

Seminarfacharbeit

Die Zukunftsperspektiven des Weltraumtourismus am Beispiel des Mars



Seminarfacharbeit

im Seminarfach „(Fern-)Tourismus – Fluch und/oder Segen?“

am

Gymnasium Bremervörde

Tetjus-Tügel-Straße 9

27432 Bremervörde

eingereicht bei

Frau Sina Schmidt

vorgelegt von

Lukas Wülpern

Glinstedt, 13.03.2018

Abgabetermin: 14.03.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Gesundheitlich-technische Aspekte	2
2.1	Gravitation	2
2.1.1	Risiken der Schwerelosigkeit	2
2.1.2	Lösungsansatz	3
2.1.3	Risiken der Marsgravitation	4
2.2	Kosmische Strahlung	4
2.2.1	Gesundheitsrisiken	4
2.2.2	Lösungsansatz	5
2.3	Psychologische Komplikationen.....	7
2.3.1	Ursachen	7
2.3.2	Lösungsansatz	8
2.4	Marsatmosphäre.....	9
2.4.1	Risiken der Landung.....	9
2.4.2	Lösungsansatz	10
2.4.3	Risiken der Atmosphäre	10
2.4.4	Lösungsansatz	11
2.5	Marsboden	12
2.5.1	Gesundheitsrisiken	12
2.5.2	Lösungsansatz	13
3	Ökonomische Aspekte	13
3.1	Grundlagen.....	14
3.2	Wiederverwendbarkeit	14
3.3	Raumschiffmasse	15
3.4	Transportsystem.....	15
3.5	Treibstoff	16
4	Prognosen	17
4.1	Interesse an Marsmissionen	17
4.2	Technologieprognosen	17
4.3	Interesse am Marstourismus.....	18
5	Schluss.....	19
5.1	Ausblick	19
5.2	Fazit	20
	Literaturverzeichnis.....	
	Anhang	
	Anlagen	

Abkürzungsverzeichnis

BFR	-	Big Falcon Rocket
ca.	-	Circa
CEO	-	Chief Executive Officer
CN&G	-	Controll, Navigation and Guidance
eV	-	Elektronvolt
GW	-	Gigawatt
GPS	-	Global Positioning System
°C	-	Grad Celsius
HI SEAS	-	Hawaii Space Exploration Analog and Simulation
ISS	-	International Space Station
IST	-	Interplanetary Transport System
kN	-	Kilonewton
L1	-	Lagrange Punkt 1
LEO	-	Low-Earth-Orbit
mbar	-	Millibar
mg	-	Milligramm
NASA	-	National Aeronautics and Space Administration
TRN	-	Terrain Relative Navigation
TW	-	Terawatt
T	-	Tesla
VR	-	Virtual Reality
cGy	-	Zentigrey
z. B.	-	Zum Beispiel

1 Einleitung

Nach einer langen Phase der Stagnation der Raumfahrt, seit im Dezember 1972 die letzte bemannte Mondmission stattfand¹, hat die Industrie der Raumfahrt in den letzten Jahren wieder eine Aufwärtsentwicklung erfahren. Die global exponentielle technologische Progression stellt jedoch eine Krux bezüglich künftiger Finanzierbarkeit wissenschaftlicher Weltraummissionen dar. Aufgrund zunehmender Komplexität technischer Gerätschaften, ergibt sich möglicherweise Grund zur Sorge, dass die den wissenschaftlichen Organisationen zugestellten finanziellen Mittel dieser bald nicht länger gerecht werden. Vorgenannte Problematik könnte potenziell in einer Finanzierungsbarriere münden, die jedoch durch die Ökonomisierung von Weltraummissionen verhindert werden kann.² Neben dem Abbau von Ressourcen aus Asteroiden können beispielsweise touristische Weltraumprojekte realisiert werden, die mithilfe wettbewerblicher Konkurrenzen zur Reduktion der Preise suborbitaler, planetarer sowie interplanetarer Flüge führen würden. In Zukunft könnte die touristische Branche interplanetarer Reisen, besonders zum Mars, eine neue Kategorie der Freizeitwirtschaft hervorbringen, weshalb dieser der zentrale Gegenstand folgender Facharbeit werden soll. Es soll unter Betrachtung signifikanter Faktoren erörtert werden, ob und wann Mars-tourismus realisierbar sein wird. Eine Ursache für künftige Fortschritte auf dem Gebiet interplanetarer Raumfahrt liegt im Bestreben der Erhaltung der Menschheit in Unabhängigkeit zur Erde. Es liegt im Bereich des Möglichen, dass derzeitige Investitionen in Missionen zum Mars zu einem neuen Wettlauf ins All führen können, womit Tourismus über die Erde hinaus in greifbare Nähe rücken würde.

Vorab sei genannt, dass Marstourismus bislang nicht wissenschaftlich analysiert wurde und einer Ökonomisierung der Raumfahrt momentan noch enorme Gefahren und Hindernisse im Weg stehen, welche aufgrund ihrer Auswirkungen auf das gesellschaftliche Interesse und die die Realisierbarkeit bezügliche Fragestellung dieser Arbeit, den Großteil meiner Analyse beanspruchen werden. Die im dritten Abschnitt der Facharbeit erarbeiteten Prognosen werden auf meiner Auswertung der Lösungsansätze zu den im Folgenden beschriebenen gesundheitlich-technischen Herausforderungen basieren, welche die niedrige Gravitation, die Strahlenbelastung, psychologische Probleme, die Marsatmosphäre und den Marsboden anbelangen. Hierzu werden vermehrt Studien der NASA zurate gezogen. Außerdem werden im zweiten Abschnitt ökonomische Faktoren, wie die Wiederverwendbarkeit der Raketen, Transportgutkosten, das Transportsystem

¹ NASA (1973): Apollo 17 Mission Report. Houston, S. 1

² Vgl. Crawford, Ian A. / Elvis, Martin / Carpenter, James (2016): The Use of Extraterrestrial Resources to Facilitate Space Science and Exploration. arXiv:1605.07691, S.1.

und Treibstoffkosten betrachtet, die sich größtenteils an dem fortgeschrittenen Raumfahrtunternehmen SpaceX orientieren. Die Auswertung der Prognosen soll einen Einblick in die Zukunft des Marstourismus ermöglichen und dessen Ausbaufähigkeit in den nächsten Jahrzehnten aufzeigen. Ethische Aspekte des Welt-
raum- und Marstourismus werden in der Facharbeit nicht beurteilt.

2 Gesundheitlich-technische Aspekte

Die Salubrität der Astronauten ist der potenziell kritischste Faktor einer Langzeitweltraummission, da sich viele Gefahren und Probleme, aus der lebensfeindlichen Weltraumumgebung resultierend, manifestieren können. Durch neuartige Verfahren, Ideen und Technologien können die im nächsten Abschnitt erörterten Probleme gemeinhin gelöst werden.

2.1 Gravitation

Irdisches Leben hat sich evolutionär an die Rahmenbedingungen des Planeten Erde akklimatisiert. Eine solche Rahmenbedingung ist die Masse der Erde, die eine für den Menschen adäquate Gravitation induziert. Raumschiffe und andere Himmelskörper variieren in ihrer Gravitation, was zu bestimmten Problemen für den menschlichen Körper führen kann.

2.1.1 Risiken der Schwerelosigkeit

Es wurden bereits viele Studien bezüglich negativer Konsequenzen von Schwerelosigkeit auf den menschlichen Körper durchgeführt, die ergaben, dass, vermutlich durch ein Ungleichgewicht der Produktion von Osteoblasten³ und Osteoklasten⁴ verursacht, in Schwerelosigkeit Knochenschwund auftritt⁵. In den sogenannten Antigravitationsmuskeln, die beispielsweise in der Wadenmuskulatur, der Oberschenkelmuskulatur, im Rücken oder Nacken vorkommen, tritt Muskelatrophie auf, die nur durch vermehrtes Muskeltraining und eine angemessene Diät bekämpft werden kann⁶. Ein weiteres Phänomen, das nach einer Studie für die NASA auf Langzeitflügen bei 48% der Astronauten der ISS festgestellt wurde, ist die Abflachung des Augapfels sowie die Komprimierung optischer Nerven durch einen hohen Hirnwasserdruck, der angesichts der bei Schwerelosigkeit hervorgerufenen Umverteilung der Flüssigkeiten im Körper entsteht und Kopf-

³ Zellen zur Produktion von Knochengewebe.

⁴ Zellen zur Resorption von Knochengewebe.

⁵ Vgl. Blaber, Elizabeth A. et al. (2013): Microgravity Induces Pelvic Bone Loss through Osteoclastic Activity, Osteocytic Osteolysis, and Osteoblastic Cell Cycle Inhibition by CDKN1a/p21.

⁶ Vgl. Lyndon B. Johnson Space Center (2013): Muscle Atrophy. Houston, S. 1.

schmerzen sowie Nasenverstopfung verursachen kann^{7, 8, 9}. Die Körpertemperatur wächst in Schwerelosigkeit bei Bewegung stärker an, als auf der Erde¹⁰. Außerdem ändert sich die Immunabwehr des Körpers bei Mikrogravitation, weshalb einige Aspekte geschwächt, während andere aktiver als zuvor sind, was unter anderem zu Hypersensitivität führen kann¹¹. So wurde z. B. nachgewiesen, dass sich das Varizella-Zoster-Virus, welches Windpocken auslösen kann, in Mikrogravitation reaktiviert^{12, 13}.

2.1.2 Lösungsansatz

Zur Bekämpfung bei Schwerelosigkeit auftretender Krankheitssymptome ist die Erzeugung künstlicher Gravitation eine elegante Lösung. Die allgemeine Relativitätstheorie postulierte Anfang des 20. Jahrhunderts, dass Gravitation und Beschleunigung äquivalent sind. Folglich ist Gravitation durch Beschleunigung, wie einer Rotationsbewegung, die eine Zentrifugalkraft bewirkt, zu simulieren. Es wurden verschiedene Entwürfe vorgeschlagen, ein Raumschiff mit künstlicher Gravitation durch Rotation zu konstruieren. Schon heute beweisen Zentrifugen die Produzierbarkeit rotierend zylindrischer¹⁴ oder toroidaler¹⁵ Raumschiffe. Eine Implementation, die von der NASA 2011 beschrieben wurde, ist Nautilus-X, ein Raumschiff mit integriertem rotierenden Torus aus aufblasbaren Wohnräumen, die von Bigelow Aerospace vorgeschlagen wurden¹⁶. Eine ähnliche Technologie könnte in Raumschiffen auf dem Weg zum Mars zur Verminderung biologischer Gebrechlichkeit installiert werden. Es ist jedoch anzumerken, dass dieser Bau erhebliche Auswirkungen auf den Preis eines Marsfluges hätte, die den kommerziellen Sektor einschränken könnten.

⁷ Vgl. NASA Johnson (2015): StationLife: Eye-Opening Science. [YouTube-Video], veröffentlicht am 02.06.2015, Min. 8-15.

⁸ Vgl. Mader, Thomas H. et al. (2011): Optic Disc Edema, Globe Flattening, Choroidal Folds, and Hyperopic Shifts Observed in Astronauts after Long-duration Space Flight. In: Ophthalmology, Volume 118, Issue 10, S. 2059.

⁹ Vgl. Parazynski, S. E. et al. (1991): Transcapillary Fluid Shifts in Head and Neck Tissues During and After Simulated Microgravity. Moffett Field, California: Ames Research Center, S. 1f.

¹⁰ Vgl. Stahn, Alexander C. et al. (2017): Increased core body temperature in astronauts during long-duration space missions.

¹¹ Vgl. NASA Johnson (2015): How the Human Body's Immune System Responds in Microgravity. [YouTube-Video], veröffentlicht am 24.09.2015.

¹² Vgl. Cohrs, Randall J. et al. (2010): Asymptomatic Reactivation and Shed of Infectious Varicella Zoster Virus in Astronauts.

¹³ NASA Johnson (2015): How the Human Body's Immune System Responds in Microgravity. [YouTube-Video], veröffentlicht am 24.09.2015.

¹⁴ Vgl. O'Neill, Gerard K. (1974): The Colonization of Space. In: Physics Today, Volume 27, Number 9, S. 33-40.

¹⁵ Vgl. NASA (1977): Space Settlement. A Design Study. Washington, D.C., S. 25f.

¹⁶ Vgl. Messina, John (2011): NASA's Nautilus-X: Reusable deep manned spacecraft.

2.1.3 Risiken der Marsgravitation

Ebenso ist es vorstellbar, dass die niedrige Gravitation des Mars, die etwa 38% der Erdgravitation entspricht¹⁷, gesundheitliche Probleme hervorruft. 2001 entstand das Projekt „Mars Gravity Biosatellite“, welches 2009 aus Finanzierungsgründen endete¹⁸. Dabei sollten 15 Mäuse für 35 Tage in einem Raumschiff bei einer künstlichen Gravitationskraft, die der des Mars entsprochen hätte, in die Erdumlaufbahn geschickt werden¹⁹. Da dieses Experiment nicht durchgeführt wurde, ist weiterhin disputabel, ob die Gravitation des Mars genügt, um die Beschwerden, die Schwerelosigkeit im menschlichen Körper verursacht, zu verhindern. Dennoch lassen sich mathematisch Vorhersagen zur Entwicklung des Menschen auf dem Mars eruieren. Einen Vergleich der Wirkung irdischer und vom Mars verursachter Gravitation auf die Wachstumsgeschwindigkeit des Menschen²⁰ zeigt anschaulich, dass niedrigere Gravitation das Wachstum von auf dem Mars aufwachsenden Personen stark einschränken würde, was potenziell aber auch gesundheitlich positive Folgen, wie einen geringeren Energieverbrauch des Körpers und verminderte Nahrungsbedürfnisse, haben kann²¹.

2.2 Kosmische Strahlung

Eine weitere Problematik stellt kosmische Strahlung dar, welche durch ihre hohe kinetische Energie die Astronauten in ihren Raumschiffen sowie auf der Marsoberfläche erreicht²². Die Primärstrahlung²³, der Astronauten ausgesetzt sein werden, besteht Umrechnungen von Angaben Kolanoskis zufolge aus hochenergetischer Alphastrahlung (~12%), Protonen (~85%) und Elektronen (~2%), schweren Ionen (~1%) sowie geringen Mengen Antimaterie²⁴.

2.2.1 Gesundheitsrisiken

Es lassen sich aufgrund der qualitativen Differenz des Strahlenspektrums keine präzisen Projektionen radioaktiver Strahlung auf kosmische Strahlung anstellen, doch mit großer Sicherheit führen auch Sonneneruptionen und kosmische Strah-

¹⁷ Vgl. Canessa, Enrique (2009): Fundamentals of Human Physical Growth on Mars. In: Badescu, Viorel (Ed.): Mars. Prospective Energy and Material Resources. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S. 587f.

¹⁸ Vgl. Wagner, Erika (2009): The Mars Gravity Biosatellite Program Is Closing Down.

¹⁹ Vgl. Korzun, Ashley M. (2007): Mars Gravity Biosatellite. Engineering, Science, and Education. Hyderabad: International Astronautical Congress, S. 1.

²⁰ Anhang I: Wachstumsgeschwindigkeit auf Erde und Mars.

²¹ Canessa, 2009, S. 597.

²² Anhang II: Estimates of Radiation Exposure.

²³ Komponente der kosmischen Strahlung, die noch das Spektrum der sie erzeugenden Energiequelle besitzt und nicht bereits mit Materie wechselgewirkt hat.

²⁴ Vgl. Kolanoski, Hermann (2010): Einführung in die Astroteilchenphysik. Berlin: Humboldt-Universität, S. 51f.

lung zur sogenannten Strahlenkrankheit, die Krebs zur Folge haben kann^{25, 26}. Mit ihrer überaus hohen kinetischen Energie (bis zu 10^{20} eV)²⁷ kollidiert kosmische Strahlung in sogenannten „Spallationsereignissen“²⁸ mit Zellbestandteilen, die hierdurch schwere Schäden erleiden und durch welche unter anderem Desoxyribonukleinsäuren oder Proteine ionisiert werden können²⁹. Bei Mäusen führte eine Bestrahlung mit für den Weltraum relevanten Strahlen zu kardiovaskulären Dysfunktionen in Endothelzellen³⁰, was die Sterbewahrscheinlichkeit durch eine Herz-Kreislauf-Erkrankung erhöht. Anhand ausgewerteter Daten von Astronauten, die entweder eine lunare Reise oder keine Weltraumflüge abgeschlossen haben, wurde eine 4- bis 5-fach höhere Sterbewahrscheinlichkeit an Herz-Kreislauf-Erkrankungen für Astronauten registriert, die auf dem Mond waren³¹. Zudem ist bekannt, dass kosmische Strahlung und insbesondere reaktive Eisenkerne das Nervensystem schädigen, Tumore fördern und weitere degenerative Gewebekrankheiten verursachen können^{32, 33}. So wurde an Mäusen, die mit 100 cGy bestrahlt wurden, eine Beeinträchtigung des Gedächtnisses und Lernens sowie die Ausbildung von Amyloiden, die an der Alzheimer Krankheit beteiligt sind, festgestellt³⁴.

2.2.2 Lösungsansatz

Aus den die Wechselwirkung von Atomkernen und Elektronen mit schweren Ionen beschreibenden Bethe-Bloch und Bradt-Peters Gleichungen

$$S = \frac{4\pi Z_p^2 p Z_T N_A e^4}{A_T m \beta^2 c^2} \cdot \left[\ln \left(\frac{2mc^2 \beta^2 \gamma^2}{I} \right) - \beta^2 - \frac{C(\beta)}{Z_T} + Z_p L_1(\beta) + Z_p^2 L_2(\beta) + L_3(\beta) \right] \text{ und}$$

$$\sigma = \pi r_0^2 c_1(E) (A_p^{1/3} + A_T^{1/3} - c_2(E))^2$$

folgend, ist die Abschirmung eines Materials antiproportional zur Atommasse, woraus eine Favorisierung von Wasserstoff als Schutzmaterial vor kosmischer

²⁵ Vgl. Durante, Marco (2014): Space radiation protection. Destination Mars. In: Life Sciences in Space Research, Volume, S. 2.

²⁶ Vgl. Chancellor, Jeffrey C. / Scott, Graham B. I. / Sutton, Jeffrey P. (2014): Space Radiation: The Number One Risk to Astronaut Health beyond Low Earth Orbit.

²⁷ Vgl. Müller, Andreas (2014): Kosmische Strahlung.

²⁸ Tschachojan, Viktoria (2014): Strahlungsinduzierte Mukositis als Risiko der Raumfahrt: Modelluntersuchungen an Röntgen- und Schwerionen-bestrahlten organotypischen Mundschleimhaut-Modellen. Dissertation Mainz, Johannes-Gutenberg-Universität, S. 3.

²⁹ Vgl. ebd., a.a.O.

³⁰ Innenseite von Blutgefäßen bedeckende Zellen.

³¹ Vgl. Delp, Michael D. et al. (2016) Apollo Lunar Astronauts Show Higher Cardiovascular Disease Mortality: Possible Deep Space Radiation Effects on the Vascular Endothelium.

³² Vgl. Winter, Marcus (2007): Zelluläre und molekularbiologische Grundlagen der vorzeitigen Alterung humaner Fibroblasten nach Bestrahlung mit Röntgenstrahlen und Kohlenstoff-Ionen. Dissertation Darmstadt, Universität, S. 25.

³³ Vgl. Chancellor et al., 2014.

³⁴ Vgl. Cherry, Jonathan D. et al. (2012): Galactic Cosmic Radiation Leads to Cognitive Impairment and Increased Aβ Plaque Accumulation in a Mouse Model of Alzheimer's Disease.

Strahlung resultiert, der autonom jedoch nicht die nötige Integrität bietet. Es zeigt sich allerdings allgemein, dass leichte Materialien für den Strahlenschutz benötigt werden. Aus diesem Grund nutzt die NASA bereits neben Aluminium Polyethylen-Platten in der ISS.³⁵ Künftig soll weitere Forschung im Bereich der Wasserstoffspeicherung in Kohlenstoff-Nanofasern oder Lithiumhydrid betrieben werden. Sehr vielversprechend sind Kohlenstoffnanoröhren, deren Bindungsenergie für Wasserstoff jedoch von hydrogenierten Nanoröhren aus Bornitrid übertroffen wird³⁶. Diese scheinen superiore mechanische und thermische Eigenschaften zu Polyethylen zu besitzen, weshalb die NASA künftig voraussichtlich Bornitrid-Nanoröhren zum Schutz ihrer Raumschiffe verwenden wird³⁷. Eine mechanosynthetisch³⁸ basierte Herstellung wird von einigen Wissenschaftlern im Kontrast zur aktuellen chemischen Synthese von Nanomaterialien angestrebt, wodurch Präzision, Kosten und Herstellungsdauer optimiert würden³⁹. Eine andere Strategie, die Strahlenbelastung im All zu verringern, ist die Reduzierung der Flugdauer. Auf der ISS 2017 Konferenz erwähnte Elon Musk, der CEO von SpaceX, er hätte vor, in wenigen Monaten den Mars zu erreichen⁴⁰. Die BFR von SpaceX benötigt durchschnittlich eine Reisedauer von 115 Tagen zum Mars⁴¹. Durch neue Antriebsarten, die sich jedoch erst im Anfangsstadium befinden, könnten weitaus kürzere Reisen möglich werden, die nicht nur die Strahlenbelastung, sondern zusätzlich die Auswirkungen der Schwerelosigkeit und Isolation mindern würden. Eine große Hoffnung sind ähnlich wie Solarsegel⁴² funktionierende, allerdings durch Photonen⁴³, auf der Erde stationierter Laser befeuerte Laser-Antriebe⁴⁴. Die Kraft eines Lasers wird bei nicht-relativistischen Geschwindigkeiten bestimmt durch $F = \frac{P_0(1+\varepsilon_r)}{c}$ ⁴⁵, wobei P_0 die Leistung des Lasers, ε_r die Seilreflektion und c die Lichtgeschwindigkeit beschreibt. Auch wenn diese Methode Raumschiffe bis auf 26 % der Lichtgeschwindigkeit antreiben kann⁴⁶, muss sie vorerst getestet

³⁵ Vgl. Durante, 2014, S. 4f.

³⁶ Vgl. NASA (2012): Radiation Shielding Materials Containing Hydrogen, Boron, and Nitrogen: Systematic Computational and Experimental Study - Phase I. Hampton, S. 11.

³⁷ Vgl. NASA, 2012, S. 15.

³⁸ Mechanische Positionierung von Atomen.

³⁹ Vgl. Freitas Jr., Robert A. / Merkle, Ralph C. (2018): Nanofactory Collaboration.

⁴⁰ Vgl. Cool Videos (2017): „Elon Musk We can Get to Mars in 3 Months“. [YouTube-Video], veröffentlicht am 03.08.2017, Min. 1-2

⁴¹ Anhang III: Raumschiffkapazität mit vollen Tanks.

⁴² Von Sonnenstrahlungsdruck angetriebene Segel zur Schubgenerierung bei im Weltall befindlichen Raumschiffen.

⁴³ Teilchen zur Vermittlung des Elektromagnetismus.

⁴⁴ Vgl. Macdonald, Fiona (2016): NASA Researchers Are Working on a Laser Propulsion System That Could Get to Mars in 3 Days.

⁴⁵ Vgl. Lubin, Philip (2015): A Roadmap to Interstellar Flight. Santa Barbara: Physics Department, S. 11.

⁴⁶ Vgl. Lubin, 2015, S. 8.

werden und wird wahrscheinlich in den nächsten 5 bis 30 Jahren in größeren Projekten realisiert⁴⁷. Man kann davon ausgehen, dass Laser-Antriebe noch etwa 50 bis 70 Jahre weiterentwickelt werden müssen, bis Energien (von etwa 10 GW bis 1 TW), die Raketen zum Mars befördern können, generiert werden⁴⁸. Mit solchen kann bei gegebener Leistung des Lasers eine Reise zum Mars in lediglich 3 Tagen absolviert werden⁴⁹.

Differentielle Ansätze triebwerkstechnischer Natur stellen beispielsweise Nuklearantriebe, Fusionsantriebe oder Antimaterietriebwerke bereit⁵⁰. Diese Technologien werden voraussichtlich allerdings noch länger erforscht werden müssen.

2.3 Psychologische Komplikationen

Psychologische Komplikationen treten in Langzeitmissionen unter Stress relativ leicht auf. Crew-Mitglieder einer Marsmission müssen daher auch unter Langzeitstress arbeiten können, der beispielsweise durch veränderte Schlafrhythmen, technische Defekte oder Dispute zwischen Mitgliedern entstehen kann.

2.3.1 Ursachen

Auf der ISS besteht das Problem eines Hell-Dunkel-Zyklus von nur 90 Minuten, während unser zirkadianer Rhythmus⁵¹ normalerweise über 24 Stunden dauert⁵².

Weitere Schlafstörungen treten durch laute Geräusche an Bord der Raumschiffe oder Temperaturschwankungen auf⁵³. Der Sol⁵⁴ allerdings ist nur 37 Minuten länger als ein irdischer Tag⁵⁵, weshalb der Schlaf dort lediglich durch Geräusche und Temperaturschwankungen beeinträchtigt werden kann. Experimente, bei denen Marsmissionen simuliert werden, fanden in jüngster Vergangenheit mehrmals statt. HI-SEAS ist ein Projekt auf Hawaii, bei dem sechs Wissenschaftler verschiedener Nationalitäten genau ein Jahr lang zusammen eine simulierte Marsmission durchführten, in der bei Mission IV in den Jahren 2015 bis 2016 nur von kleinen Streitgesprächen berichtet wurde⁵⁶. Die Mitglieder waren nach der Mission zuversichtlich, dass eine Mission zum Mars möglich wäre. Cyprien Verseux, Biotechnologe des HI-SEAS Team berichtete: „Ich denke, dass die techni-

⁴⁷ Vgl. Wang, Brian (2012): Roadmap to Photon Propulsion for Interstellar Flight.

⁴⁸ Vgl. ebd.

⁴⁹ Anhang IV: Specific Energy vs. Spacecraft Velocity.

⁵⁰ Vgl. Tangermann, Victor (2017): Here Is the Future of Interstellar Spacecraft.

⁵¹ Von Lebewesen an Umweltbedingungen, wie Tag und Nacht, angepasste Rhythmik mit einer Periodenlänge von etwa 24 Stunden.

⁵² Vgl. Barger, Laura / Czeisler, Charles (2011): Sleep Quality and Quantity on Space Shuttle Missions. In: Wings in Orbit, S. 376f.

⁵³ Vgl. Barger, Czeisler, 2011, S. 376.

⁵⁴ Einheit für Marstage.

⁵⁵ Vgl. Canessa, 2009, S. 587.

⁵⁶ Vgl. ORF (2016): Acht Minuten Duschen pro Woche.

schen und psychologischen Hindernisse überwunden werden können. Meiner Meinung nach ist eine Marsmission in der nahen Zukunft realistisch⁵⁷. In Zukunft sollen wirklichkeitsnähere großflächige Simulationen beispielsweise in den Vereinigten Arabischen Emiraten für etwa 136 Millionen Dollar stattfinden⁵⁸. Auch wenn einige der bislang erfolgten Simulationen ohne größere Dispute endeten, stellt der Mensch selbst einen großen Risikofaktor dar. Die verzögerte Kommunikation mit der Erde, Langeweile oder Stress sind Faktoren, die auch künftig auf touristischen Marsreisen kaum verhindert werden können.

2.3.2 Lösungsansatz

Langeweile kann durch aufkommende Unterhaltungstechnologien, wie VR gelindert werden⁵⁹, die der Crew ein Gefühl der Privatsphäre vermitteln. Die Reise selbst kann zweigleisig verkürzt werden, wodurch die psychologischen Risiken der Isolation vermindert würden. Eine schon besprochene Reduktion der Reisedauer bieten Raumschiffe mit neuen Antriebsarten, die den Mars in einem Bruchteil der Reisedauer konventioneller erreichen könnten⁶⁰. Eine andere auch ökonomisch vorteilhaftere Methode stellt Hibernation oder Torpor, aus dem Sprachgebrauch der Biologie zur Beschreibung von Winterschlaf übernommen, dar, die beispielsweise von Schwarzbären oder Murmeltieren im Winter angewandt wird⁶¹. Schlafende Menschen mit minimaler Stoffwechselaktivität sind dabei nicht nur nicht mehr von Isolationseffekten betroffen, sondern senken den Flugpreis durch die geringere Raumschiffmasse aufgrund minimiertem Wohnraum sowie Nahrungsbedarf⁶². Die Torpor-Module könnten mit einem rotierenden Torus kombiniert werden, was die Desorientierung im Wachzustand verhindern und daher Muskelatrophie und Knochenschwund ohne Nebeneffekte der kontinuierlichen Rotation vorbeugen könnte⁶³. Gleichwohl wurden Versuche von Hypothermie an Menschen bislang nicht durchgeführt, weshalb künftig die ethische Vertretbarkeit des Verfahrens diskutiert werden muss. Es ist fraglich, ob das Bewusstsein der im Torpor befindlichen Personen aussetzt oder bestehen bleibt. Außerdem können Veränderungen des Gehirns während Hibernation in Tieren festgestellt werden, deren Auswirkungen auf den Menschen ebenfalls erörtert

⁵⁷ ORF, 2016.

⁵⁸ Starr, Michelle (2017): Check Out This Incredible Mars City The UAE Is Building For Training Purposes.

⁵⁹ TEDx Talks (2017): One Year on Mars: HI-SEAS Mission IV | Carmel Johnston | TEDxCharlottesville. [YouTube-Video], veröffentlicht am 27.01.2017, Min. 14.

⁶⁰ Vgl. Lubin, 2015.

⁶¹ Vgl. Bradford, J. / Schaffer, M. / Talk, D. (2014): Torpor Inducing Transfer Habit for Human Stasis to Mars. Washington, D.C., SpaceWorks Enterprises, Inc., S. 5.

⁶² Vgl. Bradford et al., 2014, S. x.

⁶³ Vgl. Bradford et al., 2014, S. 17.

werden müssen.⁶⁴ Hypothermisch induzierter Torpor konnte laut der NASA bis 2014 in Tierversuchen bis zu 14 Tage erhalten werden. Eine Verlängerung um Wochen bis Monate sollte in den nächsten 10 bis 20 Jahren möglich sein.⁶⁵ Auf dem Mars bleiben psychologische Probleme jedoch bestehen, weshalb sie vermutlich ebenso psychologisch durch den Aufbau von Beziehungen, enger Zusammenarbeit, Kommunikation und Vertrauen gelöst werden müssen⁶⁶.

2.4 Marsatmosphäre

Die Marsatmosphäre kann angesichts ihrer toxischen Wirkung auf den Menschen, der im Vergleich zur Erde wesentlich dünneren Luft und anderen klimatischen Bedingungen lebensbedrohlich werden und muss großen Veränderungen unterzogen werden, um angemessene Sicherheit für Touristen bieten zu können.

2.4.1 Risiken der Landung

Der Atmosphärendruck des Mars liegt im Durchschnitt bei 6,36 mbar⁶⁷ (der Atmosphärendruck der Erde bei Meeresspiegelhöhe liegt bei 1013 mbar). Dies hat zur Folge, dass beispielsweise Fallschirme, die auf der Erde zur Landung einer Raumkapsel genutzt werden können, auf dem Mars nicht genügen. Bei der Phoenix-Raumsonde, die 2008 mithilfe der bremsenden Wirkung eines Fallschirms und mehrerer Schubdüsen auf dem Mars landete, kam es durch eine Verzögerung der Aktivierung des Fallschirms von 7 Sekunden zu einer Abweichung von 25 bis 28 Kilometern östlich des Mittelpunktes der geplanten Landungsellipse⁶⁸, welche bereits eine unzureichende Landungsellipse von 103 Kilometern Länge und 20 Kilometern Breite besaß^{69, 70}. Die präzise Landung ist nach Lars Blackmore aus vier Gründen bei künftigen Missionen besonders wichtig. Sie ist von Vorteil für die Erkundung von Höhlen und bestimmten Tälern auf dem Mars, für die Besorgung von Stichproben bestimmter Orte anderer Planeten,

⁶⁴ Vgl. Cerri, Matteo (2017): Consciousness in hibernation and synthetic torpor. In: Journal of Integrative Neuroscience, Volume 17, Number s1, S. 3f.

⁶⁵ Vgl. Bradford et al., 2014, S. 8.

⁶⁶ Vgl. TEDx Talks (2017): One Year on Mars: HI-SEAS Mission IV | Carmel Johnston | TEDxCharlottesville. [YouTube-Video], veröffentlicht am 27.01.2017, Min. 8-14.

⁶⁷ Vgl. Williams, David R. (2016): Mars Fact Sheet.

⁶⁸ Vgl. Hacker, Dirk (2016): Landsat, Mars Scout and New Millennium Programs. überarb. Aufl. New York: University Publications, S. 38.

⁶⁹ Vgl. Prince, Jill L. / Desai, Prasun N. / Queen, Eric M. / Grover, Myron R., (2008): Mars Phoenix Entry, Descent, and Landing Simulation Design and Modelling Analysis. NASA Technical Reports Server: 20080033126, S. 12f.

⁷⁰ Anhang V: Prognostizierte Landungsellipse für Phoenix.

für den Aufbau von Außenposten im Sonnensystem und um Raketen zur Wiederverwendbarkeit herzustellen.⁷¹

2.4.2 Lösungsansatz

5 Deshalb ist eine Neuorganisation der Landung, an der beispielsweise SpaceX arbeitet, von Nöten. SpaceX benutzt hierfür einen On-Board-Computer, der die Raketenlandung an Dispersionen⁷² in der Atmosphäre anpasst⁷³, die optimale Flugbahn durch einen „Minimal-Landing-Error Powered-Descent-Guidance Algorithm“⁷⁴ berechnet und aus diesem Grund in einer Landungsellipse von nur 20
10 mal 60 Metern landen kann⁷⁵, wie SpaceX bereits mehrmals gezeigt hat. Ein Problem, das sich auf dem Mars, jedoch nicht auf der Erde ergibt, ist die Abwesenheit eines GPS-Systems, mit dessen Hilfe der Bordcomputer seine Position und Geschwindigkeit berechnet, durch die er seine Flugbahn optimieren kann⁷⁶. Ein neuer Ansatz zu diesem Problem ist die TRN, bei der die Position der Rakete
15 von einer CN&G Funktion anhand des Abgleichs der vom Landemodul, während der Landung aufgezeichneten Bilder, mit einer Karte der Planetenoberfläche ermittelt wird. Bisherige Ergebnisse zeigen eine geringe Höhenabweichung des Programms von 20 Metern in einer Höhe von 3 Kilometern. Der Einsatz des Systems ist für die Mars 2020 Rover Mission geplant.^{77, 78, 79}

20

2.4.3 Risiken der Atmosphäre

Die Marsatmosphäre hat jedoch weitere Negativaspekte, die auf die Toxizität der Atmosphäre und wiederum auf kosmische Strahlung zurückzuführen sind. Die Inexistenz eines Magnetfeldes um den Mars erlaubt es kosmischer Strahlung bis
25 zur Oberfläche des Planeten durchzudringen. Menschen auf dem Mars würden daher stetig hochenergetischen Strahlen ausgesetzt sowie von einer für sie toxischen Atmosphäre mit klimatischen Temperaturverhältnissen zwischen -140°C

⁷¹ Vgl. Blackmore, Lars (2016): Autonomous Precision Landing of Space Rockets. In: The Bridge. Volume 46, Number 4, S. 16.

⁷² Aus Konvektion und Diffusion entstehende Strömung der Luft.

⁷³ Vgl. Fernholz, 2017: SpaceX's self-landing rocket is a flying robot that's great at math.

⁷⁴ Vgl. Blackmore, Lars / Açikmeşe Behçet / Scharf, Daniel P (2010): Minimum-Landing-Error Powered-Descent Guidance for Mars Landing Using Convex Optimization. In: Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Volume 33, Number 4, S. 1164f.

⁷⁵ Vgl. Fernholz, Tim (2017): SpaceX's self-landing rocket is a flying robot that's great at math.

⁷⁶ Vgl. Blackmore, 2016, S. 18f.

⁷⁷ Vgl. Blackmore, 2016, S. 19.

⁷⁸ Vgl. Johnson, Andrew E. et al. (2016): Real-time Terrain Relative Navigation Test Results from a Relevant Environment for Mars Landing. NASA Technical Reports Server: 20160009627, S. 1.

⁷⁹ Vgl. Johnson et al., 2016, S. 11

und 20°C umgeben sein⁸⁰. Ansätze, diese Hürden zu überwinden, sind noch hoch spekulativ. Während die Erde ein Magnetfeld besitzt, das kosmische Strahlung und Sonnenwinde ablenkt und die Oberfläche schützt, hat der Mars seit etwa 4 Milliarden Jahren, aufgrund ausgefallener Konvektionsströmungen, kein Magnetfeld mehr⁸¹, weshalb Sonnenwinde die Atmosphäre durchdringen und 100 Gramm des Gases in der Atmosphäre pro Sekunde abtragen können⁸².

2.4.4 Lösungsansatz

Vorerst kann die Besiedlung von tiefen Bereichen der Marsatmosphäre, wie Kratern und Höhlen, eine Zwischenlösung bieten, bei der die Sonneneinstrahlung, die auf bewohnte Gebiete fällt, minimiert wird. Ein aktiver Ansatz, Sonnenstrahlung zu minimieren, die Atmosphäre des Mars zu stabilisieren und Astronauten vor der Strahlung zu schützen, ist der Einsatz eines Magneten, der ein Dipolfeld von 1 bis 2 Tesla erzeugen kann, welcher im L1 des Mars stationiert wird und dort geladene Teilchen der Sonnenwinde ablenken kann. Infolge der Reduktion der Gefahr von Sonnenstrahlung auf der Marsoberfläche, kann die Atmosphäre sich über die Jahre stabilisieren, was langfristig zu einem Temperaturanstieg von 4°C führen könnte. Aufgrund dessen würde das Kohlenstoffdioxid an den Polen des Mars auftauen und die Atmosphäre weiter verdichten.⁸³ Eine weitere Strategie ist es, im Permafrostboden gespeichertes Kohlenstoffdioxid der Pole des Mars freizusetzen, das als Treibhausgas wirken soll. Bislang wurde eine Detonation der Pole durch Wasserstoffbomben⁸⁴ oder Atombomben⁸⁵, die Ablenkung von Kometen in die Marsatmosphäre⁸⁶ oder Wärme emittierende Fusionsreaktoren⁸⁷ in Betracht gezogen, um die Polkappen aufzutauen. Nach einer Stabilisierung des Klimas, können beispielsweise Algen, die genetisch an den Marsboden und die Marsatmosphäre angepasst werden können, das Kohlendioxid in Sauerstoff umwandeln⁸⁸. Dieser Prozess wird viele Jahrhunderte bis Jahrtausende dauern, bis die Marsatmosphäre schließlich für den Menschen unschädlich ist.

⁸⁰ Vgl. Badescu, Viorel (Ed.) (2009): Mars. Prospective Energy and Material Resources. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S. VII.

⁸¹ Vgl. Carlisle, Camille M. (2015): Mars Losing Gas to Solar Wind.

⁸² Vgl. Northon, Karen (2017): NASA Mission Reveals Speed of Solar Wind Stripping Martian Atmosphere.

⁸³ Vgl. Green, J. L. et al. (2017): A Future Mars Environment for Science and Exploration. Planetary Science Vision 2050 Workshop 2017, S. 1f.

⁸⁴ Vgl. Mole, Robert Alan (1995): "Terraforming Mars with Four War-Surplus Bombs". In: Journal of The British interplanetary Society, Volume 48, Number 7.

⁸⁵ Vgl. Kaku, Michio (2013): Die Physik der Zukunft. Unser Leben in 100 Jahren. Übersetzt von Monika Niehaus. Aufl. 5, Reinbek: Rowohlt Verlag GmbH [Orig.: Physics of the Future. How Science Will Shape Human Destiny and our Daily Lives by the Year 2100. 2011], S. 410.

⁸⁶ Vgl. Kaku, 2013, S. 409f.

⁸⁷ Vgl. Kaku, 2013, S. 410.

⁸⁸ Vgl. ebd., a.a.O.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei derzeitigen Fortschrittswachstum in Zukunft Lösungen gefunden werden, die den Terraforming-Prozess⁸⁹ beschleunigen. Eine sichere Umwelt wird der Mars den Menschen eventuell in wenigen Jahrhunderten bieten können.

5

2.5 Marsboden

Abschließend gehört auch der Boden des Mars aufgrund seiner Struktur und Zusammensetzung zu den gesundheitlichen Gefahren einer Mission zum roten Planeten.

10

2.5.1 Gesundheitsrisiken

Der feine talkumpuderartige Staub⁹⁰ des Marsbodens wird vermutlich eine eminente Bedrohung für die Crew darstellen. Schon auf Mondmissionen sorgte Staub für mechanische Probleme der Raumanzüge und Symptome, wie lunaren Heuschnupfen sowie annähernde Blindheit, die mit jeder Außenmission zunahmen.⁹¹ Die Oberfläche des Mars ist eine Wüstenlandschaft aus feinem Sand, der nicht nur aufgrund starker Winde in alle Nischen der Stationen gelangen wird, sondern außerdem für den Menschen giftige Stoffe enthält. 2008 fand die Phoenix Raumsonde Perchlorate auf dem Mars⁹², die auf der Erde zur Regulierung der Schilddrüsenfunktion eingesetzt werden. Der Grund dafür ist ihre hemmende Wirkung auf Iodination im Körper und dadurch auf den Schilddrüsenhormonspiegel.⁹³ Sie können zu Schilddrüsenunterfunktion, aplastischer Anämie oder Agranulozytose führen⁹⁴, durch die die Anzahl an Leukozyten⁹⁵ (Granulozyten) und Thrombozyten⁹⁶ im Blut reduziert wird, Leukozyten geschädigt werden und die Leistungsfähigkeit der Erkrankten abnimmt^{97, 98, 99}. Bei Behandlung von Schilddrüsenüberfunktionen (Hyperthyreose) starben Patienten an Dosen von etwa 600

15

20

25

⁸⁹ Prozess, durch den die Umwelt anderer Planeten, der der Erde angepasst wird.

⁹⁰ Vgl. Kaku, 2013, S. 408.

⁹¹ Vgl. Harrington, A. D. et al. (2017): Acute Meteorite Dust Exposure and Pulmonary Inflammation. Implications for Human Space Exploration. In: Dust in the Atmosphere of Mars and Its Impact on Human Exploration, S. 1.

⁹² Vgl. Hecht, M. H. et al. 2017: MOXIE, ISRU and the History of the In Situ Studies of the Hazards of Dust in Human Exploration of Mars. In: Dust in the Atmosphere of Mars and Its Impact on Human Exploration, S. 1f.

⁹³ Vgl. Wikipedia (2018): Perchlorate.

⁹⁴ Vgl. U.S. Department of Health and Human Services / Public Health Service / Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2008): Toxicological Profile For Perchlorates. Atlanta., S. 33.

⁹⁵ Zellen der Immunabwehr.

⁹⁶ Blutplättchen, die an der Blutgerinnung beteiligt sind.

⁹⁷ Vgl. Symptomat (2018): Aplastische Anämie.

⁹⁸ Vgl. Symptomat (2018): Agranulozytose.

⁹⁹ Vgl. Symptomat (2018): Schilddrüsenunterfunktion.

bis 1000 mg Kalium-Perchloraten pro Tag¹⁰⁰. Eine weitere Bedrohung stellt hexavalentes Chrom VI dar, welches genotoxisch reagiert und auf dem Mars bei zweijähriger Aussetzung wahrscheinlich in fünf von 100.000 Fällen zu Krebs führen dürfte.¹⁰¹

5

2.5.2 Lösungsansatz

Der Schutz vor Perchloraten und Chrom, sowie anderen Schadstoffen im Marsboden wird von Raumfahrtorganisationen genauso wie eine vorteilhafte Nutzung dieser betrachtet¹⁰². Ein Schutzmechanismus kann die Entfernung von Perchloraten aus dem Wasser sein, die schon heute von Envirogen Technologies entwickelt wird¹⁰³. Doch nicht nur die vorgenannten Schadstoffe, sondern der Staub im Allgemeinen muss von den Astronauten ferngehalten werden. Für diesen Zweck müssen neue Technologien konstruiert werden, die sicherstellen, dass keine Kontamination der Habitate stattfinden kann. Dazu könnten Dekontaminationsräume, Nanoversiegelungstechnologie und weitere neue Ansätze zurate gezogen werden, die vielfach bereits heute umsetzbar sind, weshalb zu vermuten ist, dass schon in den nächsten 10 bis 20 Jahren die vom Marsboden geschaffenen Erschwernisse gelöst werden können.

10

15

20

3 Ökonomische Aspekte

Weltraumtourismus ist ein relativ neuer Tourismusmarkt, dessen Geburtsstunde lediglich auf das Jahr 2001 zurückgeht¹⁰⁴ und dessen wirtschaftliche Entwicklung im Gegensatz zum irdischen Tourismus allein von der technologischen Entwicklung der Menschheit und insbesondere der Raumfahrt abhängt. Deshalb haben neue Technologien einen großen Einfluss auf die gesamte Branche. Die USA ist auf dem Gebiet des Weltraumtourismus aktuell Vorreiter¹⁰⁵, weshalb Unternehmen, wie SpaceX, welches in den USA das fortschrittlichste Unternehmen in der Raumfahrt ist und bislang eine Monopolstellung in dieser anstrebt¹⁰⁶, bereits den

25

¹⁰⁰ Vgl. U.S. Department of Health and Human Services / Public Health Service / Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008, S. 33.

¹⁰¹ Vgl. Sim, Peter A. (2017): Martian Dust and Its Interaction with Human Physiology: An Emergency Physician's Perspective. In: Dust in the Atmosphere of Mars and Its Impact on Human Exploration, S. 1.

¹⁰² Vgl. NASA (2014): Perchlorate on Mars Implications for Human Exploration and Astrobiology. Moffett Field., S. 1.

¹⁰³ Vgl. Canzano, Ken et al. (2012): Methods for treatment of perchlorate contaminated water.

¹⁰⁴ Vgl. Wall, Mike (2011): First Space Tourist: How a U.S. Millionaire Bought a Ticket to Orbit.

¹⁰⁵ Vgl. Weiß, Sarah (2014): Das touristische Potential der Raumfahrt innerhalb der nächsten 10–15 Jahre. Bachelorarbeit Mittweida, Hochschule, S. 1.

¹⁰⁶ Anhang VI: Awarded Global Commercial Launch by Market Share.

Plan hat, in den nächsten Jahrzehnten Menschen zum Mars zu befördern¹⁰⁷. Es könnte daher eine Subgruppierung der weltraumtouristischen Wirtschaft, der Marstourismus, entstehen. In diesem Teil der Arbeit wird erörtert, wodurch die Entwicklung der ökonomischen Zukunftsperspektive des Marstourismus bedingt ist.

3.1 Grundlagen

Jeder Tourismus ist abhängig vom Interesse der Gesellschaft. Das Ziel der Reiseunternehmen und Hotelbetreiber sollte aus diesem Grund die Bereitstellung einer Reise sein, die im Interesse der Touristen liegt. Das Interesse der Gesellschaft am Marstourismus wird größtenteils durch den Preisfaktor und den Sicherheitsfaktor limitiert. Andere Aspekte können beispielsweise die Reisedauer, ökologische Faktoren oder die Faszination am Mars sein. Das daraus resultierende und für sie ebenso vorteilhafte Ziel von Raumfahrtunternehmen ist die Preissenkung von Weltraummissionen und die Entwicklung von Technologien zum Schutz der Passagiere. Letztere wurden im ersten Teil der Facharbeit betrachtet und werden im dritten Abschnitt zur Prognostizierung gesellschaftlichen Interesses herangezogen. Der für Marsmissionen von der NASA geschätzte Preis lag im Jahr 1989 bei etwa 100 Milliarden und 2004 bei 10 Milliarden US-Dollar pro Sitz¹⁰⁸. Elon Musk zufolge, ist das Interesse an Flügen zum Mars lediglich durch die Kosten beschränkt¹⁰⁹, weshalb sein primärer Plan einen Ticketpreis unter 500.000 US-Dollar anvisiert, um die Schnittmenge zwischen Menschen, die zum Mars reisen wollen und denjenigen, die die finanziellen Mittel aufbringen können, steigt¹¹⁰. Die Preissenkung, durch welche Weltraumtourismus auch für mittelständische Personen ermöglicht werden soll, erfolgt durch Wiederverwendbarkeit von Raketen, Verminderung der Gesamtmasse, ein günstiges Transportsystem sowie die Reduktion des Treibstoffpreises.

3.2 Wiederverwendbarkeit

Die unter dem vorläufigen Namen BFR bekannte Rakete von SpaceX soll 2022 Cargo¹¹¹ und 2024 darüber hinaus auch eine Crew zum Mars befördern¹¹², wird 110 bis 120 Meter lang werden¹¹³ und 4.400 Tonnen Last befördern können¹¹⁴.

¹⁰⁷ Vgl. SpaceX (2017): Mars.

¹⁰⁸ Vgl. Urban, Tim (2015): How (and Why) SpaceX Will Colonize Mars, 4.

¹⁰⁹ Vgl. Urban, 2015, 3.

¹¹⁰ Vgl. Urban, Tim (2016): SpaceX's Big Fucking Rocket – The Full Story.

¹¹¹ Transportgut, welches für die Crew zum Mars geschickt wird.

¹¹² Vgl. SpaceX, 2017: Mars.

¹¹³ Vgl. Global News (2018): "'Crazy things can come true': Elon Musk discusses Falcon Heavy launch: Full presser". [YouTube-Video], veröffentlicht am 06.02.2018, Min. 25.

Die Wiederverwendbarkeit der Rakete wird den Preis, der im Anhang angeführten Darstellung¹¹⁵ entsprechend, senken, wodurch der Konstruktionspreis von 560 Millionen Dollar auf einen Preis von 62 Millionen Dollar pro Flug reduziert werden kann. Wie dargestellt, kann der Booster¹¹⁶ etwa 1000 Mal und der Tank
5 etwa 100 Mal wiederverwendet werden. Das Schiff wird mutmaßlich lediglich ca. 12 Mal verwendet werden können. Neueren Angaben von Elon Musk zufolge, ist es sogar möglich, die Kosten eines Flugs zum Mars auf unter 6 Millionen Dollar zu reduzieren¹¹⁷.

3.3 Raumschiffmasse

Die Gesamtmasse der Rakete umfasst die Masse der Raketenbauteile, die Treibstoffmasse sowie die Transportgutmasse. Durch die Verminderung der Masse der Raketenbauteile, wie beispielsweise den von SpaceX entwickelten Kohlenstofffasertreibstofftank¹¹⁸ und durch hocheffiziente Raptor-Triebwerke, die
15 im Vakuum 3500 kN Schubkraft erzeugen¹¹⁹, kann im Gegenzug die Transportgutmasse gesteigert werden. Die Rakete soll etwa 100 Personen pro Flug transportieren, um die Kosten pro Person zu vermindern¹²⁰. Sobald möglich soll diese Zahl auf über 300 Passagiere erhöht werden¹²¹. Ergänzend ist Hibernation während des Flugs möglich, die das Transportgut für die Crew um 52 bis 68% reduzieren könnte¹²², sodass schließlich, bei einem Gesamtflugpreis von 6 Millionen
20 Dollar, ein Ticket für eine Person 10.000 Dollar kosten würde.

3.4 Transportsystem

Um ein sicheres und günstiges Transportsystem zum Mars zu realisieren, hat
25 SpaceX das ITS, das in BFR umbenannt wurde, entworfen, welches vorsieht, eine BFR in den LEO zu schicken¹²³. Dort umkreist diese die Erde, bis vier weitere Raketen den Treibstofftank neu auffüllen, sodass die BFR zum Mars fliegen

¹¹⁴ Vgl. SpaceX (2017): Making Life Multiplanetary. Protokoll Adelaide, Astronautical Congress, S. 4.

¹¹⁵ Anhang VII: Preisreduktion durch Wiederverwendung.

¹¹⁶ An der Rakete angebrachtes Triebwerk für zusätzliche Schubkraft.

¹¹⁷ Vgl. SXSW (2018): "Elon Musk Answers Your Questions! | SXSW 2018". [YouTube-Video], veröffentlicht am 11.03.2018, Min. 7-9.

¹¹⁸ Vgl. SpaceX, 2017, S. 1.

¹¹⁹ Vgl. Musk, Elon (2016): Making Humans a Multi-Planetary Species. In: New Space, Volume 5, Number 2, S.52.

¹²⁰ Urban, 2015, 4.

¹²¹ Vgl. Urban, 2016.

¹²² Vgl. Bradford et al., 2014, S. x.

¹²³ Vgl. Zubrin, Robert (2016): Colonizing Mars. A Critique of the SpaceX Interplanetary Transport System.

kann¹²⁴. SpaceX gibt an, dass eine Reise zum Mars 80 bis 150 Tage dauern wird¹²⁵. Nach Elon Musk kann die Dauer auf bis zu 30 Tage reduziert werden¹²⁶. Außerdem wird SpaceX stetig größere Raumschiff-Flotten zum Mars schicken¹²⁷,¹²⁸, die die Sicherheit insofern erhöhen, als dass Crews von defekten Raumschiffen, auf andere konvertieren können. Einige Optimierungen können fortlaufend am derzeitigen System vorgenommen werden. Die nächsten Schritte von SpaceX in diese Richtung sind Tests der BFR von 2019 bis 2022^{129, 130} sowie erste bemannte Flüge, Flüge zum Mond¹³¹ und schließlich zum Mars¹³² in den darauffolgenden Jahren. Nach weiteren Aussagen von Elon Musk sollen in etwa 50 Jahren eine Million Menschen zum Mars reisen. 2065 soll ein Mars-Ticket etwa 60.000 US-Dollar kosten, wobei pro Jahr etwa 1000 Raumschiffe von der Erde zum Mars sowie zurück zur Erde fliegen würden.¹³³ Nach den neueren Angaben wäre es denkbar, diesen Preis bis dahin mehr als zu zehnteln.

3.5 Treibstoff

Der Treibstoffpreis, gleichwohl die Kosten des Treibstoffs einer Falcon 9 Rakete etwa 200.000¹³⁴ US-Dollar betragen, ist lediglich ein geringer Bestandteil (<1%) der Flugkosten¹³⁵. Dennoch ergibt sich eine Problematik daraus, dass Öl eine fossile Energiequelle ist und somit langfristig im Preis steigen müsste. Ein Grund, aus dem diese Prognose keine große Rolle spielt, ist einerseits die Produktion eigenen Methans auf dem Mars und theoretisch ebenso auf der Erde durch die Sabatier-Reaktion^{136, 137} und der Einsatz neuer Antriebsarten, wodurch Weltraum-tourismus unabhängig vom Treibstoffpreis würde. Bei Laser-Antrieben ist kein Treibstoff nötig, weshalb hier der Strompreis betrachtet werden müsste. Da dieser indirekt durch den Fortschritt im Energiesektor vom Moore'schen Gesetz¹³⁸,

¹²⁴ Vgl. ebd.

¹²⁵ Anhang X: Entwicklung der Flugdauer zum Mars.

¹²⁶ Vgl. Urban, 2016.

¹²⁷ Vgl. Urban, 2015, 5.

¹²⁸ Vgl. Urban, 2016.

¹²⁹ Vgl. Global News (2018): "Crazy things can come true": Elon Musk discusses Falcon Heavy launch: Full presser". [YouTube-Video], veröffentlicht am 06.02.2018, Min. 17.

¹³⁰ Vgl. Global News (2018): "Crazy things can come true": Elon Musk discusses Falcon Heavy launch: Full presser". [YouTube-Video], veröffentlicht am 06.02.2018, Min. 22-23.

¹³¹ SpaceX, 2017, S. 7.

¹³² Vgl. SpaceX, 2017: Mars.

¹³³ Vgl. Urban, 2016.

¹³⁴ Vgl. Grush, Loren (2015): SpaceX's reusable rockets will make space cheaper — but how much?.

¹³⁵ Vgl. SpaceX (2017): Capabilities & Services.

¹³⁶ Prozess, durch den Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff zu Methan und Wasser reagieren.

¹³⁷ Vgl. SpaceX, 2017, S. 8.

¹³⁸ Von Gordon Moore konzipiertes Gesetz, welches ein exponentielles Wachstum aller integrier-ten Schaltkreise prognostiziert und auf viele andere Technologien angewandt werden kann.

¹³⁹ und unter anderem vom Swanson'schen Gesetz¹⁴⁰ abhängt, wird der Preis langfristig fallen. „[Freeman] Dyson träumt von dem Tag, an dem Laserantriebssysteme schwere Nutzlasten für nur 5 Dollar pro amerikanisches Pfund (450g) in eine Erdumlaufbahn katapultieren können“¹⁴¹. Laserantriebe haben demnach auch das Potenzial, die Transportkosten zu reduzieren.

4 Prognosen

Wie in den letzten Abschnitten erörtert, wird, während die Kosten von Marsmissionen sinken, technologischer Fortschritt die Sicherheit erhöhen. Aus diesem Entwicklungsprozess heraus, werden im Folgenden temporale Prognosen zur Initiierung von Marsreisen und Marstourismus aufgestellt.

4.1 Interesse an Marsmissionen

Sobald die Infrastruktur der Marskolonien ausgebaut und autopoietisch¹⁴² ist, wird dies in der Gesellschaft vermutlich ein Gefühl der Sicherheit bewirken. Es kann daher die Zunahme gesellschaftlichen Interesses am Mars prognostiziert werden. Von einer Extrapolation auf Basis von Umfragen aus vergangenen Jahren¹⁴³ ist in diesem Fall kein Gebrauch zu machen, da sich das Interesse erst mit dem Proof of Concept¹⁴⁴ entwickeln wird¹⁴⁵ und spezifische Umfragen zum Marstourismus noch nicht vorhanden sind. Es ist allerdings zu präsumieren, dass das Interesse größer sein wird, als das Angebot, weshalb auch das Angebot den Raumfahrtsektor limitiert¹⁴⁶. Es werden dementsprechend so viele Menschen zum Mars fliegen, wie für Raumfahrtunternehmen möglich, weshalb die Entwicklung der Raumfahrtunternehmen angemessene Prognosen für Marsmissionen liefert. Begünstigend wirkt ebenso die Zunahme des weltweiten Wohlstands neben der Abnahme der Flugpreise¹⁴⁷.

¹³⁹ Vgl. Kurzweil, Ray (2013): Menschheit 2.0. Die Singularität naht. Übersetzt von Martin Röttschke. Aufl. 1, Berlin: Lola Books GbR [Orig.: The Singularity is near: when humans transcend biology. 2005], S. 56f.

¹⁴⁰ Anhang VIII: Indicative levelised cost of solar PV electricity over time.

¹⁴¹ Kaku, 2013, S. 415.

¹⁴² Ein sich selbsterhaltendes System.

¹⁴³ Vgl. Crouch, Geoffrey I. (2001): The Market for Space Tourism. Early Indications. In: Journal of Travel Research, Volume 40, Number 2, S. 1f.

¹⁴⁴ Nachweis der Umsetzbarkeit.

¹⁴⁵ Vgl. Urban, 2015, 5.

¹⁴⁶ Vgl. Urban, 2015, 3.

¹⁴⁷ Anhang IX: World population living in extreme poverty, 1820-2015.

4.2 Technologieprognosen

Zuerst wird nun die Umsetzbarkeit sich entwickelnder Technologien in Raumschiffen betrachtet. Hibernation wird in etwa 10 bis 20 Jahren am Menschen umgesetzt werden können¹⁴⁸. Durch die Unbeweglichkeit der Menschen könnten die Effekte der Schwerelosigkeit künstliche Gravitation erfordern, die ebenfalls zu dieser Zeit realisierbar ist. Effektive Strahlenschutzmaterialien wurden bereits erörtert und bieten einen wirksamen Schutz bei einer Reisedauer von 80 bis 150 Tagen. Triebwerke, die den Mars potenziell in wenigen Tagen erreichen können, werden in den nächsten 50 bis 100 Jahren konstruiert werden. Die Landungssysteme von SpaceX werden über die Jahre optimiert und sind bereits, an einer Erfolgsrate von 94% erkennbar, heute sehr zuverlässig¹⁴⁹. Auf dem Mars angekommen, wird dieser durch einen Terraforming-Prozess lebensfreundlicher gestaltet werden können. Dieser Prozess wird in den nächsten 50 bis 100 Jahren optimiert werden und womöglich in den darauffolgenden Jahrhunderten einen zweiten habitablen Planeten im Sonnensystem hervorbringen. Es ist hiermit erläutert, dass die technisch-ökonomische Entwicklung dafürspricht, dass Marsmissionen in den nächsten 100 Jahren mit hoher Wahrscheinlichkeit zunehmen werden.

4.3 Interesse am Marstourismus

Diese Missionen sehen allerdings vor, Menschen zum Mars zu befördern, damit sie dort beim Aufbau der Infrastruktur mithelfen oder anderweitig arbeiten können. Tourismus als Gebiet der Freizeitwirtschaft muss klar von diesen Missionen unterschieden werden. Durch die Gesundheitsrisiken, die der Flug und besonders der Mars darstellen, wird vorerst die Mehrheit der Passagiere nicht aus touristischen Gründen zum Mars fliegen wollen. Wo Marsmissionen bereits durch niedrige Ticketpreise möglich werden, werden für die Förderung von Marstourismus vielmehr die besprochenen Sicherheitsmaßnahmen nötig sein. Außerdem muss ein Maß an Infrastruktur und gesellschaftlicher Grundlage, das touristische Besuche ermöglicht, vorhanden sein. Es wird angenommen, dass dafür bereits eine Autopoiesis existieren muss, die erst bei einer Menge von einer Million Menschen gesichert ist¹⁵⁰. Den von mir entworfenen Darstellungen^{151, 152}, die größtenteils auf den Plänen von SpaceX basieren, ist zu entnehmen, dass Tourismus

¹⁴⁸ Vgl. Bradford et al., 2014, S. 8.

¹⁴⁹ Vgl. Glaser, April (2017): 94 percent of SpaceX's Falcon 9 rocket launches have been successful.

¹⁵⁰ Vgl. Zubrin, Robert (1998): The Economic Viability of Mars Colonization. Denver: Lockheed Martin Astronautics, S. 5.

¹⁵¹ Anhang X: Entwicklung der Flugdauer.

¹⁵² Anhang XI: Entwicklung der Marspopulation.

zum Mars erst um 2074 mit entsprechender Anzahl an Marsemigranten und dem Angebot gesundheitsförderlicher Technologien erwägenswert wird. Bis 2074 soll die Marspopulation 1.000.000 Mitglieder übersteigen¹⁵³ und ebenso werden die Touristenanteile zunehmen, ohne Schätzungen in dieser fernen Zukunft abgeben zu können. Somit ist desgleichen erörtert, dass Marstourismus realisierbar, jedoch vor 2074 kaum vorstellbar ist und erst mit weiterem Fortschritt im Terraforming-Prozess, mit Verkürzung der Reisedauer, sicherer Technologie sowie günstigerer Tickets beliebter werden kann. Es ist allerdings nicht ausgeschlossen, dass vermögende Touristen bereits vorher die ersten Marsflüge begleiten werden.

5 Schluss

Die Fragestellung dieser Arbeit, welche Fakten relevant für die Initiierung eines Marstourismus seien und wann sie ebendiesen ermöglichen würden, ist zu dem Schluss gekommen, dass heute viele Hindernisse, aber auch Lösungen bestehen, die einen für den Menschen sicheren und günstigen interplanetaren Weltraumtourismus in den nächsten 50 bis 60 Jahren realisierbar wirken lassen. Der Konklusion dieser Facharbeit liegt allerdings ein die Raumfahrt und Technologieentwicklung betreffender Zukunftsoptimismus zugrunde, dass in Bezugnahme auf in der Arbeit angeführte Wissenschaftler und Unternehmer, Pläne und Ideen ohne Komplikationen umgesetzt werden können. Aus der langen Zeitspanne der Prognosen resultierend, ist eine Divergenz von der Realität möglich, die wahrscheinlich 10 bis 20 Jahre umschließt und infolge unberechenbarer Entwicklungen noch größer werden kann. Dennoch ist nachweislich eine positive Bewegung in Richtung der Raumfahrt festzustellen, die diesen Optimismus rechtfertigt.

5.1 Ausblick

Ein Ausblick auf die Zukunft der Raumfahrt, nachdem auf dem Mars eine sich selbsterhaltende Gesellschaft entstanden ist, lässt vermuten, dass Tourismus zwischen Mars und Erde (sowie weiteren Himmelskörpern) alltäglich und relativ einfach werden kann. Daraus können zwei Trends entstehen, welche für oder wider die neue Tourismusart agieren werden. Entweder wird die Gesellschaft, wobei jeder Mensch dies für sich selbst bestimmen wird, mit dem Marstourismus sympathisieren und allgemein interplanetaren Tourismus befürworten oder sich aus Konservatismus und/oder Angst vor den Gefahren und dem Unbekannten auf irdischen Tourismus beschränken. Die Tourismusbranche wird durch den

¹⁵³ Vgl. Urban, 2016.

Marstourismus eine neue Vielfalt infolge seiner unterschiedlichen Fassetten erhalten. Einerseits kann durch eine Reise zum Mars die zunehmend vernetzte Welt, in der Menschen jederzeit bereit sein müssen, einer Nachricht zu antworten, verlassen werden, sodass Privatsphäre und Erholung im Mittelpunkt stehen können. Eine Frage, die sich stellt, ist die Möglichkeit für Menschen, ihre Welt zu verlassen, da Marsflüge anfangs mehrere Wochen dauern und viele Menschen sich diese Urlaubszeiten nicht leisten können. Andererseits kann auch eine neue Art des Extremtourismus entstehen, bei dem man sich auf dem Mars durch kosmische Strahlung, Sandstürme¹⁵⁴, Bergsteigen (beispielsweise auf den Olympus Mons¹⁵⁵) oder der dünnen toxischen Atmosphäre in Lebensgefahr begibt. Daher rührt auch die Relevanz meines Themas für Unternehmer, die den irdischen Tourismus vorantreiben wollen, wogegen bald interplanetarer Tourismus interessanter werden könnte. Die Relevanz betrifft Aktienhalter von Tourismus- oder Raumfahrtunternehmen und ist gerade nach dem ersten vor wenigen Wochen erfolgten Start der Falcon Heavy von SpaceX, sehr aktuell. Doch auch die Gesellschaft, die sich für die Raumfahrt und eine Besiedlung des Mars interessiert, ist es wichtig, die Gefahren zu kennen und abwägen zu können, wann sie an einer Reise zum Mars partizipieren würden.

Zukünftig muss erörtert werden, welche Einflüsse Marstourismus auf die Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft auf Mars und Erde haben wird. Ethische Fragen wurden in der Arbeit nämlich, wie bereits in der Einleitung erwähnt, nicht beurteilt. Darüber hinaus wurde in dieser Facharbeit auf die Erwähnung von Weltraumtrümmern verzichtet, welche potenziell die Raumfahrt obstruieren könnten, deren Quantitätswachstum allerdings mit vermehrtem Einsatz wiederverwendbarer Raketen abklingen sollte.

5.2 Fazit

Zusammenfassend ist das erste Fazit zu konstatieren, dass die Realisierbarkeit von Marstourismus eine Frage der Zeit ist. Technologien, die kostengünstig und sicher Menschen zum Mars transportieren können, sind derzeit bereits in Entwicklung. Das Interesse der Gesellschaft an der Raumfahrt wird zunehmen, je stärker diese ausgebaut und medial verbreitet wird. Auf diesem Gerüst aufbauend, könnte Marstourismus am Ende dieses Jahrhunderts für die breite Masse erschwinglich werden. Folglich wäre auch ich selbst bereit, im vierten Quartal

¹⁵⁴ Badescu, 2009, S. VII.

¹⁵⁵ Heute inaktiver vom mittleren Planetenniveau 22 Kilometer hoher und damit höchster Vulkan auf dem Mars.

dieses Jahrhunderts an einer Reise zum Mars teilzunehmen, wenn die meisten der in diesem Werk erwähnten sicherheitstechnischen Kriterien erfüllt sind.

Mein zweites Fazit rekuriert mein methodisches Verfahren, bei dem ich selbst Schwierigkeiten in der Bearbeitung der Facharbeit feststellen musste, nachdem
5 ich einen provisorischen Text ohne Fußnoten und Literaturverzeichnis erstellt hatte und deshalb solche nachträglich einfügen musste. Quellen dagegen konnten im Internet umfassend erworben werden, wenngleich keine direkt das Thema Marstourismus betreffenden Abhandlungen existieren. Ich sehe dieses Vorgehen zwar als ertragreich, vor allem, weil bei erneutem Lesen der Quellen Fehler er-
10 kannt werden können, jedoch nicht als nachahmenswert an.

Literaturverzeichnis

Internetquellen

Blaber, Elizabeth A. et al. (2013): „Microgravity Induces Pelvic Bone Loss through Osteoclastic Activity, Osteocytic Osteolysis, and Osteoblastic Cell Cycle Inhibition by CDKN1a/p21“. URL:

<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0061372> [Stand: 06.03.2018].

Canzano, Ken et al. (2012): “Methods for treatment of perchlorate contaminated water”. URL: <https://www.google.com/patents/US8323496> [Stand: 13.02.2018].

Carlisle, Camille M. (2015): “Mars Losing Gas to Solar Wind”. URL: <http://www.skyandtelescope.com/astronomy-news/mars-losing-gas-to-solar-wind-0911201523/> [Stand: 06.03.2018].

Chancellor, Jeffrey C. / Scott, Graham B. I. / Sutton, Jeffrey P. (2014): “Space Radiation: The Number One Risk to Astronaut Health beyond Low Earth Orbit”. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4206856/> [Stand: 06.03.2018].

Cherry, Jonathan D. et al. (2012): “Galactic Cosmic Radiation Leads to Cognitive Impairment and Increased A β Plaque Accumulation in a Mouse Model of Alzheimer’s Disease”. URL: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0053275> [Stand: 15.02.2018].

Cohrs, Randall J. et al. (2010): “Asymptomatic Reactivation and Shed of Infectious Varicella Zoster Virus in Astronauts”. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2938738/> [Stand: 06.03.2018].

Delp, Michael D. et al. (2016) “Apollo Lunar Astronauts Show Higher Cardiovascular Disease Mortality: Possible Deep Space Radiation Effects on the Vascular Endothelium”. URL: <https://www.nature.com/articles/srep29901> [Stand: 15.02.2018].

Fernholz, Tim (2017): “SpaceX’s self-landing rocket is a flying robot that’s great at math”. URL: <https://qz.com/915702/the-spacex-falcon-9-rocket-you-see-landing-on-earth-is-really-a-sophisticated-flying-robot/> [Stand: 06.03.2018].

Freitas Jr., Robert A. / Merkle, Ralph C. (2018): "Nanofactory Collaboration". URL: <http://www.molecularassembler.com/Nanofactory/> [Stand: 06.03.2018].

Glaser, April (2017): "94 percent of SpaceX's Falcon 9 rocket launches have been successful". URL: <https://www.recode.net/2017/5/28/15695080/spacex-falcon-9-rocket-launch-successful> [Stand: 06.03.2018].

Grush, Loren (2015): „SpaceX's reusable rockets will make space cheaper — but how much?“. URL: <https://www.theverge.com/2015/12/24/10661544/spacex-reusable-rocket-refurbishment-repair-design-cost-falcon-9> [Stand: 06.03.2018].

Macdonald, Fiona (2016): "NASA Researchers Are Working on a Laser Propulsion System That Could Get to Mars in 3 Days". URL: <https://www.sciencealert.com/nasa-scientists-are-investigating-a-propulsion-system-that-could-reach-mars-in-3-days> [Stand: 06.03.2018].

Messina, John (2011): "NASA's Nautilus-X: Reusable deep manned spacecraft". URL: <https://phys.org/news/2011-02-nasa-nautilus-x-reusable-deep-spacecraft.html> [Stand: 06.03.2018].

Müller, Andreas (2014) „Kosmische Strahlung“. URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/kosmische-strahlung/237> [Stand: 15.02.2018].

Northon, Karen (2017): "NASA Mission Reveals Speed of Solar Wind Stripping Martian Atmosphere". URL: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-mission-reveals-speed-of-solar-wind-stripping-martian-atmosphere> [Stand: 06.03.2018].

ORF (2016): „Acht Minuten Duschen pro Woche“. URL: <http://orf.at/stories/2355733/2355734/> [Stand: 06.03.2018].

SpaceX (2017): "Mars". URL: <http://www.spacex.com/mars> [Stand: 06.03.2018].

Stahn, Alexander C. et al. (2017): "Increased core body temperature in astronauts during long-duration space missions". URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-15560-w> [Stand: 06.03.2018].

Starr, Michelle (2017): "Check Out This Incredible Mars City The UAE Is Building For Training Purposes". URL: <https://www.sciencealert.com/to-prepare-for-mars-the-uae-is-building-a-simulated-martian-city-on-earth> [Stand: 06.03.2018].

Symptomat (2018): „Agranulozytose“. URL: <http://symptomat.de/Agranulozytose> [Stand: 07.03.2018].

Symptomat (2018): „Aplastische Anämie“. URL:

http://symptomat.de/Aplastische_An%C3%A4mie [Stand: 07.03.2018].

Symptomat (2018): „Schilddrüsenunterfunktion“. URL:

<http://symptomat.de/Schilddr%C3%BCsenunterfunktion> [Stand: 07.03.2018].

Tangermann, Victor (2017): „Here Is the Future of Interstellar Spacecraft“. URL:

<https://futurism.com/here-future-interstellar-spacecraft/> [Stand: 06.03.2018].

Urban, Tim (2015): “How (and Why) SpaceX Will Colonize Mars”. URL:

<https://waitbutwhy.com/2015/08/how-and-why-spacex-will-colonize-mars.html>
[Stand: 06.03.2018].

Urban, Tim (2016): “SpaceX’s Big Fucking Rocket – The Full Story”. URL:

<https://waitbutwhy.com/2016/09/spacexs-big-fking-rocket-the-full-story.html>
[Stand: 06.03.2018].

Wagner, Erika (2009): “The Mars Gravity Biosatellite Program Is Closing Down”.

URL: <http://www.spaceref.com/news/viewstr.html?pid=31612> [Stand: 06.03.2018].

Wall, Mike (2011): “First Space Tourist: How a U.S. Millionaire Bought a Ticket to

Orbit”. URL: <https://www.space.com/11492-space-tourism-pioneer-dennis-tito.html> [Stand: 06.03.2018].

Wang, Brian (2012): “Roadmap to Photon Propulsion for Interstellar Flight“. URL:

<https://www.nextbigfuture.com/2012/12/roadmap-to-photon-propulsion-for.html>
[Stand: 06.03.2018].

Wikipedia (2018): “Perchlorate”. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Perchlorate>

[Stand: 06.03.2018].

Williams, David R. (2016): “Mars Fact Sheet”. URL:

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html> [Stand:
06.03.2018].

Zubrin, Robert (2016): „Colonizing Mars. A Critique of the SpaceX Interplanetary

Transport System”. URL: <https://www.thenewatlantis.com/publications/colonizing-mars> [Stand:06.03.2018].

Printmedien

Badescu, Viorel (Ed.) (2009): Mars. Prospective Energy and Material Resources.

Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

- Barger, Laura / Czeisler, Charles (2011): Sleep Quality and Quantity on Space Shuttle Missions. In: Wings in Orbit, S. 376-378.
- Blackmore, Lars / Açıkmeşe Behçet / Scharf, Daniel P (2010): "Minimum-Landing-Error Powered-Descent Guidance for Mars Landing Using Convex Optimization". In: Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Volume 33, Number 4, S. 1161-1171.
- Blackmore, Lars (2016): "Autonomous Precision Landing of Space Rockets". In: The Bridge. Volume 46, Number 4., S. 15-20.
- Bradford, J. / Schaffer, M. / Talk, D. (2014): "Torpor Inducing Transfer Habit for Human Stasis to Mars". Washington, D.C., SpaceWorks Enterprises, Inc.
- Canessa, Enrique (2009): Fundamentals of Human Physical Growth on Mars. In: Badescu, Viorel (Ed.): Mars. Prospective Energy and Material Resources. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S.587-598.
- Cerri, Matteo (2017): "Consciousness in hibernation and synthetic torpor". In: Journal of Integrative Neuroscience, Volume 17, Number s1, S. 19-26.
- Crawford, Ian A. / Elvis, Martin / Carpenter, James (2016): "*The Use of Extraterrestrial Resources to Facilitate Space Science and Exploration*". arXiv:1605.07691.
- Crouch, Geoffrey I. (2001): "The Market for Space Tourism. Early Indications". In: Journal of Travel Research, Volume 40, Number 2, S. 213-219.
- Durante, Marco (2014): "Space radiation protection. Destination Mars". In: Life Sciences in Space Research, Volume 1, S. 2-9.
- Green, J. L. et al. (2017): "A Future Mars Environment for Science and Exploration". Planetary Science Vision 2050 Workshop 2017.
- Hacker, Dirk (2016): "Landsat, Mars Scout and New Millennium Programs". überarb. Aufl. New York: University Publications.
- Harrington, A. D. et al. (2017): Acute Meteorite Dust Exposure and Pulmonary Inflammation. Implications for Human Space Exploration. In: Dust in the Atmosphere of Mars and Its Impact on Human Exploration, S. 37-39.
- Hecht, M. H. et al. 2017: MOXIE, ISRU and the History of the In Situ Studies of the Hazards of Dust in Human Exploration of Mars. In: Dust in the Atmosphere of Mars and Its Impact on Human Exploration, S. 40-44.

Johnson, Andrew E. et al. (2016): "Real-time Terrain Relative Navigation Test Results from a Relevant Environment for Mars Landing". NASA Technical Reports Server: 20160009627.

Kaku, Michio (2013): Die Physik der Zukunft. Unser Leben in 100 Jahren. Übersetzt von Monika Niehaus. Aufl. 5, Reinbek: Rowohlt Verlag GmbH [Orig.: Physics of the Future. How Science Will Shape Human Destiny and our Daily Lives by the Year 2100. 2011].

Kolanoski, Hermann (2010): Einführung in die Astroteilchenphysik. Berlin: Humboldt-Universität.

Korzun, Ashley M. (2007): Mars Gravity Biosatellite. Engineering, Science, and Education. Hyderabad: International Astronautical Congress.

Kurzweil, Ray (2013): Menschheit 2.0. Die Singularität naht. Übersetzt von Martin Röttschke. Aufl. 1, Berlin: Lola Books GbR [Orig.: The Singularity is near: when humans transcend biology. 2005].

Lubin, Philip (2015): "A Roadmap to Interstellar Flight". Santa Barbara: Physics Department.

Lyndon B. Johnson Space Center (2013): Muscle Atrophy. Houston.

Mader, Thomas H. et al. (2011): "Optic Disc Edema, Globe Flattening, Choroidal Folds, and Hyperopic Shifts Observed in Astronauts after Long-duration Space Flight". In: Ophthalmology, Volume 118, Issue 10, S. 2058-2069.

Mole, Robert Alan (1995): "Terraforming Mars with Four War-Surplus Bombs". In: Journal of The British interplanetary Society, Volume 48, Number 7, S.321-326.

Musk, Elon (2016): Making Humans a Multi-Planetary Species. In: New Space, Volume 5, Number 2.

NASA (1973): Apollo 17 Mission Report. Houston.

NASA (1977): Space Settlement. A Design Study. Washington, D.C.

NASA (2012): Radiation Shielding Materials Containing Hydrogen, Boron, and Nitrogen: Systematic Computational and Experimental Study - Phase I. Hampton.

NASA (2014): Perchlorate on Mars Implications for Human Exploration and Astrobiology. Moffett Field.

O'Neill, Gerard K. (1974): "The Colonization of Space". In: Physics Today, Volume 27, Number 9, S. 33-40.

Parazynski, S. E. et al. (1991): "Transcapillary Fluid Shifts in Head and Neck Tissues During and After Simulated Microgravity". Moffett Field, California: Ames Research Center.

Prince, Jill L. / Desai, Prasun N. / Queen, Eric M. / Grover, Myron R., (2008): "Mars Phoenix Entry, Descent, and Landing Simulation Design and Modelling Analysis". NASA Technical Reports Server: 20080033126.

Sim, Peter A. (2017): Martian Dust and Its Interaction with Human Physiology: An Emergency Physician's Perspective. In: Dust in the Atmosphere of Mars and Its Impact on Human Exploration, S. 87-89.

SpaceX (2017): Making Life Multiplanetary. Protokoll Adelaide, Astronautical Congress.

Tschachojan, Viktoria (2014): „Strahlungsinduzierte Mukositis als Risiko der Raumfahrt: Modelluntersuchungen an Röntgen- und Schwerionen-bestrahlten organotypischen Mundschleimhaut-Modellen“. Dissertation Mainz, Johannes-Gutenberg-Universität.

U.S. Department of Health and Human Services / Public Health Service / Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2008): Toxicological Profile For Perchlorates. Atlanta.

Winter, Marcus (2007): „Zelluläre und molekularbiologische Grundlagen der vorzeitigen Alterung humaner Fibroblasten nach Bestrahlung mit Röntgenstrahlen und Kohlenstoff-Ionen“. Dissertation Darmstadt, Universität.

Weß, Sarah (2014): „Das touristische Potential der Raumfahrt innerhalb der nächsten 10–15 Jahre“. Bachelorarbeit Mittweida, Hochschule.

Zubrin, Robert (1998): The Economic Viability of Mars Colonization. Denver: Lockheed Martin Astronautics.

Videoquellen

Cool Videos (2017): "Elon Musk We can Get to Mars in 3 Months". [YouTube-Video], veröffentlicht am 03.08.2017, online unter: <https://youtu.be/rNXSRdZbFOc> [Stand: 10.03.2018].

Global News (2018): "“Crazy things can come true”: Elon Musk discusses Falcon Heavy launch: Full presser". [YouTube-Video], veröffentlicht am 06.02.2018, online unter: <https://youtu.be/sytrrdOPYzA> [Stand: 06.03.2018].

NASA Johnson (2015): "How the Human Body's Immune System Responds in Microgravity". [YouTube-Video], veröffentlicht am 24.09.2015, online unter: <https://youtu.be/z43cNmfKUsc> [Stand: 06.03.2018].

NASA Johnson (2015): "StationLife: Eye-Opening Science". [YouTube-Video], veröffentlicht am 02.06.2015, online unter: <https://youtu.be/2hT-CRevst4> [Stand: 06.03.2018].

TEDx Talks (2017): "One Year on Mars: HI-SEAS Mission IV | Carmel Johnston | TEDxCharlottesville". [YouTube-Video], veröffentlicht am 27.01.2017, online unter: <https://youtu.be/uNYIAD601qY> [Stand: 06.03.2018].

SXSW (2018): "Elon Musk Answers Your Questions! | SXSW 2018". [YouTube-Video], veröffentlicht am 11.03.2018, online unter: <https://youtu.be/kzlUyrccbos> [Stand: 14.03.2018].

Bildquellen

Bennett, Jay (2017): "One Chart Shows How Much SpaceX Has Come to Dominate Rocket Launches". URL: <https://www.popularmechanics.com/space/rockets/a27290/one-chart-spacex-dominate-rocket-launches/> [Stand: 08.03.2018].

Canessa, Enrique (2009): Fundamentals of Human Physical Growth on Mars. In: Badescu, Viorel (Ed.): Mars. Prospective Energy and Material Resources. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S. 594.

Musk, Elon (2016): Making Humans a Multi-Planetary Species. In: New Space, Volume 5, Number 2, S. 55.

Musk, Elon (2016): Making Humans a Multi-Planetary Species. In: New Space, Volume 5, Number 2, S. 56.

NASA (2009): Human Exploration of Mars Design Reference Architecture 5.0. Houston, S. 71.

Prince, Jill L. / Desai, Prasun N. / Queen, Eric M. / Grover, Myron R., (2008): "Mars Phoenix Entry, Descent, and Landing Simulation Design and Modelling Analysis". NASA Technical Reports Server, S. 13.

Roser, Max / Ortiz-Ospina, Esteban (2017): "Global Extreme Poverty". URL: <https://ourworldindata.org/extreme-poverty> [Stand: 08.03.2018].

SpaceX (2017): "Mars". URL: <http://www.spacex.com/mars> [Stand: 09.03.2018].

SpaceX (2017): Making Life Multiplanetary. Protokoll Adelaide, Astronautical Congress, S. 9.

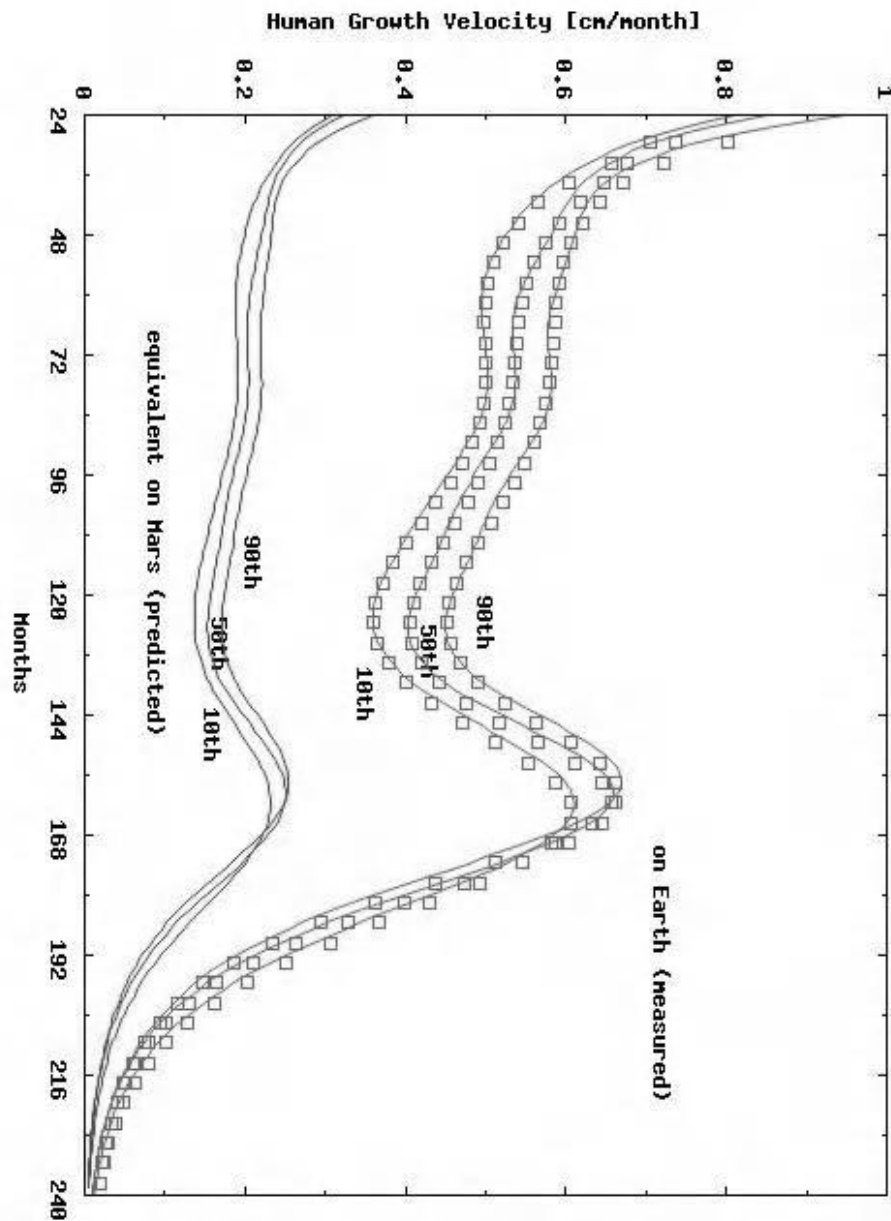
The Global Commission on the Economy and Climate (2014): "Energy". In: Better Growth, Better Climate. The New Climate Economy Report, S. 16.

Urban, Tim (2016): "SpaceX's Big Fucking Rocket – The Full Story". URL: <https://waitbutwhy.com/2016/09/spacexs-big-fking-rocket-the-full-story.html> [Stand: 06.03.2018].

Wang, Brain (2012): "Roadmap to Photon Propulsion for Interstellar Flight". URL: <https://www.nextbigfuture.com/2012/12/roadmap-to-photon-propulsion-for.html> [Stand: 06.03.2018].

Anhang

Anhang I: Wachstumsgeschwindigkeit auf Erde und Mars



“Fig. 22.1 Growth velocity curves for boys on Earth at selected percentiles. Real data (dots) collected for decades using smoothed charts from NCHS and theoretical results (full lines) from Eq.(22.17). The equivalent growth on Mars as "predicted" by the same formulae assuming common biological parameters and the Mars gravity $g=3.7 \text{ m/s}^2$ is also shown by full lines.”

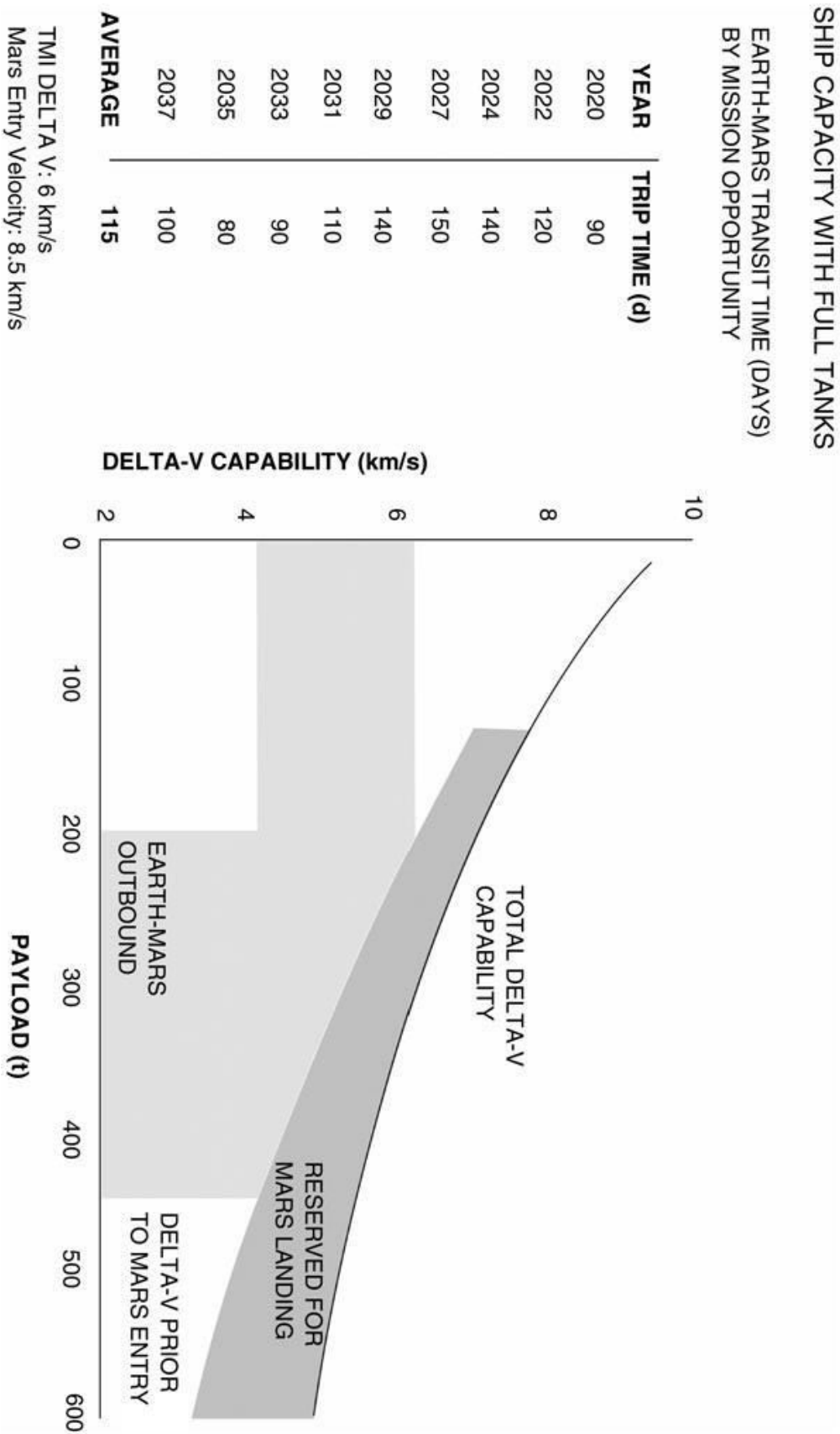
Quelle: Canessa, Enrique (2009): Fundamentals of Human Physical Growth on Mars. In: Badescu, Viorel (Ed.): Mars. Prospective Energy and Material Resources. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S. 594.

Table 3-7. Estimates of Radiation Exposure

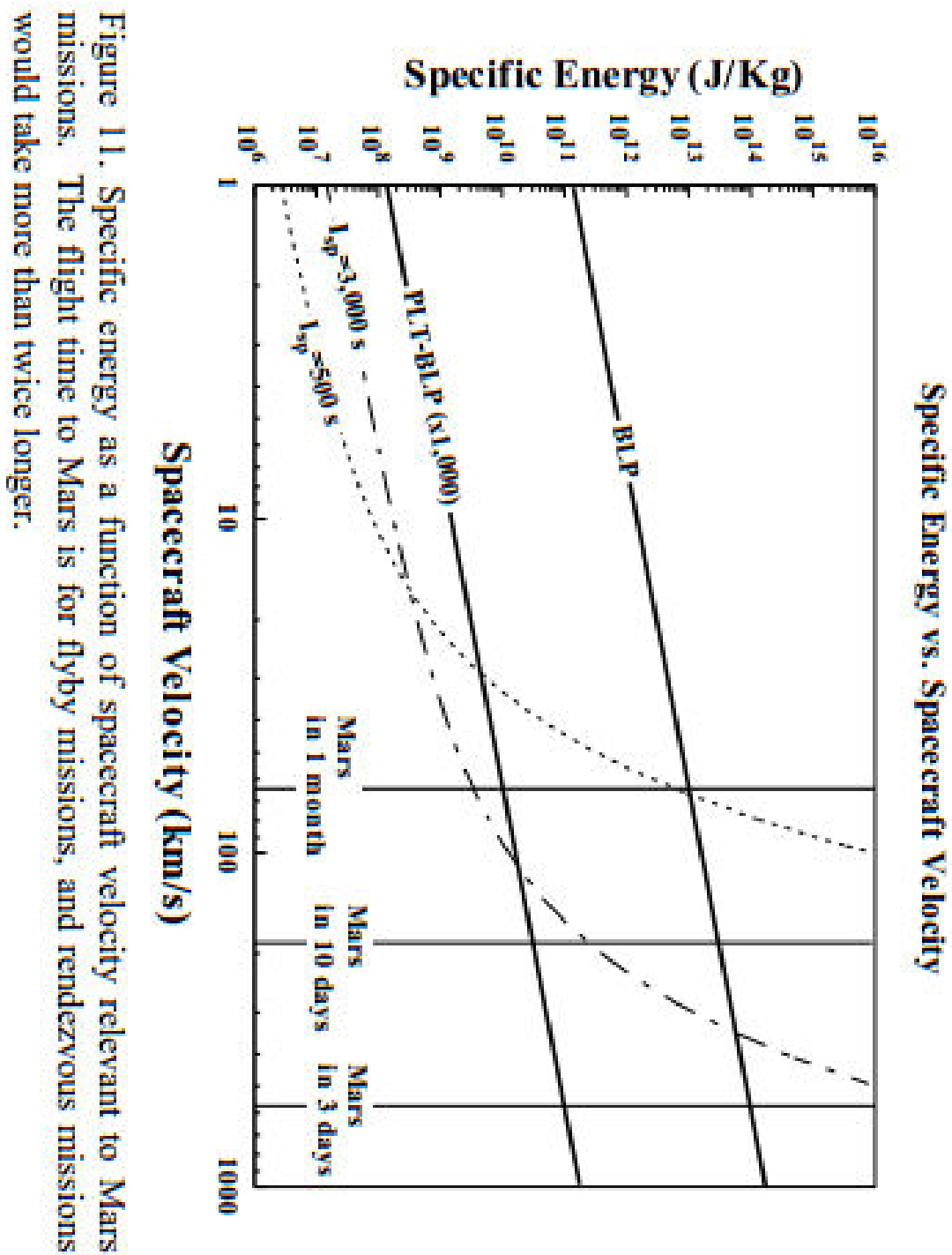
Radiation Source	Short-stay Mission Exposure BFO*		Long-stay Mission Exposure BFO		Total BFO Short Stay (mSv)	Total BFO Long Stay (mSv)
	Transit Exposure (mSv)	Surface Exposure (mSv)	Transit Exposure (mSv)	Surface Exposure (mSv)		
GCR at Solar Minimum	1,030–1,240	25–30	720	335–405	1,055–1,270 485–490	1,055–1,125 395–450
GCR at Solar Maximum	475	10 to 15	275	120–175		
August 1972 SPE at 1 AU	60–90	25	60–90	25		
August 1972 SPE at 1.5 AU	N/A	9	N/A	9		
Nuclear Propulsion	100	N/A	100	N/A		

BFO = blood-forming organ

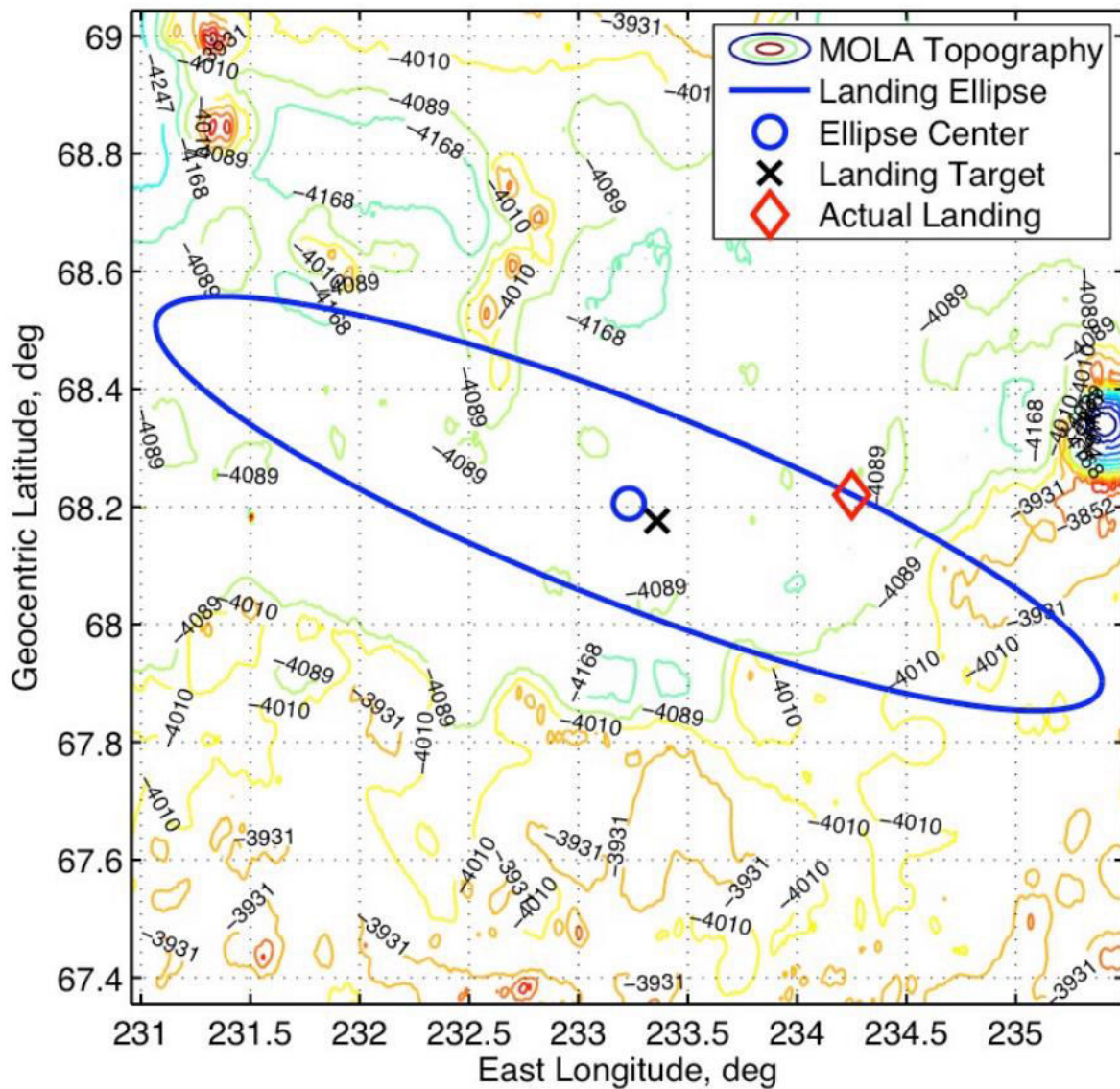
mSv: Millisievert
GCR: Galactic Cosmic Radiation
AU: Astronomical Unit



Quelle: Musk, Elon (2016): Making Humans a Multi-Planetary Species. In: New Space, Volume 5, Number 2, S. 55.



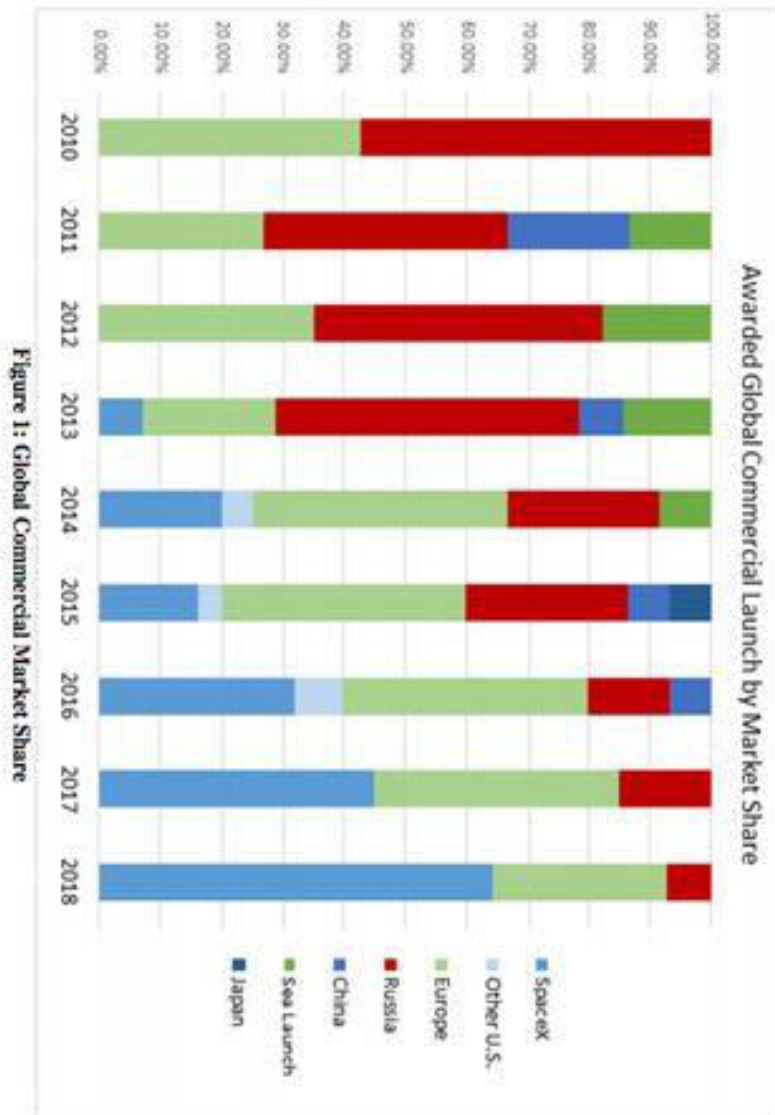
Quelle: Wang, Brain (2012): "Roadmap to Photon Propulsion for Interstellar Flight". URL: <https://www.nextbigfuture.com/2012/12/roadmap-to-photon-propulsion-for.html> [Stand: 06.03.2018].



Anhang V: Prognostizierte Landungsellipse für Phoenix

Quelle: Prince, Jill L. / Desai, Prasun N. / Queen, Eric M. / Grover, Myron R., (2008): "Mars Phoenix Entry, Descent, and Landing Simulation Design and Modelling Analysis". NASA Technical Reports Server, S. 13.

Anhang VI: Awarded Global Commercial Launch by Market Share



Quelle: Bennett,

Jay (2017): "One Chart Shows How Much SpaceX Has Come to Dominate Rocket Launches".

URL:

<https://www.popularmechanics.com/space/rockets/a27290/one-chart-spacex-dominate-rocket-launches/> [Stand: 08.03.2018].

COSTS

With full reuse, our overall architecture enables significant reduction in cost to Mars

	BOOSTER	TANKER	SHIP
FABRICATION COST	\$230M	\$130M	\$200M
LIFETIME LAUNCHES	1,000	100	12
LAUNCHES PER MARS TRIP	6	5	1
AVERAGE MAINTENANCE COST PER USE	\$0.2M	\$0.5M	\$10M
TOTAL COST PER ONE MARS TRIP (Amortization, Propellant, Maintenance)	\$11M	\$8M	\$43M

Cost Of Propellant: \$168/t

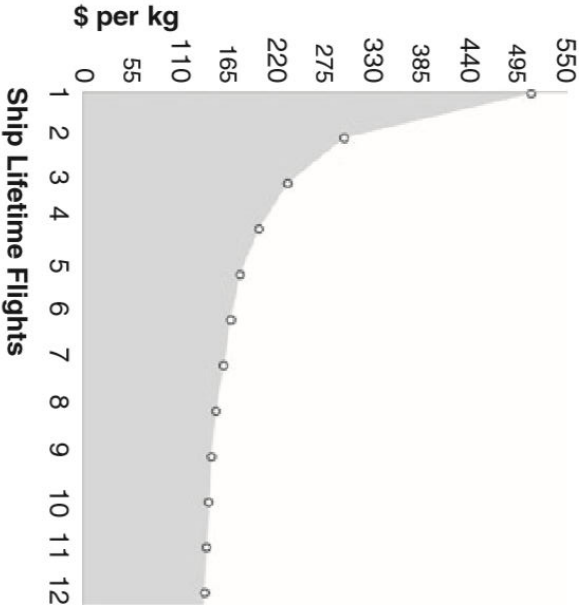
Launch Site Costs: \$200,000/launch

Discount Rate: 5%

Sum Of Costs: \$62 M

Cargo Delivered: 450 T

Cost/ion to Mars: <\$140,000

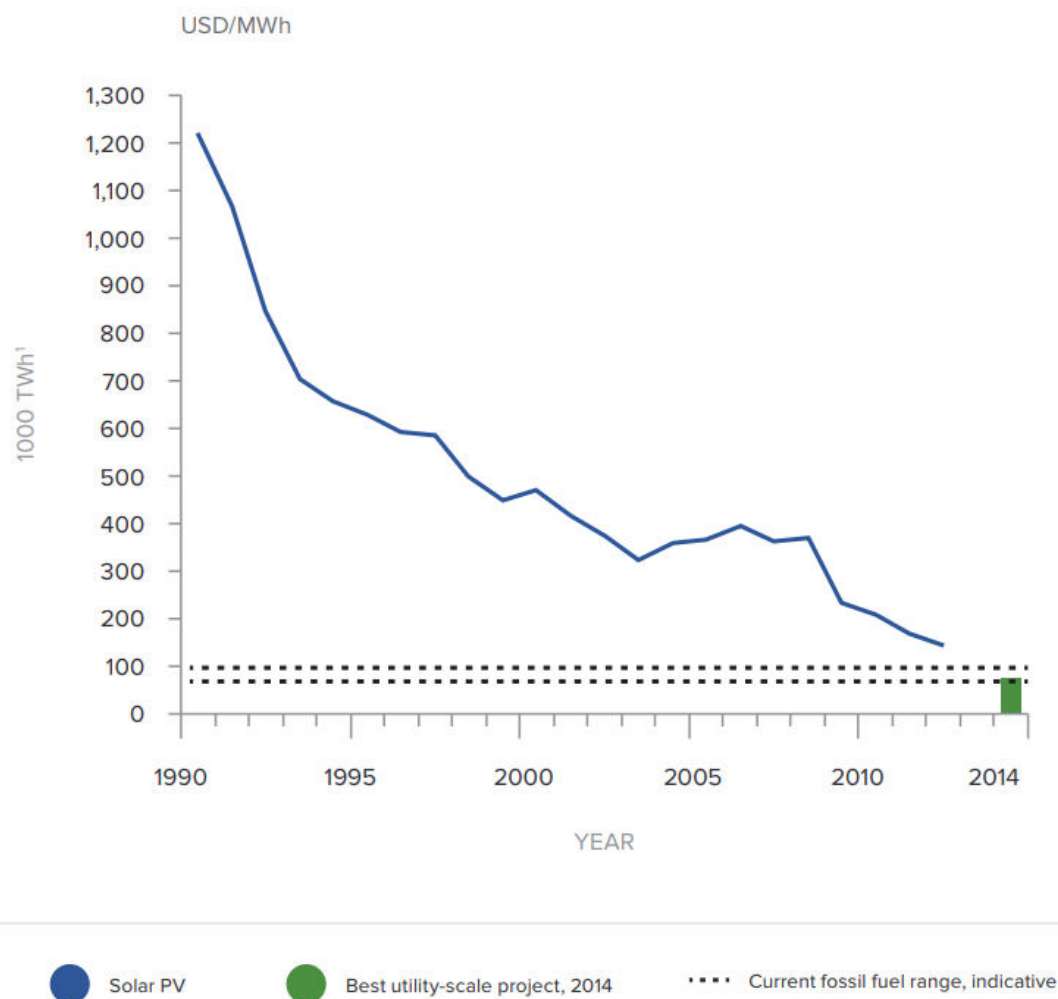


Quelle: Musk, Elon (2016): Making Humans a Multi-Planetary Species. In: New Space, Volume 5, Number 2, S. 56.

Anhang VIII: Indicative levelised cost of solar PV electricity over time

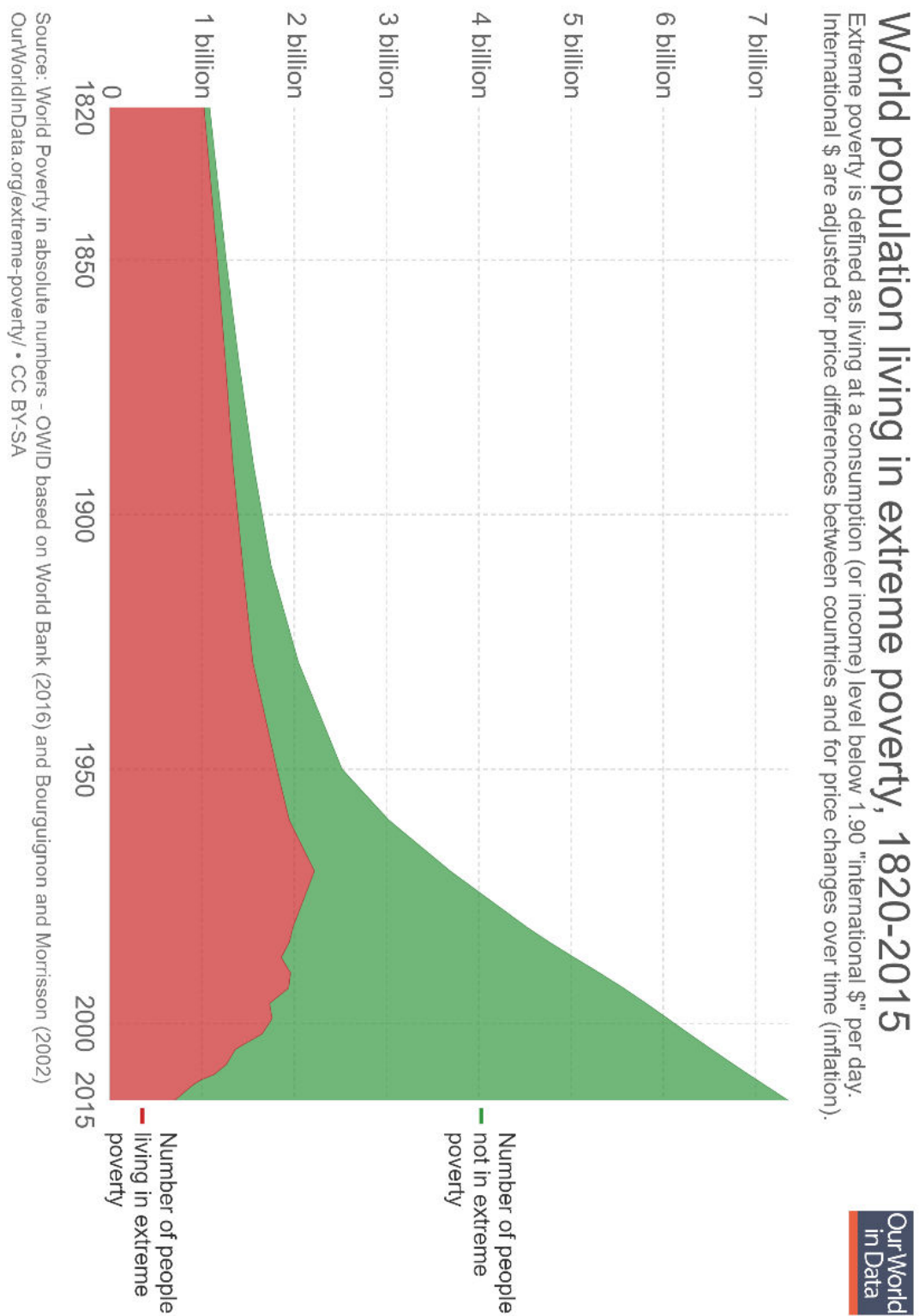
Figure 4

Indicative levelised costs of solar PV electricity over time, and estimated lowest utility-scale cost to date, compared to a global reference level for coal and natural gas



Quelle: The Global Commission on the Economy and Climate (2014): "Energy".
In: *Better Growth, Better Climate. The New Climate Economy Report*, S. 16.

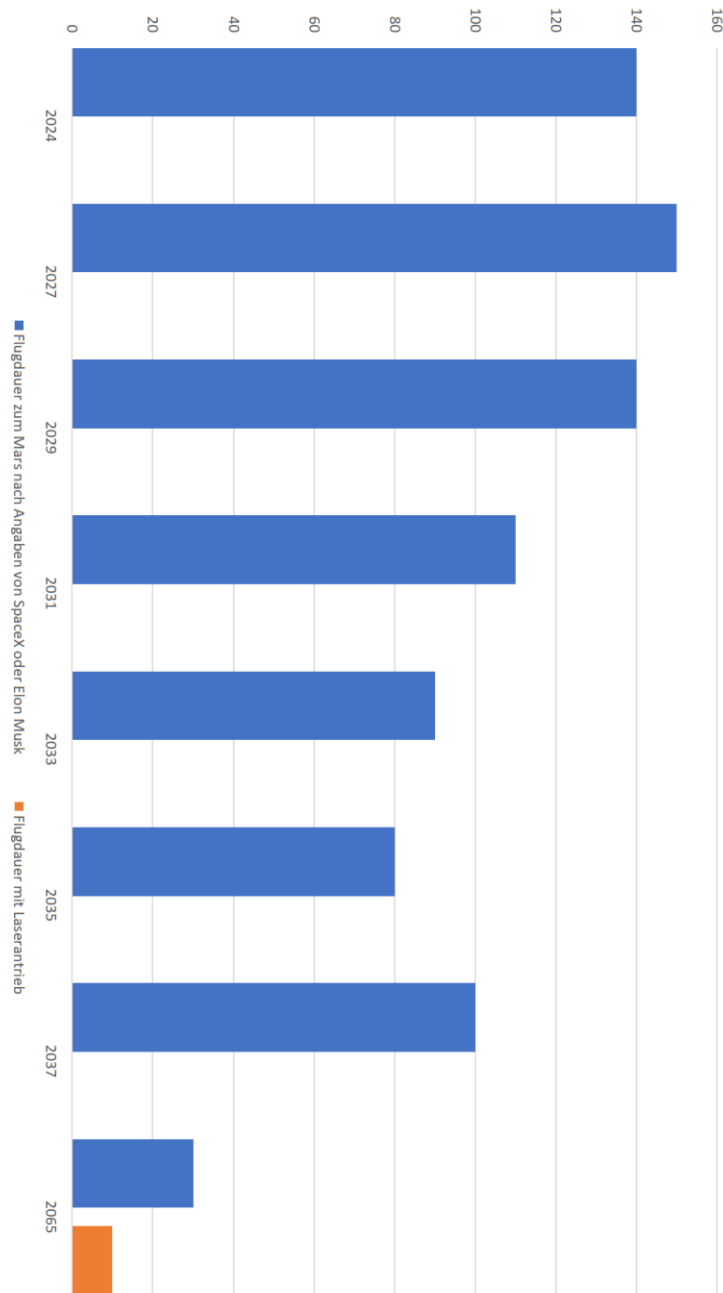
Anhang IX: World population living in extreme poverty, 1820-2015



Quelle: Roser, Max / Ortiz-Ospina, Esteban (2017): "Global Extreme Poverty".

URL: <https://ourworldindata.org/extreme-poverty> [Stand: 08.03.2018].

Anhang X: Entwicklung der Flugdauer zum Mars



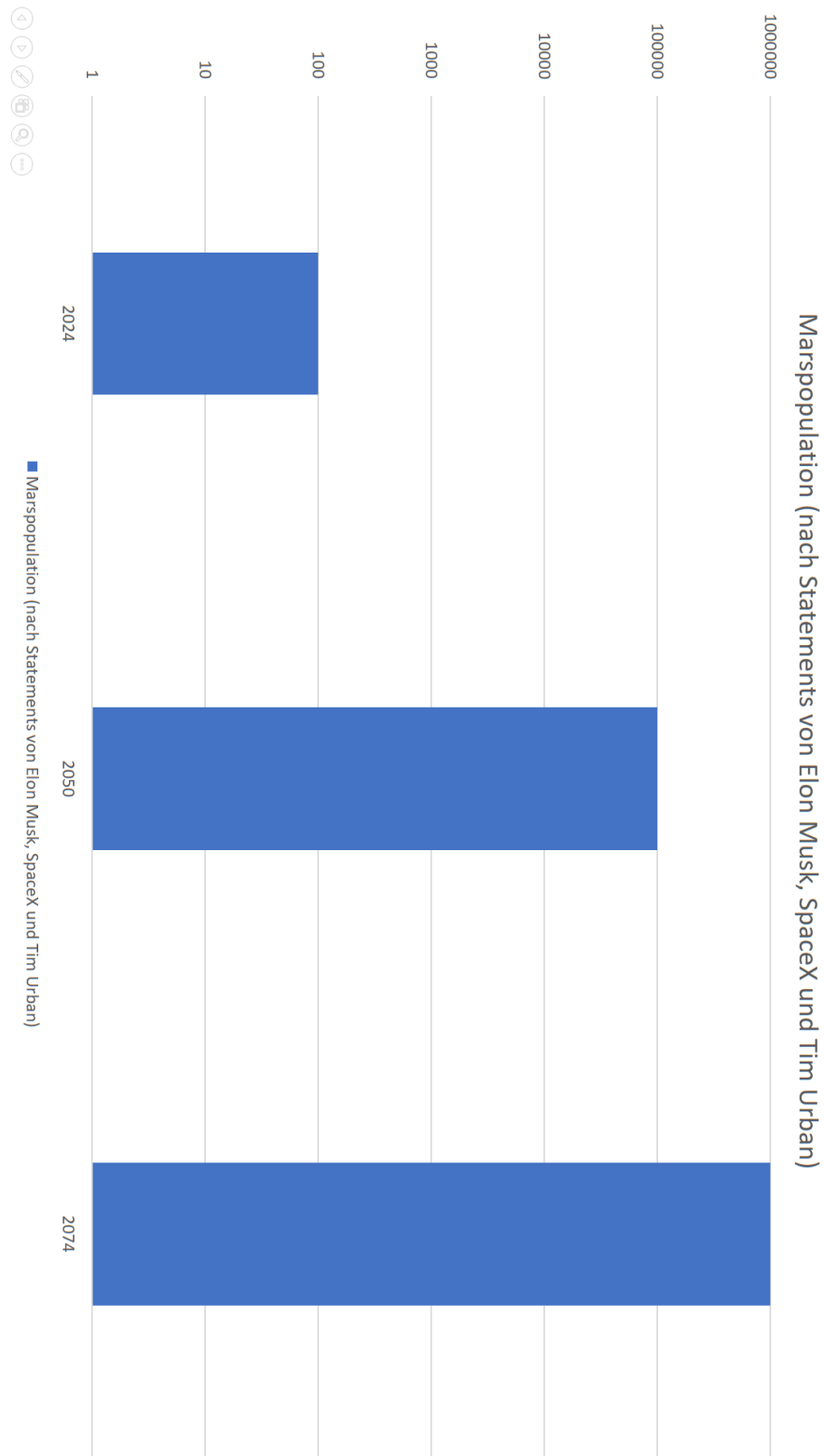
Quellen:

Musk, Elon (2016): Making Humans a Multi-Planetary Species. In: New Space, Volume 5, Number 2, S. 55.

Urban, Tim (2016): "SpaceX's Big Fucking Rocket – The Full Story". URL: <https://waitbutwhy.com/2016/09/spacexs-big-fking-rocket-the-full-story.html> [Stand: 06.03.2018].

Wang, Brain (2012): "Roadmap to Photon Propulsion for Interstellar Flight". URL: <https://www.nextbigfuture.com/2012/12/roadmap-to-photon-propulsion-for.html> [Stand: 06.03.2018].

Anhang XI: Entwicklung der Marspopulation



Quellen:

Urban, Tim (2016): "SpaceX's Big Fucking Rocket – The Full Story". URL: <https://waitbutwhy.com/2016/09/spacexs-big-fking-rocket-the-full-story.html> [Stand: 06.03.2018].

SpaceX (2017): "Mars". URL: <http://www.spacex.com/mars> [Stand: 06.03.2018].



Quelle: SpaceX (2017): Making Life Multiplanetary. Protokoll Adelaide, Astronautical Congress, S. 9.

Anlagen

Versicherung der selbstständigen Erarbeitung und Anfertigung der Facharbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken (auch aus dem Internet) entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Verwendete Informationen aus dem Internet sind der Seminarfachlehrerin bzw. dem Seminarfachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung gestellt worden.

Bremervörde, den 14.03.2018

Unterschrift Schüler

Einverständniserklärung zur Veröffentlichung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, dass die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Bremervörde, den 14.03.2018

Unterschrift Schüler