



## Planetarische Umgebungen, Teil 6:

### Mars im 21. Jahrhundert (Unbemannte Satellitenphilatelie<sup>(1)</sup>)

von Garry Toth und Don Hillger

Übersetzung mit freundlicher Genehmigung der Autoren durch Frank Kunze

Dies ist der sechste Artikel der Astrofax-Reihe über planetarische Umgebungen. Er ist eine Fortsetzung des fünften Artikels, Planetarische Umgebungen Teil 5: Mars im 20. Jahrhundert, der im Astrofax Sommer 2024 erschien. Die ersten fünf Artikel dieser Reihe erschienen in den letzten fünf Ausgaben von Astrofax:

1. Planetarische Umgebungen, Teil 1: Einführung (Band 31, Ausgabe 2, Sommer 2023)
2. Planetarische Umgebungen, Teil 2: Der Mond (Band 31, Ausgabe 3, Herbst 2023)
3. Planetarische Umgebungen, Teil 3: Merkur (Band 31, Ausgabe 4, Winter 2023)
4. Planetarische Umgebungen, Teil 4: Venus (Band 32, Ausgabe 1, Frühjahr 2024)
5. Planetarische Umgebungen, Teil 5: Mars, Teil 1 (Band 32, Ausgabe 2, Sommer 2024).

Der erste Mars-Artikel endete mit den einzigen beiden erfolgreichen Marsmissionen der NASA in den 1990er Jahren (der Mars Global Surveyor- und der Mars Pathfinder-Mission). Sie waren mit einer Reihe von Misserfolgen vermischt. Als Folge dieser Misserfolge formulierte die NASA im Jahr 2000 ihr „Mars Exploration Program“ neu und führte ein neues übergreifendes Thema ein: „Folge dem Wasser“. Eine ausführliche Diskussion darüber, was heute über Wasser auf dem Mars bekannt ist, finden Sie hier<sup>(2)</sup>. Seit 2000 waren alle NASA-Missionen zum Roten Planeten erfolgreich. Andere Länder haben ihre eigenen Marsprogramme begonnen, mit einigen bemerkenswerten Erfolgen und einigen Misserfolgen.

Die NASA-Liste<sup>(3)</sup> der Raumfahrzeugmissionen zum Mars ist ein guter Ausgangspunkt für Marsmissionen, einschließlich derer des 21. Jahrhunderts. Auch die Planetary Society<sup>(4)</sup> hat eine derartige Liste veröffentlicht. Der Mars Odyssey Orbiter der NASA (Abb. 1) erreichte den Mars im Jahr 2001. Seine Hauptziele waren „mit Hilfe von Spektrometern und einer Wärmebildkamera Hinweise auf früheres oder gegenwärtiges Wasser und Eis zu finden sowie die Geologie und Strahlungsumgebung des Planeten zu untersuchen. Die von Odyssey erhaltenen Daten sollen dazu beitragen, die Frage zu beantworten, ob es auf dem Mars einst Leben gab, und eine Risikobewertung der Strahlung zu erstellen, der zukünftige Astronauten auf dem Mars ausgesetzt sein könnten.“ Allerdings „stellte das MARIE<sup>(5)</sup> (Mars Radiation Environment Experiment) die Messungen ein, nachdem Odyssey am 28. Oktober 2003 von einem heftigen Sonnensturm heimgesucht wurde.“ Darüber hinaus berichtete die NASA: „Am 28. Mai 2002 (Sol 210 [Marstag 210]) hatte Odysseys GRS [Gammastrahlenspektrometer] große Mengen Wasserstoff entdeckt, ein Zeichen dafür, dass sich innerhalb von einem Meter unter der [polaren] Oberfläche des Planeten Eis befinden muss, und begann, die Verteilung des Wassers unter der flachen Oberfläche zu kartieren [die Karte finden Sie hier<sup>(6)</sup>]. Der Orbiter entdeckte auch riesige Ablagerungen von Wassereis in Oberflächennähe [einiger] Äquatorregionen.“



Abb. 1: Sao Tomé & Príncipe, Sc 1685a, 2007

Die Europäische Weltraumorganisation (ESA) stieg 2003 mit ihrer Mission Mars Express (Abb. 2) in die Forschung ein. Ihr Orbiter ging wie geplant in die Umlaufbahn, aber sein Beagle-2-Rover versagte auf der Oberfläche, als sich einige Solarmodule nicht ausfahren ließen. Der Orbiter untersuchte die Atmosphäre und ihre Wechselwirkungen mit der interplanetaren Umgebung und verwendete sein MARSIS-Instrument (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding), um die Struktur unter der Oberfläche zu bestimmen und nach Eis zu suchen. Einzelheiten



Abb. 2: Djibouti, no Sc, 2023



Abb. 3: Großbritannien. Sc 3368, 2012

finden Sie hier<sup>(7)</sup>. Einige wissenschaftliche Ergebnisse werden hier<sup>(8)</sup> vorgestellt. „Schon zu Beginn seiner Mission entdeckte Mars Express reichlich Wassereis, das sich [von den Polarregionen] bis in die mittleren Breiten erstreckte.“ Vor kurzem hat der Orbiter herausgefunden, dass „das Wassereis am Äquator des Mars über 3,5 km dick ist“, was „genug Wassereis ist, um ... den gesamten Planeten mit einem flachen Ozean zu bedecken, wenn es geschmolzen wäre ... Obwohl es nicht das erste Mal ist, dass Beweise für Eis in der Nähe des Äquators des Roten Planeten gefunden wurden, handelt es sich bei dieser neuen Entdeckung um die bei weitem größte Menge an Wassereis, die dort bisher nachgewiesen wurde ... Das Vorhandensein von unterirdischem Wassereis in niedrigen und äquatorialen Breiten deutet darauf hin, dass das Klima auf dem Mars in ferner Vergangenheit ganz anders war.“ Abb. 3 gibt ein Bild von Mars Express wieder, das Eis in einem Einschlagskrater zeigt. Das Originalbild mit einigen Erläuterungen finden Sie hier<sup>(9)</sup>.

Die beiden Mars Exploration Rovers (MER-A und -B), Spirit und Opportunity (Abb. 4), waren geologische Roboter, die im Januar 2004 auf der Oberfläche des Roten Planeten landeten. Der Landeplatz von Spirit, der Gusev-Krater, wurde ausgewählt, weil er (aufgrund verschiedener Beobachtungen, darunter denen von MGS und Mars Odyssey) wie der Boden eines Kratersees aussah. Opportunity landete in Meridiani Planum, einer Stelle, die Hinweise auf grobkörniges Hämatit aufwies, ein eisenhaltiges Mineral, das sich typischerweise in Wasser bildet. Seine Messungen führten zu dem Schluss, dass in dieser Region einst Wasser floss; möglicherweise handelt es sich dabei um die Uferlinie eines urzeitlichen Salzmeeres. Im Juli 2007 blockierte ein schwerer Staubsturm das Sonnenlicht und bedrohte die Fähigkeit der MERs, Sonnenlicht zu sammeln so sehr, dass die Ingenieure befürchteten, einer oder beide Rover könnten dauerhaft unbrauchbar werden. Sie überstanden den Sturm jedoch beide.

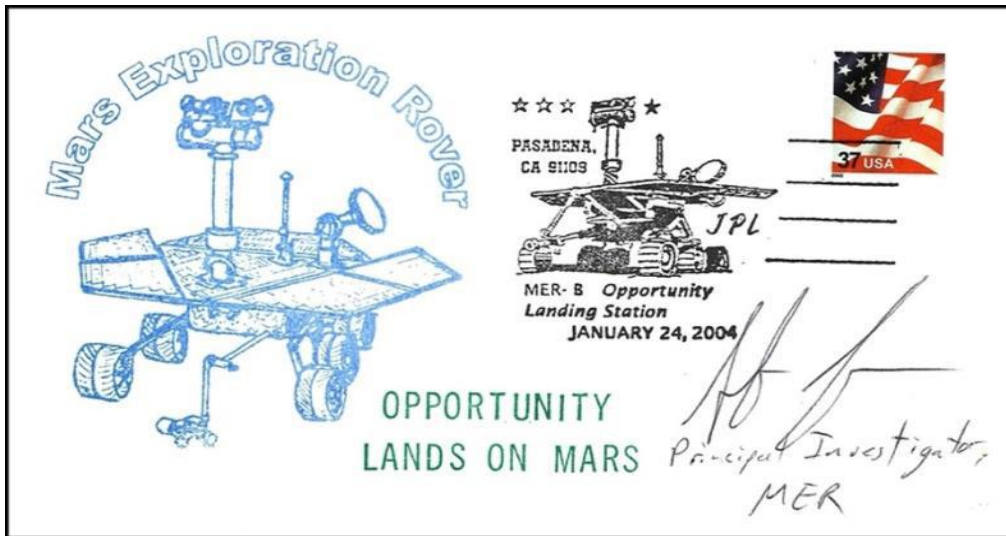


Abb. 4: MER-B Opportunity, Entwurf des Zudrucks unbekannt, 2004

Der Mars Reconnaissance Observer (MRO, Abb. 5) der NASA erreichte 2006 die Umlaufbahn des Mars. Seine wichtigsten wissenschaftlichen Ziele waren „das gegenwärtige Klima

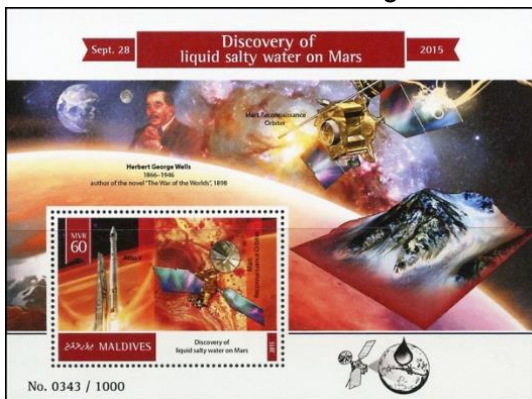


Abb. 5: Malediven, Sc 3563, 2016

zu beobachten, insbesondere die Luftzirkulation und jahreszeitliche(n) Schwankungen; nach Anzeichen von Wasser in der Vergangenheit und Gegenwart zu suchen und zu verstehen, wie es die Oberfläche des Planeten verändert hat; und die geologischen Kräfte, die die Oberfläche geformt haben, zu kartieren und zu beschreiben. "MRO nutzte sein Instrument Mars Climate Sounder (MCS), um die Daten zu erhalten, die für die Erstellung täglicher globaler Wetterkarten der grundlegenden Variablen des Marswetters erforderlich sind: Temperatur, Druck, Feuchtigkeit

und Staubdichte." Mit seinem Echolot Shallow Radar (SHARAD) untersuchte er die innere Struktur der Polkappen und sammelte planetenweite Informationen über unterirdische Schichten aus Regolith, Gestein und Eis. SHARAD ergänzte das Instrument Mars Express MARSIS. Das Banner oben auf dem Souvenirbogen einer Briefmarke (SS1) in Abb. 5 verkündet die „Entdeckung von flüssigem Salzwasser auf dem Mars“ (durch MRO). Das geht zurück auf die Hypothese, die der schwedische Chemiker und Nobelpreisträger Svante Arrhenius um 1910 aufstellte (besprochen im vorherigen Mars-Artikel). MRO entdeckte, was heute als wiederkehrende Hanglinien bezeichnet wird: dunkle Streifen an Hängen, die durch fließende Salzlake bei relativ warmen Bedingungen an oder nahe der Oberfläche verursacht werden könnten. Am 28. September 2015 wurde dieser Befund auf einer NASA-Presskonferenz präsentiert. Dieses Datum findet sich auch in SS1 in Abb. 5. Diese Idee bleibt jedoch umstritten. Einige Forscher argumentieren, dass die dunklen Streifen durch trockene Erdkörner verursacht werden könnten, die unter bestimmten Bedingungen einen Hang hinunter „fließen“, was möglicherweise mit der Anwesenheit oder Abwesenheit von Staubstürmen zusammenhängt. Diese Ideen werden in den Artikeln „Saisonale Strömungen an warmen Marshängen“ und „Wiederkehrende Hanglinien und Chloride auf der Marsoberfläche“ diskutiert.

Der Phoenix Mars Lander (PML, Abb. 6) wurde entwickelt, um die Atmosphäre und die oberflächennahe Umgebung in einem hoch im Norden gelegenen Gebiet des Mars zu untersuchen. Er landete im Mai 2008 auf einer arktischen Ebene des Mars.

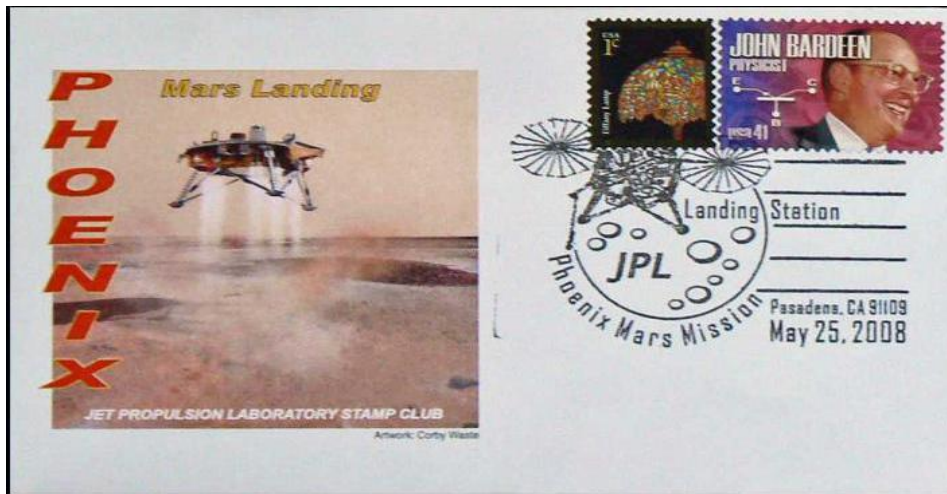


Abb. 6: Phoenix Mars Lander, JPL Cachet, 2008

Der Zielort lag weiter nördlich als bei allen vorherigen Missionen. Der Lander grub Gräben in den Boden, analysierte die Proben und stellte das Vorhandensein von Wassereis fest, wodurch die per Fernerkundung gewonnenen Daten von Orbitern bis zurück zur Mars Odyssey bestätigt wurden. PML war auch mit einer Wetterstation ausgestattet. Er maß Temperatur und Druck und konnte die Atmosphäre in Höhen von bis zu 20 km scannen, um Daten über Wolkeneigenschaften sowie mögliche Nebel- und Staubfahnen zu erhalten.



Abb. 7: Burundi, Sc 1155b, 2012

Das Mars Science Laboratory Curiosity (MSL, Abb. 7) ist ein NASA-Rover, der 2012 im Gale-Krater landete. Er ist viel größer als die vorherigen Rover. Seine atmosphärischen Forschungsziele bestehen darin, Wasser und  $\text{CO}_2$  auf dem Mars zu untersuchen, um Daten zu erhalten, die eine Antwort auf die Frage geben könnten, wie sich die Atmosphäre im Laufe von Milliarden von Jahren entwickelt hat. Früher gab es auf dem Mars viel Wasser und die Atmosphäre muss viel dichter gewesen sein als heute. Wie konnte der Planet trotz dieser Atmosphäre so austrocknen?

MSL trägt die Rover Environmental Monitoring Station (REMS), eine Wetterstation, die Temperatur, Druck, Wind, Feuchtigkeit und UV-42-Strahlung messen kann. Diese Seite zum Klima des Mars<sup>(10)</sup> enthält eine interessante Tabelle mit den monatlichen Temperaturen (höchstes Maximum, mittleres Maximum, mittleres Minimum und niedrigstes Minimum), die von Curiosity im Gale-Krater gemessen wurden. Die Anwesenheit des REMS-UV-Sensors steht im Zusammenhang mit MSLs anderem wissenschaftlichen Ziel: die Untersuchung aller Arten von Strahlung auf der Marsoberfläche mit seinem Radiation Assessment Detector (RAD). Tatsächlich war der RAD aktiv und nahm während der Reise zum Mars sowie auf der Oberfläche des Planeten Messungen vor. Solche Daten sind wichtig, weil sie dabei helfen werden, zu bestimmen, wie viel Strahlenschutz zum Schutz zukünftiger Mars-Missionsastronauten erforderlich sein wird. Der RAD ist ein Nachfolger des MARIE-Instruments, das von Mars Odyssey mitgeführt wurde. Ein Online-Artikel vom Juni 2024<sup>(11)</sup> berichtet, dass das RAD normalerweise täglich etwa 700 Mikrogray Strahlung auf der Marsoberfläche registriert, doch



beim großen Sonnensturm im Mai 2024 stieg der Wert auf 8.100 Mikrogray! Der Sturm war so stark, dass Mars Odyssey vorübergehend offline ging und seine Solarmodule an einem einzigen Tag eine Degradation erlitten, die etwa einem Jahr entspricht. Zukünftige Astronauten auf dem Mars müssen darauf vorbereitet sein, sich vor potenziell erheblichen Auswirkungen des Weltraumwetters zu schützen.

Im Mai 2024 befand sich MSL im Gediz Vallis, einem Kanal, der ein altes Flussbett auf dem Mars sein könnte. Das Jet Propulsion Laboratory (JPL) hat entschieden, dass MSL dem Kanal weiter folgen wird, da es wichtig ist, Erkenntnisse über altes fließendes Wasser auf dem Mars zu gewinnen.



Abb. 8: Sierra Leone, Sc 3719a, 2016

Die indische Raumsonde Mangalyaan Mars Orbiter Mission (MOM, Abb. 8) ging im September 2014 in die Umlaufbahn um den Roten Planeten. Zu ihren wissenschaftlichen Zielen gehörten die Messung von atmosphärischem Methan (CH<sub>4</sub>) und CO<sub>2</sub>, die Untersuchung der Exosphäre und die Untersuchung, wie Sonnenwind und Strahlung den Verlust von atmosphärischen flüchtigen Stoffen in den Weltraum beeinflussen. MOM kartierte auch die Albedo der Marsoberfläche.

Der Mars hat kein oder nur ein schwaches Magnetfeld und ist deshalb dem Sonnenwind ausgesetzt; anders als die Erde, die durch ihre Magnetosphäre geschützt ist. Der Sonnenwind trifft daher direkt auf die Marsatmosphäre und reißt sie durch Energieübertragung langsam weg. Van Allen et al. (Anm. 1) diskutierten diese Idee 1965, nachdem Mariner-4 ein schwaches

Die Raumsonde Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN, Abb. 9) der NASA erreichte im September 2014 die Marsumlaufbahn.

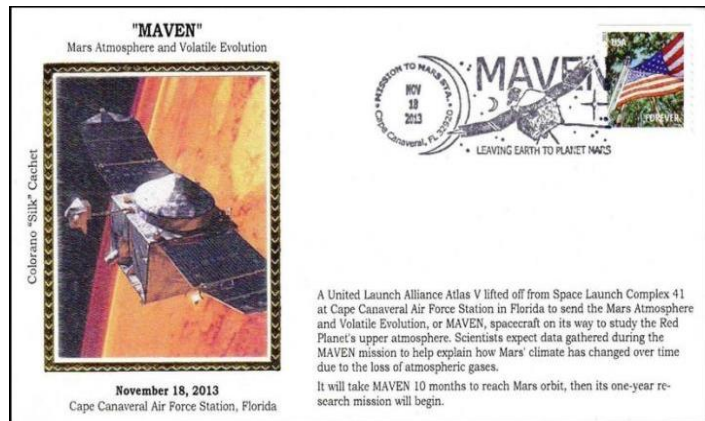


Abb. 9: MAVEN launch cover; Colorano Silk cachet, 2013

oder gar kein Magnetfeld um den Mars festgestellt hatte. MAVEN untersuchte die obere Marsatmosphäre und fand eine durchschnittliche Verlustrate in den Weltraum von 100 g/s (die Rate ist während Sonnenstürmen allerdings wesentlich höher). Diese „Sonnenwinderosion“ könnte die Veränderung des Marsklimas im Laufe der Äonen erklären, und die Verlustrate könnte in der fernen Vergangenheit, als die Atmosphäre dichter war, höher gewesen sein. Dies hängt jedoch von der Abwesenheit eines Magnetfelds ab. Der junge Mars mag ein Magnetfeld gehabt haben, aber neuere Forschungen (zusammengefasst hier<sup>(12)</sup> und hier<sup>(13)</sup>) kommen zu dem Schluss, dass es nur vorübergehend war. Das Weltraumwetter im philatelistischen Kontext wird in Anm. 2 behandelt. Die Abschnitte 4.2 und 6.3 dieser Arbeit konzentrieren sich auf den Mars.

A United Launch Alliance Atlas V lifted off from Space Launch Complex 41 at Cape Canaveral Air Force Station in Florida to send the Mars Atmosphere and Volatile Evolution, or MAVEN, spacecraft on its way to study the Red Planet's upper atmosphere. Scientists expect data gathered during the MAVEN mission to help explain how Mars' climate has changed over time due to the loss of atmospheric gases. It will take MAVEN 10 months to reach Mars orbit, then its one-year research mission will begin.

Es wurde auch eine andere Erklärung für den Verlust der Marsatmosphäre präsentiert. Einige Meteoriten, die auf der Erde gefunden

wurden, stammen nachweislich vom Mars (z. B. zeigt Abb. 10 „Mars-Shergottit-Meteoriten“). Wie sind sie zur Erde gekommen? Sie müssen durch einen starken Meteoriteneinschlag vom Mars weggesprengt worden sein. John Lewis (Anm. 3) behauptet, dass „für jedes Kilogramm Gestein, das erfolgreich auf Fluchtgeschwindigkeit beschleunigt wurde, Millionen Kilogramm Gas aus der Marsatmosphäre in den Weltraum verloren gegangen sein müssen“ und wenn „die Erosion der Marsatmosphäre so einfach ist, dass es im Laufe geologischer Zeiträume zu einem erheblichen Verlust von Gasen gekommen sein muss“ und dass „die fragile Beschaffenheit der Marsatmosphäre ... daher plausibel durch die Erosionswirkung von Einschlägen erklärt werden kann“.

Da der Mars näher am Asteroidengürtel liegt als die Erde, ist es intuitiv verständlich, dass er einem höheren Risiko von Asteroideneinschlägen ausgesetzt sein sollte als die Erde. Eine aktuelle Studie untermauert diese Annahme: Sie fand „auf dem Mars etwa zweieinhalb Mal mehr potenziell gefährliche Asteroiden als auf der Erde“.



Abb. 10: Guinea, Block 1032, 2006

Es wurde auch die Hypothese aufgestellt, dass Staubstürme „für einen großen Teil des Wasserverlusts auf dem Mars verantwortlich sein könnten und einen wichtigen Treiber der atmosphärischen Entwicklung des Mars darstellen“ (der Wasserverlust des Mars in den Weltraum wird durch regionale Staubstürme verstärkt). All diese physikalischen Prozesse sind wahrscheinlich bis zu einem gewissen Grad gültig. Zukünftige Forschung wird erforderlich sein, um festzustellen, welcher, wenn überhaupt, vorherrschend ist.

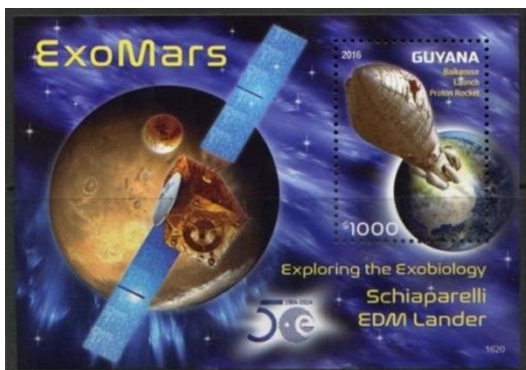


Abb. 11: Guyana, Sc 4484, 2016

Die ESA/Roscosmos ExoMars-2016-Mission besteht aus dem Trace Gas Orbiter (TGO, Abb. 11) und dem Schiaparelli-Lander. TGO trat im Oktober 2016 in die Marsumlaufbahn ein, aber der Lander stürzte ab. Das Hauptziel von TGO ist die Beobachtung von Methan und anderen Spurengasen in der Marsatmosphäre. Das ist von Interesse, da sie in einigen Fällen auf biologische Aktivität hinweisen könnten. Zukünftige ExoMars-Missionen, die

nach Biosignaturen suchen würden, wurden verschoben, da die ESA ihre Partnerschaft mit Roscosmos aufgekündigt hat. TGO verfügt über zwei Spektrometer: Nadir and Occultation for Mars Discovery (NOMAD) und Atmospheric Chemistry Suite (ACS). Die beiden beobachten die Sonne, wie sie bei lokalem Sonnenaufgang und Sonnenuntergang durch die Atmosphäre scheint, und können so Spurengase auf der Ebene von Teilen pro Milliarde erkennen, die höchste Empfindlichkeit, die jemals von einer Marsmission erreicht wurde. Bis April 2019 wurde kein Methan gefunden.

Die InSight-Landesonde (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) der NASA (Abb. 12) erreichte die Marsoberfläche im November 2018. Ihre Mission war es, die Kruste, den Mantel und den Kern des Mars zu untersuchen. Ihr Seismometer führte verschiedene Messungen durch, darunter die Häufigkeit von Meteoriteneinschlägen auf der Oberfläche (potenziell interessante Daten für einen Vergleich mit den in Anm. 3 genannten Arbeiten). Sie enthielt auch eine Reihe von eindringenden Temperatursensoren, wie den in Abb.



Abb. 12: Djibouti, Sc1588b, 2018



Abb. 13: Mozambique, Mi10100, 2019

13 („Sonda de temperatura“) dargestellten, der Bodentemperatur- und Wärmeflussmessungen vornahm. Der Rover war außerdem mit dem meteorologischen Paket TWINS (Temperatur- und Windsensoren für InSight) sowie einem Barometer und einem Magnetometer ausgestattet. Diese Instru-

mente halfen dabei, die nicht seismischen Umweltbeiträge zu den seismischen Signalen zu bestimmen.

InSight war bis Dezember 2022 in Betrieb.

Der Orbiter Al-Amal (Hope, Abb. 14) der Vereinigten Arabischen Emirate erreichte am 9. Februar 2021 die Umlaufbahn des Mars. Es war die erste von drei Missionen, die während des Mars-Startfensters im Juli 2020 starteten. Seine Mission ist es, das Wetter auf dem Mars, einschließlich Staubstürmen, zu untersuchen und atmosphärische Beobachtungen durchzuführen, die helfen könnten, die drastischen Klimaveränderungen des Planeten in der dunklen Vergangenheit zu erklären. Das Missionsteam

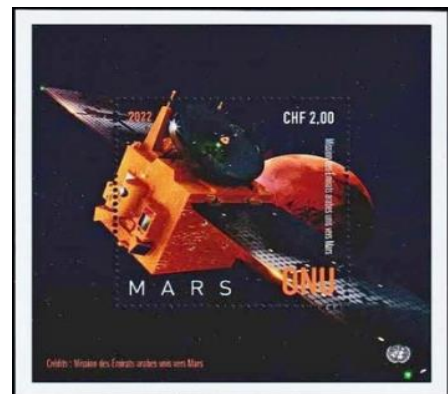


Abb. 14: UN-Genf, Sc 720, 2022

sagte, dass Hope „der erste echte Wettersatellit“ auf dem Roten Planeten sein würde.

Beispielsweise kann das Instrument Emirates Mars Infrared Spectrometer (EMIRS) Oberflächentemperaturen messen, Temperaturprofile erstellen und atmosphärische Konzentrationen von Eis, Wasserdampf und Staub beobachten. Ein von Hope aufgenommenes Foto des Mars („Mars vue de la sonde Espoir“), einschließlich der Nordpol-Eiskappe, ist auf der Briefmarke in Abb. 15 zu sehen (der große orangefarbene Bereich in der Mitte rechts ist die Arabia Terra). Ein weiterer wissenschaftlicher Beitrag von Hope besteht darin, dass „die Emirates-Mission sich mit der Raumsonde Maven der NASA zusammengetan hat, um die einzigartigen Polarlichter zu beobachten, die sich auf dem Roten Planeten bilden“ (Anm. 4).

„die Emirates-Mission sich mit der Raumsonde Maven der NASA zusammengetan hat, um die einzigartigen Polarlichter zu beobachten, die sich auf dem Roten Planeten bilden“ (Anm. 4).



Abb. 15: UN-Genf, Sc 718, 2022

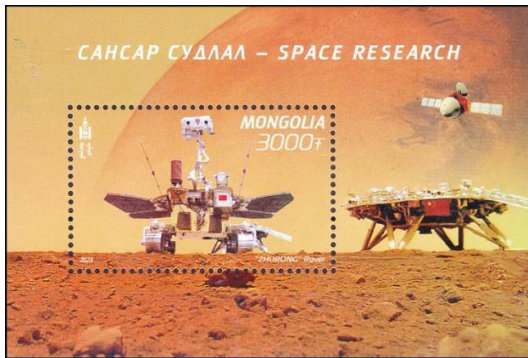


Abb. 16: Mongolei, Bl. 397, 2023

Der chinesische Orbiter der Mission Tianwen-1 erreichte am 10. Februar 2021 die Marsumlaufbahn. Sein Lander, der am 14. Mai desselben Jahres die Oberfläche erreichte, setzte sofort den Rover Zhurong aus (Abb. 16 zeigt alle drei). Der Orbiter verfügt über Instrumente zur Untersuchung der Weltraumumgebung und des Magnetfelds des Mars, und sein Radar untersucht Wassereis auf und unter der Oberfläche. Der Rover ist mit einem Untergrunderkennungsradar und anderen Instrumenten für verschiedene Studien ausgestattet.

Seine Mars Climate Station (MCS) und sein Mars Meteorological Measurement Instrument (MMMI) messen Wettervariablen. 325 Sols meteorologischer Daten von Zhurong wurden analysiert und online veröffentlicht<sup>(14)</sup>.

Die Mars-2020-Mission der NASA besteht aus einem großen Rover (Perseverance) und einem revolutionären kleinen drohnenähnlichen Helikopter (Ingenuity). Der Lander erreichte die Oberfläche am 18. Februar 2021. Ingenuity sollte ursprünglich lediglich demonstrieren, dass Flüge in der dünnen Marsatmosphäre möglich sind, war jedoch so erfolgreich, dass er erst am 25. Januar 2024 nach seinem 72. Flug außer Dienst gestellt wurde. Perseverance und Ingenuity sind am linken Rand von SS1 in Abb. 17 dargestellt, deren Marke den Lander beim Abstieg auf die Oberfläche zeigt. Die wichtigsten wissenschaftlichen Ziele der



Abb. 17: Sao Tomé & Príncipe, Bl. 1769, 2021

Mission sind die Suche nach Anzeichen für bewohnbare Bedingungen auf dem Mars in der Urzeit und die Suche nach Beweisen für Wasser und früheres mikrobielles Leben. Zu diesem Zweck entschied sich die NASA für die Landung des Rovers im Jezero-Krater, da dieser einst mit Wasser überflutet war und ein altes Flussdelta beherbergte und daher ein günstiger Ort für die Suche nach Biosignaturen sein könnte. In Abb.18 findet sich die Zeichnung eines alten Wasserlaufs auf dem Mars, der als „Abflusskanal“ bezeichnet wird.

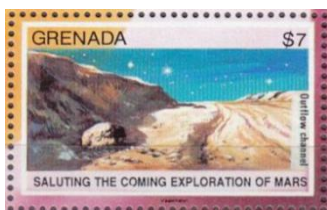


Abb. 18: Grenada, Sc 2002i, 2021

In Abb. 19 ist die Darstellung eines ausgetrockneten Wasserlaufs auf dem Mars von einem anderen Künstler dargestellt. Perseverance entnimmt Proben

von Gestein und gibt sie in Probenröhrchen, die eine zukünftige Mars Sample Return (MSR)-Mission abholen und zur Erde zurückbringen soll (sofern die großen finanziellen und technischen Herausforderungen überwunden werden können).



Abb. 19: Republik Zentralafrika, Mi 5608, 2023



Zukünftige Marsmissionen befinden sich in unterschiedlichen Vorbereitungsstadien. Alle 26 Monate gibt es ein neues Startfenster zum Mars, das letzte im Herbst 2024. Im Abschnitt „Zukünftige Missionen“ auf der Webseite der Planetary Society zu Marsmissionen<sup>(15)</sup> finden sich mehrere Einträge. Die Liste ist jedoch nicht vollständig. Indiens ehrgeizige Mission MOM-2 ist zum Beispiel nicht aufgeführt. Es gibt sogar eine Briefmarke (Abb. 20), die eines dieser zukünftigen Raumfahrzeuge vorwegnimmt: MMX, Japans geplante Marsmondmission.

Die Erforschung des Mars befasst sich mit dem Wetter und Klima des Roten Planeten und einigen seiner Oberflächen- und Untergrundmerkmale wie Wassereis. Es umfasst viele der Elemente der Marsumgebung, die in diesem (und dem vorherigen) Artikel über den Planeten vorgestellt wurden. Ein Hauptelement der Marsumgebung, seine Staubstürme, verdient etwas mehr Beachtung. Relevante Online-Diskussionen finden Sie hier<sup>(16)</sup> und hier<sup>(17)</sup> sowie hier<sup>(18)</sup> und hier<sup>(19)</sup>.

Marsstaub kann einfach durch Windspannung (ungefähr die Kraft, die der Wind auf die Oberfläche ausübt) in die Atmosphäre aufsteigen, wenn die Winde stark genug sind. Staubteufel

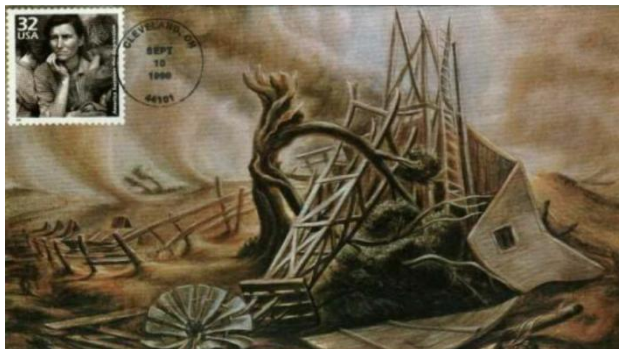


Abb. 21: USA, Sc 3185m, FDC, 1991

sorgen für einen weiteren Auftriebsprozess. Auf der Erde können sie sich in trockenen Regionen bilden, wenn die Sonne die Oberfläche erwärmt, was wiederum die Luft darüber erwärmt, die aufsteigt und unter bestimmten Umständen zu rotieren beginnt und einen Staubteufel bildet. Ein ähnlicher Prozess bildet wahrscheinlich Marsstaubteufel. Die Darstellung des FDC in Abb. 21 zeigt eine surreale apokalyptische künstlerische Szene aus der amerikanischen *Dust Bowl* der 1930er Jahre mit mindestens drei großen Staubteufeln im Hintergrund. Die Briefmarke in Abb. 22 zeigt eine künstlerische Darstellung ähnlicher Marsstaubteufel auf dem, was die Briefmarke das „staubige Gesicht des Mars“ nennt. Solche Staubteufel können aufgrund der atmosphärischen Dynamik des Mars, die noch nicht verstanden ist, weiter wachsen und verschmelzen. In dieser Wachstumsphase kann der Staub in der Luft selbst Sonnenenergie absorbieren, was diesen Prozess wahrscheinlich verstärkt.

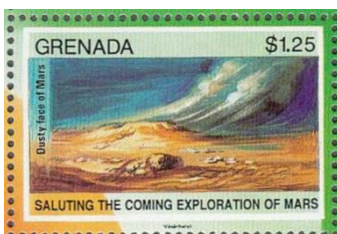


Abb. 22: Grenada, Sc 2000c, 1991

Marsstaubstürme weisen auf regionaler Ebene manchmal interessante Parallelen zu den Wettersystemen der Erde auf. Abbildung 23 mit der Überschrift „Staubstürme am Nordpol des Mars“ zeigt beispielsweise einen Sturmtyp – einen gegen den Uhrzeigersinn verlaufenden Staubwirbel mit einer langen Staubspur nach Südwesten. Andere Marsstaubstürme können andere Formen haben, aber dieser sieht aus wie Tiefdruckgebiete der nördlichen Hemisphäre auf der Erde, die einen gegen den Uhrzeigersinn verlaufenden Wolkenwirbel und



Abb. 20: Sierra Leone, Sc 5063d, 2018



Abb. 23: Sierra Leone, Sc 2930a, 2009

eine Kaltfront aufweisen, die nach Südwest zurückzieht. Abbildung 23 kann mit Abbildung 24 verglichen werden, in der ein ähnliches Wettersystem auf der Erde auf einem Foto, das von Apollo-8 am 22. Dezember 1968 aufgenommen wurde, rot eingekreist ist. Die SS1 in Abbildung 25 enthält eine der besseren Reproduktionen dieses Fotos auf einer Briefmarke.



Abb. 24: Bild von der Erde, aufgenommen von Apollo-8, 22 Dez. 1968

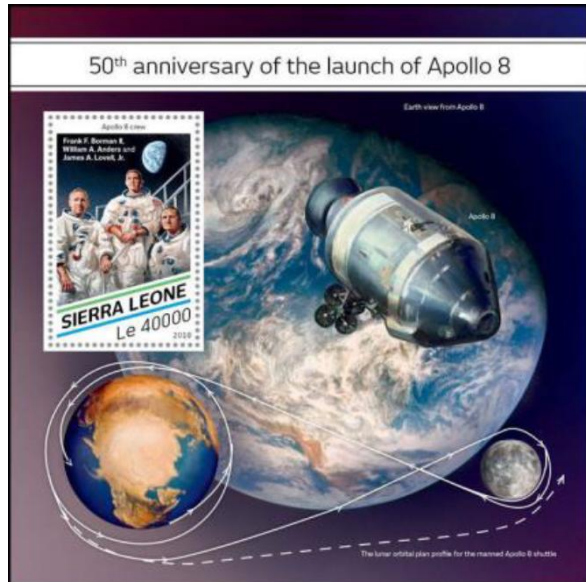


Abb. 25: Sierra Leone, Sc 4853, 2018

Solche Vergleiche legen nahe, dass Marsstaub als grobes Analogon zur atmosphärischen Feuchtigkeit auf der Erde betrachtet werden kann, der aufsteigen, kondensieren und Wolken in verschiedenen Größen bilden kann, von einzelnen Wolken (~ 1 km oder weniger) bis zu großen wolkigen Tiefdruckgebieten (~ 1000 km). Marsstaub kann auch Staubwolken und Stürme in verschiedenen Größen und mit verschiedenen Formen bilden, obwohl die größten dieser Stürme, die den Planeten bedecken können, kein irdisches Äquivalent haben. Die Details der physikalischen Prozesse, die die Entwicklung von Marsstaubstürmen bestimmen, sind noch nicht gut verstanden.

Wie alle Stürme brauchen Marsstaubstürme eine Energiequelle, die sie antreibt. Die Umlaufbahn des Mars ist stark exzentrisch, so dass er in seinem Perihel (1,38 AE von der Sonne entfernt) viel mehr Sonnenenergie erhält als in seinem Aphel (1,67 AE Entfernung). Die wärmsten und windigsten Zeiten sind im Frühling und Sommer der südlichen Hemisphäre, wenn Staubstürme durch Prozesse, die noch immer geheimnisvoll sind, kontinentale Ausmaße oder mehr erreichen können. In seltenen Fällen (vielleicht alle 6 bis 8 Erdenjahre) entwickeln sie sich zu globalen Staubereignissen (GDEs), die Monate andauern können, aber den Keim ihrer eigenen Zerstörung in sich tragen: Die hohen Konzentrationen von Schwebstaub blockieren den Großteil der Sonnenenergie, die normalerweise von der Oberfläche und dem bereits schwebenden Staub absorbiert wird. Die Stürme sterben schließlich ab, offenbar aus Mangel an Energie, um sie weiter anzutreiben. Damit ist unsere Untersuchung des Mars abgeschlossen. Weitere Artikel der Astrofax-Reihe über Planetenumgebungen werden sich weiter nach außen im Sonnensystem bewegen. Jupiter wird das Thema des nächsten sein.

**Anmerkungen:**

- Anm. 1: Van Allen, J. A., L. A. Frank, S. M. Krimigis und H. K. Hills, 1965: Absence of Martian radiation belts and implications thereof. *Science*, Vol. 149, No. 3689 (10. Sept. 1965), S. 1228-1233.
- Anm. 2: Toth, G, und D. Hillger, 2017: *Space Weather: A Philatelic Journey*. American Topical Association (ATA) Handbook 166 (Papierversion) oder 166E (CD-Version), (Dezember 2017).
- Anm. 3: Lewis, John L., 1996: *Rain of Iron and Ice*, Helix Books, Addison-Wesley Publishing Co., ISBN 0-201-48950-3, Kap. 12, S. 160-161.
- Anm. 4: Hope untersucht Polarlichter auf dem Mars. *Orbit*, (145), Juli 2024, S. 23. Umfassende Listen mit Briefmarken und Umschlägen für die oben besprochenen Raumschiffe (und viele weitere) finden Sie auf der Seite „Planetary Spacecraft“ der Website der Autoren zu unbemannten Raumschiffen. Unsere Liste mit philatelistischen Artikeln für Planetary Environments ist auch online verfügbar.

**Weblinks:**

- (1) [Un-manned Satellite \(or Spacecraft\) Philately](#)
- (2) [Water on Mars - Wikipedia](#)
- (3) [Mars Exploration Timeline](#)
- (4) [Every mission to Mars ever | The Planetary Society](#)
- (5) [Mars Radiation Environment Experiment - Wikipedia](#)
- (6) [Martian Ice Unearthed | Science | AAAS](#)
- (7) [Mars Express - Wikipedia](#)
- (8) [Water ice buried at Mars' equator is over 2 miles thick | Space](#)
- (9) [Mars Crater Ice - NASA Science](#)
- (10) [Climate of Mars - Wikipedia](#)
- (11) [Mars Was Hit With a Solar Storm Days After Earth's Aurora Light Show, NASA Says | Smithsonian](#)
- (12) [Deep interior of Mars might have led to the loss of the planet's atmosphere | Space](#)
- (13) [How Mars Lost Its Magnetic Field—and Then Its Oceans - JSTOR Daily](#)
- (14) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9971204/>
- (15) [Every mission to Mars ever | The Planetary Society](#)
- (16) [Martian regolith - Wikipedia](#)
- (17) [The Fact and Fiction of Martian Dust Storms - NASA](#)
- (18) ["Storm Chasers" on Mars Searching for Dusty Secrets - NASA](#)
- (19) [The dusty days of summer on Mars](#)



Abb. 26 : Brief aus Tucson/USA nach Merseburg mit Ausgabe der USA zur Mars-Mission vom 04.07.1997, Mi.-Nr. 2903 und Block 39, Ausgabe am 10.12.2097 Nr. 2903 hat in der unteren Zähnungsreihe „USA“ anstelle von Zähnungslochern gestanzt