Astronomie und Astrophysik

Der Planet Mars

von

Andreas Schwarz

Stand: 08.08.2023

0.0 Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....3

2 Die Oberfläche des Mars.....5

3 Die Atmosphäre des Mars.....8

4 Der innere Aufbau des Mars.....10

5 Die Bahnbewegung des Mars.....11

6 Die Monde des Mars.....11

7 Leben auf dem Mars.....12

8 Raumfahrtmissionen zum Mars.....16

9 Schlusswort.....20

10 Literatur- und Bilderverzeichnis.....22

1 Einleitung

Der Mars hat einen Durchmesser von 6.800 km. Die Masse des Mars beträgt 0,11 Erdmassen und seine mittlere Dichte hat einen Wert von 3,93 g/cm³, was bereits deutlich von den entsprechenden Werten für die Erde (Masse = eine Erdmasse, Dichte = 5,62 g/cm³) abweicht. Mit einer maximalen scheinbaren Helligkeit von $-2^m,9$ kann der Mars nach der Sonne, dem Mond und der Venus das hellste Objekt am Himmel sein.

Die mittlere Entfernung des Mars von der Sonne beträgt rund 227,9 Millionen Kilometer. Die Bahn des Mars ist stark elliptisch, d.h. seine Bahn-Exzentrizität hat einen Wert von e = 0,093, so dass seine Entfernung zur Sonne zwischen rund 206,62 Millionen und 249,23 Millionen Kilometer schwankt. Für einen Umlauf um die Sonne benötigt der Mars 688 Tage. Die Bahnneigung gegen die Ekliptikebene ist mit 1,85° relativ gering. Der Minimalabstand von Erde und Mars beträgt etwa 54,5 Millionen Kilometer, der maximale etwa 401,3 Millionen Kilometer. Besonders günstig ist der Mars während seiner Oppositionsstellung zur Erde zu beobachten, wenn sich die Erde in einer Linie zwischen der Sonne und dem Mars befindet. Die mittlere Oppositionsentfernung des Mars zur Erde beträgt 78,39 Millionen Kilometer.

Der Mars rotiert einmal in $24^h\ 37^m\ 23^s$ um seine eigene Achse und die Neigung seiner Rotationsachse gegenüber der Ekliptik beträgt 25,19°. Diese Werte sind mit den entsprechenden Werten für die Erde vergleichbar ($23^h\ 56^m\ 04^s$, 23,44°). Auf den ersten Blick erscheint der Planet Mars erdähnlich, was in der Gesamtbetrachtung jedoch nicht zutreffend ist. So verfügt er über zwei Polkappen und das Klima des Mars zeigt Jahreszeiten wie auf der Erde. Allerdings bestehen die Polkappen aus gefrorenem Kohlenstoffdioxid (Trockeneis) und Wassereis.

Die Oberfläche des Mars hat etwa die Größe von einem Viertel der Erdoberfläche, was in etwa der Gesamtfläche der Erdkontinente entspricht. Die markante rote Färbung der Marsoberfläche kommt aufgrund von Eisenoxid-Staub zustande, welcher sich auf der Oberfläche und in der Marsatmosphäre verteilt hat. Statt von einem „roten“ Planeten kann auch von einem „rostigen“ Planeten gesprochen werden. Die Oberflächengestaltung des Mars ist zweigeteilt. Die Nordhalbkugel besteht aus einer Tiefebene, die etwa drei bis fünf Kilometer unter dem globalen Nullniveau (mittlerer Marsradius) liegt. Sie ist geologisch relativ jung und weist wenig Einschlagkrater auf. Im Gegensatz dazu bildet die Südhalbkugel ein Hochland, was durchschnittlich zwei bis drei Kilometer über dem globalen Nullniveau liegt. Sie hat ein relativ hohes Alter von etwa vier Milliarden Jahren und weist viele Einschlagkrater auf. Des Weiteren weist die Südhalbkugel ausgedehnten Schildvulkane auf. Der größte Schildvulkan Olympus Mons hat einen Basisdurchmesser von etwa 650 km und eine Höhe von rund 27 km. Die unterschiedliche Oberflächengestaltung dürfte ihre Ursache in einer gewaltigen Kollision in der Frühzeit des Planeten haben. Bei dieser Kollision dürfte Material herausgeschleudert worden sein, welches die relativ kleinen Marsmonde Deimos und Phobos geformt haben könnte. Bei den Monden könnte es sich auch um eingefangene Planetoiden handeln.

Die Atmosphäre des Mars ist sehr dünn und hat auf der Marsoberfläche nur einen Druck von etwa 0,006 bar. Das entspricht etwa einem Prozent des Luftdrucks auf der Erdoberfläche. Die Atmosphäre besteht zu 95,97 Prozent aus Kohlenstoffdioxid sowie aus 1,89 Prozent Stickstoff, 1,93 Prozent Argon, 0,146 Prozent Sauerstoff, 0,0056 Prozent Kohlenstoffmonoxid und 0,02 Prozent Wasser.

Über den inneren Aufbau des Mars ist aufgrund fehlender ausführlicher seismischer Messdaten noch wenig bekannt. Doch dürfte der innere Aufbau vergleichbar mit der Erde sein, so dass der Mars aus einem Kern (Eisen, mit einem Anteil von 14 – 17 Prozent Schwefel), einem Mantel aus Gestein und einer Kruste bestehen dürfte. Der Kern des Mars beinhaltet etwa doppelt so viele leichte Elemente wie der Erdkern, so dass er im Vergleich zum Erdkern auch einige geringere

Dichte hat. Der Kern dürfte zwar flüssig sein, jedoch nicht so wie der Erdkern einen festen inneren Kern haben. Ein daraus resultierender Dynamo-Effekt bleibt daher weitgehend aus, so dass der Mars nur über ein sehr schwaches Magnetfeld aus seiner Vergangenheit verfügt, was etwa die Stärke von rund 1/1000 des irdischen Magnetfeldes hat.

Die Temperatur auf der Marsoberfläche schwankt zwischen maximal +20°C und -130°C. Die mittlere Temperatur beträgt -55°C. Die maximale Temperatur wird im Marssommer am Äquator erreicht, während die niedrigste an den Polen erreicht wird. Flüssiges Wasser gibt es auf der Marsoberfläche heute nicht mehr, doch gibt es größere Anteile von gefrorenem Wasser im Marsboden (Permafrost) und in den Polkappen. Unter den Eisflächen kann es flüssiges Salzwasser geben, wofür es auch Anzeichen gibt. In der Vergangenheit könnte der Mars über eine dichtere Atmosphäre und höhere Temperaturen verfügt haben. Auf der Oberfläche gibt es deutliche Spuren, dass in der Vergangenheit auch mal flüssiges Wasser geflossen sein muss. So zeigen sich heute noch trockene Flussbetten und Strukturen, die auf ehemalige Ozeane hindeuten. Unbekannt ist jedoch, wie lange eine mögliche Phase mit flüssigem Wasser angehalten haben könnte.

Auf dem Planet Mars könnten einfache Formen von Leben entstanden sein. Es ist allerdings unklar ob tatsächlich Leben entstehen konnte und ob vielleicht sogar noch einfaches Leben in geschützten Nischen vorhanden sein könnte. Bisher konnte kein Leben auf dem Mars nachgewiesen werden. Die Rahmenbedingungen für die Entstehung von Leben auf dem Mars sind nicht besonders gut. Zunächst müsste es eine ausreichend lange Periode mit höheren Temperaturen und flüssigem Wasser gegeben haben, damit Leben entstehen konnte. Offen muss hier auch bleiben, ob es ggf. unter der Marsoberfläche Wärmereservoirs mit flüssigem Wasser geben könnte. Komplexere Formen von Leben oder Leben auf der ungeschützten Marsoberfläche dürfte ausgeschlossen sein. So verfügt der Mars weder über ein Magnetfeld noch über eine schützende Ozonschicht. Die Kosmische Strahlung und ultraviolette Strahlung treffen ungefiltert auf der Marsoberfläche auf. Diese Strahlung zerstört komplexe organische Verbindungen. Des Weiteren führt die spaltende Wirkung der UV-Strahlung auch zu einem Aufspalten von Wassermolekülen, was sich ebenfalls auf die notwendigen Voraussetzungen für die Entstehung von Leben negativ auswirkt. Die Chancen für die Entwicklung von Leben auf dem Mars dürften aus heutiger Sicht gering sein, was gut in den Kontext der bisher negativen Resultate der Raumfahrtmissionen bei der Suche nach Leben auf dem Mars passt.

Im Ergebnis ist der Mars dann doch nicht so Erdähnlich. Das nachfolgende Bild zeigt einen Größenvergleich zwischen Erde und Mars.

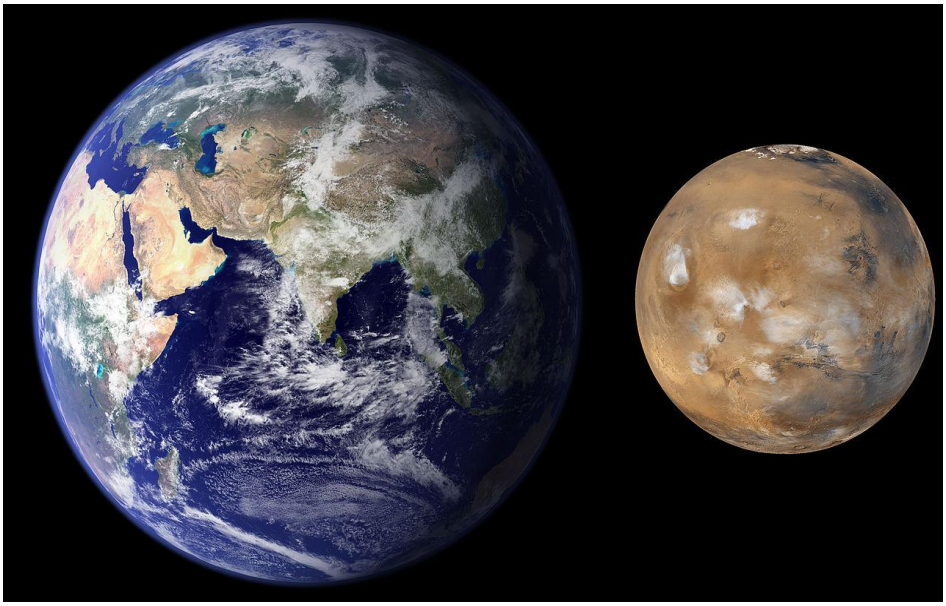

Bild1: Größenvergleich Erde/Mars (Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Mars)

2 Die Oberfläche des Mars

Die Oberfläche des Mars hat 144.800.000 km² und entspricht damit in etwa der Fläche aller Kontinente auf der Erde, welche es auf rund 149.000.000 bringen. Etwa die Hälfte der Marsoberfläche besteht aus einer etwa drei bis fünf Kilometer unter der globalen Nulllinie liegenden Tiefebene, welche relativ jung ist, aus vulkanischen Ebenen besteht und Größtenteils auf der Nordhemisphäre liegt. Aufgrund von fehlenden Ozeanen und Meeren auf dem Mars bedarf es zur Festlegung der Normalnulllinie einer anderen Definition, so dass der mittlere Radius des Mars als Nulllinie verwendet wird. Die andere Hälfte der Marsoberfläche besteht aus zirka vier Milliarden Jahre alten Hochländern, welche mit Kratern übersät sind, Schildvulkane enthalten und größtenteils auf der Südhemisphäre des Planeten liegen. Nachfolgend soll etwas detaillierter auf die Oberflächenformationen des Mars eingegangen werden. Grundlegende Erkenntnisse darüber stammen vor allem von Raumfahrtmissionen zum Mars.

Bild 2: Die Marslandschaft / NASA

Die Tharsis-Region ist etwa 10 km hoch. Sie enthält vier Schildvulkane, welche nochmals 15 km über die Hochebene hinausragen. Drei von ihnen liegen am Rande dieses Hochlandes, die Montes Arsia, Ascraeus und Pavonis. Der größte Vulkan im Sonnensystem ist der Olympus Mons. Er hat einen Basisdurchmesser von 650 km und eine Höhe von 27 km. Des Weiteren hat er nur sehr wenige Impaktkrater und seine Oberfläche dürfte ein Alter von etwa einer Million Jahre haben, was geologisch betrachtet sehr jung ist. Es zeigen sich auch Anzeichen von Lavaströmen, die noch jünger sein dürften.

Es gibt zahlreiche Canyons auf dem Mars. Bei diesen handelt es sich um tektonische Risse in der Kruste des Mars. Der eindrucksvollste Canyon ist mit einer Länge von 5.000 km, einer Breite von 100 km und einer Tiefe von 7 km das Vallis Marines. Bereits mit großen Teleskopen als dunkle Flecken auszumachen sind unter anderen die ausgedehnten Tiefebenen Hellas Planitia, Arcadia Planitia und Utopia Planitia. Hellas Planitia ist mit einem Durchmesser von 2.100 km die größte Tiefebene. In ihrem Innern wird mit 8.180 m unter der Nulllinie des Mars der tiefste Punkt des Planeten erreicht. Die größte ausgedehnte dunkle Struktur, welche von der Erde aus beobachtet werden kann, ist Syrtis Major (die „große Syrte“). Die Tiefebenen auf dem Mars dürften ähnlich wie die Maria auf dem Mond durch Impakte entstanden sein.

Die am 20. August 1975 gestartete US-Raumsonde Viking 1 erreichte am 19. Juni 1976 den Planeten Mars. Sie bestand aus einem Orbiter und einem Lander. Letzterer setzte am 20. Juli 1976 erfolgreich auf der Marsoberfläche, in der Region Chryse Planitia, auf und lieferte zahlreiche Messwerte und Bilder. Die Ebene, in der Viking 1 landete, ist etwa 3 Milliarden Jahre alt. Am Landeplatz gibt es viele etwa einen Meter großen Felstrümmer und dünenartige Ablagerungen von Sand. Ähnlich gelagert ist die Situation auch am Landesplatz von Viking 2, welche am 09. September 1975 gestartet wurde und am 07. August 1976 den Mars erreichte. Der Lander setzte am 03. September 1976 erfolgreich in der Region Utopia Planitia auf. Am Bord der Lander befanden sich auch Wetterstationen, welche am Marsboden Windgeschwindigkeiten von bis zu 100 km/h maßen. Die Spannbreite der Änderungen in der Marsatmosphäre ist größer als im Falle der Erdatmosphäre. Im Sommer betrug das von den Landern gemessene Temperaturmaximum -33°C und am Ende der Nacht sank die Temperatur auf -83°C ab. Insgesamt reicht die Temperaturspanne auf dem Mars von etwa +20°C am Äquator bis -133°C an den Polen. Die Durchschnittstemperatur auf dem Mars liegt bei -53°C.

Die Zusammensetzung des Marsbodens unterscheidet sich deutlich vom irdischen. Der Marsboden besteht aus basischen Gesteinen, welche reich an Magnesium und Eisen sind. Der Sauerstoff in der Atmosphäre verband sich mit dem Eisen zu Eisenoxid, was die rote Färbung des Planeten erklärt. Eisenoxid ist nichts weiter als Rost, so dass im Falle der Marsoberfläche und auch aufgrund von Eisenoxid-Staub in der Marsatmosphäre von einem rostigen Planeten gesprochen werden kann. Die Albedo (das Rückstrahlungsvermögen) der einzelnen Regionen auf dem Mars liegt zwischen 10 und 15 Prozent.

Auf der Oberfläche des Mars verlaufen auch Stromtäler, die mehrere hundert Kilometer lang und mehrere Kilometer breit sein können. Heute handelt es sich hierbei jedoch um Trockentäler, da flüssiges Wasser auf der Marsoberfläche nicht mehr existieren kann. Die meisten von ihnen entspringen an den Enden der Mariner-Täler und laufen nördlich im Chryse-Becken zusammen. Dabei beginnen sie ziemlich abrupt und zeigen keine Zuflüsse. Das deutet darauf hin, dass über einen geologisch kurzen Zeitraum große Mengen Wasser geflossen sein müssen. In diesen ausgetrockneten Flussbetten zeigen sich auch stromlinienförmige Inseln. Die Wasserflüsse können in der Vergangenheit des Planeten entstanden sein, in dem durch vulkanische Prozesse unter der Marsoberfläche befindliches Wassereis geschmolzen wurde und dann abgeflossen ist.

In den geologisch alten Oberflächengebieten des Mars, z.B. im Krater Eberswalde auf der Südhalbkugel des Planeten oder in der äquatornahen Hochebene Xanthe Terra, finden sich die typischen Ablagerungen eines Flussdeltas. Vermutlich sind die tief eingeschnittenen Täler in Xanthe Terra durch Flüsse geformt worden. Beim Einmünden des Flusses in ein größeres Becken, z.B. einen Krater oder ein anderes tiefer liegendes Gebiet, wird erodierendes Gesteinsmaterial als Sediment abgelagert. Je nachdem, ob der Fluss in ein mit Wasser gefülltes Becken oder in ein trockenes einfließt, entstehen unterschiedliche Strukturen. Im ersten Fall entsteht ein sogenanntes Fluss-Delta, im letzten Fall verliert der Fluss an Geschwindigkeit, versickert langsam und es bildet sich ein sogenannter Schwemmkegel. Es wird von der Annahme ausgegangen, dass der Mars in seiner Frühzeit eine dichtere Atmosphäre hatte und wärmer als heute war. In dieser geologisch relativ kurzen Periode könnten dann Wasser geflossen sein und sich sogar Ozeane gebildet haben.

Es zeigen sich auf der Marsoberfläche auch sogenannte Dark Slope Streaks (dunkle Streifen). Sie treten in der Regel an steilen Hängen von Kratern, Mulden und Tälern auf und bilden sich auch heute noch. Mit zunehmendem Alter werden sie heller, in einigen Fällen beginnen sie in einem punktförmigen Bereich und werden dann breiter. Um Hindernisse, etwa Mulden oder Erhöhungen, bewegen sie sich herum. Die Entstehungsursache dieser dunklen Streifen ist noch nicht abschließend geklärt. Vermutlich handelt es sich um von Lawinen aus hellerem Staub freigelegte dunklere Oberflächenschichten. Auch Wasser oder sogar Mikroorganismen wurden als mögliche Entstehungshypothese aufgeführt.

Zahlreiche Regionen auf dem Mars zeigen eine unterschiedliche Häufung von unterschiedlich großen Felsgesteinsbrocken und Erhebungen, die einem Berg mit breiter Gipfelebene ähnlich sind. Diese Regionen werden „Chaotische Gebiete“ genannt.

Die unbemannten Raumfahrtmissionen zum Mars haben verschiedene Gesteinsschichten und Ablagerungen nachgewiesen. So gibt es Salzlager, Carbonatvorkommen, Hämatitkügelchen und Kieselsäure auf dem Mars. Die Salzablagerungen könnten durch Oberflächenwasser vor etwa 3,5 bis 3,9 Milliarden Jahren entstanden sein. Carbonate entstehen durch die Reaktion von Kohlenstoffdioxid und Wasser mit Kalzium, Eisen und Magnesium im vulkanischen Gestein. Das Eisenmineral Hämatit könnte sich vor mehreren Milliarden Jahren ebenfalls durch die Einwirkung von Wasser abgelagert haben. Es wurden auch Minerale nachgewiesen, welche aus Schwefel-, Brom- und weiteren Eisenverbindungen aufgebaut sind. Die Kieselsäure wurde als Hydrat in einem Vulkankegel nachgewiesen, was nur durch Wasser entstanden sein konnte. Abschließend kann relativ sicher gesagt werden, dass flüssiges Wasser in der Vergangenheit des Planeten (vor etwa 3,9 Milliarden Jahren) eine große Rolle gespielt haben muss.

Flüssiges Wasser kann es auch heute noch unter den Eisschichten oder im Boden geben. Gelöste Stoffe im Wasser, etwa Salze, können den Schmelzpunkt von Wasser auf bis zu -75°C herabsenken und so flüssiges Wasser ermöglichen. Anzeichen dafür wurde im Jahr 2018 durch Radarmessungen entdeckt.

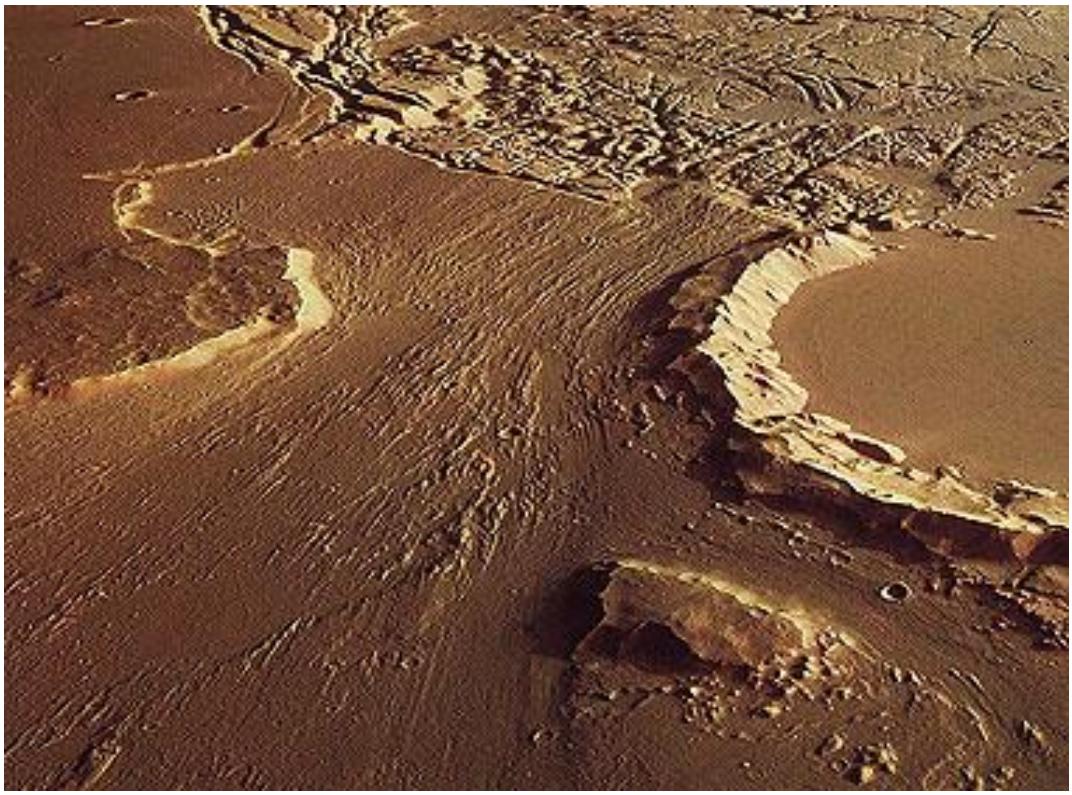

Bild 3: Spuren von flüssigem Wasser in der Vergangenheit des Mars / NASA

Die Polkappen des Mars bestehen aus zwei Komponenten: gefrorenem Kohlenstoffdioxid (Trockeneis) und Wassereis. Die erste Komponente, Trockeneis, sublimiert mit ansteigenden Temperaturen in Abhängigkeit von den Jahreszeiten. Beim sublimieren geht das Trockeneis direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über. Die zweite Komponente, das Wassereis, bleibt hingegen permanent vorhanden. Die permanente nördliche Polkappe hat einen Durchmesser von etwa 1.000 km, während die südliche einen Durchmesser von etwa 350 km hat.

3 Die Atmosphäre des Mars

Die Marsatmosphäre ist im Vergleich zur Erdatmosphäre äußerst dünn. Ihr Druck auf der Marsoberfläche beträgt nur 0,006 bar, was weniger als ein Prozent des Atmosphärendrucks auf der Erdoberfläche ist. Sie besteht zu 95,97 Prozent aus Kohlenstoffdioxid, 1,89 Prozent aus Stickstoff, 1,93 Prozent aus Argon, 0,146 Prozent aus Sauerstoff, 0,0056 Prozent aus Kohlenstoffmonoxid und 0,02 Prozent aus Wasser. Die Marsatmosphäre hat folgenden Aufbau:

- Untere Atmosphäre
- Mittlere Atmosphäre
- Obere Atmosphäre
- Exosphäre

In der unteren Atmosphäre finden die Wetterphänomene, etwa die Wolkenbildung, statt. Es gibt verschiedene Arten von Wolken in der Marsatmosphäre: Staubwolken, Wolken aus Wassereis und Wolken aus Trockeneis (gefrorenes Kohlenstoffdioxid). Die Staubwolken entstehen durch aufgewirbelten Staub vom Marsboden. Der Staub wird durch starke Winde in die Marsatmosphäre getrieben und verteilt sich so über die gesamte Marsoberfläche. Im Extremfall können Staubstürme den ganzen Planeten einhüllen. Der Staub besteht überwiegend aus Eisenoxid enthaltendem Material und ist daher rötlich gefärbt. Durch das Aufwirbeln in die Atmosphäre ist diese ebenfalls rötlich gefärbt. Aufgrund eines geringen Wasseranteils in der Marsatmosphäre bilden sich auch Wolken aus Wassereis. Sie bilden sich um Berge herum, wobei der Entstehungsvorgang ähnlich wie auf der Erde ist. Der Hauptbestandteil der Marsatmosphäre besteht jedoch aus Kohlenstoffdioxid, so dass sich auch daraus Wolken, Schleier aus Trockeneis, bilden können. In der mittleren Atmosphäre befindet sich der Jetstream des Mars, während die höchsten Atmosphärentemperaturen in der oberen Marsatmosphäre durch Sonneneinstrahlung erreicht werden. Diese wird daher auch Thermosphäre genannt. In dieser Atmosphärenschicht beginnen sich die Gase aufzutrennen, so dass sich die Zusammensetzung des atmosphärischen Gasgemisches zunehmend von der Zusammensetzung der unteren Atmosphäre unterscheidet. Die Exosphäre des Mars beginnt in etwa 200 km über der Marsoberfläche und geht fließend in den interplanetaren Raum über.

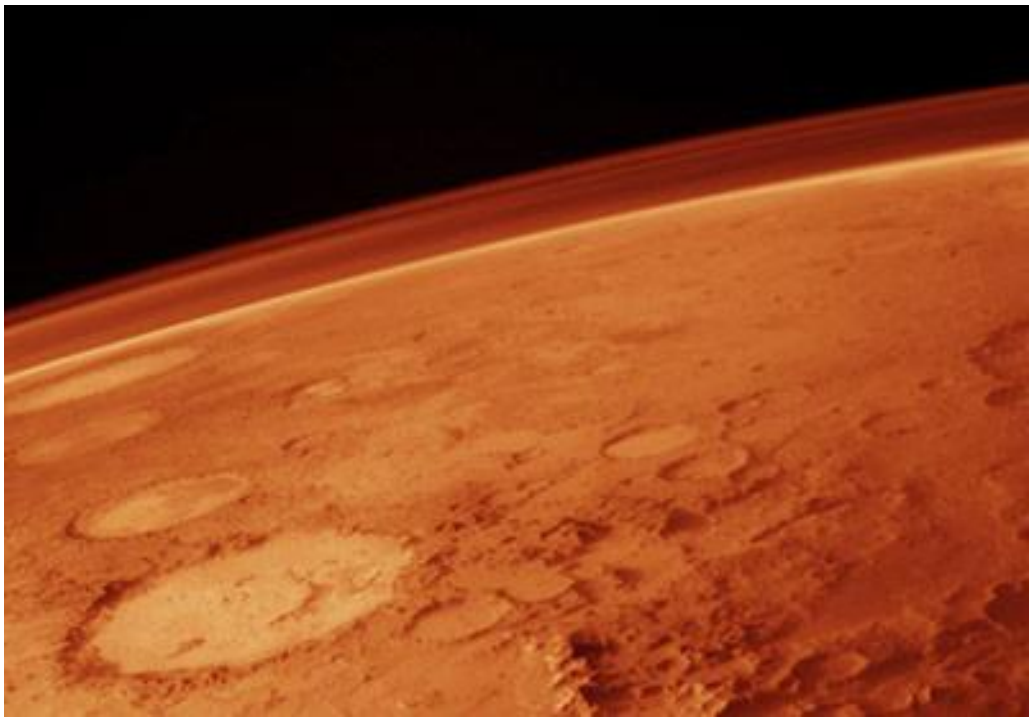

Bild 4: Die Marsatmosphäre / NASA

Der Mars verfügt trotz der dünnen Atmosphäre über Wetter- und Klimaphänomene. Aufgrund der erdähnlichen Neigung der Rotationsachse des Mars gibt es dort wie auf der Erde vier Jahreszeiten. Wegen der Umlaufperiode des Mars um die Sonne von 688 Tagen sind die Jahreszeiten jeweils etwa doppelt so lang wie auf der Erde. Allerdings hat die Bahn des Mars eine deutlich größere Bahnexzentrizität (Abweichung von der Kreisbahn) als die Erdbahn. Entsprechend der schwankenden Entfernung von der Sonne fallen auch die Jahreszeiten auf dem Mars unterschiedlich aus. Wenn sich der Mars im Perihel (sonnennächsten Punkt) seiner Bahn befindet, dann ist auf seiner Nordhalbkugel Winter und auf seiner Südhalbkugel Sommer. Das ist ebenfalls im Falle der Erde so. Wenn sich der Mars im Aphel (sonnenfernsten Punkt) seiner Bahn befindet ist es umgekehrt. Im Perihel seiner Bahn empfängt der Mars etwa 40 Prozent mehr Sonnenstrahlung als im Aphel seiner Bahn. Aufgrund dieses Unterschieds können die Temperaturen im Sommer auf der Südhemisphäre um 30°C höher liegen als im Sommer auf der Nordhemisphäre. Wegen der Bahnexzentrizität sind die Jahreszeiten auf dem Mars auch unterschiedlich lang.

Aufgrund der größeren Entfernung des Mars von der Sonne und der nur sehr dünnen Atmosphäre liegen die Temperaturen bis auf wenigen Ausnahmen weit unter dem Gefrierpunkt von Wasser. Befindet sich der Mars im Aphel seiner Bahn, kommt es besonders zur Bildung von Wolken aus Wassereis in der Atmosphäre. Diese Wolken wechselwirken wiederum mit den Staubpartikeln in der Atmosphäre und beeinflussen dadurch die Temperatur auf dem Planeten. Die dünnen Wolken aus gefrorenem Kohlenstoffdioxid, welche sich etwa in einer Höhe von 80 km befinden, absorbieren Sonnenstrahlung und bewirken eine zusätzliche Temperaturerniedrigung um 10°C. Des Weiteren gibt es große Schwankungen zwischen den Temperaturen am Tage und in der Nacht. Dies führt zu täglichen Abend- und Morgenwinden. In den ausgedehnten flachen Ebenen können heftige Staubstürme auftreten, was besonders im Frühjahr des Mars der Fall ist. Mit steigendem Sonnenstand werden zunehmend die Bodenschichten und die darüber liegenden Luftschichten erwärmt. Dabei können auch Wirbelstürme (Windhosen bzw. Sandhosen) entstehen. In der oberen Atmosphäre werden Windgeschwindigkeiten von bis 650 km/h erreicht, am Marsboden immerhin noch 400 km/h. Aufgrund der dünnen Atmosphäre haben die Stürme auf dem Mars eine deutlich geringere Kraft als vergleichbare Stürme auf der Erde. Selbst bei hohen Windgeschwindigkeiten werden nur kleinere Partikel aufgewirbelt, doch verbleiben diese dann wesentlich länger in der Marsatmosphäre als im vergleichbaren Fall auf der Erde, da sie aufgrund fehlender Niederschläge nicht aus der Atmosphäre herausgewaschen werden. Hinzu kommt, dass sich aufgrund der geringeren Gravitation auf dem Mars die Partikel länger in der Atmosphäre halten können. Die heftigen Staubstürme auf dem Mars dürften auch zu Gewittern führen. Möglicherweise von Blitzen herrührende Strahlungsimpulse im Mikrowellenbereich wurden während eines Staubsturmes von Radioteleskopen gemessen.

Durch die jahreszeitlich bedingten unterschiedlichen Temperaturen und Staubstürme dürfte nach einer wissenschaftlichen These aus dem Jahr 2020 auch Wasser in die obere Atmosphäre transportiert werden und dadurch entweichen. Damit sinkt der Anteil von Wasserstoff und Wasser auf dem Mars. Dies soll eine große Bedeutung für das Klima und den Wasserverlust auf dem Mars während der letzten einen Milliarden Jahre gehabt haben.

In der Frühphase des Mars dürfte seine Atmosphäre wesentliche dichter gewesen sein, so dass es auch höhere Temperaturen und flüssiges Wasser gegeben haben dürfte. Nach neueren Erkenntnissen ist neben der geringeren Gravitationskraft auch das fehlende Magnetfeld des Mars für die jetzt wesentlich dünnere Marsatmosphäre verantwortlich. Die solare Kosmische Strahlung, der sogenannte Sonnenwind aus geladenen Teilchen, konnte aufgrund des fehlenden Magnetfeldes direkt mit der Atmosphäre des Mars wechselwirken und diese bei der relativ geringen Gravitationskraft des Mars regelrecht wegblasen.

4 Der innere Aufbau des Mars

Noch gibt es keine abschließenden Erkenntnisse über den inneren Aufbau des Mars. Im Rahmen von unbemannten Raumfahrtmissionen wurden jedoch seismische Messungen durchgeführt und so neue Erkenntnisse gewonnen. Allerdings sind weitere Untersuchungsmissionen erforderlich.

Prinzipiell dürfte der innere Aufbau des Mars dem der Erde ähnlich sein, so dass auch der Mars aus einem Kern, einem Mantel und einer Kruste aufgebaut ist. Im Detail gibt es natürlich Unterschiede. Die Modelle, welche ständig erweitert werden, gehen von einem Kern aus, welcher etwa einen Durchmesser von 3.000 bis 3.600 km hat und größtenteils aus Eisen mit einem Schwefelanteil von 14 bis 17 Prozent besteht. Des Weiteren sind auch Wasserstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff vorhanden. Die Existenz dieser leichten Elemente deutet darauf hin, dass der Mars früher als die Erde entstanden sein dürfte. Unklar ist allerdings weiterhin, ob der ganze Kern flüssig ist oder, wie im Falle der Erde, der innere Kern aus festem Eisen besteht.

Einen Dynamo-Effekt wie im Erdkern gibt es jedoch nicht. Schon rund 500 Millionen Jahre nach seiner Entstehung dürfte der Mars sein globales Magnetfeld verloren haben. Die Ursachen hierfür sind noch nicht geklärt. Wahrscheinlich produzierte der Zerfall radioaktiver Elemente nicht mehr genügend Wärmeenergie, um im flüssigen Kern Konvektionsströmungen anzutreiben, welche wiederum hätten einen Dynamo-Effekt bewirken können. Die Reste des ursprünglichen Magnetfeldes lassen sich zwar noch nachweisen, doch beträgt deren Stärke nur 1/1000 des irdischen Magnetfeldes.

Der Mantel des Mars liegt über dem Kern und unterhalb der Kruste und besteht hauptsächlich aus Silikaten. In der Frühzeit des Mars dürfte der Mantel für den aktiven Vulkanismus und verschiedene plattentektonische Vorgänge auf dem Mars ursächlich gewesen sein. Unter der Kruste baute der Mantel enormen Druck auf, so dass sich die Oberfläche des Planeten nach oben wölbte. Auf diese Weise dürften die Hochländer und die Vulkane entstanden sein. Als Beispiel hierfür sei die Tharsis-Region genannt, welche über vier große Vulkane verfügt. Des Weiteren kam es auch zu Dehnungsbrüchen und zu Schrumpfungen, was im Ergebnis zu den gewaltigen Gräben und zu der Entstehung von entsprechenden Faltgebirgen auf der Kruste des Mars geführt haben dürfte.

Die Kruste des Mars hat eine stark variierende Dicke von etwa 5 bis 115 Kilometern. Im Durchschnitt beträgt die Dicke der Marskruste 50 km. Im Gegensatz zur chemischen Struktur der Erdkruste ist die Kruste des Mars reich an Eisenverbindungen, vor allem Eisenoxide. Die Eisenoxide, welche auch als Rost bezeichnet werden, sind für die rötliche Färbung des Planeten verantwortlich.

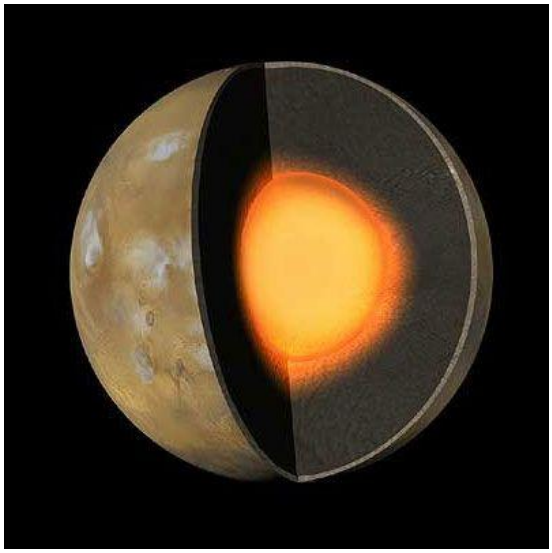

Bild 5: Der vermutete innere Aufbau des Mars / Courtesy of NASA / JPL / Caltech

5 Die Bahnbewegung des Mars

Der Mars bewegt sich zwischen der Erde und dem Planetoiden-Gürtel um die Sonne. Die mittlere Entfernung des Mars von der Sonne beträgt rund 227,9 Millionen Kilometer. Die Bahn des Mars ist stark elliptisch, d.h. seine Bahn-Exzentrizität hat einem Wert von 0,093, so dass seine Entfernung zur Sonne zwischen rund 206,62 Millionen und 249,23 Millionen Kilometer schwankt. Die Bahngeschwindigkeit des Mars schwankt zwischen 21,6 km/s im Aphel seiner Bahn und 26,5 km/s in seinem Perihel. Seine mittlere Bahngeschwindigkeit liegt bei 24,1 km/s. Für einen Umlauf um die Sonne benötigt der Mars 688 Tage. Die Bahnneigung gegen die Ekliptikebene ist mit 1,85° relativ gering. Der Minimalabstand von Erde und Mars beträgt zur Zeit einer Perihel-Opposition des Mars etwa 54,5 Millionen Kilometern, der maximale beträgt etwa 401,3 Millionen Kilometer.

Die Erde überholt jeweils nach 779 Tagen den Mars. Diese Periode wird auch als synodische Periode bezeichnet. Das ist auch die Periode zwischen jeweils zwei Oppositionsstellungen des Mars. Die Erde steht dann genau zwischen der Sonne und dem Mars bzw. die Sonne, die Erde und der Mars stehen dann in einer Linie. Aufgrund der starken Exzentrizität der Marsbahn schwankt die Oppositionsentfernung des Mars zur Erde zwischen 55,65 Millionen (im Perihel der Marsbahn) und 101,5 Millionen Kilometer (im Aphel der Marsbahn). Entsprechend schwankt die scheinbare Größe des Marsscheibchens zwischen 25" und 14" bzw. die scheinbare Helligkeit des Planeten zwischen $-2{,}9^{m}$ und $-1{,}25^{m}$. Die mittlere Oppositionsentfernung des Mars zur Erde beträgt 78,39 Millionen Kilometer.

Die Bahnelemente bleiben aufgrund von äußeren Einflüssen, unter anderem durch die anderen Planeten, nicht konstant. Die numerische Exzentrizität der Bahn des Mars variiert mit einer Periode von 96.000 Jahren. Dieser Periode ist eine weitere Variation der numerischen Exzentrizität übergeordnet, welche eine Periode von etwa 2 Millionen Jahre und eine größere Amplitude (Auslenkung) hat. Gegenwärtig schwankt die Exzentrizität um einen Mittelwert von 0,09, wobei sie derzeit größer wird. In etwa 22.000 Jahren wird sie mit 0,1051 einen Maximalwert erreicht haben. In etwa 186.000 Jahren wird dieser Wert sogar 0,1184 betragen, dann beträgt die Entfernung des Mars zur Sonne im Perihel knapp 200 Millionen Kilometer und im Aphel etwa 255 Millionen Kilometer. In einer Million Jahre wird die mittlere Exzentrizität etwa 0,03 betragen und damit die Marsbahn kreisförmiger sein als heute.

6 Die Monde des Mars

Der Mars hat zwei Monde: Deimos (Furcht) und Phobos (Schrecken). Sie wurden 1877 von Asaph Hall (1829 – 1907) entdeckt. Die Monde sind unregelmäßig geformt und erinnern in ihrem Aussehen an Planetoiden: Die Größenmaße der Monde sind:

- Deimos: 15 km x 12 km x 11 km
- Phobos: 27 km x 21 km x 19 km

Deimos hat eine mittlere Entfernung von 23.458 km bzw. 7 Marsradien vom Mars und umrundet den Planeten in $1^{d}\ 06^{h}\ 18^{m}$ Stunden. Phobos hat eine mittlere Entfernung von nur 9.376 km bzw. 2,8 Marsradien und umrundet den Mars in $7^{h}\ 39^{m}$. Beide Monde haben eine gebundene Rotation, d.h. sie rotieren genauso lange um ihre eigene Achse, wie sie für einen Umlauf um den Mars brauchen, und wenden dem Mars daher immer dieselbe Seite zu.

Nachfolgend die Marsmonde Deimos und Phobos auf einem vergleichenden Bild der NASA:

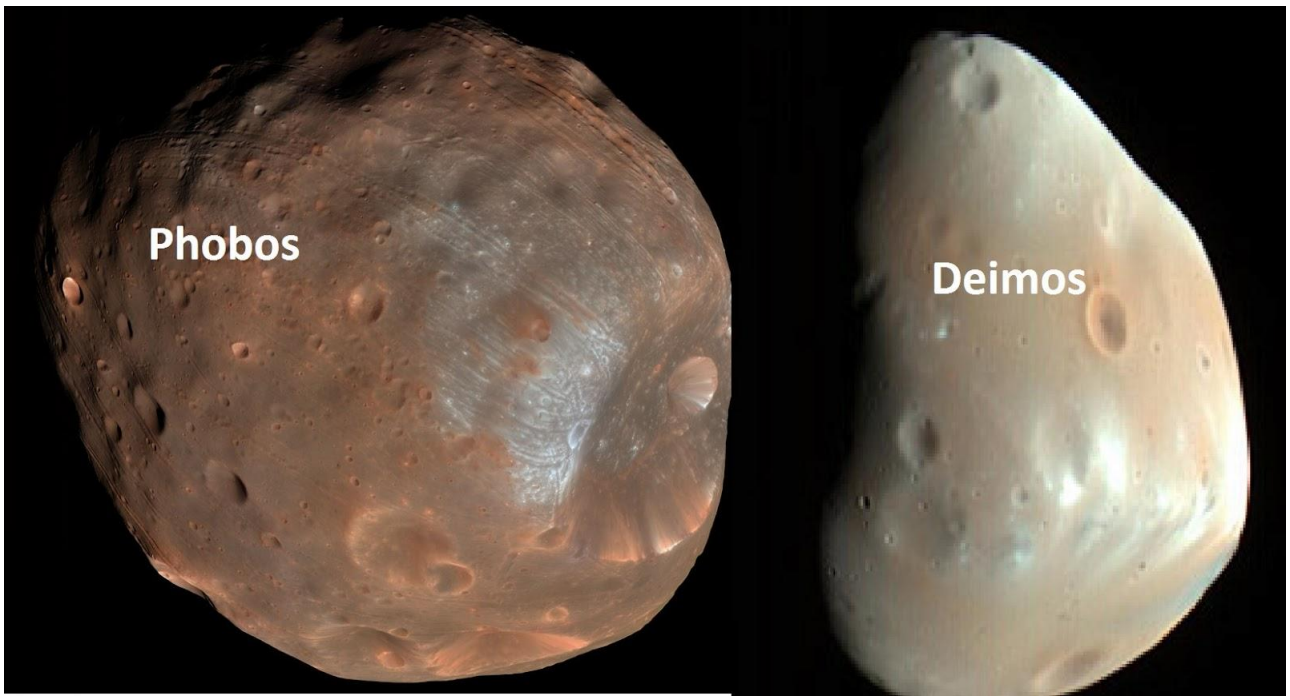

Bild 6: Die Marsmonde Phobos und Deimos / NASA / http://aasnova.org/

Die Bahnen der Marsmonde sind nahezu kreisförmig und befinden sich in der Äquatorebene des Mars. Die Masse von Deimos beträgt $1{,}8 \cdot 10^{15}$ kg, wobei seine Dichte einen Wert von 1,7 g/cm³ hat. Die entsprechenden Werte für Phobos sind $1{,}06 \cdot 10^{16}$ kg und 1,89 g/cm³. Die Oberflächentemperatur auf beiden Monden schwankt zwischen -5°C und -110°C. Ihre Oberflächen sind mit Kratern durchsetzt. Die scheinbaren Helligkeiten von Deimos und Phobos betragen während einer mittleren Opposition $11^{m},5$ und $12^{m},5$. Für die Entstehung der Marsmonde gibt es mindestens zwei Szenarien. Einmal könnte es sich um eingefangene Planetoiden handeln. Zum anderen könnten sie ähnlich wie der Erdmond durch einen Impakt in der Vergangenheit des Planeten entstanden sein. Bei diesem Impakt wurde Material vom Mars in seinen Orbit geschleudert. Daraus könnten sich dann mehrere kleine Monde gebildet haben. Deimos und Phobos wären dann als Monde noch übriggeblieben. Eines Tages werden die Monde dem Mars zu nahe kommen und dabei zerstört werden.

7 Leben auf dem Mars

Ein Ziel der astrobiologischen Forschung ist unter anderem auch der Planet Mars. Ende des 19. Jahrhunderts war noch der Glaube verbreitet, es würde intelligentes Leben auf dem Mars geben, das mit Hilfe eines Netzes aus Kanälen Wasser von den Polkappen in die Wüstenregionen leiten würde. Während einer günstigen Opposition des Mars im September 1877 beobachtete der italienische Astronom Giovanni Virginio Schiaparelli (1835 – 1910), Direktor der Mailänder Sternwarte, den Planeten und fertigte Karten vom Mars an. Bei der Beobachtung fielen ihm ziemlich gerade, dunkle Linien auf, die über weite Strecken die Marsoberfläche wie ein Spinnennetz überzogen. Er bezeichnete diese Linien als „canali“, im Italienischen auch ein Wort für natürliche Furchen oder Gräben. Im Englischen wurde dieses Wort jedoch in „canals“ und im Deutschen in „Kanäle“ übersetzt. Doch hier haben die Worte eine andere Bedeutung, denn canals bzw. Kanäle sind künstliche Bauwerke. Folgerichtig muss es auch intelligente Lebewesen auf dem Mars geben. Der vermögende Bostoner Percival Lowell (1855 – 1916) war überzeugt von der These, dass es intelligentes Leben auf dem Mars gibt. Er errichtete eigens hierfür in Flagstaff Arizona / USA im Jahre 1894 eine Sternwarte, die heute den Namen Lowell Observatorium trägt. Es wurden mit dieser Sternwarte auch einige bedeutende Entdeckungen gemacht, so im Jahre 1930 der Zwergplanet Pluto, doch künstliche Bauwerke oder sogar Marsbewohner wurden im Ergebnis nicht entdeckt.

So populär die These von den Marsbewohnern auch war, die große Mehrheit der damaligen Astronomen stand ihr skeptisch gegenüber und hielt die Marskanäle für eine optische Täuschung. Tatsächlich deckten sich die verschiedenen Beobachtungen der angeblichen Marskanäle auch nicht. Mit der Verbesserung der Beobachtungstechnik, etwa größer werdenden Objektivdurchmessern, verschwanden die Kanäle dann auch. Heute ist klar, dass es sich bei den sogenannten Kanälen um eine optische Täuschung handelt. Allerdings beflügelte die in der Bevölkerung populäre These von den Marsbewohnern die Literatur dieser Zeit. Im Jahr 1897 veröffentliche Kurd Laßwitz das Buch „Auf zwei Planeten“ und im Jahre 1898 Herbert George Wells „Krieg der Welten“ („The war ft he Worlds“). Selbst im Jahr 1938 führte die von Orson Wels aufgeführte Hörspielversion von Krieg der Welten in den USA noch zu einer Massenpanik. Dieses Hörspiel wurde im pseudo-dokumentarischen Stil aufgeführt. Besonders Personen, die nach Beginn des Hörspiels einschalteten, hielten es für die wahre Darstellung einer beginnenden Invasion vom Mars und flüchteten panikartig aus der vermeintlich betroffenen Gegend.

Die Wissenschaft war bereits zum Ende des 19. Jahrhunderts schon viel weiter und schloss höher entwickeltes Leben auf dem Mars zu dieser Zeit bereits aus. Allerdings war noch bis in die 1960er Jahre die These vertreten, dass es Pflanzen auf dem Mars geben könnte. So erscheinen im Marssommer dunkle Flecken, während die Polkappen zurückgehen. Diese Flecken wurden für eine Art von Flechten oder Moos gehalten. Die erfolgreichen Raumfahrtmissionen zum Mars von 1965 bis 1971 widerlegten diese These bereits. Vielmehr handelt es sich bei den dunklen Flecken um dunkles nicht-organisches Material, welches durch Staubstürme auf dem Mars regelmäßig abgelegt und wieder wegtransportiert wird. Diese Staubstürme korrelieren mit den Jahreszeiten auf dem Mars, daher auch der Zusammenhang mit dem Marssommer und der kleiner werdenden Polkappe auf der Sommerhalbkugel. Dennoch kann die Möglichkeit von einfachen Lebensformen an entsprechend geeigneten Stellen auf dem Mars bis heute nicht ausgeschlossen werden. Der erste Versuch, mögliches Leben durch Untersuchungen des Marsbodens nachzuweisen, erfolgte im Rahmen der NASA-*Viking-Mission*. Die Viking-Sonde bestand aus einer Orbiter- und einer Landestufe. Die Landestufe von Viking 1 landete am 20. Juli 1976 in der Landschaft Chryse und die Landestufe von Viking 2 am 04. September 1976 im Gebiet Utopia Planitia. Es wurden vier Experimente zum Nachweis von Leben durchgeführt:

1. **Pyrolytic Release Experiment:** Dieses Experiment sollte eine mögliche Photosynthese oder Spuren davon nachweisen. Zu diesem Zweck wurde Proben des Marsbodens mit Licht, Wasser und radioaktiv markiertem Kohlenstoffdioxid versetzt. Im Falle von Photosynthese treibenden Organismen wäre ein Teil des radioaktiven Kohlenstoffdioxids in Biomasse umgewandelt worden und wäre der ursprünglichen Probe entzogen worden. Dies hätte dann durch Messungen der Radioaktivität nachgewiesen werden können.
2. **Labeled Release Experiment:** Dieses Experiment war im Prinzip die Umkehrung des ersten Experiments. Eine Probe des Marsbodens wurde mit Wasser und einer radioaktiv markierten Nährlösung versetzt. Sollten mögliche Organismen auf dem Mars die Probe aufnehmen, dann wäre die Nährlösung umgewandelt und unter anderem Kohlenstoffdioxid mit den radioaktiv markierten Kohlenstoffatomen ausgeschieden worden.
3. **Gas Exchange Experiment:** Eine Probe des Marsbodens wurde längere Zeit einem Gasgemisch ausgesetzt. Mit Hilfe eines Gas-Chromatographen wurde dann in regelmäßigen Abständen die Zusammensetzung des Gasgemisches untersucht. Dabei sollte untersucht werden, ob sich das Gasgemisch aufgrund der Einwirkung von möglichen Organismen verändert hatte.
4. **Gas-Chromatograph-Massenspektrometer:** Mit diesem Gerät wurde die Zusammensetzung des Marsbodens untersucht und unter anderem auch nach organischen Verbindungen gesucht.

Die Experimente verliefen im Ergebnis widersprüchlich. Im zweiten Experiment konnte eine relativ starke Zunahme von radioaktivem Gas gemessen werden, nachdem die Probe mit radioaktiv markierter Nährlösung versetzt wurde. Dies könnte auf einen biologischen Mechanismus hindeuten oder es handelt sich um einen rein chemischen Vorgang. Im dritten Experiment wurde eine Zunahme von Sauerstoff festgestellt, nachdem der Bodenprobe Wasser zugeführt wurde. Allerdings trat dieser Effekt auch noch auf, als die Probe durch Hitze sterilisiert wurde. Des Weiteren trat dieser Effekt nur beim erstmaligen hinzufügen von Wasser auf und danach nicht mehr. Das vierte und letzte Experiment konnte keine signifikanten Mengen organischer Moleküle im Marsboden nachweisen. Dies würde die These stützen, wonach die in den Experimenten 2 und 3 beobachteten Vorgänge rein chemisch und nicht durch biologische Mechanismen zu erklären sind. Die Mehrheit der Wissenschaftler ist dieser These zugeneigt. Im Ergebnis lieferten die Experimente keinen eindeutigen Hinweis auf Leben auf dem Mars. Mittlerweile lassen sich alle beobachteten Reaktionen auch auf rein chemischem Wege erklären.

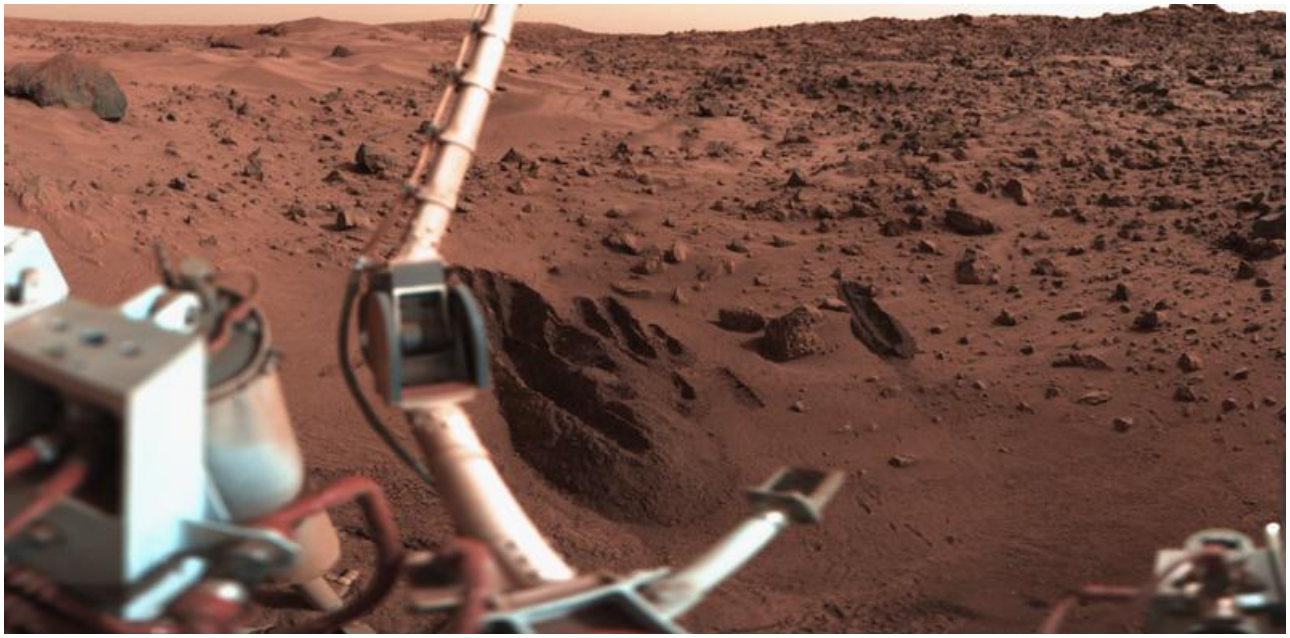

Bild 7: Viking 1 auf dem Mars / NASA

Einige Bilder der Viking-Mission schienen den Eindruck zu erwecken, dass es künstliche Bauwerke auf dem Mars geben würde. So schien es ein großes steinernes Gesicht auf dem Mars zu geben oder Pyramiden. Allerdings waren diese Bilder nicht sehr aussagekräftig. Der Eindruck der Künstlichkeit ergab sich aus einem Zusammenspiel von Licht und Schatten sowie Übertragungsfehlern. Nachfolgende Raumfahrtmissionen zeigten eindeutig, dass es sich um natürliche Oberflächenformationen handelt. Bisher wurden keine künstlichen Bauwerke auf dem Mars nachgewiesen.

Im Juli 1997 erreichte die Raummission *Pathfinder* den Mars. Ein Landegerät setzte erfolgreich auf der Marsoberfläche auf. Mit dem Rover (Auto) *Sojourner* wurde die Marslandschaft erkundet. Mit den Missionen *Opportunity* und *Spirit* starteten im Januar 2004 zwei weitere Rover-Missionen die Erkundung der Marsoberfläche an anderen Stellen. Als Orbiter umrunden seit September 1997 *Mars Global Surveyor* und seit Oktober 2001 *Mars Odyssey* den Mars. Mit der Mission *Phoenix*, deren Lander am 25. Mai 2008 im Nordpolargebiet des Mars erfolgreich aufsetzte, wurde knapp unter der Marsoberfläche das lange vermutete Wasser entdeckt. Allerdings entdecke keine der bisherigen Raumfahrtmissionen Leben auf dem Mars oder Spuren davon.

Es gibt auch Bodenproben vom Mars auf der Erde, die sogenannten Marsmeteoriten. Hierbei handelt es sich um Gestein vom Mars, welches bei einem großen Impakt auf dem Mars in den

Weltraum geschleudert wurde und dann auf der Erde wieder einschlug. So wurden in der Antarktis Meteoriten entdeckt, deren chemische Zusammensetzung die Herkunft vom Mars belegt. In ihnen wurden komplexe Kohlenwasserstoffverbindungen, darunter auch Aminosäuren gefunden. Es wurde die These aufgestellt, dass es sich hierbei um Stoffwechselprodukte von Mars-Bakterien handeln könnte. Sogar Fossilien dieser Bakterien sollten gefunden werden sein. Die Stoffwechselprodukte sind jedoch auf anorganischer Weise entstanden. Selbst die vermeintlichen Fossilien erwiesen sich als anorganisch. Also auch in den Marsmeteoriten wurde kein Leben nachgewiesen.

Mittlerweile hat der bisher technisch ausgereifteste Rover sogar ausgetrocknete Flusstäler auf dem Mars untersucht, denn die mögliche Entstehung von Leben auf dem Mars dürfte flüssiges Wasser benötigt haben. Doch selbst an dieser Stelle konnte bisher kein Leben oder überhaupt organisches Material nachgewiesen werden. Die Wahrscheinlichkeit, Leben auf dem Mars zu finden, dürfte gering sein. Leben könnte auf dem Mars in seiner Frühzeit entstanden sein. Der Mars dürfte in seiner früheren Entwicklungsphase über eine dichtere Atmosphäre, höhere Temperaturen und flüssiges Wasser verfügt haben. Allerdings hielt diese Periode nicht sehr lange an.

Sollte in dieser Zeit Leben entstanden sein, so könnte es vielleicht in geschützten Nischen überlebt haben oder es könnten zumindest Spuren von diesem gefunden werden. Natürlich könnte auch organisches Material von der Erde aufgrund von Impakten zum Mars geschleudert worden sein. Diese möglichen geschützten Nischen müssten dann jedoch erst einmal lokalisiert werden. Selbst dann heißt das noch nicht, dass Leben auch entstanden und damit zu finden ist. Aus heutiger Sicht dürfte die Existenz von Leben auf dem Mars zwar nicht ausgeschlossen werden, jedoch sehr unwahrscheinlich sein. Der Mars befindet sich auch außerhalb der sogenannten habitablen Zone im Sonnensystem. In dieser Zone befindet sich lediglich die Erde wie nachfolgendes Bild zeigt:

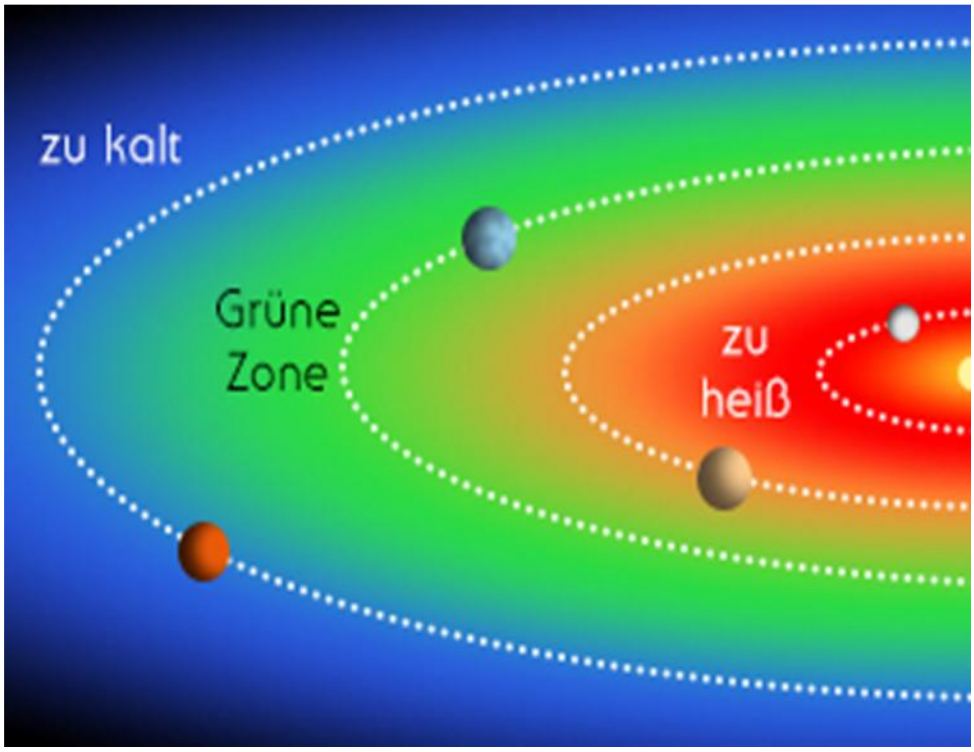

Bild 8: Die solare habitable Zone / Astrokramkiste.de

Eine andere Frage im Zusammenhang mit Leben auf dem Mars wäre, ob dieser Planet eines fernen Tages durch sogenanntes Terraforming zu einem für menschliches Leben geeigneten Planeten umgewandelt werden könnte. Es gibt folgende Ähnlichkeiten zwischen den Planeten, die sich im Detail dennoch deutlich unterscheiden:

- Polkappen
- Atmosphäre mit Wolken
- Rotation (Mars-Tag)
- Neigung der Rotationsachse
- Jahreszeiten
- Wetter mit Stürmen und Klima

Dem stehen folgende noch deutlichere Unterschiede entgegen:

- der Mars besitzt kein permanentes Magnetfeld und damit keinen Schutz vor Kosmischer Strahlung
- die Marsatmosphäre ist sehr dünn
- keine Ozonschicht und damit kein Schutz vor ultravioletter Strahlung
- gegenwärtig ist Wasser in flüssiger Form auf dem Mars weitgehend nicht möglich

Damit der Mars überhaupt habitabel (bewohnbar) wäre, müsste seine Atmosphäre dichter gemacht werden. Infolge gäbe es auch höhere Temperaturen und flüssiges Wasser. Die dichtere Atmosphäre dürfte sich aufgrund einer höheren Entweichgeschwindigkeit ihrer Bestandteile nicht wieder verflüchtigen. Des Weiteren darf die Atmosphäre durch Prozesse von Molekülaufspaltung, etwa von Kohlenstoffdioxid oder Wasser, nicht wieder zerstört werden. Es wird angenommen, dass in den Gesteinen und den Polen des Mars genügend gefrorenes Kohlenstoffdioxid gebunden ist, um den Atmosphärendruck auf der Marsoberfläche auf 300 Millibar zu erhöhen, was in etwa ein Drittel des Atmosphärendruckes auf der Erdoberfläche wäre. Dadurch würde wiederum die Temperatur steigen und noch mehr Kohlenstoffdioxid freigesetzt. Zunächst könnte pflanzliches Leben existieren, welches Sauerstoff produzieren würde. Allerdings ist der Weg dann immer noch weit, bis menschliches Leben auf dem Mars existierenden könnte. Dies dürfte einige tausend Jahre dauern. Doch sind das alles nur Spekulationen. Viele Fragen sind derzeit noch unbeantwortet. Es ist nur eine Möglichkeit, dass der Mars eines Tages irdisches Leben tragen könnte.

8 Raumfahrtmissionen zum Mars

Seit Oktober 1960 versucht die Sowjetunion, mit Raumsonden den Mars zu erreichen. Jedoch erst der achte Versuch mit Mars 2 im Jahr 1971 war erfolgreich. Der Orbiter sendete Bilder und Daten zur Erde. Der Lander zerschellte jedoch auf der Marsoberfläche. Fast zeitgleich erreichte auch Mars 3 den Planeten. Die weiche Landung des Landers glückte zwar diesmal, doch brach nur nach wenigen Sekunden der Kontakt ab. Die sowjetische Raumsonde Mars 5 erreichte als Orbiter anfang Februar 1974 den Mars und ermittelte Daten. Die Missionen mit Mars 1, 4, 6 und 7 scheiterten. Die sowjetischen Raumfahrtmissionen zur Venus waren im Ergebnis sehr erfolgreich, doch mit ihren Missionen zum Mars hatten sie wenig Erfolg. Die letzten zwei sowjetischen Raumfahrtmissionen, Phobos 1 und 2, in den Jahren 1988/89 scheiterten ebenfalls.

Der erste Versuch der USA im Jahre 1964, mit Mariner 3 den Mars zu erreichen, scheiterte noch. Doch schon die im selben Jahr gestartete Mission Mariner 4 war erfolgreich. Im Juli 1965 erreichte die US-Raumsonde den Mars, flog in einem Abstand von 9.800 km an ihm vorbei und sendete 22 Bilder zur Erde. Die US-Raumsonden Mariner 6 und 7 passierten den Mars am 31. Juli 1965 und am 05. August 1965. Mariner 6 flog in einem Abstand von 3.400 km am Mars vorbei und sendete 75 Bilder. Mariner 7 flog in einem Abstand von 3.500 km vorbei und sendete 122 Bilder. Die Missionen von Mariner 4, 6 und 7 zeigten zunächst eine überwiegend mit Kratern durchsetzte Marsoberfläche. Es wurden keinerlei Spuren von Leben entdeckt. Die US-Raumsonde Mariner 9 erreichte als Orbiter im November 1971 den Mars. Diese führte eine globale Kartierung der Marsoberfläche mit 7.329 Aufnahmen durch und studierte die Atmosphäre des Mars. Jetzt zeigten sich auch interessantere Oberflächendetails und dass der Mars zwei verschiedene Hemisphären hat.

Die am 20. August 1975 gestartete US-Raumsonde Viking 1 erreichte am 19. Juni 1976 den Planeten Mars. Sie bestand aus einem Orbiter und einem Lander. Letzterer setzte am 20. Juli 1976 erfolgreich auf der Marsoberfläche, in der Region Chryse Planitia, auf und lieferte zahlreiche Messwerte und Bilder. Die US-Raumsonde Viking 2, welche am 09. September 1975 gestartet wurde, erreichte am 07. August den Mars. Der Lander setzte am 03. September 1976 erfolgreich in der Region Utopia Planitia auf. Am Bord der Lander befanden sich ein Labor zur Untersuchung von Bodenproben und eine Wetterstation. Insgesamt wurden etwa 100.000 Bilder erstellt. Der Orbiter Viking 1 sendete etwa 5 Jahre lang Bilder und Daten, sein zugehöriger Lander etwa 7 Jahre lang. Im Falle von Viking 2 sendete der Orbiter rund 11 Jahre lang Daten und Bilder, sein zugehöriger Lander rund 4 Jahre lang.

Etwa 20 Jahre vergingen bis zur nächsten erfolgreichen Raumfahrtmission zum Mars. Die im November 1996 gestartete US-Raumsonde Mars Global Surveyor erreichte im September 1997 den Mars. Der Orbiter führte eine umfangreiche Kartierung des Planeten durch. Der Funkkontakt mit der Sonde ging im November 2006 verloren, also ziemlich genau 10 Jahre nach ihrem Start. Am 04. Dezember 1996 startete die US-Raumfahrtmission *Pathfinder* zum Roten Planeten. Der Lander setzte am 04. Juli 1997 erfolgreich auf der Oberfläche des Mars auf und sendete Tausende von Bildern zur Erde. Die Landemission beinhaltete auch den Rover Sojourner, welcher die Umgebung des Landers erkundete und 550 Bilder sendete.

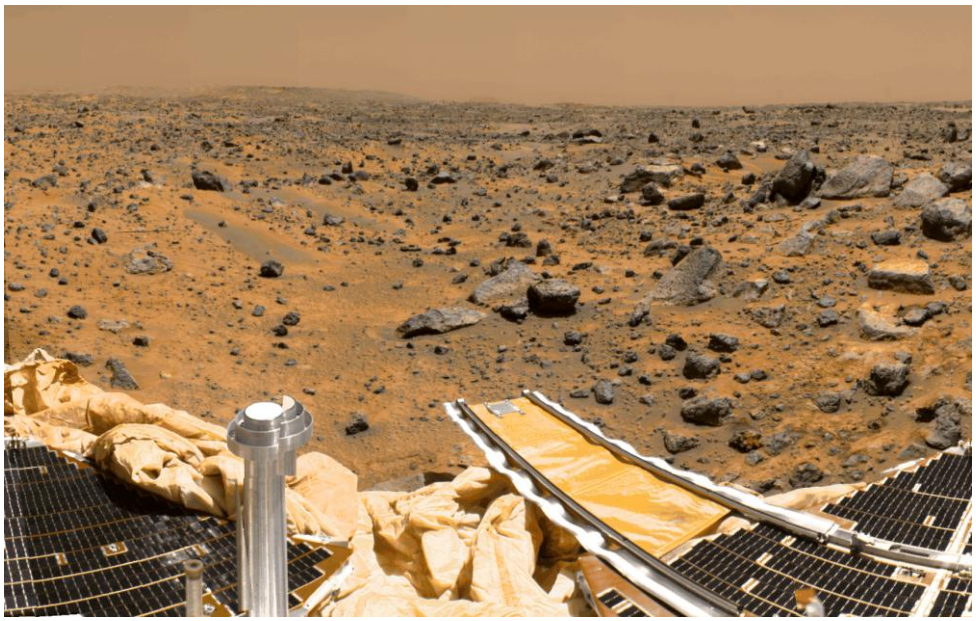

Bild 9: Die Mars-Pathfinder-Mission / NASA

Die am 07. April 2001 gestartete US-Raumsonde *Mars Odyssey* erreichte als Orbiter am 24. Oktober 2001 den roten Planeten. Ziel der Mission war die Detektion von Wasser und oberflächennahem Eis auf dem Mars. Des Weiteren dient der Orbiter auch als Datenbasis für die Lander auf dem Mars.

Am 02. Juni 2003 wurde die erste erfolgreiche europäische Raumfahrtmission im Rahmen der ESA zum Mars gestartet. Die Sonde *Mars-Express* erreichte am 25. Dezember 2003 den Planeten und kartierte die Marsoberfläche mit hoher Genauigkeit in drei Dimensionen. Mit einem Radarinstrument wurde des Weiteren nach Wasser- und Eisvorkommen unter der Oberfläche gesucht.

Im Jahr 2003 wurden zwei weitere sehr erfolgreiche US-Rover-Missionen gestartet, welche im Januar 2004 auf dem Mars landeten. Die *Mars Expedition Rover A, Spirit* wurde am 10. Juni 2003 gestartet. Der Lander mit dem Rover Spirit setzte am 04. Januar 2004 im Mars-Krater Gusev (14,59° Süd, 175,30° Ost) auf. Der zwei Meter große Rover führte erfolgreich zahlreiche geologische Messungen durch und suchte nach Wasser.

Die *Mars Expedition Rover B, Opportunity* wurde am 08. Juli 2003 gestartet. Der Lander mit dem Rover Opportunity landete im Meridiani Planum (1.98°Süd, 354.06°Ost). Im Rahmen dieser Mission konnte nachgewiesen werden, dass sich früher flüssiges Wasser auf dem Mars befand.

Im Rahmen der am 02. März 2004 gestarteten europäischen Mission *Rosetta* flog der Kometen-Lander am 25. Februar 2007 in 250 km Abstand auch am Mars vorbei.

Die US-Raumsonde *Phoenix* wurde 04. August 2007 gestartet, um das Nordpolargebiet auf dem Mars zu untersuchen. Der kleine und günstige Lander setzte am 26. Mai 2008 zwischen 65° und 75° Nord auf. Im Polargebiet sollten Erkenntnisse aus der geologischen Vergangenheit und über das Potential von biologischen Prozessen gewonnen werden. Der Lander fand Wassereis und beobachtete Schneefall. Am 02. November 2008 verstummte er.

Die US-Mission *Mars Science Laboratory Curiosity* wurde am 06. November 2011 gestartet. Die Landung erfolgte am 06. August 2012 in einem komplizierten Verfahren und war erfolgreich. Das Mars Science Laboratory soll im Marsboden und in Gesteinen auf dem Mars nach organischen Verbindungen suchen. Mit einem Rover wird die Umgebung erkundet. Es soll geklärt werden, ob mögliche Mikroben in der Vergangenheit lebensfähig gewesen wären.

Am 05. November 2013 startete Indien die erfolgreiche *Mars Orbiter Mission*. Der Orbiter erreichte am 24. September 2014 erfolgreich den Mars. Primär ging es bei der Mission um die Erprobung der Technologie, doch wurden auch wissenschaftliche Ziele verfolgt.

Die am 18. November 2013 gestartete US-Mission MAVEN erreichte am 22. September 2014 den Mars und soll primär die Atmosphäre des Planeten untersuchen. Dabei soll unter anderem erforscht werden, was zur Verflüchtigung eines Großteils der Marsatmosphäre führte.

Die europäisch-russische Mission ExoMars wurde am 14. März 2016 gestartet und traf am 19. Oktober 2016 beim Mars ein. Der Orbiter soll Spurengase in der Atmosphäre des Mars untersuchen. So soll die Konzentration von Methan in Abhängigkeit von der geographischen Lage und von der Jahreszeit untersucht werden. Das Gas Methan gilt in der Astrobiologie als möglicher Indikator für biologische Prozesse. Mit dem Lander Schiaparelli sollte der Eintritt, der Abstieg und die Landung einer Sonde auf dem Mars für zukünftige Missionen geprobt werden. Die Landung schlug fehl, da der Fallschirm zu früh abgeworfen wurde und die Bremsraketen nicht lang genug arbeiteten. Infolgedessen stürzte der Lander aus mehreren Hundert Metern Höhe ab und wurde dabei zerstört.

Die Mission InSight war ein Gemeinschaftsprojekt von NASA (USA), DLR (Deutschland) und CNESS (Frankreich) und wurde am 05. Mai 2018 gestartet. Der Lander setze am 26. November 2018 planmäßig auf der Marsoberfläche auf. Ziel der Mission war die geologische Entwicklung des Mars zu erforschen. Unter anderem war der Lander mit einem Seismographen und einem Wärmeflusssensor ausgestattet. So wurde im Rahmen dieser Mission auch das erste Marsbeben aufgezeichnet. Eines der beiden Hauptinstrumente, die vom DLR gebaute Rammsonde zur Wärmeflussmessung, blieb jedoch in der oberen Bodenschicht des Mars stecken. Begleitend zur Mission wurden von der NASA am 05. Mai 2018 im Rahmen von Mars Cube One zwei Cubesats gestartet, welche die Landung am 26. November 2018 unterstützten. Die Mission InSight endetet am 31. Dezember 2022.

Die Vereinigte Arabischen Emirate starteten am 19. Juli 2020 den Orbiter al-Amal, welcher am 09. Februar 2021 in eine Marsumlaufbahn eintrat. Ziel der Mission ist die Untersuchung der Atmosphäre des Mars und des Mars-Klimas.

Die Volksrepublik China startete am 23. Juli 2020 die Mission Tianwen-1 mit dem Rover Zhurong. Der Orbiter erreichte am 10. Februar 2021 die Marsumlaufbahn und der Lander mit dem Rover erreichte am 14. Mai 2020 erfolgreich den Marsboden.

Die NASA-Mission „Mars 2020“ wurde am 30. Juli 2020 gestartet. Die Mission beinhaltet einen Orbiter, den Rover Perseverance und den erfolgreich eingesetzten Helikopter Ingenuity. Im Rahmen der Mission soll nach Spuren von Leben auf dem Mars geforscht werden.

Des Weiteren werden im Rahmen der Mission Mars 2020 Proben gesammelt, welche im Rahmen einer späteren Mission zur Erde gebracht werden sollen. Diese Probenrückholmission ist für das Jahr 2028 vorgesehen.

Der Planet Mars wird auch zukünftig ein Ziel von Raumfahrtmissionen sein, zumal eines Tages auch eine bemannte Mission zu diesem Planeten erfolgen soll. Für den Zeitraum von 2024 bis 2028 sind bisher acht weitere Missionen zum Mars sowie zu seinen Monden Deimos und Phobos geplant. In Rahmen von einigen dieser geplanten Missionen sollen sowohl Proben vom Mars als auch von seinen Monden Deimos und Phobos zur Erde gebracht werden.

Die größte Herausforderung für die Zukunft wird eine bemannte Mission zum Mars sein. Frühestens soll diese in den 2030er Jahren stattfinden. Allerdings müssten jetzt schon die finanziellen Weichen gestellt und konkrete Pläne dafür erstellt werden. Des Weiteren müssen auch die medizinisch-psychologischen und technologischen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Mission geschaffen werden. Aus heutiger Sicht könnte eine bemannte Marsmission innerhalb der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts stattgefunden haben, doch sind Prognosen immer mit großer Vorsicht zu genießen.

Eine realistische Mission zum Mars mit Landung dürfte aus heutiger Sicht etwa 2,5 Jahre dauern. Der Startzeitpunkt müsste so gewählt werden, dass eine mögliche Flugbahn des Raumschiffes tangential von der Ausgangsbahn (Erde) zur Zielbahn (Mars) verläuft. Im Prinzip handelt es sich um eine Ellipse, welche die Erdbahn und die Marsbahn tangential in einem Punkt berührt. Eine entsprechende Bahn wurde vom Raumfahrtpionier Walter Hohmann im Jahre 1925 berechnet. Diese Bahn wird daher auch Hohmann-Bahn oder auch Transfer-Ellipse genannt. Das Raumschiff würde also wie ein Himmelskörper den keplerschen Gesetzen unterliegen. Etwa alle 26 Monate stehen Erde und Mars in einer bestimmten Position zueinander, so dass diese Bahn für einen Flug zum Mars genutzt werden könnte. Der Hin- und Rückflug zum Mars würde jeweils etwa 258 Tage dauern. Jedoch ist bis zum möglichen Rückflug eine Aufenthaltsdauer von etwa 457 Tagen auf dem Mars notwendig. Im Gesamtergebnis dauert die gesamte Mission so über zwei Jahre. In dieser Zeit sind die Astronauten der Kosmischen Strahlung ausgesetzt. Besonders gefährlich wären Strahlungsausbrüche auf der Sonne, d.h. es muss einen geeigneten Schutz für die Astronauten geben. Eine Isolierung des Raumschiffes oder der Landeeinheit mit geeignetem Material würde die Nutzlast erheblich erhöhen. Wahrscheinlich können daher nur Teilbereiche isoliert werden.

Eine andere Möglichkeit wäre die Abschirmung mit einem Magnetfeld, da es sich bei der Kosmische Strahlung um geladene Teilchen handelt. Doch bisher steht keine ausgereifte Technologie zur Abschirmung der Strahlung zur Verfügung. Ein anderes Problem ist die Schwerelosigkeit während des Hin- und Rückfluges, da diese den Kreislauf, die Knochen und die Muskeln der Astronauten schwächt. Es müsste eine künstliche Schwerkraft erzeugt werden, etwa durch die Rotation eines Raumschiffes. An die Astronauten müssten höchste physische und psychische Anforderungen gestellt werden. Auch in diesem Bereich sind die Experimente und Forschungen noch nicht abgeschlossen.

Während ihrer Mission zum Mars ist eine vorzeitige Rückkehr zur Erde nicht mehr möglich. Des Weiteren müssen große Nutzlasten an Sauerstoff zum Atmen, Nahrungsmittel, Trinkwasser und Energie für die Lebenserhaltung während der Mission mitgeführt oder zum Teil auch im Rahmen einer unbemannten Mission vorausgeschickt werden. Zwar gibt es Überlegungen, einiges davon auch auf dem Mars aus den dort vorhandenen Materialien zu gewinnen, doch noch stehen uns entsprechende Technologien hierfür nicht zur Verfügung und auch der Mars ist hierfür noch nicht im ausreichenden Maße erkundet worden.

Es gibt auch Pläne für Antriebstechnologie, welche die Zeitdauer einer Marsmission deutlich verkürzen sollen, etwa Ionentriebwerke. Allerdings sind diese Pläne noch weniger ausgereift und ihre Realisierungsmöglichkeit völlig offen. Auch über alternative Bahnen und über einen ständigen Shuttle-Betrieb zwischen Erde und Mars wird nachgedacht. In letzterem Fall müssten die Astronauten jeweils nur zwischen den Planeten und dem Shuttle hin und her fliegen. Doch auch diese Pläne sind bisher nur Gedankenspiele und noch nicht realisierbar.

Ein Raumschiff zum Mars würde auch nicht mehr direkt von der Erde aus starten können, sondern müsste im Erdorbit zusammengebaut und von dort aus losfliegen. Alternativ könnte ein Start auch vom Mond aus erfolgen. Für den ersteren Fall wird eine Raumstation benötigt, welche in Form der Internationalen Raumstation ISS schon vorhanden ist. Für letzteren Fall würden bemannte Missionen zum Mond und eine Station auf dem Mond Voraussetzung sein. Auch muss eine Technologie vorhanden sein, um vom Mars wieder starten zu können. Letztlich muss auch die Finanzierung für ein derartiges Projekt über viele Jahre sichergestellt sein. Die ISS hat etwa 100 Milliarden EURO gekostet und ist das Ergebnis einer internationalen Kooperation. Ein Flug zum Mars dürfte erheblich teurer werden, auch in diesem Fall dürfte eine internationale Kooperation erforderlich sein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden: für eine bemannte Mission zum Mars fehlen derzeit noch die gesellschaftlichen, medizinisch-psychologischen und technischen Voraussetzungen. Ob eine derartige Mission in den 2030er Jahren verwirklicht werden kann, dürfte fraglich sein. Wahrscheinlicher dürfte eine bemannte Mission zum Mars bis zum Ende der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts sein.

9 Schlusswort

Der Planet Mars ist ein interessanter Nachbar der Erde, welcher die Phantasie des Menschen immer wieder beflügelt hat. Auf den ersten Blick scheint er erdähnlich zu sein. Die Neigung seiner Rotationsachse gegenüber der Ekliptik und seine Rotation entsprechen fast den entsprechenden Werten für die Erde. Wie auf dem Planeten Erde gibt es auf dem Mars vier Jahreszeiten sowie Wetter- und Klimaphänomene. Des Weiteren verfügt der Mars über wüstenartige Gebiete und zwei Polkappen. Da war es doch naheliegend, mögliches Leben auf dem Mars anzunehmen. Einige kühne Thesen zum Ende des 19. Jahrhunderts gingen sogar von intelligenten Lebewesen aus, welche mit Hilfe eines Netzes von Kanälen Wasser von den Polen in die trockenen Wüstengebiete transportierten. Schon zu dieser Zeit waren die Wissenschaftlicher sehr skeptisch, die Mehrheit von ihnen glaubte nicht an solche Thesen und sie sollten Recht behalten.

Im 20. Jahrhundert war schon klar, dass der Mars nur über eine relativ dünne Atmosphäre und niedrige Temperaturen verfügte. Für komplexere Lebensformen eine lebensfeindliche Welt. Bis in die 60er Jahre wurde noch Pflanzenwachstum, etwa Flechten und Moose, angenommen. Besonders im Sommer, wenn die Polkappen zum Teil abgeschmolzen sind, zeigen sich in bestimmten Gebieten des Mars grau-grüne Gebiete. Allerdings zeigten die ersten Raumfahrtmissionen in den 60er Jahren, dass es keine Pflanzen auf dem Mars gibt. Vielmehr handelt es sich bei den grau-grünen Gebieten auf dem Mars um jahreszeitlich bedingte Staubablagerungen aufgrund von Stürmen auf hellerem Grund. Nur die Möglichkeit von sehr einfachen Formen von Leben auf dem Mars wurde noch angenommen.

Mit den bisherigen Raumfahrtmissionen konnte bisher kein Leben auf dem Mars nachgewiesen werden. Selbst Spuren davon wurden nicht gefunden. Zwar ist in dieser Frage noch nicht die endgültige Antwort gefunden worden, doch könnte der rote Planet auch ein biologisch toter Planet sein.

Der Mars als Nachbar der Erde bleibt dennoch ein interessantes Forschungsobjekt. Als solches wird es auch weiterhin Raumfahrtmissionen zum Mars geben. Des Weiteren dürfte der Mars nach dem Mond das nächste Ziel einer bemannten Raumfahrtmission werden. Allerdings verfügen wir noch nicht über die gesellschaftlichen, medizinisch-psychologischen und technologischen Voraussetzungen dafür. Auch wenn bereits als Ziel die 2030er Jahre für eine bemannte Mission zum Mars angegeben werden, so dürfte doch eine Realisierung zum Ende der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts wahrscheinlicher sein.

Noch futuristischer dürften Pläne sein, den Mars eines Tages durch Terraforming zu einem für Menschen geeigneten Planeten umzuformen. Ob dies überhaupt gelingen kann, dürfte offen sein, doch würde es wohl aus heutiger Sicht einige tausend Jahre dauern.

Bild 10: Der Mars / Foto Ralf Schmidt

Was wir heute über den Mars wissen, findet sich in kompakter Form in dieser Abhandlung wieder, welche das Ergebnis einer Literaturrecherche ist. Die hierfür verwendete Literatur ist im Literaturverzeichnis wiedergegeben und eignet sich auch zur Vertiefung der Thematik.

Natürlich geht die Forschung weiter und liefert regelmäßig neue Erkenntnisse über den Mars. Ich selbst möchte meiner Leserschaft und natürlich allen, die zum Gelingen dieser Abhandlung beigetragen haben, sehr danken!

10 Literatur- und Bilderverzeichnis

Folgende Literatur fand bei der Erstellung dieser Abhandlung Verwendung und kann zur Vertiefung der Thematik empfohlen werden:

1) Arnold Hanslmeier, Einführung in die Astronomie und Astrophysik, 2013.
2) A. Weigert, H.J. Wendker, L. Wisotzki, Astronomie und Astrophysik, 2009.
3) Holger Heuseler, Dr. Ralf Jaumann, Prof. Dr. Gehard Neukum, Die Mars Mission, 1998.
4) John N. Wilford, Mars – unser geheimnisvoller Nachbar, 1992
5) Rudolf Kippenhahn, Unheimliche Welten, 1987.
6) David Bergamini, LIFE-Radaktion, Das Weltall, 1964.
7) http://www.planetenkunde.de/, abgerufen im November 2016 und August 2023.
8) https://de.wikipedia.org/wiki/Mars_(Planet), abgerufen August 2023.
9) https://de.wikipedia.org/wiki/Chronologie_der_Marsmissionen, abgerufen August 2023.

Bilderverzeichnis:

Titelbild: NASA

Bild 1: https://de.wikipedia.org/wiki/Mars

Bild 2: NASA

Bild 3: NASA

Bild 4: NASA

Bild 5: Courtesy of NASA / JPL / Caltech

Bild 6: NASA / http://aasnova.org/

Bild 7: NASA

Bild 8: https://astrokramkiste.de/ptolemaeus/38-planetologie

Bild 9: NASA

Bild 10: Ralf Schmidt