen mit etwa 1,5 [µm](#) im Durchmesser, die den Himmel über dem Mars in einem blassen gelb- bis orange-braunen Farbton erscheinen lassen.

Der atmosphärische [Druck](#) beträgt auf der Oberfläche des Mars im Schnitt nur 6,36 [hPa](#) (Hektopascal). Im Vergleich zu durchschnittlich 1013 hPa auf der Erde sind dies nur 0,63 %, was dem Luftdruck der Erdatmosphäre in 35 Kilometern Höhe entspricht. Die Atmosphäre wurde wahrscheinlich im Laufe der Zeit vom [Sonnenwind](#) abgetragen und in den Weltraum mitgerissen. Dies wurde durch die geringe Schwerkraft des Planeten und sein schwaches [Magnetfeld](#) begünstigt, das kaum Schutz vor den hochenergetischen Teilchen der Sonne bietet.

## Jahreszeiten

Hätte Mars eine erdähnliche Umlaufbahn, wären die Jahreszeiten aufgrund der Achsenneigung ähnlich denen der Erde. Jedoch führt die vergleichsweise große Exzentrizität seines Orbits zu einer beträchtlichen Auswirkung auf die Jahreszeiten. Der Mars befindet sich während des Sommers in der Südhalbkugel und des Winters in der nördlichen Hemisphäre nahe dem sonnennächsten Punkt seiner Bahn. Nahe dem sonnenfernsten Bahnpunkt ist in der südlichen Hemisphäre Winter und in der nördlichen Sommer.

Das hat zur Folge, dass die Jahreszeiten in der südlichen Hemisphäre viel deutlicher ausgeprägt sind als in der nördlichen, wo das Klima ausgeglichener ist, als es sonst der Fall wäre. Die Sommertemperaturen im Süden können bis zu 30 °C höher sein als die vergleichbaren Temperaturen im Sommer des Nordens. Die Jahreszeiten sind aufgrund der Exzentrizität der Umlaufbahn des Mars unterschiedlich lang. Auf der Nordhalbkugel dauert der Frühling 199,6, der Sommer 181,7, der Herbst 145,6 und der Winter 160,1 irdische Tage.

## Wind und Stürme

Aufgrund der starken Tag-Nacht-Temperaturschwankungen der Oberfläche gibt es tägliche Morgen- und Abendwinde.

Während des Marsfrühjahrs können in den ausgedehnten Ebenen heftige [Staubstürme](#) auftreten, die mitunter große Teile der Marsoberfläche verhüllen. Die Aufnahmen von Marssonden zeigen auch [Windhosen](#), die über die Marsebenen ziehen und auf dem Boden dunkle Spuren hinterlassen.

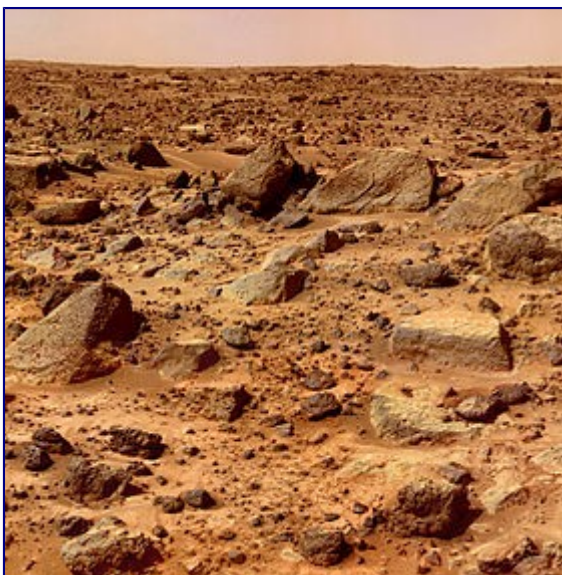
Stürme auf dem Mars haben wegen der sehr dünnen Atmosphäre eine wesentlich geringere Kraft als Stürme auf der Erde. Selbst bei hohen Windgeschwindigkeiten werden nur kleine Partikel ([Staub](#)) aufgeweht. Allerdings verbleibt aufgewehter Staub auf dem Mars wesentlich länger in der Atmosphäre als auf der Erde, da es keine Niederschläge gibt, die die Luft reinigen, und zudem die Gravitation geringer ist.

Staubstürme treten gewöhnlich während des sonnennächsten Orbits auf, da der Planet zu diesem Zeitpunkt 40 Prozent mehr Sonnenlicht empfängt als während des sonnennächsten Bahnpunktes. Während des sonnenfernsten Punktes bilden sich in der Atmosphäre Wolken aus Wassereis, die ihrerseits mit den Staubpartikeln interagieren und so die Temperatur auf dem Planeten beeinflussen. Die Windgeschwindigkeiten in der oberen Atmosphäre können bis zu 650 km/h erreichen, auf dem Boden immerhin fast 400 km/h.

## Gewitter

Bei heftigen Staubstürmen scheint es auch zu Gewittern zu kommen. Im Juni 2006 untersuchten Forscher mit einem Radioteleskop den Mars und stellten im Mikrowellenbereich Strahlungsausbrüche fest, wie sie bei Blitzen auftreten. In der Region, in der man die Strahlungsimpulse beobachtet hat, herrschte zu der Zeit ein heftiger Staubsturm mit hohen Staubwolken. Sowohl der beobachtete Staubsturm wie auch das Spektrum der Strahlungsimpulse deuten auf ein Staubgewitter mit Blitzen bzw. großen Entladungen hin.

## Oberfläche



Typische Felsbrocken auf der Marsoberfläche (Mars Pathfinder, 1997)

Die Oberfläche des Mars beträgt etwa ein Viertel der Erdoberfläche. Sie entspricht mit 144 Mio. km<sup>2</sup> fast der Gesamtoberfläche aller [Kontinente](#) der Erde (149 Mio. km<sup>2</sup>).

Die rote Färbung seiner Oberfläche verdankt der Planet dem [Eisenoxid](#)-Staub, der sich auf der Oberfläche und in der Atmosphäre verteilt hat. Somit ist der Rote Planet ein „rostiger Planet“.

Seine beiden Hemisphären sind sehr verschieden. Die Südhalbkugel stellt ein riesiges [Hochland](#) dar, das durchschnittlich 2–3 km über dem globalen [Nullniveau](#) liegt und ausgedehnte [Schildvulkane](#) aufweist. Die vielen [Einschlagkrater](#) belegen sein hohes Alter von fast 4 Milliarden Jahren. Dem steht die geologisch junge, fast [kraterlose](#) nördliche [Tiefebene](#) gegenüber. Sie liegt 3–5 km *unter* dem Nullniveau und hat ihre ursprüngliche Struktur durch noch ungeklärte geologische Prozesse verloren. Auslöser war möglicherweise eine gewaltige Kollision in der Frühzeit des Planeten.

## Magnetfeld

Anders als die [Erde](#) und der [Merkur](#) besitzt der Mars kein [globales Magnetfeld](#) mehr, seit er es ca. 500 Millionen Jahre nach seiner Entstehung verlor. Vermutlich erlosch es, als der Zerfall radioaktiver Elemente nicht mehr genügend Wärmeenergie produzierte, um im flüssigen Kern Konvektionsströmungen anzutreiben. Weil der Mars keinen festen inneren Kern besitzt, konnte er den [Dynamo-Effekt](#) nicht auf die gleiche Art aufbauen wie die Erde.

Dennoch ergaben Messungen einzelne und sehr schwache lokale Magnetfelder. Die Messung des Magnetfeldes wird erschwert durch die Magnetisierung der Kruste mit hohen Feldstärken und durch externe Magnetfelder, die durch die Wechselwirkung des [Sonnenwindes](#) mit der Marsatmosphäre entstehen und zeitlich sehr stark variieren. Nach den Analysen der Daten des Mars Global Surveyor konnte die Stärke des Magnetfeldes trotzdem sehr genau bestimmt werden – sie liegt bei weniger als 0,5 Nanotesla gegenüber 30 bis 60 Mikrottesla des [Erdmagnetfeldes](#).

Messungen von [Magnetfeldlinien](#) durch Mars Global Surveyor ergaben, dass Teile der planetaren Kruste durch das einstige Magnetfeld stark magnetisiert sind, aber mit unterschiedlicher Orientierung, wobei gleichgerichtete Bänder von etwa 1000 km Länge und 150 km Breite auftreten. Ihre Größe und Verteilung erinnert an die streifenförmigen Magnetanomalien auf den Ozeanböden der Erde. Durch sie wurde die Theorie der [Plattentektonik](#) gestützt, weshalb 1991 auch eine ähnliche Theorie für den Mars entwickelt wurde. Magnetische Beobachtungen auf dem Mars sind jedoch noch nicht detailliert genug, um sichere Schlussfolgerungen zu erlauben oder gar die Theorie zu bestätigen.

Möglicherweise werden bei der mit der Zeit zwangsläufigen Abkühlung des Marskerns durch die damit einsetzende Auskristallisation des Eisens und die freigesetzte [Kristallisationswärme](#) wieder Konvektionen einsetzen, die ausreichen, dass der Planet in ein paar Milliarden Jahren wieder über ein globales Magnetfeld in alter Stärke verfügt.

# Erkenntnisse vor dem Raumfahrtzeitalter

- [Tycho Brahe](#) (1546–1601) vermaß die Planetenpositionen des Mars mit bis dahin nicht gekannter Genauigkeit und ermöglichte es so [Johannes Kepler](#) (1571–1630), die [elliptische](#) Bahn des Planeten zu berechnen und die drei [Keplerschen Gesetze](#) abzuleiten.
- [Christiaan Huygens](#) entdeckte 1659 eine dunkle, dreieckige Zone ([Syrtis Major](#)) auf der Marsoberfläche. Aus deren Positionsveränderungen errechnete er die Eigenrotation des Mars zu 24,5 Stunden (heutiger Wert: 24,623 Stunden).
- [Giovanni Domenico Cassini](#) beschrieb 1666 die weißen [Polkappen des Mars](#).
- [Wilhelm Herschel](#) bestimmte 1784 die Neigung der Rotationsachse gegenüber der Umlaufbahn mit 25° (heutiger Wert 25,19°).
- [Wilhelm Beer](#) fertigte 1830 die erste [Marskarte](#) an, [Angelo Secchi](#) 1863 schon in Farbe.
- [Richard Proctor](#) veröffentlichte 1869 eine detaillierte Marskarte, die er aus Zeichnungen von [William Rutter Dawes](#) erstellte.
- [Giovanni Schiaparelli](#) nahm 1877 auf der Marsoberfläche zarte [Linienstrukturen](#) wahr, die er „Canali“ (italienisch für „Rinnen“ oder „[Gräben](#)“) nannte und in eine detaillierte Karte eintrug. Er machte zunächst keine Angaben über den Ursprung der Canali (die er für breiter als 100 km schätzte), doch wurden sie in englischen Medien fälschlich als „Channel“ (Kanäle) übersetzt und bald als Werk intelligenter Marsbewohner interpretiert. Auf älteren Marskarten erhielten viele dieser Linien auch Namen. Während einige Astronomen Schiaparellis Beobachtungen bestätigten, wurde die Existenz der Canali von anderen angezweifelt und als Ergebnis optischer Täuschungen bezeichnet. Erst der Vorbeiflug der amerikanischen Mariner-Sonden beendete die Spekulationen, denn Fotos der Marsoberfläche zeigten keine so breiten Rinnen. Drei *Canali* entsprechen aber den riesigen Canyons [Valles Marineris](#), andere zeichnen [Geländestufen](#) und Schattenlinien nach, einige auch längere [Kraterketten](#).
- [Asaph Hall](#) entdeckte bei der günstigen Opposition 1877 die beiden [Marsmonde](#) Phobos und Deimos.
- [Percival Lowell](#) gründet 1894 das [Lowell-Observatorium](#) in Arizona, um die Marskanäle, ihre jahreszeitlichen Verfärbungen und allfällige [Lebensspuren](#) zu erforschen. Spektroskopisch findet man biologische Moleküle, die sich allerdings später als terrestrisch erweisen. In der Atmosphäre werden [Spektrallinien](#) von [Sauerstoff](#) entdeckt, dessen Volumsanteil aber überschätzt wird.
- [Eugène Antoniadi](#) bestätigte zunächst die Marskanäle, kam aber 1909 am [Riesenteleskop](#) Meudon zum Schluss, sie würden nur in kleineren Fernrohren als solche erscheinen. In seinen detaillierten Marskarten – die bis zu den ersten [Marssonden](#) kaum mehr übertroffen wurden – zeichnete er sie als Folge diffuser Flecken ein.
- [Gerard Kuiper](#) wies in den 1950ern [Kohlendioxid](#) in der Marsatmosphäre nach und glaubte bis zu den ersten Marssonden an die mögliche Existenz von [Moosen](#) oder [Flechten](#).



# Erkenntnisse im Raumfahrtzeitalter

Viele unbemannte [Raumsonden](#) wurden schon zum Mars entsandt, von denen einige sehr erfolgreich waren. Etwa die Hälfte der Missionen endete in einem Misserfolg, die meisten davon waren sowjetische Sonden. Im Unterschied zur Erkundung des [Erdmondes](#) gibt es bis heute keine Gesteinsproben, die vom Mars geholt wurden, so dass [Marsmeteoriten](#) die einzige Möglichkeit sind, Material vom Mars in irdischen Laboratorien zu erforschen. Bislang hat es auch noch keine bemannte Marsmission gegeben. Das angebliche Projekt [Mars One](#) ist nach allen, teils widersprüchlichen, teils unzuverlässigen Angaben von einer Realisierung weit entfernt, die Aktien des Trägerunternehmens sind auf Null gefallen. Von medizinischer Seite werden erhebliche Zweifel an der Möglichkeit längerer bemannter Raumflüge geäußert.

## 1960er Jahre

Die beiden [sowjetischen Sonden](#) Marsnik 1 und 2 wurden im Oktober 1960 gestartet, um am Mars vorbeizufiegen, erreichten aber noch nicht einmal die [Erdumlaufbahn](#). 1962 versagten drei weitere sowjetische Sonden (Sputnik 22, Mars 1 und Sputnik 24), zwei von ihnen blieben im Erdorbit, die dritte verlor auf dem Weg zum Mars den Kontakt mit der Erde. Auch ein weiterer Versuch im Jahre 1964 schlug fehl.

Zwischen 1962 und 1973 wurden zehn [Mariner](#)-Raumsonden vom [Jet Propulsion Laboratory](#) der [NASA](#) entwickelt und gebaut, um das innere Sonnensystem zu erforschen. Es waren relativ kleine Sonden, die meistens nicht einmal eine halbe Tonne wogen.

[Mariner 3 und Mariner 4](#) waren identische Raumsonden, die am Mars vorbeifliegen sollten. Mariner 3 wurde am 5. November 1964 gestartet, aber die Transportverkleidung löste sich nicht richtig, und die Sonde erreichte den Mars nicht.

Drei Wochen später, am 28. November 1964, wurde Mariner 4 erfolgreich auf eine achtmonatige Reise zum Roten Planeten geschickt. Am 15. Juli 1965 flog die Sonde am Mars vorbei und lieferte die ersten Nahaufnahmen – insgesamt 22 Fotos – des Planeten. Die Bilder zeigten mondähnliche Krater, von denen einige mit [Reif](#) bedeckt zu sein scheinen.

1969 folgten [Mariner 6 und Mariner 7](#) und lieferten insgesamt 200 Fotos.

## 1970er Jahre

1971 missglückte der Start von [Mariner 8](#), dafür erhielt die NASA im gleichen Jahr von [Mariner 9](#) mehrere tausend Bilder.



Ebenfalls 1971 landete mit der sowjetischen Mars 3 die erste Sonde weich auf dem Mars, nachdem Mars 2 wenige Tage zuvor gescheitert war. Der Funkkontakt brach jedoch 20 Sekunden nach der Landung ab. Mögliche Ursache war ein gerade tobender globaler Staubsturm, der den Lander umgeworfen haben könnte.

Im Jahr 1976 landeten die [Viking](#)-Sonden erfolgreich auf dem Mars und lieferten die ersten Farbbilder sowie Daten von Bodenproben: Viking 1 schaffte am 20. Juli 1976 als erste US-

amerikanische Sonde eine weiche Landung. Die Sowjetunion versuchte noch weitere Landungen auf dem Mars, scheiterte jedoch.

## 1980er Jahre

Die einzigen Raumsonden, die in den 1980er Jahren zum Mars flogen, waren die beiden sowjetischen [Fobos](#)-Sonden. Sie wurden 1988 von [Baikonur](#) aus gestartet und sollten den Mars und seinen Mond [Phobos](#) untersuchen. Dafür waren sie im Rahmen einer internationalen Kooperation neben sowjetischen auch mit zahlreichen westlichen Instrumenten bestückt. Der Kontakt zu Fobos 1 brach jedoch schon auf dem Weg zum Mars wegen eines falschen Steuerbefehls ab. Fobos 2 erreichte eine Marsumlaufbahn und einige Daten und Bilder vom Mars wurden zur Erde übertragen. Danach wurde die Sonde zu Phobos gelenkt. Jedoch brach kurz vor dem Rendezvous auch der Kontakt zu Fobos 2 ab.

## 1990er Jahre

1992 wurde die US-Sonde [Mars Observer](#) gestartet. Sie ging 1993 kurz vor dem Einschwenken in die Umlaufbahn verloren.

Am 16. November 1996 startete [Mars 96](#), die erste russische Raumsonde seit dem Zusammenbruch der Sowjetunion. Doch versagte die [Proton](#)-Trägerrakete, so dass Mars 96 wieder in die Erdatmosphäre eintrat und verglühte.

## Der Marsrover Sojourner

Besonderes Aufsehen erregte 1997 der [Mars Pathfinder](#), bei dem zum ersten Mal ein kleines Marsmobil, der [Rover](#) Sojourner, eingesetzt wurde. Er landete publikumswirksam am 4. Juli, dem amerikanischen [Unabhängigkeitstag](#), und lieferte viele Aufnahmen von der Umgebung der Landestelle, die von der NASA zum ersten Mal sofort im Internet veröffentlicht wurden.



Eine weitere erfolgreiche Mission war 1997 die des [Mars Global Surveyor](#), bei der die Marsoberfläche in einer hohen Auflösung kartografiert wurde. Am 2. November 2006 – fünf Tage vor dem 10-jährigen Jubiläum seines Starts – brach der Kontakt mit dem Satelliten ab.

Das Scheitern der Marssonden [Mars Climate Orbiter](#), der wegen eines Programmierfehlers in der Navigation verloren ging, und [Mars Polar Lander](#), der wahrscheinlich wegen eines fehlerhaften Sensors bei der Landung aus größerer Höhe abstürzte, stellte 1999 einen herben Rückschlag für die Marsforschung dar.

Auch die 1998 gestartete japanische Raumsonde [Nozomi](#) konnte den Mars nicht erreichen.

## 2000er Jahre

Seit dem 24. Oktober 2001 umkreist außer dem Global Surveyor noch [2001 Mars Odyssey](#) den roten Planeten, der spezielle Instrumente zur [Fernerkundung](#) von Wasservorkommen an Bord hat.

Von den bis 2002 insgesamt 33 Missionen zum Mars waren nur acht erfolgreich, allesamt US-amerikanisch.

### **Marsrover *Opportunity* (MER-B)**

Am 2. Juni 2003 startete im Rahmen der ersten europäischen Marsmission die [ESA-Raumsonde Mars Express](#) mit dem Landegerät [Beagle 2](#) erfolgreich zum Mars. Zwar landete Beagle 2 am 25. Dezember 2003 auf der Marsoberfläche, allerdings konnte der Funkkontakt niemals aufgebaut werden. 2014 wurde er auf [Bildern](#) des [MRO](#) entdeckt. Der [Orbiter](#) Mars Express arbeitet jedoch erfolgreich in der Marsumlaufbahn und konnte unter anderem viele Aufnahmen von Formationen machen, von denen man annimmt, dass sie ausgetrocknete oder ausgefrorene Flusstäler seien. Er kartiert den Planeten u. a. mittels Radar und einer [Stereokamera](#) im sichtbaren Licht, sowie spektroskopisch auch in Infrarot. Am 30. November 2005 fand die Sonde unter der Ebene [Chryse Planitia](#) ein Eisfeld mit 250 km Durchmesser.

Am 10. Juni 2003 wurde die US-amerikanische Marssonde [Spirit](#) (MER-A) zum Mars gestartet. An Bord befand sich ein Rover, der nach der Landung drei Monate lang [Gesteinsproben](#) entnehmen und nach Spuren von früher vorhandenem Wasser suchen sollte. Die Landung erfolgte am 4. Januar 2004 im Krater [Gusev](#), in den das [Ma'adim Vallis](#) mündet. Im April 2009 fuhr sich der Rover in einer Sandanhäufung fest und konnte seit dem 22. März 2010 auch nicht mehr kontaktiert werden (Stand: März 2011).



Am 8. Juli 2003 wurde die baugleiche Sonde [Opportunity](#) (MER-B) mit einer [Delta-II](#)-Rakete gestartet. Sie landete am 25. Januar 2004 in der Tiefebene [Meridiani Planum](#) nahe dem Marsäquator, fast genau [gegenüber](#) von Spirit. Die vom Rover gesammelten Beweise, dass der Mars einst warm und feucht war, wurden im Jahresrückblick der Fachzeitschrift [Science](#) mit der Wahl zum „Durchbruch des Jahres 2004“ gewürdigt. Opportunity ist noch immer aktiv (Stand: Juni 2017).

### **2010er Jahre**



*Curiosity auf dem Mars*

Am 26. November 2011 um 15:02 [UTC](#) startete die Rover-Mission [Mars Science Laboratory \(Curiosity\)](#) der NASA mit einer [Atlas V\(541\)](#) von [Cape Canaveral](#) und landete am 6. August 2012 auf dem Mars. Der [Rover](#) kann weite Strecken zurücklegen und umfassende Untersuchungen eines großen Umkreises durchführen. Wichtigstes Projektziel sind geologische Analysen des Marsbodens.



Am 18. November 2013 startete eine weitere NASA-Sonde zum Mars. Die Mission mit dem Projektnamen „[Mars Atmosphere and Volatile Evolution](#)“ (MAVEN) soll das Rätsel der verlorenen Atmosphäre aufklären. Der Orbiter umkreist den Planeten seit dem 22. September 2014 und soll sich in fünf Tiefflügen annähern. Weiters wurde am 5. November 2013 eine [indische Marsmission](#) gestartet. Sie soll ebenfalls die Atmosphäre sowie verschiedene Oberflächenphänomene untersuchen.

[ExoMars Rover](#) ist ein europäischer Rover, dessen Start für 2020 geplant ist. Er soll speziell nach Spuren von Leben suchen. Die Finanzierung dieser Mission ist allerdings noch ungewiss.

# Fiction

Der Mars und seine fiktiven Bewohner sind auch Thema zahlreicher Romane und Verfilmungen.

Ein Beispiel des 18. Jahrhunderts ist Carl Ignaz Geigers Roman *Reise eines Erdbewohners in den Mars* von 1790.

1880 veröffentlichte [Percy Greg](#) seinen Roman *Across the Zodiac*, in dem er eine Reise in einem Raumschiff namens *Astronaut* zum Mars beschrieb.

Die klassische Figur des kleinen grünen Männchens mit Antennen auf dem Kopf erschien erstmals 1913 in einem [Comic](#) und ist seitdem [Klischee](#).

Als der Astronom [Percival Lowell](#) Ende des 19. Jahrhunderts die Vorstellung entwickelte, die mit dem Fernrohr wahrnehmbaren [Marskanäle](#) seien künstlich angelegte Wasserkanäle, wurde diese Idee in der Science-Fiction-Literatur aufgegriffen und weitergesponnen. Dort wurde der Mars häufig als eine sterbende Welt vorgestellt, in deren kalten Wüstenregionen alte und weit entwickelte Zivilisationen ums Überleben kämpften.

[Kurd Laßwitz](#) brachte 1897 seinen sehr umfangreichen Roman *Auf zwei Planeten* über einen Besuch bei den Marsbewohnern heraus.



Angriff der Marsianer in *Krieg der Welten* von H. G. Wells.  
Buchillustration der französischen Ausgabe von Alvim Corr  a von 1906

In [H. G. Wells'](#) bekanntem Roman *Krieg der Welten*, der 1898 erschien, verlassen die [Marsianer](#) ihre Heimatwelt, um die lebensfreundlichere Erde zu erobern. Die Menschheit, die den hochtechnisierten kriegesischen Marsianern hoffnungslos unterlegen ist, entgeht ihrer Auslöschung nur dadurch, dass die Invasoren von für Menschen harmlosen, irdischen Mikroben dahingerafft werden. [Orson Welles](#) verwendete den Stoff im Jahre 1938 in einem [Hörspiel](#), wobei er die Marsianer in [New Jersey](#) landen ließ. Das Hörspiel wurde im Stil einer realistischen Reportage ausgestrahlt. Hörer, die sich später einschalteten,

hielten die Invasion der Marsianer für Realität.

Wells' Romanvorlage wurde 1952 verfilmt, wobei die Handlung wiederum in die USA der Gegenwart verlegt wurde. Der Film erhielt für die damals bahnbrechenden Spezialeffekte einen [Oscar](#).

1923 brachte [Alexei Tolstoi](#) seinen Roman *Aelita* heraus, der von der Liebe eines sowjetischen Ingenieurs zur Marsprinzessin und dem Untergang der Zivilisation auf dem Planeten handelt. Dieses Werk wurde 1924 [verfilmt](#).

Im Jahr 1978 entstand der Film [Unternehmen Capricorn](#). Er griff das Thema der [Verschwörungstheorien zur Mondlandung](#) auf, indem er es in sehr zugespitzter Form auf eine im Filmstudio vorgetäuschte Marsexpedition übertrug.

Der 1996 entstandene Film [Mars Attacks!](#) setzt sich ironisch mit dem Thema Marsinvasion auseinander, wobei den Marsianern amerikanische Schnulzenmusik aus den 1950er Jahren zum Verhängnis wird.

Unter der Regie von [Brian De Palma](#) wurden im Jahr 2000 mit dem Film [Mission to Mars](#) die Spekulationen um das Marsgesicht der Cydonia-Region als hinterlassenes Bauwerk dramatisch weitgehend thematisiert.

[Steven Spielbergs](#) 2005 entstandenes Remake von *Krieg der Welten* nahm noch einmal das Thema auf und zeigte die Invasion von [Außerirdischen](#) auf der Erde aus der Sicht eines Familienvaters aus den USA.

Weitere bekannte [Science-Fiction-Filme](#), die auf dem Mars handeln, sind [Red Planet](#) (2000) und [Die totale Erinnerung – Total Recall](#) (1990).

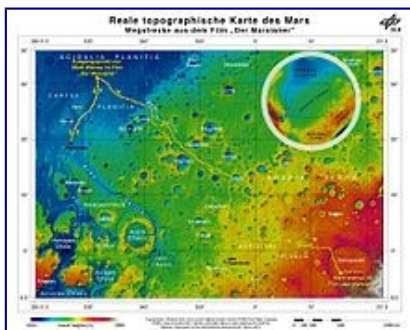
[Edgar Rice Burroughs](#), der Autor von [Tarzan](#), schrieb von 1917 bis 1943 die elfbändige Saga [John Carter vom Mars](#), in der sich der irdische Held in marsianische Prinzessinnen verliebt und gegen Luftpiraten, grünhäutige Unholde, weiße Riesenaffen und andere Untiere kämpft.

[Die Mars-Chroniken](#) (1950), eine stimmungsvolle Sammlung von Erzählungen des Schriftstellers [Ray Bradbury](#), sind ebenfalls auf dem Mars angesiedelt.

Große Beachtung erhielt die [Marstrilogie](#), eine von [Kim Stanley Robinson](#) von 1993 bis 1996 verfasste Romanserie über die Besiedelung des Mars. Der besondere Ansatz dieser Geschichten liegt in der vorwiegend technischen Schilderung unter vollständigem Verzicht phantastischer Elemente.

Der wohl prominenteste Auftritt des Mars in der Musik dürfte der erste Satz von [Gustav Holsts](#) Orchestersuite [Die Planeten](#) (1914–1916) sein, deren erster Satz *Mars, the Bringer of War* mit seinem drohend-martialischen Charakter die mythologische Gestalt Mars eindrucksvoll porträtiert.

Bestsellerautor [Andreas Eschbach](#) verfasste von 2001 bis 2008 die Pentalogie [Das Marsprojekt](#).



Die Route von Mark Watney in einer nachgestellten topographischen Kartierung des [DLR-Instituts für Planetenforschung](#)

2011 veröffentlichte [Andy Weir](#) den Science-Fiction-Roman [Der Marsianer](#), in dem ein Astronaut nach einem Unfall auf dem Mars zurückgelassen wird und fortan um sein Überleben kämpfen muss. Mit [Der Marsianer – Rettet Mark Watney](#) erschien 2015 eine Verfilmung dieses Bestsellers.

Helga Abret und Lucian Boa geben in ihrem Buch *Das Jahrhundert der Marsianer* (1984) einen literarischen Überblick über Erzählungen und Romane über den Mars und seine fiktiven Bewohner. Von der Beschreibung einer „ekstatischen Reise“ zum Mars (*Itinerarium exstaticum coeleste*, 1656) des Jesuitenpaters [Athanasius Kircher](#) bis hin zu Science-Fiction-Erzählungen des 20. Jahrhunderts reicht die Bandbreite der kommentierten Werke, mit denen die Autoren aufzuzeigen versuchen, dass

„sich aus dem Zusammenwirken von Naturwissenschaften, Astronomie und Literatur ein moderner Mythos“ entwickelte.

# Terraforming Mars



Umwandlung des Planeten Mars in vier Stufen

## **Ausgangsbedingungen**

- Der vorhandene atmosphärische Druck liegt bei 0,75 % des irdischen Druckes.
- Die Temperaturen an der Oberfläche schwanken (je nach Pol- bzw. Äquatornähe) zwischen  $-85\text{ °C}$  und  $+20\text{ °C}$
- Die Atmosphäre besteht zu 95 % aus  $\text{CO}_2$ .
- 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 hier, abhängig 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  $\text{O}_2$  ([Sauerstoff](#)) und [Inertgasen](#) wie  $\text{N}_2$  ([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.

## Methoden für den Mars

Beim [Mars](#) kann ein Terraforming am [Kohlendioxid](#) (CO<sub>2</sub>) ansetzen, das in großen Mengen im Polkappeneis gespeichert ist. Schätzungen umfassen etwa 300 bis 600 [hPa](#). Größere Mengen (450–900 hPa) von CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> vertragen. Jedoch ist von Algen bekannt, dass diese sich selbst in reinen Kohlendioxidatmosphären wohlfühlen. Manche Algenarten gedeihen sogar am besten in reinem CO<sub>2</sub>. Zur Initiierung des Treibhauseffektes sind verschiedene Methoden denkbar.

Bei allen Methoden ergeben sich durch verkettete Reaktionen folgende Resultate:

- Dichtere Atmosphäre durch das freigewordene CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>).

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.

## 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 CO<sub>2</sub>-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 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.

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 in [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. Vorher 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.

Zusammenstellung der Materialien

durch Fred Körper

Quellen:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Mars\\_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Mars_(Planet))

<https://de.wikipedia.org/wiki/Marskolonisation>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Mars-Chroniken>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Terraforming>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Terraforming\\_Mars](https://de.wikipedia.org/wiki/Terraforming_Mars)

<https://www.astronews.com/news/artikel/2018/08/1808-001.shtml>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Aelita\\_\(Film\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Aelita_(Film))

<http://www.haz.de/Nachrichten/Kultur/Uebersicht/Ueberleben-auf-dem-Mars>

<https://hardsf.de/wie-der-mars-seine-ozeane-verloren-hat/>

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/mars-forscher-finden-unterirdischen-see-koennte-es-dort-leben-geben-a-1220152.html>

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/mars-forscher-finden-unterirdischen-see-koennte-es-dort-leben-geben-a-1220152.html>