

Puttkamer, Jesco von: Projekt Mars: Menschheitstraum und Zukunftsvision.  
München: Herbig, 2012. 270 Seiten.

## Kapitel 1: Beginn der Forschung: Mars mit bloßem Auge

Im ersten Kapitel seines Buches widmet sich Puttkamer den Anfängen astronomischer Forschung. Bis in die Renaissance hinein herrschten in unseren heutigen Augen teilweise recht skurrile Vorstellungen von Himmel und Erde. Dem ptolemäischen Weltbild<sup>1</sup> zufolge stand die Erde fix im Mittelpunkt und alle anderen Himmelskörper bewegten sich auf Kreisbahnen um diese herum. Erst mit der sogenannten kopernikanischen Wende<sup>2</sup> wurde die Sonne im Zentrum der Planetenbewegungen gesehen (s. S. 14 ff.).

Der letzte große Astronom der Vor-Fernrohrzeit war der Däne Tycho Brahe (1546-1601), welcher mit bloßem Auge erstaunlich genaue Himmelsbeobachtungen anstellte (s. S. 18 ff.). Die umfangreichen Beobachtungsmaterialien und Aufzeichnungen vererbte er seinem Gehilfen Johannes Kepler (1571-1630), welcher die Daten auswertete und dadurch die drei Kepler'schen Gesetze fand (s. S. 22 ff.).<sup>3</sup>

„Kopernikus, Tycho Brahe und Kepler brachten das Weltbild ihrer Ära so weit, wie es zu einer Zeit, in der die Astronomie noch auf das bloße Auge angewiesen war, nur gebracht werden konnte. Erst die Verbindung des Fernrohrs mit Brahes Winkelmessinstrumenten verfeinerte die Himmelsbeobachtungen in einem Maße, dass seine Erfindung eine neue Epoche der astronomischen Wissenschaft einleitete.“ (S. 24)

## Kapitel 2: Mars im Fernrohr von gestern und heute

Das erste Teleskop wurde zwar bereits 1608 erfunden, aber erst nachdem sich die Technik weiterentwickelt hatte, kam die Marsforschung im 18. und 19. Jahrhundert in Schwung (s. S. 24 ff.). Beginnend mit Galileo Galilei (1564-1642) beobachteten im Laufe der Jahre eine ganze Reihe von Astronomen den roten Planeten Mars.<sup>4</sup> Die erste Skizze von der Marsoberfläche wurde 1659 vom Holländer Christian Huygens (1629-1695) angefertigt; andere folgten seinem Beispiel, so dass ein immer detailliertes Bild der Planetenoberfläche entstand (s. S. 30 ff.). Insbesondere die Verbesserung der Fernrohrtechnik durch Friedrich Wilhelm Herschel, später Sir William Herschel (1738-1822), führten zu neuen Erkenntnissen: z.B. dass die Rotationsachse des Mars ähnlich schräg gestellt ist wie diejenige der Erde. Dies veranlasste Herschel zu der Annahme, dass es auf dem Mars ebenfalls vier Jahreszeiten geben müsse – außerdem ging er davon aus, dass der Planet eine Atmosphäre habe (s. S. 32 ff.). Mit weiter fortschreitender Technik wurden zahlreiche Marskarten angefertigt (s. S. 34 f.) „Die erste wirklich brauchbare Marskarte und am sorgfältigsten durchdachte Benennungsregelung schuf der [...] große italienische Astronom Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910) auf der Grundlage seiner Beobachtungen von 1877/78). Seine Namen, insgesamt waren es 304, bezog er aus der Geografie des

---

<sup>1</sup> Benannt nach dem Astronom Claudius Ptolemäus (ca. 100-180 n.Chr.).

<sup>2</sup> Aus Furcht vor der Inquisition der katholischen Kirche wagte der Astronom Nikolaus Kopernikus (1473-1543) die Veröffentlichung seines revolutionären Werkes über die Kreisbewegungen der Himmelskörper erst kurz vor seinem Tod.

<sup>3</sup> Kepler fand seine Gesetze allein aus empirischen Beobachtungen heraus. Erst Isaac Newton (1643-1727) gelang mit der Entdeckung des Gravitationsgesetzes auch die theoretische Erklärung der Planetenbahnen (s. S. 28 f.).

<sup>4</sup> Aufgrund der geringen Lichtreflexion von der Marsoberfläche (Albedo) gibt es „[...] eine bestmögliche (optimale) Vergrößerung, deren Überschreiten wenig sinnvoll wäre. Auch unter günstigen Bedingungen [...] lässt sich selten eine Vergrößerung von 1000x oder besser erzielen; 500- bis 600-fache Vergrößerungen sind eher die Spitze.“ (S. 26)

Altertums und damit zusammenhängenden Mythen, etwa den Fahrten des Odysseus. Sein System ist bis heute weitgehend beibehalten worden.“ (S. 35) Mit dem Aufkommen der Fotografie reduzierte die Generalversammlung der International Astronomical Union (IAU) die Benennung der Oberflächenmerkmale zunächst „[...] auf 128 Namen für Hauptbereiche, von denen 105 auf Schiaparelli zurückgingen.“ (S. 36) Allerdings wurden durch die fortschreitende Kameratechnik immer mehr Details sichtbar, so dass seit den 1970er Jahren wieder eine Vielzahl zusätzlicher Bezeichnungen eingeführt wurden (s. S. 36 f.). Im Jahre 1877 entdeckte der amerikanische Astronom Asaph Hall (1829-1907) die beiden kraterübersäten Marsmonde Phobos (Furcht) und Deimos (Flucht/Schrecken). Im gleichen Jahr wurde auch die Mär von den „Marskanälen“ als Indiz für intelligentes Leben auf dem Mars geboren (s. S. 37 f.).

Gegen Ende des Kapitels stellt Puttkamer einige neuere Erkenntnisse moderner Marsforschung vor, wie z.B. den verschwindend geringen Anteil von Sauerstoff in der Atmosphäre (s. S. 38 ff.).

### Kapitel 3: Mars ist erreichbar – aber wie?

In diesem Kapitel wird es mathematisch, denn Puttkamer geht ausführlich auf die Problematik bei der Berechnung von Marsmissionen ein. Ich beschränke mich auf die Erwähnung einiger Aspekte; wer sich näher für die Thematik interessiert, dem sei die Lektüre dieses Buchkapitels empfohlen (S. 42-64).

Für die Bestimmung der Reiserouten zum Mars bedarf es zunächst einiger Grundkenntnisse bezüglich der Planetenbewegungen um die Sonne. Die Bewegung der Planeten erfolgt auf elliptischen Bahnen, wobei die Sonne sich in einem der Brennpunkte befindet. Wie stark die Ellipse von einer genauen Kreisform abweicht, bezeichnet man als Exzentrizität  $e$ : „Bei der Erdbahn beträgt  $e = 0,0167$ ; sie weicht also nur wenig von der Kreisform ab. Beim Mars ist sie mit  $e = 0,0934$  6-mal größer; die Marsbahn ist demnach wesentlich elliptischer.“ (S. 44) Durch die elliptische Form ist die Bahngeschwindigkeit in Sonnennähe (Perihel) vergleichsweise schneller als am sonnenfernen Punkt (Aphel). „Während die Erde für eine Umrundung der Sonne ein Jahr benötigt, braucht der Mars mit einem anderthalbmal längeren Bahnumfang, dagegen für einen Orbit, d.h. für sein Jahr, 687 Tage (1,88 Erdjahre). Das bedeutet aber auch, dass Erde und Mars ihren gegenseitigen Abstand ständig verändern. Mars hat eine mittlere Geschwindigkeit von 86868 Stundenkilometern [...] gegenüber 107170 km/h der Erde.“ (S. 46) Die Folge ist, dass Erde und Mars im Laufe einer Periode von 15 bis 17 Jahren unterschiedliche Abstände zueinander haben. Der kleinste Abstand besteht, wenn sich Erde und Mars in „Opposition“ (gemeinsam mit der Sonne auf einer geraden Linie) befinden: 55,4 Millionen km<sup>5</sup>; die weitest mögliche Entfernung (in „Konjunktion“) beträgt 396,64 Millionen km.<sup>6</sup>

Nach dieser kurzen Information zu den Umlaufbahnen von Erde und Mars geht Puttkamer auf die möglichen Reiserouten zwischen den beiden Planeten ein. Kurzgefasst handelt es sich dabei um die Suche nach einer optimalen Kombination aus den drei Faktoren Bahngeometrie, aufzuwendende Energie und Reisezeit. In der Regel gibt es zeitlich begrenzte „Startfenster“ und „Ankunftsfenster“. „Innerhalb der Korridore kann man sich gewöhnlich durch Erhöhung der Reisegeschwindigkeit kürzere Reisezeiten einhandeln, und umgekehrt.“ (S. 53)<sup>7</sup> Dies hat zur Folge, dass die sparsamste Reisedistanz zwischen Erde und

<sup>5</sup> Die nächste günstige Opposition kommt im Juli 2018 mit 57,7 Millionen km Abstand (s. S. 47).

<sup>6</sup> Da aufgrund der größeren elliptischen Bahn die Variation der Sonnenentfernung beim Mars mit 17 % erheblich größer ist als bei der Erde (4 %), sind Frühling und Sommer auf der Nordhalbkugel des Mars länger (372 Tage) also auf der Südhalbkugel (297 Tage) (s. S. 51).

<sup>7</sup> Die Übergangsbahn mit dem geringsten Energiebedarf wird nach dem Essener Ingenieur Walter Hohmann als sog. Hohmann-Übergang bezeichnet. Der Vorteil beruht darauf, dass die natürlichen

Mars nicht die kürzeste Entfernung von 55,4 Millionen km ist, sondern eine Länge von 586,7 Millionen km jeweils für Hin- und Rückflug, also insgesamt 1,17 Milliarden km beträgt. „Beiderseits dieser 'singulären' Lösung existiert eine Familie weiterer Niedrigenergiebahnen, bei denen man zwei Arten unterscheidet: Ellipsen mit einem Reisewinkel kleiner als  $180^\circ$ , Typ I genannt, und solche vom Typ II, bei denen er größer als  $180^\circ$  ist.“ (S. 54) Als Beispiel: „Bei *Mariner 9*, der 1971 auf einer Bahn vom Typ I in weniger als sechs Monaten zum Mars flog, hatte zum Beispiel der Zeitfaktor den Ausschlag gegeben, während für die beiden *Viking*-Sonden 1975 der Wunsch nach maximalem Nutzlastgewicht zur Wahl von Typ-II-Übergängen führte, mit Flugzeiten zwischen zehn bis zwölf Monaten.“ (S. 54 f.)

Hinsichtlich des Energiebedarfs muss man vier Hauptantriebsmanöver berücksichtigen (abgesehen von kleineren Korrekturmanövern): 1) der Abflug von der Erde, 2) das Einschwenken in die Parkbahn um den Mars, 3) der Abflug vom Mars und 4) das Bremsmanöver vor dem Wiedereintritt in die Erdatmosphäre bzw. der Einfang in eine Satellitenbahn um die Erde. „Eine typische Rundreise vom Hohmann-Typ, die von allen Missionen die geringsten zusätzlichen Geschwindigkeitsänderungen erfordert, hat einen theoretischen Gesamt-Geschwindigkeitsbedarf um 4,6 km/s. Interessant ist, dass das zum Erreichen des Mars benötigte Total- $\Delta V$  nur geringfügig höher liegt als für den Flug zum Mond. Von der Energiebetrachtung her sind Marsmissionen demnach nicht viel schwieriger als Mondflüge.“ (S. 59)

Die eigentliche Herausforderung besteht in der wesentlich längeren Reisezeit, was insbesondere auf energiesparende Flugrouten zutrifft: „Eine Berechnung der Reisedauer entlang der Ellipsenhälfte ergibt 260 Tage, d.h. etwas mehr als 8,5 Monate. Realistische Zeiten liegen in der Spanne zwischen 200-350 Tagen.“ (S. 60) Außerdem muss die Aufenthaltszeit auf dem Mars berücksichtigt werden: „Je nach Konstellation müssen weitere 300-500 Tage Wartezeit verstreichen, bis der Rückflug stattfinden kann. Da dieser ebenfalls 200-350 Tage dauert, erfordert der Rundtrip zum Mars insgesamt 900-1050 Tage, also zwischen 2,5 und 2,9 Jahren.“ (S. 60)<sup>8</sup>

Kürzere Reisezeiten können durch ein höheres Energieaufkommen erreicht werden. Dabei kann die „[...] typische Missionsenergie [...] mehr als 20 km/s betragen, verglichen mit etwa 4,6 km/s für Minimumenergie-Missionen, und variiert erheblich zwischen 'günstigen' und 'schwierigen' Jahren [...]. Die Eigenschaften solcher schnellen Missionen sind also: relativ kurze Hinflugwege [...], Aufhalten von rund 30 Tagen Dauer und streckenmäßig lange Rückflugwege, die sich mit Reisewinkeln von mehr als  $180^\circ$  um die Sonne herum krümmen, wobei sie ihr auf eine Periheldistanz von 0,45 bis 0,65 AE nahekomen. Damit lässt sich die Gesamtreisezeit auf 420-460 Tage reduzieren, doch haben solche Missionsprofile den Nachteil sehr hoher Erdrückkehrgeschwindigkeiten (je nach Jahr 15-22,5 km/s), die gewaltige Anforderungen an das Bremsvermögen des Schiffes stellen.“ (S. 62) Dieses Problem könnte man vermeiden, indem das Bremsmanöver bereits im Perihel der Rückflugbahn und nicht erst bei der Annäherung an die Erde durchgeführt wird – jedoch

---

Bahngeschwindigkeiten von Erde und Mars voll ausgenutzt werden.

<sup>8</sup> Interessant ist die Idee eines Photonenantriebs: „Noch ist die Technik kaum mehr als ein Gedankenspiel - aber im Prinzip ließen sich Raumfahrzeuge mithilfe von Laserstrahlen deutlich stärker beschleunigen als das mit bisherigen Antriebstechniken klappt. Extrem leichte Forschungs-sonden würden den Weg zum Mars so in 30 Minuten hinter sich bringen - und den nächstgelegenen Stern Alpha Centauri in nur 20 Jahren erreichen. Das Problem ist der hohe Energieaufwand für die nötigen Laser, die in der Erdumlaufbahn platziert werden müssten.“

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/photonenantrieb-fuer-raumschiffe-in-30-minuten-zum-mars-a-1080270.html> Auch wenn dieses Antriebskonzept nicht verwirklicht werden sollte, zeigt es, dass es in der Zukunft sicherlich Möglichkeiten gefunden werden, um die Reisezeiten zu unserem Nachbarplaneten zu verkürzen.

wiederum bei gleichzeitiger Verlängerung der Flugzeit.

Zum Schluss des Kapitels geht Puttkamer kurz auf die Planung der optimalen Abflugzeiten für energiesparende Missionen ein.

## Kapitel 4: Raumsonden am Mars: Vorhut des Menschen

Sehr ausführlich schildert Puttkamer die Schwierigkeiten bei der Mars-Erforschung mittels unbemannter Raumsonden. Wie groß die technologische Herausforderung ist, zeigt sich nicht zuletzt in der niedrigen Erfolgsquote: „Von den 36 von drei Ländern [USA, Russland, ESA] in den vergangenen 50 Jahren bis 2011 gestarteten Marsmissionen waren weniger als die Hälfte erfolgreich.“ (S. 67)<sup>9</sup>

Anfangs begann man die Erkundung mit Vorbeiflügen, wie z.B. mit *Mariner 4* (S. 72 ff.), *Mariner 6* und *Mariner 7* (S. 76 f.). Als nächstes folgte das Einfangen in eine Umlaufbahn, beginnend mit *Mariner 9* (S. 77 ff.) im Jahre 1971. Besonders erwähnt wird der Orbiter *Mars Global Surveyor*, welcher über den beachtlichen Zeitraum von 1997 bis 2006 Daten zur Erde sendete (S. 91 ff.). Derzeit umkreisen vier Orbiter den Roten Planeten, die u.a. als Relaisatelliten für die Kommunikation der Rover auf der Marsoberfläche mit der Erde dienen: *Mars Odyssee* (seit 2001, S. 97 ff.)<sup>10</sup>, die ESA-Sonde *Mars Express* (seit 2004, S. 103 f.)<sup>11</sup>, der *Mars Reconnaissance Orbiter MRO* (seit 2006, S. 104 ff.)<sup>12</sup> und die in Puttkamers Buch noch in der Planung befindliche Raumsonde *Mars Atmosphere and Volatile Evolution MAVEN* (seit 2014, S. 107).<sup>13</sup> Eine weitere Stufe der Mars-Erforschung sind die Landungen auf der Planetenoberfläche z.B. mit den Landern *Viking 1* und *Viking 2* (S. 80 ff.) sowie dem Direktlander *Pathfinder*, welcher ohne eine vorherige Warte-Umlaufbahn direkt auf dem Planeten aufsetzte (S. 94 ff.). Der Einsatz von mobilen Roverfahrzeugen ist das vorerst letzte Stadium der Erforschung, welches nur durch bemannte Flüge zum Mars übertroffen werden kann. Der erste Rover *Sojourner* kam 1997 mit der Sonde *Pathfinder* auf den Mars (S. 95 ff.) und war nur knapp drei Monate aktiv. Es folgten die Rover *Spirit* und *Opportunity* (beide 2004 gelandet, S. 98 ff.), von denen letzterer noch heute funktionsfähig ist.<sup>14</sup> „Aufgabe der beiden Fahrzeuge war die weiträumige Erforschung und Untersuchung des Bodens, des Gesteins, der vorkommenden Mineralien, der geologischen und chemischen Prozesse sowie aller Umweltfaktoren, die einen Hinweis auf mögliches Leben geben können.“ (S. 99) Im Jahre 2007 landete *Phoenix* als erster Rover nicht airbaggestützt, sondern mithilfe von Bremstriebwerken und lieferte bis Ende 2008 Daten, u.a. den definitiven Nachweis von Wasser auf dem Planeten (S. 107 f.). Als bislang letztes und größtes Fahrzeug landete im Jahre 2012 *Mars Science Laboratory (MSL) Curiosity*<sup>15</sup> mittels einer neuen Himmelskran-Technik; eine seiner Hauptaufgaben ist die Suche nach organischen Molekülen (S. 110 f.).

Unter den mannigfaltigen Forschungsergebnissen sind u.a. die folgenden erwähnenswert:

- Die Kartografierung der Marsoberfläche vom Marsorbit aus, wobei die Oberflächenstruktur auf das Vorhandensein von fließendem Wasser in früheren Zeiten hindeutet.<sup>16</sup>

<sup>9</sup> Das meiste Pech hatten die Sowjets bzw. Russen: „Beginnend 1960, ist der russischen Raumfahrt von insgesamt 21 Versuchen, den Mars mit automatischen Sonden zu erforschen, bis heute nicht ein einziger gelungen.“ (S. 70 f.)

<sup>10</sup> <http://mars.jpl.nasa.gov/odyssey/> (Stand: 13.07.2016)

<sup>11</sup> [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Mars\\_Express](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Mars_Express) (Stand: 13.07.2016; die Mission wurde von der ESA bis Ende 2018 verlängert)

<sup>12</sup> <http://mars.jpl.nasa.gov/mro/> (Stand: 13.07.2016)

<sup>13</sup> <http://mars.nasa.gov/maven/> (Stand: 13.07.2016)

<sup>14</sup> <http://mars.nasa.gov/mer/mission/status.html#opportunity> (Stand: 13.07.2016)

<sup>15</sup> Dieser Großrover hat etwa die doppelte Länge und mehr als die fünffache Masse aller bisherigen Marsrover (S. 110). <http://mars.nasa.gov/msl/> (Stand: 13.07.2016)

<sup>16</sup> „Die Wasserwege lassen sich entsprechend ihrer Entstehung in drei Typenklassen einordnen:

- Die Marsatmosphäre besteht zu 95% aus CO<sub>2</sub>.<sup>17</sup> „Weitere 2,5% gehen auf Stickstoff und seine Isotope, 2% auf das Edelgas Argon und vor allem dessen Isotop Argon-40<sup>18</sup> [zurück ...]. Der Rest ist Sauerstoff (0,1-0,4%), Wasserdampf (0,01-0,1%) und etwas Krypton und Xenon.“ (S. 84) Der Luftdruck entspricht mit ca. 6-8 Millibar nur etwa einem Hundertstel demjenigen auf der Erde (S. 79, 85).
- Der Mars verfügt über kein Magnetfeld wie die Erde. Allerdings existiert in der oberen Atmosphäre eine vom Sonnenwind erzeugte „[...] Ionosphäre, die den anströmenden Sonnenwind aus energetischen Teilchen ab- und um den Planeten herumlenkt.“ (S. 90)
- Durch die Bodenanalysen an den Landstellen konnten v.a. die Elemente Eisen, Kalzium, Aluminium, Silizium und Schwefel nachgewiesen werden (S. 84). Der Orbiter *Mars Odyssee* machte „[...] erstmalig eine globale Oberflächenkartierung der Menge und Verteilung vieler chemischer Elemente und Mineralien möglich.“ (S. 97)
- Es gelang der Nachweis von Wasser in Form „[...] großer Mengen von Wassereis dicht unter der Oberfläche in den Polarregionen.“ (S. 98)<sup>19</sup> Der Orbiter *MRO* lieferte zudem Indizien dafür, dass während der wärmsten Monate auch heute noch fließendes, stark salzhaltiges Wasser existiere (S. 106). - Ein eindeutiger Hinweis auf (ehemaliges) Leben wurde jedoch bislang nicht gefunden (vgl. S. 85).
- Ferner existieren tausende Fotos von der Marsoberfläche, welche einen Eindruck der dortigen Landschaft vermitteln.<sup>20</sup>

## Kapitel 5: Areologie: Eine Welt voller Rätsel und Wunder

Im fünften Kapitel geht es um das Thema „Areologie“. Darunter versteht man die Lehre von der Geologie des Mars (von griechischen Wort Ares für Mars).<sup>21</sup> In meiner Zusammenfassung möchte ich wiederum nur einige Aspekte hervorheben. Die Oberfläche des Mars ist auf der Südhalbkugel von Kratern übersät – ähnlich wie auf dem Mond. Dagegen ist „[...] die nördliche Hälfte in erster Linie von den Auswirkungen eines gewaltigen Vulkanismus geprägt, und die Ebenen, aus denen sie größtenteils besteht, sind glatt und relativ kraterfrei.“ (S. 116) Der ehemalige Schildvulkan Olympus Mons ist mit 27,3 km Höhe und einem Basisdurchmesser von 600 km der größte und höchste Berg im gesamten Sonnensystem. „Andere marsianische Vulkantypen neben den Schilden sind kleinere, kuppelförmige Erhebungen mit steilen Flanken wie Tharis Tholus mit 120 km Durchmesser, und einfache wie auch zusammengesetzte Kegelformationen mit bis zu 11 km Höhe [...]“ (S.

---

durch Regenfälle und -ablauf erzeugte verästelte Tributärsysteme, breite Kanäle, die durch Überflutung geothermisch entstandener unterirdischer Seen verursacht worden sind, und kleinere, durch langsam sickernde Gewässer in den Boden gefressene Rinnsale.“ (S. 79)

<sup>17</sup> Etwa die Hälfte des CO<sub>2</sub> auf dem Mars existiert in Form von Trockeneis (gefrorenes CO<sub>2</sub>) an den jeweiligen Polen (s. S. 105).

<sup>18</sup> Das Verhältnis „[...] von Argon-40 zu Argon-36 (2750:1) und des Krypton- und Xenon-Vorkommens lassen darauf schließen, dass die Marsatmosphäre einst etwa 10-mal dichter gewesen sein muss als heute.“ (S. 85)

<sup>19</sup> Zudem fand der Rover *Opportunity* „[...] zahlreiche Belege für ehemals flüssige[s] Wasser auf dem Mars, etwa hohe Schwefelkonzentrationen im Gestein, wie sie unter irdischen Bedingungen meist nur in Gesteinen gefunden werden, die sich aus eingedampften mineralhaltigen Wässern bilden wie Gips oder Anhydrit sowie Jarosit, ein Eisen-Schwefel-Mineral, zu dessen Entstehung auf der Erde ebenfalls Wasser nötig ist.“ (S. 100)

<sup>20</sup> „Mit Ihren erstmals farbigen Fotos bestätigten die *Vikings*, dass der Rote Planet tatsächlich rot ist: rostrot bzw. rötlich-braun. Dies gilt nicht nur für den Marsboden, so weit die Sicht der Landekameras reichte, sondern auch für die Atmosphäre. Aufgrund schwebender Staubteilchen ist der Himmel auf dem Mars nicht blau, sondern rosafarben.“ (S. 84)

Hier geht's zur Bilder-Galerie der NASA: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/mars/images/](http://www.nasa.gov/mission_pages/mars/images/)

<sup>21</sup> Es gibt sogar eine private Webseite mit der Domain: <http://areologie.de/>.

118) Ein Rätsel ist noch, wie der Mars ohne Plattentektonik (wie sie auf der Erde besteht) seinen Vulkanismus über einige Milliarden Jahre aufrecht erhalten konnte (s. S. 119, 124 f.). „Man unterscheidet heute drei verschiedene Stadien, die der Mars seit seiner Bildung vor 4,6 Milliarden Jahren durchgemacht hat:

- die Noachische Ära der ersten Milliarden Jahre: ein warmer Planet mit viel Wasser und einer wesentlich dichteren Atmosphäre als heute
- die Hesperische Ära der folgenden 500 Millionen bis 1,5 Milliarden Jahre, in denen die geologische Aktivität allmählich zum Erliegen kam und die Wassermengen an der Oberfläche zu Eis gefroren, zu Eiskappen an den Polen und unterirdischem Eis oder Permafrost, und
- die Amazonische Ära der letzten 2-3 Milliarden Jahre, also der heutige Mars: trocken, ausgedörrt, mit einer Atmosphäre, die zu dünn für flüssiges Wasser ist, das, abgesehen von vereinzelt Örtlichkeiten oder als Sole, bzw. Brackwasser, nur noch in festem oder gasförmigem Zustand vorkommen kann.“ (S. 122 f.)

Die Vermutung ehemals großer Wassermengen ist der Grund dafür, dass man auf dem Mars nach Spuren biologischen Lebens sucht. Selbst auf der Erde hat man Leben an denkbar ungünstigen Orten in der Tiefsee gefunden, wo es unter hohem Druck und bei hohen Temperaturen in einem Milieu aus Schwefelwasserstoff, Methan und Wasserstoff gedeiht. Diese Archaea (früher Archaeobakterien genannt) sind neben den Bakterien und den Eukaryoten eine eigene Lebensform (s. S. 126 f.). In Mars-Meteoriten, die auf der Erde gefunden wurden, gibt es mögliche Anzeichen für primitive Organismen, die jedoch kontrovers diskutiert werden (s. S. 127 ff.). Letztliche Sicherheit wird man erst durch Forschungen vor Ort auf dem Mars bekommen können (s. S. 133).

Im Anhang des Buchs sind auf den Seiten 248 f. in tabellarischer Form einige vergleichende Planetendaten von Mars und Erde abgedruckt. Hervorheben möchte ich, dass der Mars mit 6.787 km Durchmesser fast doppelt so groß wie der Mond, aber nur etwa halb so groß wie die Erde ist. Die Anziehungskraft beträgt nur ca. zwei Fünftel derjenigen auf der Erde: „Ein Körper fällt auf dem Mars langsamer: In der ersten Sekunde nicht 9,81 m wie auf der Erde, sondern nur 3,7 m.“ (S. 114) Da sein Abstand zur Sonne ungefähr 1,4 mal größer ist als derjenige der Erde, empfängt der Mars ca. 40 % weniger Wärmeenergie als die Erde: „Selbst zur Mittagszeit am Äquator steigen seine Temperaturen selten über den Wasser-Gefrierpunkt. Bei Einbruch der Nacht fallen sie rapide, erreichen jedoch nicht die abgrundtiefen Nachtwerte des Mondes, weil das CO<sub>2</sub> seiner 'Luft' bei -123° C ausfriert und die Temperatur deshalb nicht weiter fallen kann: Sie stabilisiert sich.“ (S. 115)

## Kapitel 6: Menschen zum Mars – Visionen, Pläne und Konzepte

Puttkamer geht ausführlich auf die bisherigen Ideen bzw. Initiativen bezüglich bemannter Mars-Missionen ein. Die erste ernst zunehmende Konzeptstudie einer Mars-Expedition entstand bereits Ende der 1940er Jahre in Texas unter Leitung von Wernher von Braun und wurde 1952 unter dem Titel „Das Marsprojekt – Studie einer interplanetarischen Expedition“ veröffentlicht (1953 auch in einer amerikanischen Ausgabe). Das Erstaunliche an diesem Konzept war, dass es „[...] auf Technologien, Prozessen und Methoden [basierte], die damals entweder bereits existierten oder in ihrer notwendigen Entwicklung absehbar waren.“ (S. 137 f.) Das Ausmaß der Braun'schen Vision war jedoch gigantisch: die Expedition sollte mit zehn Raumschiffen und insgesamt 70 Mann Besatzung durchgeführt werden (s. S. 138 ff.)! Im Jahre 1956 veröffentlichte Braun deshalb eine abgespeckte Version des Projekts (s. S. 140). „Im Verlauf der 1960er-Jahre konzentrierte die NASA erhebliche analytische Forschungstätigkeit auf die Durchführbarkeit von Marsmissionen unter verschiedensten Voraussetzungen. Bis in die 1970er-Jahre kamen hierzu über 40 interne Untersuchungen und industrielle Studienaufträge zusammen, mit einem

Gesamtwert von über 4 Millionen Dollar (damaligen, also wesentlich höheren Geldwerts als heute).“ (S. 140 f.) Von der Douglas Aircraft Co. wurde für 1984 eine Reise zum Mars geplant, die insgesamt 880 Tage dauern sollte, einschließlich eines 40tägigen Mars-Aufenthalts. „Als minimal erforderliche Crewgröße ermittelte man eine Anzahl von sechs Personen, ausgehend von der Annahme, dass drei zur Landung im Marslander und drei weitere zur Rückführung des Raumschiffs im Fall eines Totalverlusts des Landers samt Crew benötigt würden.“ (S. 143) „1968 untersuchte die Firma Boeing ein integriertes interplanetares Raumschiffkonzept für den gesamten Zeitraum 1975-1990, wobei für Missionen der Oppositionsklasse 40 Tage Aufenthalt am Zielplanet, für die der Konjunktionssklasse 500 Tage vorgegeben wurden.“ (S. 144) Wernher von Braun hielt noch Ende der 1960er-Jahre eine bemannte Mars-Expedition mit Start im November 1981 und Rückkehr im August 1983 für realistisch (das Konzept wird auf den Seiten 145-148 kurz beschrieben). Allerdings änderten sich im Laufe der Amtszeit von US-Präsident Nixon die Prioritäten der USA, was zu Reduzierungen im Raumfahrtbudget und zu einer Konzentration auf die Entwicklung des Space Shuttle führte (s. S. 148). Im Jahre 1985 wurde von Präsident Ronald Reagan eine nationale Weltraumkommission eingesetzt im Laufe deren Arbeit der Mars wieder in den Focus rückte: „Für Mars entwarf der Bericht ein anspruchsvolles, optimistisches und zum Teil fantastisches Szenarium, in dessen Verlauf Menschen permanente Basis-Camps auf der neuen Welt errichten. Forschungsflüge von der Erde, die im Jahrzehnt nach 2000 beginnen und im Verlauf des frühen 21. Jh. zur Routine würden, stützen sich nach dieser Vision auf eine Reihe von Fracht- und Mannschaftstransportsystemen, zwischen denen Marsreisende mehrmals umsteigen würden, auf dem Weg von der irdischen Umschlag-Raumstation, dem Spaceport, zum Raumhafen im Marsorbit und von dort zur Landung.“ (S. 150 f.) Eine Präzisierung des Berichts erfolgte 1987 im „Menschen zum Mars“-Programm, wobei dort ausdrücklich betont wird, dass die Durchführung nicht unter Zeitdruck erfolgen sollte, damit sich „[...] dabei auch genügend Schwung entwickelt, um über die ersten bemannten Missionen hinaus lebensfähig zu bleiben.“ (S. 153) Im Jahre 1989 verkündete Präsident George H. W. Bush die Space Exploration Initiative (SEI), welche u.a. zur Entwicklung einer Strategie für die Errichtung permanenter Mond- und Marsaußenposten führte: Eine Platzierungsphase mit der Bereitstellung einfachster Wohnmöglichkeiten, einer Konsolidierungsphase mit der Errichtung eines örtlich montierbaren Habitats, um zusätzlichen Wohnraum zu schaffen, und eine Operationsphase im Rahmen derer eine routinemäßige Nutzung örtlich vorkommender Rohstoffe stattfindet sowie ein marsianischer Lebens- und Arbeitsstil mit minimaler Abhängigkeit von der Erde etabliert wird (s. S. 153 ff.).<sup>22</sup> Mit der Amtsübernahme von Präsident Bill Clinton verlor SEI Ende 1992 zunächst die politische Unterstützung, wurde aber innerhalb der NASA konzeptionell weiter verfolgt, so dass 1993 die erste Design Reference Mission (DRM) einer bemannten Mars-Expedition entstand. „Sie basierte auf einer Schwerträgerrakete mit 240 t Nutzlastkapazität zur erdnahen Umlaufbahn, 100 t zum Marsorbit und 60 t zur Marsoberfläche. [...] Die sechsköpfige Crew würde sich auf dem Mars schon frühzeitig auf ISRU (In-Situ Resource Utilization) stützen, um die zum Planeten zu transportierende Masse zu minimieren.“ (S. 157) Mit der Entdeckung von möglichen fossilen Mikroorganismen in einem Mars-Meteoriten im August 1996 (vgl. oben) rückte der Mars auf politischer Ebene erneut in den Vordergrund, so dass in den folgenden Jahren bis 2009 vier weitere Versionen einer DRM entstanden, wobei die letzte als Design Reference Architecture (DRA 5.0) veröffentlicht wurde<sup>23</sup> (s. S. 159 ff., s. a. die Abbildung

<sup>22</sup> Die Kosten wurden auf 400-500 Mrd. Dollar verteilt auf 30 Jahre geschätzt (s. S. 156).

<sup>23</sup> Die Version „Human Exploration of Mars Design Reference Architecture 5.0; Addendum #2“ mit Stand vom März 2014 kann von der Webseite der NASA unter der folgenden URL heruntergeladen werden: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/NASA-SP-2009-566-ADD2.pdf>. **Achtung:** Die

auf S. 157). „Hin- und Rückflug würden jeweils 180 Tage währen, plus 500 Tage Verweilzeit auf dem Roten Planeten.“ (S. 161) Geplant sind mindestens drei Missionen in den nächsten 20-25 Jahren, da die lange Entwicklungszeit und die hohen Kosten für eine einzelne Mission nicht zu rechtfertigen sind. „Drei aufeinanderfolgende Missionen würden rund zehn Jahre erfordern, einen Zeitraum, der ausreicht, um wesentliche Programmziele zu erfüllen und eine erhebliche Menge an Wissen und Erfahrung anzusammeln, die eine solide Grundlage für neue Zielsetzungen und verbesserte Architekturen zu deren Erreichung schaffen.“ (S. 161 f.) Unter Präsident Barack Obama kam es zunächst zu einem Rückgang in der politischen Gunst für eine geplante Mars-Expedition, was sich jedoch unter Druck des Kongresses bald wieder legte (s. S. 163 f.).<sup>24</sup>

Da die Erforschung des Weltraums grundsätzlich ein Thema von globalem Interesse ist, trafen sich – nicht zuletzt vor dem Hintergrund der guten Zusammenarbeit im Rahmen der internationalen Raumstation ISS – im Jahre 2006 die 14 weltweit leistungsstärksten Raumfahrtagenturen zu einer Reihe von Diskussionen mit dem Ziel einer internationalen Zusammenarbeit. Im Mai 2007 wurde das Dokument „The Global Exploration Strategy: The Framework for Coordination“ veröffentlicht und als Koordinationsgremium, die *International Space Exploration Coordination Group (ISECG)*<sup>25</sup> gegründet (s. S. 167). „Die ISECG hat bereits eine typische nichtbindende Rollenverteilung bei der technischen Vorbereitung der Gemeinschaftsmission aufgestellt.“ (S. 169, s. die Tabelle auf S. 169 f.) Eine weltweite Vorarbeit hat die russische Raumfahrtforschung mit ihrer simulierten Mars-Mission Mars500 geleistet. Für eine realistische Dauer von 520 Tagen „flogen“ drei Russen, ein Franzose, ein Italiener und ein Chinese in einem Raumschiffmodell zum Mars und wieder zurück, wobei in einem Sondermodul eine Landung und drei Außeneinsätze simuliert wurden (s. S. 170 f.).

„Multinationale Teilnahme ist zunehmend wünschenswert, ja unverzichtbar, nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern vor allem für die Förderung gegenseitigen Verständnisses, die Stärkung von Toleranz und die Schaffung angstfreier synergistischer Abhängigkeiten.“ (S. 173)

## Kapitel 7: Human-Maschinerie: Die Technologiebasis des Marsprojekts

Nachdem im vorherigen Kapitel die prinzipielle Machbarkeit bemannter Mars-Expeditionen aufgezeigt wurde, geht Puttkamer auf die Details ein, welche es zu berücksichtigen gilt. „Um die Mars Expedition in allen Phasen konkret durchführen und den Roten Planeten danach mit Menschen erschließen zu können, braucht man ein technologisches Rüstzeug, über das wir heute größtenteils noch nicht verfügen.“ (S. 174) Dabei ist die internationale Raumstation ISS eine unverzichtbare Vorstufe bei der „[...] Entwicklung und Erprobung zahlreicher für die Exploration benötigter Technologien unter realistischen Bedingungen.“ (S. 175) Über ihre Rolle als orbitales Forschungslabor hinaus wird sie in erweiterter Form außerdem als Transportknotenpunkt und Umschlaghafen fungieren (s. S. 175). Als schwierigste Hürde einer bemannten Mission zum Mars gilt die Sicherstellung der menschlichen Gesunderhaltung. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang z.B. der lange Aufenthalt in verringerter oder fehlender Schwerkraft<sup>26</sup>, der notwendige Schutz vor

---

pdf-Dokument hat knapp 600 Seiten und die Datei ist über 60 MB groß!

<sup>24</sup> „By the mid-2030s, I believe we can send humans to orbit Mars and return them safely to Earth. And a landing on Mars will follow.“ Aus einer Rede von Barack Obama am 15.04.2010 (Quelle: [http://www.nasa.gov/news/media/trans/obama\\_ksc\\_trans.html](http://www.nasa.gov/news/media/trans/obama_ksc_trans.html))

<sup>25</sup> Hier geht's zur Webseite der ISECG: <http://www.globalspaceexploration.org/>.

<sup>26</sup> Bei verringerter Schwerkraftbelastung können physiologische Veränderungen auftreten, wie Demineralisierung der Knochen, Muskelschwund und Schwächung des Herz-Kreislauf-Systems (s. S. 184). „Zu ihrer Bekämpfung haben die USA und Russland bisher hauptsächlich auf anstrengende



Weltraumstrahlung<sup>27</sup>, das Zusammenleben und die Zusammenarbeiten in einer Kleingruppe sowie die Zuverlässigkeit der Lebenserhaltungssysteme (s. S. 176 f.). Während bei kürzeren Expeditionen entsprechende Vorräte an Sauerstoff, Wasser und Nahrung mitgeführt werden, benötigt eine so lange Expedition, wie die Reise zum Mars, die Entwicklung geschlossener Kreisläufe zur Lebenserhaltung. Bereits heute gibt es Systeme zur Regenerierung von Sauerstoff und Wasser: „Wasser zum Trinken und zur Hygiene aus kondensierter Luftfeuchtigkeit, aus Urin und irdischem Nachschub, Sauerstoff durch Elektrolyse aus Wasser (H<sub>2</sub>O) und mit dem Sabatierprozess aus CO<sub>2</sub> und Wasserstoff, mit Methan CH<sub>4</sub> als (vorläufigem) Abfallprodukt. Das Marsraumschiff erfordert [jedoch] die Entwicklung eines Systems höherer Ordnung, für welches die Raumstationsanlagen eine Vorstufe bilden.“ (S. 178) Ein solches System „[...] muss befähigt sein, die Atemluft zu erneuern, das Wasser zu reinigen, ausreichende Nahrung zu liefern und zu speichern, Abfälle zu verarbeiten, Umweltzustände zu überwachen und Verunreinigungen zu beseitigen, Wärme und Feuchtigkeit zu kontrollieren sowie Brände zu melden und zu bekämpfen. Zu den weiteren Elementen eines Umweltkontroll- und Lebenserhaltungssystems gehören Haushaltsgeräte, Computer (Laptops), Bioinstrumente, Raumanzüge und tragbare Versorgungsaggregate.“ (S. 179)<sup>28</sup> Dabei können regenerative Systeme „[...] auf zwei verschiedenen Methoden beruhen: physikalisch-chemischen und bioregenerativen.“ (S. 181) Während physikalisch-chemische Vorgänge<sup>29</sup> einen mehr oder weniger hohen Energiebedarf haben, welcher durch Solaranlagen oder nukleare Kraftquellen gedeckt werden muss, erfolgt bei bioregenerativen Systemen der Einsatz von Organismen in „natürlicher“ Weise. Man kann zwei Kategorien unterscheiden: „Die eine beruht auf Fotosynthese, bei der Algen (etwa eine der zahlreichen Chlorella-Spezies) aus CO<sub>2</sub> Sauerstoff herstellen, die andere auf Chemosynthese, die mit Wasserstoffbakterien (z.B. *Hydrogenomonas eutropha*) und Elektrolyse arbeitet.“ (S. 182) Das Ziel ist die Herstellung künstlicher Biosphären, die ein vollständig geschlossenes Umweltsystem nachbilden: „Im Prinzip sind es Treibhaus-Systeme, bei denen menschliche, pflanzliche und Abfall-Kreisläufe perfekt im Gleichgewicht sind.“ (S. 183)<sup>30</sup>

und zeitraubende Bord-Fitnessprogramme zurückgegriffen.“ (S. 184) Um diese negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und Leistungsfähigkeit zu vermeiden, bieten sich zwei Möglichkeiten an: „1. Verkürzung der Hin- und Rückreisezeiten auf Wochen statt Monate durch Verwendung fortgeschrittener Antriebssysteme (schnelle Typ-I-Flugbahnen), 2. Erzeugung künstlicher Schwerkraft an Bord des Raumfahrzeugs durch Einbau einer Zentrifuge oder Drehung des gesamten Raumschiffs, etwa mittels eines an einem Raumseil ('Tether') befestigten Gegengewichts [...]“ (S. 185)

<sup>27</sup> Auf den Seiten 188-192 befasst sich Puttkamer ausführlich mit der Strahlungsproblematik. Die größte Gefahr geht von der Strahlung aus, welche infolge von Sonnenstürmen und Protuberanzen emittiert wird. Es müssen deshalb zum einen geeignete Schutzsysteme geschaffen, als auch die Vorhersage gefährlicher Sonneneruptionen verbessert werden. Dies gilt vor allem für die Abschirmung des Marsraumschiffs, aber auch für Schutzbunker in den Habitaten auf der Marsoberfläche, da die Planetenatmosphäre nur ca. die Hälfte der ankommenden Strahlung abhält.

<sup>28</sup> Dass geschlossene Systeme jedoch unabdingbar sind, zeigt sich an dem folgenden Beispiel: „Um [...] bei einer bemannten Mars Expedition eine Zehn-Mann-Crew drei Jahre lang mit allem Lebensnotwendigen zu versorgen, müsste ein Raumschiff mit offenem System Versorgungsgüter von 100000 kg Masse mitführen, die einschließlich Abfallspeicherung ein Volumen von rund 170 m<sup>3</sup> beanspruchen würden.“ (S. 180)

<sup>29</sup> „Die auf absehbare Zeit in erster Linie für die Rückgewinnung von O<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O infrage kommenden physikalisch-chemischen Verfahren gestatten prinzipiell auch Nahrungssynthese, Abfallrecycling und andere Kreisläufe, die das Erfordernis eines Nachschubs von der Erde erheblich einschränken können.“ (S. 182)

<sup>30</sup> „Da sich Leckverluste ins Vakuum wohl niemals ganz verhindern lassen, wird gelegentliche 'Nachfüllung' mit frischem O<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> allerdings unvermeidlich sein.“ (S. 183)

Wie komplex und technologisch anspruchsvoll die technologischen Herausforderungen an eine Mars-Expedition sind, wird dem Leser zum Ende des Kapitels vor Augen geführt. Zunächst gibt es Bedarf an einer großen Erde-Orbit-Trägerrakete, ohne welche das entsprechende Material nicht von der Erde in den Weltraum gebracht werden kann (s. S. 193 ff.). „Ein weiteres Schwerpunktgebiet, auf dem zahlreiche Systemalternativen erforscht worden sind, betrifft die Antriebstechniken für Raumschiffe außerhalb des Erdbereichs. Das vollständige Spektrum, angefangen von konventionellen all-chemischen Antrieben über eine Vielzahl nuklearer Systeme bis zu Sonnensegeln und Massebeschleunigern, die ihre Rückstoßmassen mit linearen Elektromagneten herausschießen, ist mit großer Gründlichkeit untersucht und auf ihre sämtlichen relativen Vor- und Nachteile analysiert worden.“ (S. 196) Als Ergebnis dieser Studien wird derzeit ein nuklearer Antrieb<sup>31</sup> in Kombination mit Aerobremung<sup>32</sup> favorisiert.

Von entscheidender Bedeutung ist ferner die Sicherstellung der Energieversorgung: „Ohne Energie lässt sich menschliches Leben im All nicht erhalten; ohne sie kann kein Bordsystem funktionieren und die ihm zugeteilten Aufgaben durchführen. [...] Je mehr davon verfügbar ist, desto mehr Arbeit kann verrichtet werden, desto flexibler ist die Gesamtmenge der menschlichen Tätigkeiten während der Mission und desto mehr Vorsorge kann für die Sicherheit der Besatzung getroffen werden.“ (S. 202) In diesem Zusammenhang steht die Weiterentwicklung fotovoltaischer (Umwandlung des Sonnenlichts) und solar-dynamischer (Umwandlung der solaren Wärmestrahlung) Systeme (s. S. 202 f.). „Nach der ersten Landung und während der anfänglichen Außenpostenerrichtung (drei bis sechs Personen) wird man sich bis zu einem Maximalwert von ~60 kWe voraussichtlich auf fotovoltaische Zellen (Gallium-Arsenid/Germanium) stützen, mit chemischen Batterien und regenerative Energiezellen für die Nachtperioden. [...] In späteren Phasen wird eine ständig bemannte Basis mit einem Energiebedarf von vielen 100 kWe bis 1,5 MWe nur noch von Nuklearreaktorsystemen versorgt werden können. [...] Bisher am weitesten fortgeschritten ist das (seit einiger Zeit zurückgestellte) Entwicklungsprogramm SP-100 bei der NASA für einen mit Uraniumnitrid (UN) im 'schnellen Spektrum' arbeitenden Weltraumreaktor. Die von ihm erzeugte Wärme erhitzt flüssiges Lithiummetall, das zur Umwandlung der Wärme in Elektrizität durch einen thermoelektrischen Konverter zirkuliert, gefördert von einer thermoelektrisch betriebenen magnetischen Pumpe.“ (S. 203 f.)

Ein weiterer Aspekt ist die Informationsübermittlung über große Entfernungen, denn die Übertragungszeit zwischen Erde und Mars kann bis zu 40 Minuten (Hin- und Rückweg) betragen. Da „[...] die Leistung des Radioverkehrs aufgrund des langen Funkweges von dem Verhältnis zwischen Signalstärke und Störpegel abhängig [...] ist, sind] zum optimalen Abgleich zwischen Betriebsfrequenz, Antennengröße, Sendestärke des Raumfahrzeugs, Größe der Bodenantenne und Systemtemperatur [...] sorgfältige Vorstudien erforderlich.“ (S. 207)

Zum Schluss wird die lokale Rohstoffnutzung thematisiert, um durch einen maximalen Grad an Autonomie die Menge des von Erde nachzuschubenden Materials zu reduzieren.

---

Die Schwierigkeit, solch autarke Systeme zu betreiben, sieht man bei Forschungsprojekten wie etwa der Biosphäre 2 in Arizona, wo immer wieder von außen eingegriffen werden musste, um die Lebensfähigkeit zu erhalten. Siehe z.B. [https://de.wikipedia.org/wiki/Biosph%C3%A4re\\_2](https://de.wikipedia.org/wiki/Biosph%C3%A4re_2)

<sup>31</sup> Bei nuklear-chemischen Triebwerken erhitzt die mittels Atomenergie erzeugte Wärme ein Treibmedium (Wasserstoff), welches dann rückstoßerzeugend ausgetrieben wird (s. S. 197). In der Überlegung befinden sich auch nuklear-elektrische Triebwerke, die allerdings auf absehbare Zeit noch nicht über die erforderliche Leistung für kurze Reisezeiten verfügen (s. S. 198 ff.).

<sup>32</sup> „Diese Verfahren, bei denen zur Kontrolle der Flugbahn eines Raumfahrzeugs, d.h. zu seiner Abbremsung und Richtungsänderung, anstelle kostspieliger Treibstoffe und Triebwerke aerodynamische Kräfte in der Atmosphäre eines Planeten benützt werden, werden deshalb [...] als Schlüsseltechnologie betrachtet.“ (S. 200)

Beispielhaft sei das Vorkommen von Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff in der Atmosphäre sowie von Wassereis an den Polen bzw. Grundeis im Boden genannt (s. S. 207). Die Luftherstellung könnte in Treibhäusern durch pflanzliche Fotosynthese erfolgen und Puttkamer weist ebenfalls beispielhaft auf einige Möglichkeiten zur Herstellung von nützlichen chemischen Verbindungen hin (s. S. 208). Die lokale Rohstoffnutzung setzt „[...] erhebliche Technologieentwicklungen in Stoffprozessierung, Mineralschürfung und Veredelung voraus. Hierbei wird auch die weiträumige Anwendung von Robotik in Form von Bergwerk- und Beförderungsgerät und von Automation zur Materialverarbeitung von kritischer Bedeutung sein, weil die menschliche Arbeitskraft auf dem Mars für lange Zeit äußerst beschränkt bleiben wird.“ (S. 209)

## Kapitel 8: Mars als Chance der Menschheit – warum eigentlich?

In Anbetracht der vielfältigen Probleme (Hunger, Armut, Krankheiten, Klimawandel, Umweltverschmutzung etc.) auf unserer Erde wird immer wieder die Frage nach dem Sinn und Zweck der Raumfahrt im Allgemeinen und der bemannten Raumfahrt im Besonderen gestellt. Puttkamer vertritt die Ansicht, „[...] dass der bemannte Raumflug in Wirklichkeit ein kultureller Wachstumsprozess ist, der im Kurzfristigen als techno-utilitärer Vorreiter von großem Wissens- und Wirtschaftspotential wirkt. Auf längere Sicht liefert er darüber hinaus der ihn unternehmenden Volksgemeinschaft durch seine Abenteuer- und Explorationsethik neue Wachstumsanstöße zu einem Begriffs- und Bewusstseinswandel, dessen humanistische Potenziale allein schon den menschlichen Schritt ins All sinnvoll machen: dadurch, dass er der Frage nach dem Warum allen Seins und unserer Existenz neue Dimensionen und tiefere Bedeutung verleihen kann.“ (S. 213)

Warum reicht es aber nicht einfach aus, den Mars mit Robotern zu erforschen? Wie bereits oben erwähnt, brauchen die Funksignale je nach Entfernung der Erde zum Mars (55-395 Millionen km) bis zu 40 Minuten für die Strecke zum Mars und zurück. „Ein Teleoperator auf der Erde müsste eine halbe Stunde oder länger warten, um festzustellen, ob ein an ein Forschungsfahrzeug auf dem Mars gefunktes Radiokommando die gewünschte Wirkung gehabt hat.“ (S. 214) Daher ist die Exploration durch Menschen vor Ort wesentlich wirkungsvoller. Darüber hinaus ist eine bemannte Raumfahrt notwendig, wenn man von dem Ziel der ständigen Bewohnung und Nutzung des Sonnensystems ausgeht (s. S. 214). Zunächst einmal geht es beim Mars um die Erforschung der neuen Welt – insbesondere um die Suche nach heutigem oder einstmaligem Leben (s. S. 218). Die weitere Perspektive besteht in einer ständigen Besiedlung des Roten Planeten (auf die damit zusammenhängenden Probleme wurde im vorherigen Kapitel eingegangen).<sup>33</sup> Für eine ganz ferne Zukunft wird sogar die ökosynthetische Umwandlung der lebensfeindlichen Marsumwelt in eine mehr irdischen Verhältnissen entsprechende Umwelt in Erwägung gezogen (sogenanntes Terraformen). „Schon eine frühe NASA-Studie von 1976 über die Bewohnbarkeit des Mars fand 'keine fundamentale, unüberwindliche Barriere' hinsichtlich der Möglichkeit, dass Mars einst von terrestrischem Leben bewohnt werden kann. Mit einer Kombination von genetisch manipulierten, 'maßgeschneiderten' anaerobischen blaugrünen Algen zur Fotosynthese von Sauerstoff (Flechten erwiesen sich als von zu langsamem Wachstum) und Klimaänderung durch verstärkte Verdampfung der polaren Wassereiskappen, erzielt mit Albedo-reduzierenden Schwärzungsmitteln (und dadurch erhöhter Sonnenwirkung), könnte die Menschheit im Verlauf mehrerer Jahrtausende auf dem Mars eine atembare Atmosphäre und ein angenehmes Klima erschaffen, komplett mit

---

<sup>33</sup> An dieser Stelle weist Puttkamer darauf hin, dass die momentan noch im fortgeschrittenen Forschungsstadium stehende Kernfusionstechnologie auf dem Mars eine große Rolle spielen könnte, weil der Planet vermutlich über große Vorkommen des für den Fusionsbetrieb notwendigen Grundstoffs Deuterium (Schwerwasserstoff) verfügt (s. S. 220).

Ozonschild gegen UV-Strahlen.“ (S. 222, ein entsprechendes Ablaufschema ist auf S. 223 abgedruckt) Das nächste Ziel wird dann vom Marsstützpunkt aus eine Erforschung und mögliche Exploration des Asteroidengürtels und des Jupiters sein (s. S. 224).

„Jede Phase wird durch ihren eigenen Menschentyp verkörpert. Nachdem Pioniere, raumfahrende Ingenieure zumeist, ihr eigenes Verweilen auf dem neuen Brückenkopf abgesichert haben, geht es für sie in erster Linie darum, den nachfolgenden Wissenschaftlern den Weg zu bereiten, damit sie diese faszinierende neue Welt begreifen, untersuchen, verstehen und sich vertraut machen können. Denn nur so entsteht die Wissensbasis, die dem späteren Siedler die Fußfassung, Anpassung an und Einstellung auf eine zum Teil harsche, fordernde Umwelt und die schrittweise Errichtung einer Heimstatt ermöglicht.“ (S. 210)

Die politisch-wirtschaftliche Dimension und insbesondere die damit in Zusammenhang stehende Finanzierungsfrage wird auf den Seiten 224-237 ausführlich erörtert. „Das Problem liegt freilich nicht so sehr bei dem für Initiierung und Anfangsfinanzierung des Programms erforderlichen Kapital und der Wirtschaftsstärke des Landes, sondern eher in der nachhaltigen Aufrechterhaltung der sich danach über Jahrzehnte erstreckenden ständigen Finanzierung des gigantischen Unterfangens durch ein demokratisches System, das mit Sicherheit im Lauf der Zeit öfters seine nationalen und internationalen Prioritäten wechselt. Die erforderliche langfristige Stabilisierung bei solchen 'Umpolungen' lässt sich nur durch weltweite Beteiligung erzielen. Es kann deshalb sein, dass die bemannte Marserschließung das erste Raumfahrtvorhaben ist, das nur aufgrund internationaler Kostenbeteiligung nachhaltig realisierbar wird.“ (S. 230) Auf den Seiten 238-243 folgt eine vor allem historische, philosophisch-psychologische und ethische Betrachtungsweise der Weltraumforschung. „Wer den Weltraum erlebt hat, gewinnt an Verantwortungsgefühl für die Erde und erkennt die zwingende Notwendigkeit, dieses 'Raumschiff' intakt zu halten.“ (S. 241)

Anmerkung:

Zum Thema der Kolonisierung des Mars und Terraformen lohnt sich ein Blick in das Buch „Das neue Paradies; Terraforming: die letzte Chance für die Menschheit“ (München: Herbig, 1994, 252 Seiten) des Sachbuchautors Johannes von Buttlar.