

Bundesrealgymnasium Keplerstraße Graz

Keplerstraße 1

8020 Graz

Schuljahr 2021/2022

## **Vorwissenschaftliche Arbeit**

# **Moderne Raumfahrttechnik und der Flug zum Mars**

Johannes Michael Opperl

Klasse 8c

Betreuer/in: Mag. Norbert Steinkellner

März 2022

## **Abstract**

Seit einigen Jahren ist das Interesse an einem bemannten Flug zum Mars groß. Diese Arbeit hat sich das Ziel gesetzt, verschiedene Raumfahrttechnologien der Staatlichen Firma NASA und des privaten Raumfahrtunternehmens SpaceX, zu beschreiben. Zuvor wird jedoch ein kleiner Einblick in die Geschichte der Raumfahrt und in die Ziele der Modernen Raumfahrt gewährleistet. Des Weiteren wurde der Ablauf eines möglichen Fluges zum Mars dargestellt. Ebenfalls spielen verschiedene Herausforderungen, wie etwa menschliche und technische, eine Rolle in der Arbeit. Um die VWA zu erstellen, wurden hauptsächlich Quellen aus dem Internet verwendet. Die meisten Informationen wurden jedoch aus dem Buch „Der Weg zum Mars. Aufbruch in eine neue Welt“, von Sasha Mamczak und Sebastian Pirling, gewonnen. Die wichtigste Erkenntnis der Arbeit war, dass ein bemannter Flug zum Mars zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich ist. Der Mensch würde einen Flug nicht überleben. Wird an der Technologie jedoch weitergeforscht, ist es möglich, dass Menschen eines Tages auf dem Mars landen.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Definition der Luft- und Raumfahrttechnik.....	4
2	Einblick in die Geschichte der Raumfahrt zum Mars.....	5
3	Entwicklungen und Ziele der gegenwärtigen Raumfahrt.....	7
3.1	Ziele der NASA .....	7
3.2	Ziele von SpaceX.....	8
4	Technologien von SpaceX und der NASA .....	9
4.1	Raumfahrttechnik der NASA .....	9
4.1.1	Die Raumfähre der NASA .....	10
4.1.2	Space Launch System (SLS) .....	11
4.1.3	Das NERVA-Triebwerk.....	15
4.2	Raumfahrttechnik von SpaceX.....	18
4.2.1	Die Big Falcon Rocket (BFR) .....	19
4.2.2	Der Raptor-Antrieb .....	21
5	Möglicher Ablauf eines Fluges zum Mars .....	24
5.1	Start .....	25
5.2	Flug.....	25
5.3	Landung.....	26
6	Herausforderungen beim Flug .....	27
6.1	Menschliche Probleme.....	27
6.1.1	Körperliche Probleme des Menschen und ihre mögliche Lösung .	27
6.1.2	Psychische Probleme und ihre mögliche Lösung .....	30
6.2	Herausforderungen bei der Technik.....	31
7	Fazit und Schluss.....	32
	Literaturverzeichnis .....	34
	Abbildungsverzeichnis .....	39
	Selbständigkeitserklärung .....	40

# 1 Einleitung und Definition der Luft- und Raumfahrttechnik

„Wenn die Menschheit es nicht schafft, auf dem Mars zu landen, solange ich noch lebe, wäre ich sehr enttäuscht.“, sagte einst Elon Musk.<sup>1</sup> Mit seiner eigens dafür gegründeten Firma SpaceX, will er den bemannten Flug zum Mars ermöglichen.<sup>2</sup> In erster Linie spielen wirtschaftliche Gedanken hierbei eine wichtige Rolle. Weitere wichtige Beweggründe ist das Überleben der menschlichen Rasse durch Expansion auf andere Planeten und die menschliche Neugier.<sup>3</sup> Elon Musk und viele weitere Menschen wollen verstehen lernen, ob ein Leben auf einem anderen Himmelskörper, wie etwa dem Mond oder dem Mars, möglich ist. Gibt es Leben auf anderen Planeten, können Ressourcen anderer Himmelskörper abgebaut und für den Menschen nutzbar gemacht werden? Lassen sich Pflanzen anbauen und ein Planet sozusagen kultivieren? Viele und hohe Hürden sind für die Beantwortung dieser Fragen zu überwinden. Besonders die großen Entfernungen im All von Himmelskörper zu Himmelskörper, aber auch die Anpassung des Menschen an die für ihn menschenfeindliche Umgebung, stellen eine große Herausforderung dar.

In der folgenden Arbeit soll es um Herausforderungen und technologische Anforderungen, als auch um Lösungsansätze, in Bezug auf einen bemannten Flug zum Mars, gehen. Besonders wird darauf Wert gelegt, wesentliche und neuartige Raumfahrttechnologien zu beleuchten und zu umreißen, ob solch ein Flug möglich ist.

Als Grundlage für den weiteren Verlauf der Arbeit, ist zunächst der Begriff: „Luft- und Raumfahrttechnik“ näher zu bestimmen.

---

<sup>1</sup> Vgl. ZDF (03.09.2020): Elon Musk. URL: <https://www.zdf.de/kinder/logo/portrait-elon-musk-100.html#> [Stand: 26.02.2022]

<sup>2</sup> Vgl. DRAESE, Nina; JANCZURA, Sarah (08.07.2021): SpaceX zündet Starship-Booster: Erster bemannter Flug für Juli geplant. URL: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/raumfahrt/elon-musk-stellt-prototyp-spacex-starship-vor/> [Stand: 26.02.2022]

<sup>3</sup> Vgl. WORRAL, Simon (05.03.2018): Die Menschheit überlebt nur, wenn sie den Mars kolonialisiert. URL: <https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/2018/03/die-menschheit-ueberlebt-nur-wenn-sie-den-mars-kolonisiert> [Stand: 26.02.2022]

Raumfahrttechnik steht im Allgemeinen für die Technik des Raumfahrzeugbaus, deren Entwicklung, Umsetzung und Unterhaltung. Sie beinhaltet damit alle technischen Aspekte eines Raumfahrzeuges, von den Triebwerken bis zu den Lebenserhaltungssystemen.<sup>4</sup>

Die Arbeit fokussiert sich im weiteren Verlauf vor allem auf die Entwicklung neuer Raumfahrttechnologien von SpaceX und der „National Aeronautics and Space Administration“ (NASA). Die Arbeit soll auf diese Weise nicht nur reglementiert, sondern auch auf die gegenwärtig wichtigsten und fortschrittlichsten Technologien hinweisen. Zuvor liegt der Fokus jedoch auf der Geschichte der Raumfahrt (bezogen auf den Mars) und den Zielen der heutigen Raumfahrttechnik. Hierbei soll ein Überblick verschafft werden, an welchem technologischen Punkt die jetzige Raumfahrt steht und welche Ziele erreicht werden müssen, um einen Mars-Flug zu bewerkstelligen. Nach dem Erklären der modernen Raumfahrttechnik der NASA und SpaceX, wird der mögliche Ablauf eines Fluges zum Mars dargestellt. Im letzten Kapitel der Arbeit, soll die Komplexität einer bemannten Mission zum Mars verdeutlicht werden. Dabei werden sowohl physische und psychische Probleme beleuchtet, die ein solcher Flug mit sich bringt, als auch die technische Herausforderung, die es zu bewältigen gilt. Die Arbeit endet in einem Fazit und fasst zusammen, ob eine Marsmission technisch, als auch menschlich gelingen kann.

## **2 Einblick in die Geschichte der Raumfahrt zum Mars**

Das vorliegende Kapitel soll die wichtigsten Eckpunkte, in der Geschichte der Raumfahrt zum Mars darlegen. Es wird gleichzeitig ein Überblick verschafft, welche Ziele die Menschheit in der Raumfahrt, als Basis für einen bemannten Flug zum roten Planeten, bisher erreicht hat.

Bereits im 16. Jahrhundert fand der Astronom Tycho Brahe heraus, dass der Mars sich in einer elliptischen Bahn um die Sonne bewegt. In den darauffolgenden Jahrhunderten wurde der Mars zunehmend beobachtet und gelangte immer mehr in den Fokus des Menschen. Es wurde entdeckt, dass es dort Polkappen, Jahreszeiten

---

<sup>4</sup> Vgl. HALLMANN, Willi; WITTMANN, Klaus; LEY, Wilfried: Handbuch der Raumfahrttechnik. München: Carl Hanser Verlag 2019, S. 34 ff. und S. 419 ff.

und Berge gibt. Des Weiteren wurden die zwei Mars-Monde, Phobos und Deimos, entdeckt.<sup>5</sup>

Die Epoche des Raumfahrtzeitalters wurde 1957 durch die UdSSR eingeleitet. Der erste Satellit, Sputnik 1, wurde ins All geschossen. Damit begann in weiterer Folge sowohl der Wettlauf zum Mond als auch die genauere Erforschung des Mars als Nachbar der Erde und potenzielles Ziel einer bemannten Mission. Drei Jahre nachdem die amerikanische Raumfahrtagentur NASA, 1958, gegründet wird, legen die Russen, mit dem ersten bemannten Flug ins All, den Grundstein zur bemannten Raumfahrt. Dies war ein wichtiger Meilenstein für den bemannten Flug zum Mond und gleichzeitig für einen Flug zum Mars.<sup>6</sup> Der NASA gelingt es 1965, die erste Sonde, Mariner 4, am Mars vorbeifliegen und Bilder übermitteln zu lassen.<sup>7</sup> Ein weiterer wichtiger Schritt für einen Mars-Flug gelingt der NASA 1969: Der Astronaut, Neil Armstrong, betritt als erster Mensch in der Geschichte einen fremden Himmelskörper, den Mond.<sup>8</sup> Nach der vorübergehenden Fokussierung auf die Erforschung des Mondes, wendete man sich wieder der Erkundung des Mars zu, was 1976 in der Landung der sog. Viking-Sonden mündet. Dies sind die ersten Sonden, die auf dem Mars landen.<sup>9</sup> Eine lange Zeit danach verschwindet das Interesse an weiteren Expeditionen zum Mars. Erst als 1997 Sorojuner, der erste Mars-Rover landet, wächst erneut das Interesse an einem möglichen bemannten Flug zum roten Planeten. In den darauffolgenden Jahren wird die Erforschung des Mars vertieft und weitere Rover und Satelliten dorthin entsandt.<sup>10</sup> Durch die Entdeckung von Wasser,

---

<sup>5</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars. Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 271

<sup>6</sup> Vgl. BÖHM-SCHWEIZER, Denise: Geschichte der Raumfahrt. URL: <https://astrokramkiste.de/ge-schichte-der-raumfahrt> [Stand: 12.02.2022]

<sup>7</sup> Vgl. JPL NASA: Mariner 4. URL: <https://www.jpl.nasa.gov/missions/mariner-4> [Stand: 26.02.2022]

<sup>8</sup> Vgl. BÖHM-SCHWEIZER, Denise: Geschichte der Raumfahrt. URL: <https://astrokramkiste.de/ge-schichte-der-raumfahrt> [Stand: 12.02.2022]

<sup>9</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars- Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 272

<sup>10</sup> Vgl. BÖHM-SCHWEIZER, Denise: Geschichte der Raumfahrt. URL: <https://astrokramkiste.de/ge-schichte-der-raumfahrt> [Stand: 12.02.2022]

wird vermutet, dass auf dem Mars einst ähnliche Bedingungen herrschten, wie auf unserer Erde heute, mit Leben, großen Meeren und einer dichten Atmosphäre.<sup>11</sup>

Besonders die Pläne eines bemannten Fluges zum Mars nehmen erneut Fahrt auf, als der Amerikaner Elon Musk, 2002, die private Weltraumfirma SpaceX gründet und verspricht, vor 2030 auf dem Mars landen zu wollen.<sup>12</sup> Um die Kosten eines solchen Fluges drastisch zu senken, entwickelt SpaceX wiederverwendbare Raketen. 2015 gelingt Musk die erste Landung einer solchen wiederverwendbaren Rakete.<sup>13</sup>

Um einen bemannten Flug zum Mars zu bewerkstelligen, werden allerdings noch einige technologischen Entwicklungen benötigt.

### **3 Entwicklungen und Ziele der gegenwärtigen Raumfahrt**

Kapitel 3 befasst sich mit der Entwicklung und Ziele der gegenwärtigen Raumfahrt und deren Technologien. D.h. kurz- bis mittelfristige Entwicklungen die in den nächsten 5 – 10 Jahren realisiert werden sollen. Hierbei wird ausschließlich, zur weiteren Fokussierung der Arbeit, auf Entwicklungen von NASA und SpaceX eingegangen. Beide Organisationen sind weit fortgeschritten in ihren Bestrebungen, einen bemannten Flug zum Mars zu verwirklichen und entsprechende Technologien, für dessen Besiedlung, zu entwickeln.

#### **3.1 Ziele der NASA**

Die gegenwärtigen Forschungen der NASA konzentrieren sich besonders darauf, in den nächsten Jahren wieder Menschen ins All zu fliegen. Die NASA fokussiert deshalb Ressourcen und finanzielle Mittel auf die Entwicklung des sogenannten *Space-Launch-System* (SLS). Man will damit, nach 50 Jahren, nicht nur Menschen auf den Mond bringen, sondern auch ein System besitzen, welches mehreren Tonnen

---

<sup>11</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars. Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 273-274

<sup>12</sup> Vgl. SIEBEN, Peter (25.03.2021): SpaceX: Elon Musk verkündet überraschende Nachricht zur Marslandung. URL: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/raumfahrt/spacex-elon-musk-mars-landung/> [Stand: 26.02.2022]

<sup>13</sup> Vgl. SpaceX: Making History. URL: [SpaceX - Mission](#) [Stand: 26.02.2022]

Fracht aus dem Erdorbit transportieren kann.<sup>14</sup> Dies soll auch die Grundlage für die Errichtung einer Mondstation oder Mondkolonie bilden. Die dort betriebenen Forschungen sollen der Menschheit Erkenntnisse über neue Technologien und Techniken bringen, welche für das Überleben auf dem Mars von großer Bedeutung sein werden. Ab 2023 sollen die ersten logistischen Flüge des neuen SLS zum Mond durchgeführt werden. 2024 sollen schließlich die ersten Menschen, seit 1972, auf dem Mond landen.<sup>15</sup>

Für bemannte Mondmissionen will die NASA mithilfe des neu entwickelten SLS, das sog. „Gateway“ bauen. Dies ist eine Raumstation, welche sich im Orbit des Mondes befinden soll. Es soll ein Ankerpunkt für längere Mondmissionen darstellen. Astronauten könnten von dort mehrere „Ausflüge“ zum Mond hintereinander starten, ohne dafür auf die Erde zurückkehren zu müssen. Es könnten somit z.B. leichter Technologien erforscht werden, die für einen bemannten Mars-Flug und für ein Leben auf dem Mars nötig sind.<sup>16</sup>

Das SLS könnte in Zukunft schließlich auch die Grundlage bilden, einen bemannten Flug zum Mars zu ermöglichen. Dazu könnte es große Bauteile für den Bau des sogenannten *Mars-Transit-Vehicle* (MTV) ins All transportieren. Mit diesem soll anschließend der bemannte Flug zum Mars bewältigt werden.<sup>17</sup>

### 3.2 Ziele von SpaceX

Das nächste Ziel des Privatweltraumunternehmers Elon Musk und seinem Unternehmen SpaceX, ist der Mars. Laut Musk hätte SpaceX 2022 das erste *Frachtschiff*

---

<sup>14</sup> Vgl. GRÜNDER, Mathias (23.04.2015): NASA: Space Launch System nimmt Gestalt an. URL: <https://www.flugrevue.de/raumfahrt/mission-zum-mars-nasa-space-launch-system-nimmt-gestalt-an/> [Stand: 26.02.2022]

<sup>15</sup> Vgl. NASA<sup>2</sup> (2020): NASA's Lunar Exploration Programm Overview. Landing Humans on the Moon in 2024. URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis\\_plan-20200921.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf) [Stand: 26.02.2022], S. 10

<sup>16</sup> Vgl. NASA<sup>2</sup> (2020): NASA's Lunar Exploration Programm Overview. Landing Humans on the Moon in 2024. URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis\\_plan-20200921.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf) [Stand: 26.02.2022], S. 10

<sup>17</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars. Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 85-86



zum Mars schicken sollen, um die Grundlagen für eine bemannte Marsmission zu bilden. Diese Angabe ist jedoch unrealistisch, da es mehrere Rückschläge in der Entwicklung der Raumfahrttechnik gab. Es wurden bisher keine neuen Daten zu einem Erstflug veröffentlicht, wodurch abzuwarten bleibt, wann tatsächlich ein Flug stattfindet. Derzeitig ist das Unternehmen mit der Entwicklung und dem Test des Starship mit seinem Raptor-Triebwerk beschäftigt.<sup>18</sup> Das Raptor Triebwerk soll dabei weit mehr Schub entwickeln als die Triebwerksvorgänger, wie beispielsweise dem Merlin-Triebwerk, welches zum Antrieb der heutigen Falcon 9 Raketen verwendet wird.<sup>19</sup>

Das Starship soll 2023 erstmals bemannt den Mond umrunden. Die Reise zum Mond ist für SpaceX, wie auch für die NASA, nur ein Zwischenziel für einen bemannten Flug zum Mars, welcher laut Musk bereits 2026 stattfinden soll.<sup>20</sup> Ob diese Flüge tatsächlich in dem jeweils angegebenen Zeitraum stattfinden, bleibt abzuwarten.

## 4 Technologien von SpaceX und der NASA

### 4.1 Raumfahrttechnik der NASA

Seit dem letzten Start des Space-Shuttles am 8. Juli 2011, hat die NASA keine bemannten Raumflüge mehr durchgeführt. Das soll sich in den 2020er ändern. Die NASA will erstmals seit über 50 Jahren Menschen auf den Mond fliegen und in weiterer Folge auch darüber hinaus. Mit den folgend beschriebenen Raumfahrzeugen und dem sog. NERVA-Triebwerk sollen diese Missionen gelingen.

---

<sup>18</sup> Vgl. BROWN, Mike (29.09.2017): Everything Elon Musk revealed about BFR, his new Mars rocket. URL: <https://www.inverse.com/article/36948-elon-musk-bfr-rocket-new-project-mars> [Stand: 26.02.2022]

<sup>19</sup> Vgl. Golem: Neue Treibstofftanks und Triebwerke werden schon getestet. URL: <https://www.golem.de/news/spacex-warum-elon-musks-marsplan-keine-science-fiction-ist-1609-123509-2.html> [Stand: 26.02.2022]

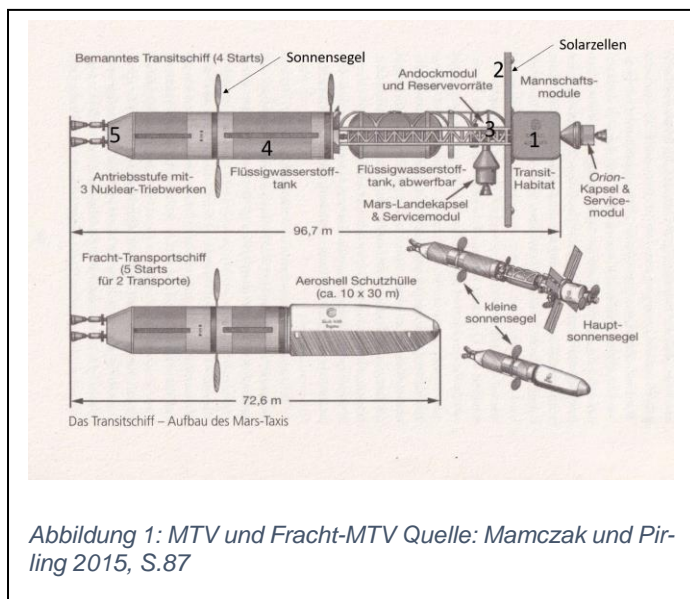
<sup>20</sup> Vgl. BROWN<sup>2</sup>, Mike (14.12.2021): SpaceX Starship: Elon Musk reveals ambitious timeline for getting to Mars. SpaceX Starship: The timeline for getting to the Moon and Mars. URL: <https://www.inverse.com/innovation/starship-elon-timeline> [Stand: 26.02.2022]

#### 4.1.1 Die Raumfähre der NASA

Mit einer Rakete des heutigen Standards, ist der bemannte Flug zum Mars nahezu unmöglich. Im All warten bisher noch zu viele Gefahren auf den Menschen, wie z.B. die Kosmische Strahlung oder auch die Schwerelosigkeit (siehe 6.1.1). Daher ist es nötig *Raumfähren* zu bauen, welche Menschen und überlebenswichtige Güter sicher zum Mars befördern können. Anders als SpaceX, die den Flug mit ihrem Starship bewältigen wollen, ist es Ziel der NASA solch eine *Fähre* zu bauen.

Das Mars Transit Vehicle oder kurz MTV soll in der Lage sein, den mehrmonatigen hin und Rückflug zu bewältigen und dabei bis zu sechs Insassen zum Teil vor der Strahlung und den weiteren Gefahren des Weltalls zu schützen. Da man das Transitschiff zwischendurch nicht auftanken kann und es schon allein ohne Treibstoff mehr als 40 Tonnen wiegen würde, muss das Schiff im Orbit der Erde, wie etwa auch die Internationale Raumstation (ISS), Stück für Stück zusammengebaut werden.

Vorne in Flugrichtung zum Mars befindet sich das Transhabitat (1), Solarpaneele (2) sowie Andock- und Vorratsspeichermodule (3). Weiter in Richtung der Triebwerke befinden sich Sonnensegel, verbaut an Flüssigwasserstofftanks, welche schließlich mit den Nuklearen-Triebwerken (5) (siehe Kapitel 4.1.3) verbunden sind. An das Transhabitat



dockt bei einem bemannten Flug die sog. Orionkapsel, welche mit einer Rakete (z.B. SLS) ins All befördert wird, an.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars. Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 85-87

Im inneren des Transhabitats befindet sich alles überlebenswichtige für die Astronauten auf dem Flug zum Mars. Dazu gehört unter anderem das Lager, in dem Güter wie beispielsweise Nahrung gelagert sind. Auch Fitnessgeräte zum Entgegensteuern des Muskels und Knochenschwundes (Siehe 6.1) und die Kabinen der Astronauten sind vorhanden. Um das MTV zu steuern, sich mit der Erde in Verbindung zu setzen und beispielsweise Experimente durchzuführen, gibt es den Kontroll- und Forschungsraum, in welchem die Crew Besprechungen hält und sonstige Aktivitäten wie Essen, Kochen, Filme sehen etc., durchführen kann.<sup>22</sup>

Für den Bau und Ressourcenauffüllung eines bemannten MTV, werden nach bisherigen Berechnungen der NASA vier Raketenstarts des SLS benötigt. Die einzelnen Teile werden im Orbit zusammengesetzt. Da das MTV nicht auf dem Mars landen kann und man nur Ressourcen für den Flug der Astronauten transportieren kann, müssen zwei unbemannte Fracht-Transportschiffe vorausgeschickt werden. Diese beinhalten das Landemodul, welches im Marsorbit stationiert wird und ein Habitat, in welchem Menschen leben sollen. Dieses wird mit überlebenswichtigen Gütern auf dem Mars platziert. Für den Bau beider Frachtschiffe werden insgesamt fünf Raketenstarts benötigt.<sup>23</sup>

Mit dem MTV soll der bemannte Flug zum Mars und der Rückflug zur Erde glücken und ist somit der wahrscheinlich wichtigste Teil für den Flug zu unserem Nachbarplaneten und dessen Besiedelung. Das MTV wird wahrscheinlich nur in den ersten Flügen eingesetzt, um vorerst mit einer kleinen Menge von Menschen zu testen, ob ein Leben auf dem Mars möglich ist. Sind diese Tests erfolgreich, wird das MTV vielleicht von etwas ersetzt, was mehr Menschen gleichzeitig zum Mars transportieren kann (siehe Kapitel 4.2.1.).

#### **4.1.2 Space Launch System (SLS)**

In diesem Kapitel geht es um den Aufbau und die Funktion des Space Launch System (SLS). Dieses soll die bisher stärkste Rakete der NASA sein und erstmals

---

<sup>22</sup> Vgl. Marsbase (26.08.2015): Mars Transfer Vehicle. The Transit Habitat. URL: <https://marsbase.org/section9> [Stand: 26.02.2022]

<sup>23</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars. Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 83

wieder Menschen und größere Tonnen Fracht ins All bringen. Das SLS wird in drei verschiedene Teile gegliedert (vgl. Abb.2). Dem größten Bestandteil der Hauptstufe (1 SLS), den zwei Boostern (2 SLS) und dem Orion-Crew- oder Frachtmodul (3

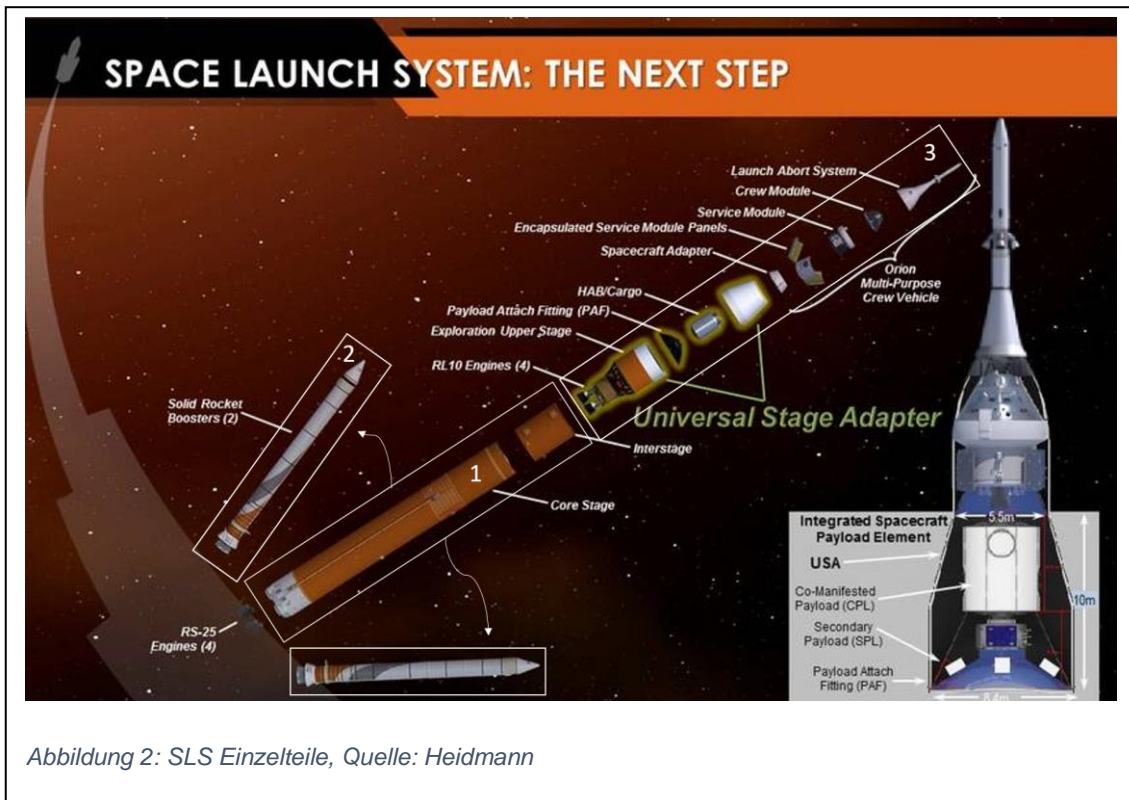


Abbildung 2: SLS Einzelteile, Quelle: Heidmann

SLS), welches sowohl Menschen als auch Fracht transportieren kann. Das Modul befindet sich über der Hauptstufe, an der Spitze der Rakete. Es soll zwei Arten der SLS geben. Eine Art SLS soll Menschen ins All befördern und die andere besitzt statt dem Orionmodul ein Frachtmodul, womit größere Mengen Fracht ins All gebracht werden können.

Die Hauptstufe soll, zusammen mit den Boostern, das Orionmodul in die niedrige Erdumlaufbahn und darüber hinaus, befördern. Die Hauptstufe allein soll eine Höhe von 64m und eine Breite von 8,4m besitzen. Beladen mit Treibstoff soll diese 1043t schwer sein und dennoch mehr als 46t Fracht in den Erdorbit bringen können. Die Hauptstufe besteht aus fünf Teilen. Der erste Teil (1) ist der Antriebsektor (vgl. Abb. 4), mit vier RS-25 Triebwerken, mit jeweils 2277kN Schub.<sup>24</sup> Der zweite Teil (2) darüber, besteht aus einem, 741.940 Liter fassenden, Flüssigwasserstofftank, in welchem -253°C herrschen, um den Wasserstoff im Tank flüssig zu halten. Der

<sup>24</sup> Vgl. NASA (2022): Space Launch System RS-25 Core Stage Engines. URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/sls\\_rs25\\_engine\\_fs\\_508.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/sls_rs25_engine_fs_508.pdf) [Stand: 26.02.2022]

Intertank (3) darüber, verbindet den zweiten und vierten Teil miteinander. Er enthält außerdem die Elektronik für die Abkoppelung der Booster, welche ebenfalls mit dem dritten Teil verbunden sind. Der vierte Teil (4) ist ein Flüssigwasserstofftank, welcher



196.000 Galonen fassen kann. Der oberste und letzte Teil der Hauptstufe (5), ist das Verbindungsstück zu einem zweiten Triebwerk, welches die sich darüber befindende Orionkapsel beschleunigt, um z.B. den Erdorbit zu verlassen. Das Verbindungsstück wird auch Kopf der ersten Stufe genannt, da sich dort, neben Kameras, die eigentliche Technik zur Steuerung der Hauptstufe befindet. Insgesamt kann die Hauptstufe einen Schub von 8,8MN erzeugen und dabei in 8,5 Minuten auf Mach 23 (28.000 km/h) beschleunigen.<sup>25</sup>

Links und rechts neben der Hauptstufe befinden sich die Booster des SLS. Beide sind jeweils 56m hoch und erzeugen zusammen einen Schub von 16MN. In den ersten zwei Minuten des Fluges, machen diese 75% des Schubes aus. Somit hätte die gesamte Rakete, bei voller potenzieller Ausnutzung, beim Start einen Schub von 24,8MN. Das sind ca. 2530 Tonnen, die die Triebwerke heben können.<sup>26</sup>

Über der Hauptstufe befindet sich die *Interim Cryogenic Propulsion Stage*. Das ist ein zweiter Antrieb, welcher die Orionkapsel beschleunigt. Dieser Antrieb besteht, wenn es sich um eine Fracht-SLS handelt, aus vier RL10-Triebwerken. Bei einem bemannten SLS befindet sich nur ein RL10-Triebwerk an der Orionkapsel.<sup>27</sup> Ein einzelnes Triebwerk dieser Art erzeugt einen Schub von 110kN (vgl. Harbaugh<sup>2</sup>,

<sup>25</sup> Vgl. Boeing (2022): Building the Future of Human Spaceflight Beyond Earth. URL: <https://www.boeing.com/space/space-launch-system/> [Stand: 26.02.2022]

<sup>26</sup> Vgl. HARBAUGH, Jennifer (02.12.2019): NASA's Space Launch System Rocket Capabilities for Deep Space. URL: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/multimedia/rocket-capabilities-for-deep-space-infographic.html> [Stand: 26.02.2022]

<sup>27</sup> Vgl. HARBAUGH, Jennifer (02.12.2019): NASA's Space Launch System Rocket Capabilities for Deep Space. URL: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/multimedia/rocket-capabilities-for-deep-space-infographic.html> [Stand: 26.02.2022]

14.02.2022).<sup>28</sup> Dies ist völlig ausreichend, um die kleinere Orionkapsel zu beschleunigen. Zwischen diesem Triebwerk und der Orionkapsel befindet sich der Orion-Stufen-Adapter, in welchem Platz für kleine Satelliten ist.<sup>29</sup>

Um ein Beispiel zu geben, wie stark ein RL-10 Triebwerk die Orionkapsel beschleunigt, wird folgend eine Rechnung beigelegt. Die Orionkapsel soll dabei eine Masse von 24065,8kg besitzen. Es wurde die Masse des sog. *Launch-Abort-System* (7314,2kg) abgezogen, da dieses nach einem erfolgreichen Start abgetrennt wird und somit für diese Rechnung nicht relevant ist. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Orionkapsel bereits im All befindet.<sup>30</sup> Die Schubkraft des Triebwerkes beträgt weiterhin 110kN.

Geg.:  $F = 110kN = 110.000N$ ;  $m = 24065,8kg$  ; Ges.:  $a$

Berechnung:  $a = \frac{F}{m}$

$$a = \frac{110.000}{24065,8} = 4,57 \frac{m}{s^2}$$

Eine bemannte Orionkapsel mit einem RL-10 Triebwerk besitzt eine Beschleunigung von  $4,57 \frac{m}{s^2}$ . Als weiteres Beispiel wird berechnet, welche Geschwindigkeit diese Kapsel nach 60 Sekunden Beschleunigung besäße:

Geg.:  $a = 4,57 \frac{m}{s^2}$ ;  $t = 60s$  ; Ges.:  $v$

Berechnung:  $v = a * t$

$$v = 4,57 * 60 = 274,2 \frac{m}{s}$$

$$= 987,12 \frac{km}{h}$$

---

<sup>28</sup> Vgl. HARBAUGH <sup>2</sup>, Jennifer (14.02.2022): Space Launch System RL10 Engine. URL: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/fs/rl10engine.html> [Stand: 01.03.2022]

<sup>29</sup> Vgl. HARBAUGH, Jennifer (02.12.2019): NASA's Space Launch System Rocket Capabilities for Deep Space. URL: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/multimedia/rocket-capabilities-for-deep-space-infographic.html> [Stand: 26.02.2022]

<sup>30</sup> Vgl. Lpi.usra: Orion. Quick facts. URL: <https://www.lpi.usra.edu/lunar/constellation/orion/factsheet2.pdf> [Stand: 01.03.2022]

Die Orionkapsel würde also innerhalb von 60 Sekunden auf eine Geschwindigkeit von  $987,12 \frac{km}{h}$  beschleunigen.

Auf der Spitze der Rakete befindet sich nun entweder ein Frachtraum oder die Orion-Kapsel, in welcher bis zu vier Menschen Platz haben. Ausgestattet mit einem Hitzeschild, einem kleinen Lagerraum und einem eigenen Triebwerk, ist das Orion Modul z.B. dazu fähig von der Mondumlaufbahn wieder zurück zur Erde zu fliegen, um dort sicher zu landen.<sup>31</sup>

Bisher sind Drei Generationen der SLS geplant. Die Rakete soll dabei von Generation zu Generation verbessert werden. Das SLS spielt, wie schon öfter erwähnt, eine entscheidende Rolle für einen bemannten Flug zum Mars. Außerdem soll das SLS den Bau des *Gateways* ermöglichen. Einer Raumstation im Mondorbit (siehe 3.1). Das Gateway könnte, neben der ursprünglichen Funktion als Forschungsstation im Mondorbit, später als eine Art Tankstelle für bemannte Raumschiffe, welche zum Mars fliegen, dienen. Das SLS bildet somit eine wichtige Grundlage für die NASA und andere Weltraumfirmen zur Besiedlung und Erforschung des Mondes und des Mars.<sup>32</sup>

#### 4.1.3 Das NERVA-Triebwerk

Der *Nuclear Engine for Rocket Vehicle Application*, oder kurz NERVA, ist ein nuklearer Antrieb, welcher in Zukunft der NASA ermöglichen könnte zum Mars zu fliegen. Die Entwicklung nuklearer Triebwerke begann bereits 1955. Fünf Jahre später begann die NASA mit der Entwicklung des NERVA. Man wollte schon damals ein neues Triebwerk entwickeln, mit welchem man weiter als nur bis zum Mond fliegen konnte. In der Wüste Nevadas (USA) wurde das Triebwerk erfolgreich getestet. Dennoch musste im Januar 1973, wegen Budgetkürzungen und dem

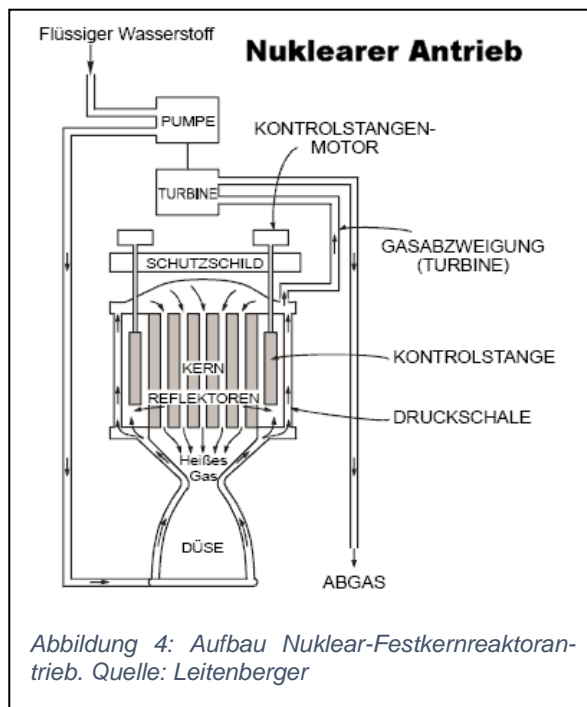
---

<sup>31</sup> Vgl. CRANE, Aimee (23.9.2019): Orion Capabilities for Deep Space Enable Crewed Artemis Moon Missions. URL: <https://www.nasa.gov/image-feature/orion-capabilities-for-deep-space-enable-crewed-artemis-moon-missions> [Stand: 26.02.2022]

<sup>32</sup> Vgl. LANDAU, Elizabeth (8.10.2019): Artemis Moon Program Advances- The Story So Far. URL: <https://www.nasa.gov/artemis-moon-program-advances> [Stand: 26.02.2022]

verschwindenden Interesse an einem Flug zum Mars, die Entwicklung solcher Triebwerke eingestellt werden.<sup>33</sup>

Die NASA will die erneute Erforschung dieser Triebwerke aufnehmen. Bei der Veröffentlichung ihrer Pläne zum Marsraumschiff wurde ein Nuklearantrieb als Antriebsform vorgestellt (siehe Kapitel 4.1.1).



Das NERVA-Triebwerk ist ein Festkernreaktor-Antrieb. Solche Triebwerke sind ähnlich wie chemische Antriebsarten (siehe Kapitel 4.2.2) aufgebaut. Anstatt einer chemischen Reaktion in einer Brennkammer, findet eine starke Erhitzung von Wasserstoff durch einen Kernreaktor statt. Das NERVA-Triebwerk besitzt eine Pumpe, welche den flüssigen Wasserstoff aus dem Tank pumpt und diesen anschließend zu einem großen Teil in die Reaktorkammer leitet. Dabei fließt die Flüssigkeit an der Düse vorbei und

kühlt diese. Der flüssige Wasserstoff wird hierbei gasförmig. Ein kleiner Teil fließt an der Reaktorkammer vorbei und wird in die sogenannte Gasabzweigung geleitet. In dieser befindet sich eine Turbine, welche die Pumpe vom Anfang antreibt. Nach dem Antreiben der Turbine wird der Wasserstoff als Abgas aus dem System geleitet.<sup>34</sup>

Der restliche Wasserstoff befindet sich nun in der Reaktorkammer, in welchem der eigentliche Prozess der Schuberzeugung stattfindet: Man beschießt ein Atom eines Stoffes, wie Urancarbid, mit einem Neutron. Das Atom wird daraufhin instabil und zerfällt in zwei Teile. Zusätzlich entstehen weitere Neutronen, welche weitere Atome

<sup>33</sup> Vgl. DARLING, David: NERVA. URL: <https://www.daviddarling.info/encyclopedia/N/NERVA.html> [Stand: 26.02.2022]

<sup>34</sup> Vgl. LEITENBERGER, Bernd: Nukleare Antriebe. URL: <https://www.bernd-leitenberger.de/nukleare-antriebe.shtml> [Stand: 26.02.2022]



zerfallen lassen. Daraus resultiert eine Kettenreaktion. Die beiden Bruchstücke des zerfallenen Atoms stoßen sich wegen gleicher positiver Ladung mit hoher Geschwindigkeit voneinander ab. Die Energie der Geschwindigkeit überträgt sich dabei auf das umgebene Material, in diesem Fall auf den Wasserstoff. Die Energieaufnahme des Wasserstoffes, sorgt für eine intensive Beschleunigung der Teilchen. Sie werden nun durch eine Düse stark beschleunigt, was zu hohem Druck führt. Der erzeugte Druck entflieht durch die Düse und drückt das Raumgefährt in entgegengesetzte Fluchtrichtung.<sup>35</sup>

Die Brennelemente des Kernreaktors können aus Urancarbid, Urancarbid, Uran-dioxid oder Plutoniumdioxid bestehen.<sup>36</sup> Nur sog. thermische Neutronen können einen Kernspaltungsprozess ermöglichen. Da bei der Spaltung von Urancarbid jedoch nur sog. schnelle Neutronen erzeugt werden, welche eine zu hohe Energie besitzen, um weitere Kettenreaktionen einzugehen, gibt es neben den Brennelementen die sogenannten Moderatoren, womit der Innenraum der Reaktorkammer ausgekleidet ist.<sup>37</sup> In diesem Fall bestehen diese aus Lithium-7 hydrid, welches Neutronen abbremst.<sup>38</sup> Lithium eignet sich hierbei besonders gut, da es eine niedrige Ordnungs- und Massezahl besitzt, was nötig ist, um Neutronen abzubremsen. Der Prozess wird auch elastische Streuung genannt.<sup>39</sup> Durch das Abbremsen erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass mehr Neutronen eine Kettenreaktion eingehen. Das Anfahren und Herunterfahren des Triebwerkes funktioniert mit Cadmium- oder Borstäben. Diese werden dazu ein- bzw. ausgefahren. Bei letzterem, absorbieren die Stäbe Neutronen, wodurch die Kettenreaktionen immer geringer werden.

---

<sup>35</sup> Vgl. PASCHOTTA, Rüdiger (03.11.2018): Kernspaltung. URL: <https://www.energie-lexikon.info/kernspaltung.html> [Stand: 26.02.2022]

<sup>36</sup> Vgl. LEITENBERGER, Bernd: Nukleare Antriebe. URL: <https://www.bernd-leitenberger.de/nukleare-antriebe.shtml> [Stand: 26.02.2022]

<sup>37</sup> Vgl. WAGNER, Hermann-Friedrich (27.08.2008): Die Vielfalt der Kernreaktoren. URL: <https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/kernenergie/vielfalt-der-reaktoren/> [Stand: 02.03.2022]

<sup>38</sup> Vgl. LEITENBERGER, Bernd: Nukleare Antriebe. URL: <https://www.bernd-leitenberger.de/nukleare-antriebe.shtml> [Stand: 26.02.2022]

<sup>39</sup> Chemie.de: Moderator (Neutronenphysik). URL: [https://www.chemie.de/lexikon/Moderator\\_%28Neutronenphysik%29.html](https://www.chemie.de/lexikon/Moderator_%28Neutronenphysik%29.html) [Stand: 02.03.2022]

Über dem Kernreaktor befindet sich ein Schutzschild, welches Strahlung absorbiert, um Astronauten und andere Fracht vor dieser zu schützen.

Schon die in den 1960er und 70er getesteten NERVA-Triebwerke, konnten ausreichend Schub erzeugen und hatten dazu eine lange Brennzeit. Das NERVA II konnte beispielsweise einen Schub von 867kN erzeugen und hatte eine Brennzeit von 1200 Sekunden. Die NASA hat außerdem schon weitere Triebwerke dieser Art getestet, welche bis zu 90 Minuten am Stück brennen konnten und das bis zu hundert-mal. Die Langlebigkeit und einfache Wartung des NERVA-Triebwerkes sind wie geschaffen für einen Mars-Flug. Würde man die Entwicklung solcher Antriebe wieder aufnehmen, könnte man diese mit Sicherheit, nach dem heutigen Stand der Technik, noch stärker bauen.

Doch auch dieses Triebwerk hat Nachteile. Z.B. würde ein Nuklearantrieb mit 182kN Schub ca. 5500kg wiegen. Ein chemischer Antrieb mit exakt gleichem Schub, würde nur etwa 350kg wiegen. Der heiße Wasserstoff trägt bei Betrieb des NERVA außerdem, die beim Zerfall auftretende Radioaktivität mit nach außen. Ein solcher Antrieb könnte also kaum im Erdorbit eingesetzt werden, wenn man die Erde bei einem Start nicht mit der Strahlung verseuchen möchte.<sup>40</sup>

Man kann also zum Schluss kommen, dass diese Art Triebwerke zwar kleinere Einschränkungen haben, aber dennoch, durch die lange Brenndauer und dem dazu vergleichsweise hohen Schub, gut für die langen Marsflüge geeignet sind. Das Triebwerk soll im MTV eingesetzt werden, womit die NASA ihren ersten bemannten Flug zum Mars bestreiten will.

## **4.2 Raumfahrttechnik von SpaceX**

Der Großunternehmer Elon Musk möchte mit seinem privaten Raumfahrtunternehmen SpaceX Menschen auf den Mars befördern, um dort eine Kolonie aufzubauen. Das Markenzeichen seines Unternehmens ist die wiederverwendbare Falcon-Rakete, die den Preis für einen Flug ins All drastisch senken. Das Ziel ist es die Raumfahrt kommerziell und somit zugänglich für die breite Bevölkerung zu machen. Das Folgende Kapitel befasst sich mit der Big Falcon Rocket (BFR) und der Funktion

---

<sup>40</sup> Vgl. LEITENBERGER, Bernd: Nukleare Antriebe. URL: <https://www.bernd-leitenberger.de/nukleare-antriebe.shtml> [Stand: 26.02.2022]

und Entwicklung des sog. Raptor-Triebwerkes. Mit dieser Technologie soll ein bemannter Flug zum Mars möglich gemacht werden.

#### 4.2.1 Die Big Falcon Rocket (BFR)

Ein wichtiger Bestandteil zur Besiedlung des Mars ist die sogenannte Big Falcon Rocket (BFR) bestehend aus zwei Teilen. Der *Super Heavy Rocket* und dem *Starship*. Beide zusammen stellen ein vollständig wiederverwendbares Transportsystem dar und soll nach Angaben von SpaceX das leistungsstärkste Trägerfahrzeug der bisherigen Menschheitsgeschichte sein. Es soll sowohl 100 Menschen als auch über 100 Tonnen Fracht in die Erdumlaufbahn befördern können. Dort soll die zweite Stufe, das Starship, betankt werden und z.B. weiter zum Mond bzw. zum Mars fliegen können. Die erste Stufe (Superheavy) soll wieder zur Erde zurückfliegen und dort landen, um das nächste Starship ins All befördern zu können.



Abbildung 5: Starship. Quelle: Teslarati 2018

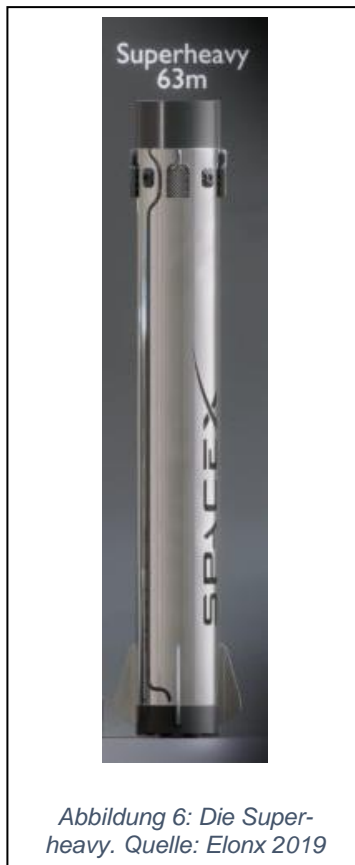
Das Starship (wörtl. Dt.: Sternenschiff) allein ist ein großes Raumschiff, mit langer Lebensdauer, welches zu interplanetaren Flügen genutzt werden kann. Mit einem Durchmesser von 9m, einer Höhe von 50m, einer Ge-

wichtskraft von 3,2Mlbf (ca. 14,2MN; 1448tf) und mehr als 100t Nutzlast, soll dies die effektivste Rakete sein, um eine Marskolonie aufzubauen.<sup>41</sup>

Angetrieben mit sechs Raptor Triebwerken (siehe Kapitel 4.2.2), soll die Rakete aus einer Edelstahllegierung bestehen und zusätzlich kein Hitzeschild besitzen. Um dennoch ein Verglühen der Rakete bei Eintritt in die Erd- oder Marsatmosphäre zu verhindern, sollen sich im Rumpf des Starship tausende kleine Löcher befinden, durch welche flüssiges Methan, mit einer Temperatur von unter  $-161^{\circ}\text{C}$ , austreten soll. Die Rakete *schwitzt* dadurch, und kühlt sich durch die Kälte des Methans ab,

<sup>41</sup> Vgl. SpaceX<sup>2</sup>: Starship. URL: [SpaceX - Starship](#) [Stand: 26.02.2022]

da sich eine Schicht von flüssigem Methan um das Schiff bildet. Der Nachteil einer solchen Methode ist das einfache und schnelle verstopfen der Löcher bei einer Landung auf Erde und Mars, wogegen noch eine Lösung gefunden werden muss.<sup>42</sup>



Die erste Stufe der BFR, die Super Heavy, dient zur Beförderung des Starship in die Erdumlaufbahn. Die Super Heavy hat mit ihren 9m Durchmesser, ihrer 68m Höhe und einer Gewichtskraft von 17Mlbf (ca. 74,4MN; 7590tf). Nach Erfüllen der Mission, das Starship ins All zu befördern, kehrt die Rakete, auf ihren sechs Beinen aufrecht landend, zum Startplatz zurück. Die Super Heavy besitzt 37 Raptor Triebwerke. Am oberen Ende befinden sich vier sogenannte Actuating Grid Fins (wörtl. Dt.: betätigende Gitter Finnen). Diese werden bei der Landung ausgefahren und sorgen dafür, dass die Rakete nicht kippt und zerstört wird.<sup>43</sup>

Beide Teile des Starship verwenden Methan und Flüssigsauerstoff als Treibstoff. Da die Marsatmosphäre zu 95% aus Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) besteht und sich auf dem Mars Wasser (H<sub>2</sub>O) befindet, kann man beide Stoffe herstellen. Man muss dazu den Kohlenstoff (C) vom Sauerstoff (O<sub>2</sub>) trennen und den Wasserstoff (H<sub>2</sub>) vom Sauerstoff (O) trennen. Die dabei freigesetzten Elemente C und H<sub>2</sub> können miteinander zu Methan reagieren. Der Sauerstoff wurde bereits bei der Trennung von CO<sub>2</sub> aufgefangen und kann sowohl als Treibstoff als auch als Atemluft dienen.<sup>44</sup>

---

<sup>42</sup> Vgl. MOSHER, Dave (19.2.2019): Elon Musk prahlt mit neuem „blutenden“ Raumschiff von SpaceX- Experten sagen, es wird 100-mal schwerer als die Marsmission sein. URL: <https://www.businessinsider.de/tech/elon-musk-prahlt-mit-einem-neuen-blutenden-raumschiff-von-spacex-experten-sagen-es-wird-100-mal-schwerer-als-die-marsmission-sein-2019-2/> [Stand: 26.02.2022]

<sup>43</sup> Vgl. SpaceX<sup>2</sup>: Starship. URL: [SpaceX - Starship](#) [Stand: 26.02.2022]

<sup>44</sup> Vgl. STRAUSS, Mark (2.10.2015): Wie gelingt der Rückflug vom Mars? -Vorhandene Ressourcen nutzen. URL: <https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/wie-gelingt-der-rueckflug-vom-mars> [Stand: 26.02.2022]

Ist die Entwicklung der BFR erfolgreich, können große Mengen Fracht zum Mars transportiert werden. Der Bau einer Marskolonie könnte schnell vorangetrieben werden. Auch die Flugkosten zum Mars würden stark gesenkt werden, da die gesamte Rakete wiederverwendbar ist. Für SpaceX bildet besonders das Starship die Grundlage für einen Flug zum Mars und muss zum größten Teil erst noch entwickelt werden. Ist die Entwicklung abgeschlossen, steht dem Versuch zum Mars zu fliegen nichts mehr im Weg.

#### **4.2.2 Der Raptor-Antrieb**

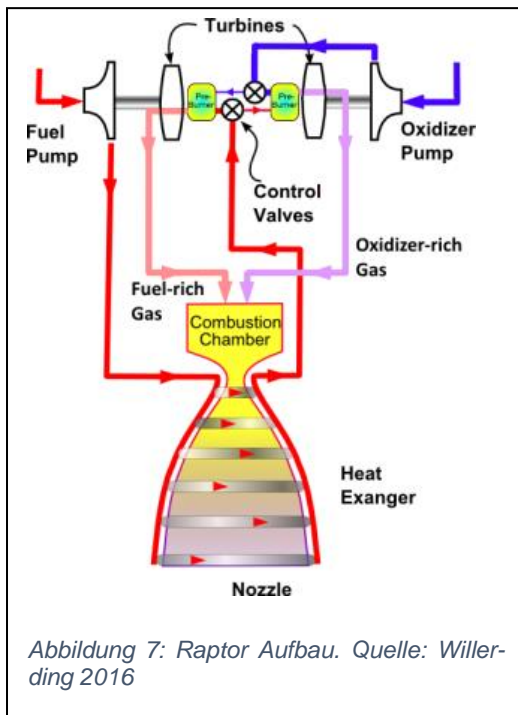
Wie bereits erwähnt wird das Starship mit dem Raptor-Triebwerk angetrieben. In dem folgenden Kapitel, wird erklärt, wie das Raptor Triebwerk aufgebaut ist und wie und mit welcher Effektivität dieses arbeitet. Außerdem wird dieses mit den derzeit verwendeten Merlin-Triebwerken der Falcon Raketen verglichen, um einen Überblick über die Effektivität des Raptor-Triebwerkes zu schaffen.

Der Raptor-Antrieb ist ein Vollstrom-Flüssigkeitsraketenantrieb mit abgestufter Verbrennung. Flüssigkeitsantrieb, heißt, dass der Brennstoff und Oxidator, aus einer Flüssigkeit, wie in diesem Fall Flüssigmethan als Brennstoff und Flüssigsauerstoff als Oxidator, besteht. Beide Stoffe verbrennen gemeinsam in einer Brennkammer und erzeugen somit den Schub der Rakete. Beide Stoffe sind in verschiedenen Tanks gelagert. Abgestufte Verbrennung bedeutet, dass es zwei Verbrennungsprozesse gibt. In der Vorkammer und in der eigentlichen Brennkammer.<sup>45</sup>

Das Raptor-Triebwerk besitzt zwei Vorkammern und eine Hauptkammer. Bei Betrieb des Raptors, werden beide Flüssigkeiten, mit Pumpen, angetrieben durch eine Turbine, aus ihren jeweiligen Tanks gepumpt. Die Stoffe werden nach dem Heraus-pumpen in die jeweilige der zwei Vorkammern geleitet. In der einen Vorkammer

---

<sup>45</sup> Vgl. MESSERSCHMID, Ernst; FASOULAS, Stefanos: Raumfahrtsysteme. Eine Einführung mit Übungen und Lösungen. Stuttgart: Springer Vieweg 2017, S. 219



wird der Oxidator mit einer kleinen Menge des Brennstoffes verbrannt. Es entsteht ein oxidatorreiches Gas. Dieses wird in die Hauptbrennkammer geleitet und treibt eine Turbine an. In der anderen Vorkammer wird der Brennstoff mit einer kleinen Menge des Oxidators verbrannt, wodurch ein Brennstoffreiches Gas entsteht. Dieses wird ebenfalls durch eine Turbine, in die Brennkammer geleitet. Beide Turbinen beginnen, durch den Druck der entstandenen Gase, jeweils eine Pumpe anzutreiben. Es werden dadurch die Flüssigkeiten (Oxidator und Brennstoff) aus den jeweiligen Tanks gepumpt. Dies ist nötig,

da die Tanks nicht von selbst genug Druck aufbringen können, um die Flüssigkeiten in die Vor- oder Brennkammern zu leiten. Nachdem beide entstandenen Gase nun in die eigentliche Brennkammer geleitet wurden, verbrennen sie vollständig. Dies führt zu einem hohen Druck, welcher entfliehen möchte. Der erzeugte Druck wird vor dem endgültigen Ausstoßen gebündelt, indem das Triebwerk nach unten dünner wird. Nach der Bündelung öffnet sich die Düse, in Form eines Kegels, nach außen und der Druck entweicht. Das Einwirken des Druckes auf die Kegelform hat zur Folge, dass die Triebwerke und somit die Rakete in entgegengesetzter Fluchtrichtung zum ausstoßenden Druck geschoben wird.

Das Besondere an den Vorkammern des Raptor Triebwerkes ist, dass beide Stoffe, anders als bei den bisherigen Triebwerken (Merlin-Triebwerk) von SpaceX, vollständig durch die Vorkammern geleitet wird. Bei den bisherigen Triebwerken wird nur ein Teil der Stoffe in die Brennkammer geleitet, um die Turbinen anzutreiben. Durch die entstandenen Gase, kann später in der Brennkammer des Raptors ein besseres Stoffverhältnis erzeugt werden, wodurch mehr Druck bei der Verbrennung entstehen kann. Dies führt wiederum zu einen viel höheren Schub als bei den Vorgängern. Allein in den Vorkammern wird bei der Verbrennung der Flüssigkeiten so viel Druck erzeugt, dass die entstandenen Gase mit enormer Kraft durch die Turbinen in die Brennkammer fließen. Dies hat zur Folge, dass sich sowohl die Geschwindigkeit

der Pumpen erhöht als auch der Druck in der Brennkammer. Durch das schnellere Laufen der Pumpen, wird mehr Flüssigkeit in die Vorkammern gepumpt, was zu einem, sich immer weiter erhöhenden, Druckkreislauf führt. Der Druck muss deswegen von der Bodencrew bewusst gesteuert werden, damit das Triebwerk nicht zerrissen wird.<sup>46</sup>

Eine weitere Besonderheit des Raptors, ist das Flüssigmethan. Obwohl Methan viel effektiver als das bisher verwendete Kerosin in den Merlin-Triebwerken der Falcon Raketen ist, wurde es noch nie in einem Antrieb verwendet. Die Dichte von Kerosin ist höher als die von Methan. Zum Vergleich: Das Raptor-Triebwerk ist nicht viel größer als das bei den Falcon-Raketen verwendeten Merlin-Triebwerk.<sup>47</sup> Dennoch hat der Raptor einen Schub von 3050kN über der Meereshöhe und 3297kN im Vakuum,<sup>48</sup> während das Merlin-Triebwerk nur einen Schub von 914kN im Vakuum und 854kN über der Meereshöhe hat.<sup>49</sup> Die unterschiedlichen Schubkräfte über der Meereshöhe und im Vakuum sind darauf zurückzuführen, dass die Triebwerke über der Meereshöhe gegen den Umgebungsdruck ankämpfen müssen. Der Druck über der Meereshöhe presst die Abgase in das Triebwerk zurück. Im Vakuum hingegen gibt es keinen Umgebungsdruck, wodurch die Schubkraft nicht reduziert wird.<sup>50</sup> Der geringere Schub des Merlin-Triebwerks ergibt sich daraus, dass nicht der gesamte Treibstoff des Triebwerks durch eine Vorkammer geleitet wird und somit ein schlechteres Stoffverhältnis in der Brennkammer herrscht. Des Weiteren wird das

---

<sup>46</sup> Vgl. WILLERDING, Tobias (16.1.2016): NASA und US-Luftwaffe vergeben Aufträge, SpaceX bekommt Geld von der USAF für Raptor-Prototyp. URL: <https://www.raumfahrer.net/nasa-us-luftwaffe-vergeben-auftraege/> [Stand: 26.02.2022]

<sup>47</sup> Vgl. Golem: Neue Treibstofftanks und Triebwerke werden schon getestet. URL: <https://www.golem.de/news/spacex-warum-elon-musks-marsplan-keine-science-fiction-ist-1609-123509-2.html> [Stand: 26.02.2022]

<sup>48</sup> Vgl. Spaceflight101: SpaceX Raptor. URL: <https://spaceflight101.com/spx/spacex-raptor/> [Stand: 03.03.2022]

<sup>49</sup> Vgl. LEITENBERGER <sup>2</sup>, Bernd: Die Version des Merlin-Triebwerks. URL: <https://www.bernd-leitenberger.de/merlin.shtml> [Stand: 26.02.2022]

<sup>50</sup> Vgl. KUNDRAPU, Raghava (15.03.2018): What is the difference between sea-level and vacuum rocket engine? URL: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-sea-level-and-vacuum-rocket-engine> [Stand: 06.03.2022]

Merlin-Triebwerk mit Kerosin und nicht mit Methan betrieben, wodurch bei der Verbrennung weniger Energie erzeugt wird.<sup>51</sup>

Ein weiterer Vergleich, ist der folgende zwischen dem Raptor-Triebwerk und dem NERVA 2 Triebwerk. Dieser soll einen groben Überblick der Unterschiede, der beiden in der Arbeit aufgeführten Triebwerke, aufzeigen.

	Raptor-Triebwerk	NERVA 2-Triebwerk
Schub im Vakuum	1900kN	867kN
Treibstoff	Flüssigmethan und Flüssigsauerstoff	Kernreaktor und Flüssigwasserstoff (LH2)
Druckerzeugung	Reaktion beider entstandenen Gase	LH <sub>2</sub> durch Kernreaktor stark erhitzt
Brenndauer	bisher auf 100s begrenzt	1200s

Das Raptor-Triebwerk wurde bereits mit positivem Ergebnis getestet. Dieses Triebwerk bildet die Grundlage für einen Flug zum Mars, da mit diesem ein hoher Schub und somit hohe Geschwindigkeiten und Nutzlasten erzeugt werden können. Es wäre daher eine Revolution, wenn diese Art von Triebwerken zum Einsatz kommen würde.

## 5 Möglicher Ablauf eines Fluges zum Mars

Kapitel 5 umreißt kurz den möglichen Ablauf eines Fluges zum Mars. Hierdurch wird einerseits die Basis für Kapitel 6 geschaffen, um Menschliche und Technische Herausforderungen bei einem Flug näher erläutern zu können. Andererseits soll gezeigt werden, wie die entwickelten Technologien für einen Flug zum Mars eingesetzt werden könnten. Bei einem möglichen Ablauf des Fluges zum Mars wird ausschließlich auf die Vorstellungen der NASA eingegangen, da diese weit detailreicher beschrieben werden als solche von SpaceX.

---

<sup>51</sup> Vgl. Golem: Neue Treibstofftanks und Triebwerke werden schon getestet. URL: <https://www.golem.de/news/spacex-warum-elon-musks-marsplan-keine-science-fiction-ist-1609-123509-2.html>

[Stand: 26.02.2022]



## 5.1 Start

Der Start einer Rakete ist der risikoreichste Part einer Mission. Es kann immer einen technischen Defekt mit katastrophalen Folgen geben. Der Start der Triebwerke und das darauffolgende Abheben einer Rakete ist dabei nicht der Beginn der Mission, wie Viele denken. Die Mission beginnt schon ca. 43 Stunden, vor dem Abheben, mit der ersten Phase. Hierbei steht das Space Launch System vollständig aufgebaut an der Startrampe. In den folgenden Stunden verlässt ein Großteil des Personals die Startrampe. Die Rakete wird mehrmals technisch geprüft und die Rakete als auch die Abkühlbecken werden befüllt. Sechs Stunden vor dem Start betreten die Astronauten die Kapsel. Die Rakete wird ein letztes Mal geprüft und die technischen Geräte an Bord werden aktiviert. Zwanzig Minuten vor dem Start, kann dieser nur noch schwer abgebrochen werden. In den letzten sechs Sekunden des Countdowns werden die Triebwerke des SLS gezündet und bei T-00:00:00 hebt die Rakete ab. Die ca. dreijährige Mission zum Mars und zurück beginnt. Kurz nach dem Start übernimmt die Bodenkontrolle den Flug Richtung All. Knapp zwei Minuten nach dem Abheben werden die Booster abgeworfen. Nach weiteren 6 Minuten ist die erste Stufe der SLS abgebrannt und trennt sich vom Rest der Rakete. Die zweite Stufe befördert nun die Rakete zum Rendezvouspunkt, bei der die Startkapsel an das MTV andocken soll. Nach einigen Sicherheitschecks und dem Druckausgleich, kann die Luke zum Transitschiff geöffnet werden. Die Triebwerke des Schiffes zünden und der eigentliche Flug zum Mars beginnt.<sup>52</sup>

## 5.2 Flug

Nach dem erfolgreichen Start und dem Umzug der Crew in das Transitschiff beschleunigt dieses auf etwa 25.000 km/h. Nach dem Erreichen des Kurses Richtung Mars, wird der Zusatztank (ca. 180 Tage nach dem Start) abgeworfen.<sup>53</sup>

Während des Fluges halten sich die Astronauten an eine tägliche Routine, um sich die Zeit zu vertreiben. Sie betreiben u.a. verschiedene Forschungen, wie z.B. das

---

<sup>52</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars. Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 114-119

<sup>53</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars. Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 83

Wachstum von Pflanzen außerhalb des Erdbereichs. Im späteren Verlauf des Fluges, können die langzeitlichen Folgen der Schwerelosigkeit auf den Körper im All untersucht werden. Des Weiteren müssen die Astronauten jeden Tag an einem der zur Verfügung stehenden Geräte Sport treiben, um durch die Schwerelosigkeit keine schwerwiegenden Schäden davonzutragen (siehe Kapitel 6.1.1). Dennoch hat die Crew viel Freizeit. Der Ablauf des Fluges kann sehr eintönig sein, sollten keine spontanen Außenbordeinsätze, aufgrund von Beschädigung, anstehen.<sup>54</sup>

Vor der Ankunft am Mars dreht sich das Transitschiff mit seinen Triebwerken zum Mars hin, um abzubremesen. Nach 9 Monaten Hinflug erreicht das Schiff schließlich den Marsorbit.<sup>55</sup>

### 5.3 Landung

Beim Eintreffen in die Umlaufbahn des Mars, beginnen die Astronauten ihre persönlichen Gegenstände in der Mars-Landekapsel und im Servicemodul zu verstauen. Nach der Bestätigung der Bodenkontrolle und dem Anlegen der Anzüge, sowie letzten technischen und menschlichen Sicherheitschecks, betritt die Crew die Landekapsel. Anschließend trennt sich das Landemodul vom Transitschiff und beginnt das Rendezvousmanöver mit dem *Habitat Landemodul*, welches schon zuvor in der Umlaufbahn stationiert wurde. Nach dem erfolgreichen Andocken der beiden Module, betreten die Astronauten das *Habitat Landemodul* und warten das Signal der Bodenkontrolle zur Landung ab. Das Transitschiff bleibt dabei ohne Besatzung in der Umlaufbahn zurück.<sup>56</sup>

Trifft schließlich die Bestätigung zur Landung ein, beginnt die Crew mit dem Landeanflug. Die Landung auf dem Mars ist nach Angaben der NASA hundert Mal schwerer als die auf der Erde oder auf dem Mond. Das ist vor allem der dünnen Atmosphäre und der Schwerkraft geschuldet. Dennoch bremst das 100 Tonnen schwere Landemodul beim Eintritt in die Atmosphäre auf untere Überschallgeschwindigkeit

---

<sup>54</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars. Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 41ff.

<sup>55</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars. Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 158

<sup>56</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars- Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 162-163

ab. Nach kurzer Zeit des freien Falls wird der Hitzeschild abgesprengt und die Landebeine ausgefahren. Kurze Zeit später öffnet sich der Fallschirm, mit ca. 30m Durchmesser, welcher die Kapsel weiter abbremst. Währenddessen überwacht die Crew den Landeanflug. Dabei haben die Astronauten mit Ohnmacht zu kämpfen. Einen Kilometer über den Boden wird der Fallschirm abgeworfen und die Bremsdüsen werden gezündet.

Problematisch hierbei ist die Aufwirbelung von Staub und Steinen. Diese könnten durch die Schubkraft der Düsen das Landemodul schwer beschädigen. Nach möglichst leichtem aufsetzen, sind erstmals Menschen erfolgreich auf dem Mars gelandet.<sup>57</sup>

## **6 Herausforderungen beim Flug**

Die Expedition zum Mars ist nicht unproblematisch. Daher sind technische und menschliche Notsituationen während eines solchen Fluges wahrscheinlich. Es müssen daher alle möglichen Schwierigkeiten einbezogen werden, welche auftreten könnten. Im folgenden Kapitel soll deshalb auf ausgewählte Probleme eingegangen und deren mögliche Lösungen betrachtet werden. Hierbei werden nicht nur technische Probleme ins Auge gefasst, sondern es soll auch, im immer breiter werdenden Kontext der Definition des Luft- und Raumfahrttechnik-Begriffes, auf menschliche Probleme eingegangen werden.

### **6.1 menschliche Probleme**

#### **6.1.1 körperliche Probleme des Menschen und ihre mögliche Lösung**

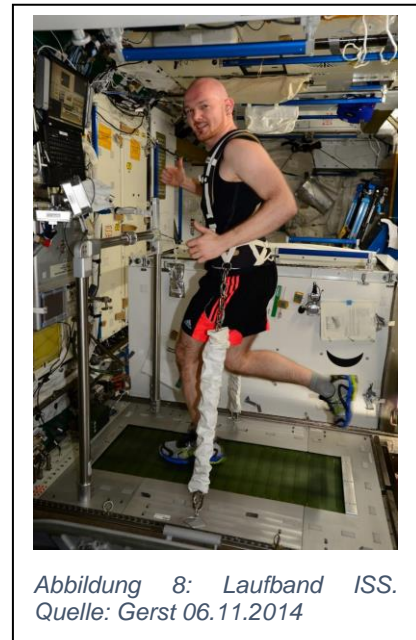
Seit Millionen von Jahren haben sich die Lebewesen durch die Evolution an die Lebensbedingungen auf der Erde angepasst. So ist es kein Wunder, dass Menschen im All mit einigen Gefahren und körperlichen Problemen umgehen müssen. Eines der größten Probleme ist die Schwerelosigkeit. Eine kurzfristige Folge dieser, ist die Weltraumkrankheit. Man verliert das Gefühl von oben und unten. Folglich wird das Gehirn getäuscht und glaubt, dass der Verlust dieses Gefühls auf eine

---

<sup>57</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars- Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 167-172

Vergiftung zurückzuführen ist. Symptome sind Erbrechen und Kopfschmerzen. Des Weiteren haben die meisten Astronauten mit Rückenschmerzen zu kämpfen, da sich die Wirbelsäule in der Schwerelosigkeit ausdehnt. Die Folgen vergehen jedoch nach wenigen Stunden bis Tagen.<sup>58</sup>

Ernster zu nehmen sind die Langzeitfolgen. Auf die geringe Belastung des Körpers im All, folgt ein rascher Muskel- und Knochenabbau. Daher leiden viele Astronauten, bei der Rückkehr auf die Erde, an Osteoporose. Die Wirkung auf die Muskeln ist dabei noch problematischer. Innerhalb von 5 bis 10 Tagen verliert man im All ca. 20% der gesamten Muskelmasse. Die Lösung dagegen sind Fitnessgeräte, wie z.B. ein Laufband, auf welches man sich fest-schnallt.<sup>59</sup>



Täten Astronauten bei längerem Aufenthalt im All nichts gegen ihren Muskel- und Knochenschwund, würden sie beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre durch die Schwerkraft der Erde förmlich zerquetscht. Die Zeit für einen Hin- und Rückflug zum Mars inklusive Aufenthalt, betrüge ca. 3 Jahre. Die Wahrscheinlichkeit, eine Landung auf der Erde oder auf dem Roten Planeten zu überleben, wären verschwindend geringer. „Bei der Ankunft (auf dem Mars) wird es ihnen schlecht gehen“ sagt z.B. Jennifer Fogarty, stellvertretende Wissenschaftliche Leiterin des *Human Research Programm* am Johnson Space Center der NASA in Houston, Texas.<sup>60</sup>

Eine Raumstation in Form eines Rades zu bauen, wäre eine mögliche Lösung gegen die Wirkung der Schwerelosigkeit. Diese würde sich um ihre eigene Achse drehen. Durch die daraus resultierende Zentrifugalkraft könnte künstliche Schwerkraft

---

<sup>58</sup> Vgl. WALTER, Ulrich: Höllenritt durch Raum und Zeit. München: Komplett-Media GmbH 2017, S. 34

<sup>59</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars- Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 130

<sup>60</sup> Vgl. ACHENBACH, Joel: Mars- der Wettlauf zum roten Planeten. Das Rennen zum Mars. In: National Geographic, Ausgabe: November (2016), S. 51

erzeugt werden. Der Körper im All könnte somit belastet und die bisherigen Auswirkungen der Schwerkraft könnten geringgehalten werden.

Das zweite große Problem, stellt die Strahlung im All dar. Die sog. kosmische Strahlung kommt aus den Tiefen des Alls und der Sonne. Sie besteht aus kleinen Teilchen (vorwiegend aus Protonen, Elektronen und vollständig ionisierten Atomkernen), welche teilweise eine hohe Energie besitzen. Somit können sie durch die Außenwände von Raumschiffen gelangen. Möglicherweise könnten starke Sonnenwinde, die bei koronalen Massenauswürfen ausgesendet werden, bei einer Kollision mit dem Raumschiff, innerhalb weniger Stunden zum Tod der Crew führen. Solche Auswürfe sind jedoch detektierbar, wodurch Zeit bleibt um dem Auszuweichen. Zudem könnte man die Wirkung der Strahlung, beispielsweise mit Wassertanks verringern.<sup>61</sup>

Ein Beispiel für solche Wassertanks wären die *Water Walls Life Support Architecture*, eine Idee der WissenschaftlerInnen der NASA. Dabei werden die Wände eines Raumfahrzeuges mit osmotischen Membranbeuteln verkleidet. In diesen Beuteln befindet sich Wasser, welches einen Teil der Strahlung absorbieren kann. Nebenbei können in den Wasserbeuteln Algen wachsen, wodurch weniger Nahrungsressourcen mitgeführt werden müssten. Man wäre in der Lage seine Nahrung einfach selbst anzupflanzen.<sup>62</sup>

Sind solche Wasserbeutel nicht vorhanden, zeigen sich die Schäden der Strahlung u.a. auf der Haut (schnellere Alterung). Außerdem steigt laut Wissenschaftlern das Krebsrisiko durch die Strahlung drastisch an. Hält sich eine Person mehrere Monate außerhalb der schützenden Erdatmosphäre auf, steigt das Krebsrisiko von 20% auf 39%. Zwei bis drei von sechs Astronauten würden also an Krebs erkranken.<sup>63</sup>

Nach dem bisherigen Stand der Erkenntnisse, über körperliche Belastungen während eines Flugs zum Mars, wäre ein solcher zwar möglich, könnte allerdings auch

---

<sup>61</sup> Vgl. WALTER, Ulrich: Höllenritt durch Raum und Zeit. München: Komplett-Media GmbH 2017, S. 34-35

<sup>62</sup> Vgl. COHEN, Marc: Space Architecture- The New Frontier For Design Research. Beeing A Space Architect, In: Architectural Design, Ausgabe: November/Dezember (2014), S. 78-81.

<sup>63</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars- Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 127-128

in einigen Fällen, spätestens beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre, zum Tod der Astronauten führen. Es muss also zunächst noch weiter an der Technologie zum Schutz der Astronauten gearbeitet werden.

### **6.1.2 psychische Probleme und ihre mögliche Lösung**

Immer wieder macht der Mensch Fehler. Doch selbst kleine Fehler können auf einer komplizierten Mission, wie dem Flug zum Mars, tödlich enden. Das Bewusstsein der Möglichkeit, nie wieder auf die Erde zurückzukehren, kann zudem zu einer starken psychischen Belastung führen. Dies kann das vorzeitige Ende einer Mission bedeuten, weshalb psychische Aspekte nicht außer Acht gelassen werden sollen.

Bis zu drei Jahre müssten die Astronauten auf engstem Raum miteinander verbringen. Besonders die geringe Privatsphäre, die ständigen monotonen Geräusche des MTV, die unangenehmen Gerüche, das Bewusstsein nicht einfach zur Erde zurückkehren zu können, die Auswirkungen der ständigen Schwerelosigkeit oder auch Gedanken, dass während der Mission etwas schief laufen kann, können zu starken Stimmungsschwankungen, Depressionen oder Konflikten zwischen der Crew führen. Es ist deshalb von essenzieller Bedeutung, dass die Crew schon viele Jahre im Voraus miteinander arbeitet, damit die einzelnen Mitglieder wie eine Familie zusammenwachsen. Besonders wenn die Kommunikation, wegen der Entfernung, zwischen Erde und Raumschiff anfängt länger zu dauern, ist es wichtig, dass die Crew ihre psychischen Probleme selbst lösen kann. Daher hat die NASA geplant, dass mindestens ein Crewmitglied eine Ausbildung in Konfliktberatung und Meditationsgesprächen absolviert haben soll.

Technische Lösungen gegen psychische Probleme gibt es heutzutage noch nicht. Da die Forschung zu künstlicher Intelligenz in den letzten Jahren jedoch rasch voranschreitet, könnte in Zukunft jedoch der Einsatz von Robotern, bei der Behandlung von psychischen Problemen, hilfreich sein.<sup>64</sup>

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch zusätzliche Vorsorge und Vorbereitung psychischen Problemen entgegengewirkt werden kann. Die Vorsorge beinhaltet dennoch eine langjährige Ausbildung und Vorbereitung der Crew, in Hinblick

---

<sup>64</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars- Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 145-157

auf das soziale Miteinander. Bereits kleine Spannungen, bei solch einem nervenaufreibenden Flug, können schwerwiegende Folgen für die Crew und somit der Gesamtmission haben.

## 6.2 Herausforderungen bei der Technik

Im folgenden Kapitel soll ein Überblick über die technischen Herausforderungen bei einem Flug zum Mars verschafft werden. Es ist kaum möglich alle Probleme und Herausforderungen zu beschreiben, da diese weit über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen würden. Aus diesem Grund werden nur einige wichtige Herausforderungen beleuchtet.

Die Entfernung zwischen Erde und Mars, welche sich in zwei unterschiedlichen elliptischen Bahnen um die Sonne bewegen, beträgt zwischen 56 und 401 Millionen Kilometer. Daher ist es empfehlenswert erst dann zum Mars und wieder zurückzufliegen, wenn die Erde dem Mars am nächsten ist.<sup>65</sup> Dennoch dauert der Hin- und Rückflug insgesamt ca. 17 Monate.<sup>66</sup> Bei dieser Flugdauer ist es von Nöten technische Vorkehrungen zu treffen, damit die Astronauten nicht während des Fluges oder bei der Landung auf Mars oder Erde umkommen. Es ist vor allem darauf zu achten, genügend Sauerstoff und Nahrung mitzuführen.<sup>67</sup> Gleichzeitig muss auch genügend Raum für die Crew bereitgestellt werden. Allerdings bedeutet mehr Platz zusätzliches Gewicht. Somit ist die richtige Balance zwischen technischer Umsetzbarkeit und menschlicher Erträglichkeit zu finden.<sup>68</sup> Zu dem Gesamtgewicht zählt außerdem auch der Treibstoff. Dieser muss für Hin- und Rückflug genügen, sofern der Treibstoff für den Rückflug nicht auf dem Mars bereitgestellt wird. Man müsste also z.B. einen Treibstofftank im Orbit des Mars stationieren, um das Schiff für den

---

<sup>65</sup> Vgl. Studyflix: Mars. Entfernung Erde Mars. URL: <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaft-ten/mars-3696> [Stand: 09.03.2022]

<sup>66</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars- Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 42

<sup>67</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars- Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 126

<sup>68</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars- Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 70

Rückflug zu betanken.<sup>69</sup> Für das gesamte Gewicht des Raumschiffes benötigt man Triebwerke, die genug Leistung erbringen, um den Flug möglichst schnell zu absolvieren.

Das wohl größte technische Problem der gesamten Mission ist jedoch die Landung auf dem Mars selbst. Diese stellte auch schon in der Vergangenheit, bei der Landung verschiedener Mars-Rover, die NASA vor viele Herausforderungen. Trotz einiger gesammelter Erfahrungen mit Rovern stellt sich die Frage, wie man eine Kapsel von mehreren Tonnen sicher landen soll? Die Schwierigkeit liegt besonders an der sehr dünnen Atmosphäre und der dennoch starken Schwerkraft. Es kann nicht so viel Reibung, wie bei Eintritt in die Erdatmosphäre entstehen, welche eine Landekapsel abbremsen würde. Eine Lösung dagegen wäre ein sehr großer Fallschirm und Raketentriebwerke, welche gezündet werden um die bemannte Kapsel abzubremesen.<sup>70</sup>

## 7 Fazit und Schluss

In dieser Arbeit wurde zunächst, neben einer kurzen geschichtlichen Einsicht zur Entwicklung der Raumfahrt in Bezug auf den Mars, ein kurzer Einblick in zukünftige und neuartige Raketentechniken und Antriebsarten, sowie die Probleme des Menschen und der Technik, auf dem Flug zum Mars, beschrieben und erklärt. Besonders wurde Wert daraufgelegt, dass die beschriebenen Technologien von der NASA oder von SpaceX stammen, da beide Unternehmen bisher die besten Voraussetzungen für solch eine Expedition haben. Bei den Technologien der Raumfahrtunternehmen spielen besonders deren Raumfahrzeuge und ihre Triebwerke eine Rolle, da diese die Vorraussetzungen für einen Flug bilden. Es hat sich dabei gezeigt, dass die zukünftigen Antriebe und Fahrzeuge um einiges leistungstärker sind als heutige Raketen und deren Triebwerke. Der beschriebene Ablauf des Fluges, sollte zeigen, wie die zukünftige Technologie der NASA eingesetzt werden kann und steht somit in Verbindung mit der davor beschriebenen Technik. Die zum Schluss

---

<sup>69</sup> Vgl. MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars- Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015, S. 85

<sup>70</sup> REICHERT, Uwe (10.11.2016): Warum ist eine Landung auf dem Mars so schwierig. URL: <https://www.spektrum.de/news/warum-ist-eine-landung-auf-dem-mars-so-schwierig/1427685>

[Stand: 09.03.2022]



aufgeführten menschlichen und technischen Herausforderungen sollten darlegen, dass der Flug zum Mars, trotz der neuen und zukünftigen Technologie beider Welt- raumfirmen, ein riskantes und schwieriges Unterfangen ist, in dem noch viel er- forscht und entwickelt werden muss. Allerdings bin ich zuversichtlich, dass der be- mannte Flug, bei weiterer Problemlösung durch Forschung möglich sein wird.

Zusammengefasst sind folgende Schlüsse bzw. Thesen zu ziehen:

These 1: Der bemannte Flug kann technisch möglich gemacht werden, wenn man weiterhin an der Entwicklung neuartiger Technologien arbeitet und These 2: Bei weiterer Forschung und passenden Sicherheitsvorkehrungen, könnte es künftig sein, dass der Mensch den Flug überlebt.

Lohnt sich der Flug zum Mars? Was wird mit dem Flug erreicht? Vielleicht lässt sich die Frage nach Leben auf dem Mars beantworten. Doch lohnt sich diese Erkennt- nis? Die Milliardensumme, welche das Projekt beanspruchen würde, könnte man auch in andere wichtige Projekte hier auf der Erde investieren. Ein Beispiel dafür wäre die Beseitigung von Armut oder die Eindämmung des Klimawandels.

Es gibt dennoch Positives an einem Flug zum Mars. Man könnte den Grundstein zum Bau einer Kolonie legen, damit der Mensch eine multiplanetare Spezies wer- den kann. Man kann somit der Überbevölkerung und der Ressourcenknappheit auf der Erde entgegenwirken. Sollte die Erde dennoch irgendwann nicht mehr bewohn- bar sein, stirbt der Mensch nicht aus, sondern lebt auf dem Mars weiter. Die Menschheit sollte sich also trotz der heutigen Widersprüche mit dem Gedanken tra- gen, sich auf dem Mars anzusiedeln, um somit vielleicht das Überleben der Mensch- heit zu sichern.

## Literaturverzeichnis

### *Literatur:*

ACHENBACH, Joel: Mars- der Wettlauf zum roten Planeten. Das Rennen zum Mars. In: National Geographic, Ausgabe: November (2016), S. 50-51.

COHEN, Marc: Space Architecture- The New Frontier For Design Research. Being A Space Architect, In: Architectural Design, Ausgabe: November/Dezember (2014), S. 78-81.

HALLMANN, Willi; WITTMANN, Klaus; LEY, Wilfried: Handbuch der Raumfahrt-technik. München: Carl Hanser Verlag 2019

MAMCZAK, Sascha.; PIRLING, Sebastian: Der Weg zum Mars. Aufbruch in Eine neue Welt. München: Wilhelm Heyne Verlag 2015

MESSERSCHMID, Ernst; FASOULAS, Stefanos: Raumfahrtsysteme. Eine Einführung mit Übungen und Lösungen. Stuttgart: Springer Vieweg 2017

WALTER, Ulrich: Höllenritt durch Raum und Zeit. München: Komplett-Media GmbH 2017

### *Internet:*

Boeing (2022): Building the Future of Human Spaceflight Beyond Earth. URL: <https://www.boeing.com/space/space-launch-system/> [Stand: 26.02.2022]

BÖHM-SCHWEIZER, Denise: Geschichte der Raumfahrt. URL: <https://astrokramkiste.de/geschichte-der-raumfahrt> [Stand: 12.02.2022]

BROWN, Mike (29.09.2017): Everything Elon Musk revealed about BFR, his new Mars rocket. URL: <https://www.inverse.com/article/36948-elon-musk-bfr-rocket-new-project-mars> [Stand: 26.02.2022]

BROWN<sup>2</sup>, Mike (14.12.2021): SpaceX Starship: Elon Musk reveals ambitious timeline for getting to Mars. SpaceX Starship: The timeline for getting to the Moon and Mars. URL: <https://www.inverse.com/innovation/starship-elon-timeline> [Stand: 26.02.2022]

Chemie.de: Moderator (Neutronenphysik). URL: [https://www.chemie.de/lexikon/Moderator\\_%28Neutronenphysik%29.html](https://www.chemie.de/lexikon/Moderator_%28Neutronenphysik%29.html) [Stand: 02.03.2022]

CRANE, Aimee (23.9.2019): Orion Capabilities for Deep Space Enable Crewed Artemis Moon Missions. URL: <https://www.nasa.gov/image-feature/orion-capabilities-for-deep-space-enable-crewed-artemis-moon-missions> [Stand: 26.02.2022]

DARLING, David: NERVA. URL: <https://www.daviddarling.info/encyclopedia/N/NERVA.html> [Stand: 26.02.2022]

DRAESE, Nina; JANCZURA, Sarah (08.07.2021): SpaceX zündet Starship-Booster: Erster bemannter Flug für Juli geplant. URL: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/raumfahrt/elon-musk-stellt-prototyp-spacex-starship-vor/> [Stand: 26.02.2022]

Elonx (23.03.2019) (letztes Update: 04.08.2019): Starship Compendium. URL: <https://www.elonx.net/super-heavy-starship-compendium/> [Stand: 26.02.2022]

FLEISCHMANN, Ragnar (2006): Lässt sich die Schwerelosigkeit in Raumschiffen abstellen? URL: <https://www.ds.mpg.de/211654/12> [Stand: 26.02.2022]

GERST, Alexander (06.11.2014): R-4: Meine letzten 70km auf dem Laufband. Kann es kaum erwarten, wieder im Wald joggen zu gehen. URL: [https://twitter.com/astro\\_alex/status/530426803106889728?lang=ar-x-fm](https://twitter.com/astro_alex/status/530426803106889728?lang=ar-x-fm) [Stand: 03.03.2022]

Golem: Neue Treibstofftanks und Triebwerke werden schon getestet. URL: <https://www.golem.de/news/spacex-warum-elon-musks-marsplan-keine-science-fiction-ist-1609-123509-2.html> [Stand: 26.02.2022]

GRÜNDER, Mathias (23.04.2015): NASA: Space Launch System nimmt Gestalt an. URL: <https://www.flugrevue.de/raumfahrt/mission-zum-mars-nasa-space-launch-system-nimmt-gestalt-an/> [Stand: 26.02.2022]

HARBAUGH, Jennifer (02.12.2019): NASA's Space Launch System Rocket Capabilities for Deep Space. URL: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/multi-media/rocket-capabilities-for-deep-space-infographic.html> [Stand: 26.02.2022]

HARBAUGH <sup>2</sup>, Jennifer (14.02.2022): Space Launch System RL10 Engine. URL: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/fs/rl10engine.html> [Stand: 01.03.2022]

HEIDMANN, Kelly (17.08.2016) (letztes Update: 7.8.2017): Space Launch System Rocket Gets Updated Adapter for Journey to Mars. URL: <https://www.nasa.gov/feature/space-launch-system-rocket-gets-updated-adapter-for-journey-to-mars>,

[Stand 26.02.2022]

JPL NASA: Mariner 4. URL: <https://www.jpl.nasa.gov/missions/mariner-4> [Stand: 26.02.2022]

KUNDRAPU, Raghava (15.03.2018): What is the difference between sea-level and vacuum rocket engine? URL: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-sea-level-and-vacuum-rocket-engine> [Stand: 06.03.2022]

LANDAU, Elizabeth (8.10.2019): Artemis Moon Programm Advances- The Story So Far. URL: <https://www.nasa.gov/artemis-moon-program-advances> [Stand: 26.02.2022]

LEITENBERGER, Bernd: Nukleare Antriebe. URL: <https://www.bernd-leitenberger.de/nukleare-antriebe.shtml> [Stand: 26.02.2022]

LEITENBERGER<sup>2</sup>, Bernd: Die Version des Merlin-Triebwerks. URL: <https://www.bernd-leitenberger.de/merlin.shtml> [Stand: 26.02.2022]

Lpi.usra: Orion. Quick facts. URL: <https://www.lpi.usra.edu/lunar/constellation/orion/factsheet2.pdf> [Stand: 01.03.2022]

Marsbase (26.08.2015): Mars Transfer Vehicle. The Transit Habitat. URL: <https://marsbase.org/section9> [Stand: 26.02.2022]

MOSHER, Dave (19.2.2019): Elon Musk prahlt mit neuem „blutenden“ Raumschiff von SpaceX- Experten sagen, es wird 100-mal schwerer als die Marsmission sein. URL: <https://www.businessinsider.de/tech/elon-musk-prahlt-mit-einem-neuen-blutenden-raumschiff-von-spacex-experten-sagen-es-wird-100-mal-schwerer-als-die-marsmission-sein-2019-2/> [Stand: 26.02.2022]

NASA (2022): Space Launch System RS-25 Core Stage Engines. URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/sls\\_rs25\\_engine\\_fs\\_508.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/sls_rs25_engine_fs_508.pdf)

[Stand: 26.02.2022]

NASA<sup>2</sup> (2020): NASA's Lunar Exploration Programm Overview. Landing Humans on the Moon in 2024. URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis\\_plan-20200921.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf) [Stand: 26.02.2022]

PASCHOTTA, Rüdiger (03.11.2018): Kernspaltung. URL: <https://www.energie-lexikon.info/kernspaltung.html> [Stand: 26.02.2022]

REICHERT, Uwe (10.11.2016): Warum ist eine Landung auf dem Mars so schwierig. URL: <https://www.spektrum.de/news/warum-ist-eine-landung-auf-dem-mars-so-schwierig/1427685> [Stand: 09.03.2022]

SIEBEN, Peter (25.03.2021): SpaceX: Elon Musk verkündet überraschende Nachricht zur Marslandung. URL: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/raumfahrt/spacex-elon-musk-mars-landung/> [Stand: 26.02.2022]

Spaceflight101: SpaceX Raptor. URL: <https://spaceflight101.com/spx/spacex-raptor/> [Stand: 03.03.2022]

SpaceX: Making History. URL: [SpaceX - Mission](#) [Stand: 26.02.2022]

SpaceX<sup>2</sup>: Starship. URL: [SpaceX - Starship](#) [Stand: 26.02.2022]

STRAUSS, Mark (2.10.2015): Wie gelingt der Rückflug vom Mars? -Vorhandene Ressourcen nutzen. URL: <https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/wie-gelingt-der-rueckflug-vom-mars> [Stand: 26.02.2022]

Studyflix: Mars. Entfernung Erde Mars. URL: <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/mars-3696> [Stand: 09.03.2022]

Teslarati (09.2018): BFR 2018 event slides (SpaceX) 11. URL: [BFR 2018 event slides \(SpaceX\) 11 - TESLARATI](#) [Stand: 26.02.2022]

WAGNER, Hermann-Friedrich (27.08.2008): Die Vielfalt der Kernreaktoren. URL: <https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/kernenergie/vielfalt-der-reaktoren/> [Stand: 02.03.2022]

WILLERDING, Tobias (16.1.2016): NASA und US-Luftwaffe vergeben Aufträge, SpaceX bekommt Geld von der USAF für Raptor-Prototyp. URL: <https://www.raumfahrer.net/nasa-us-luftwaffe-vergeben-auftraege/> [Stand: 26.02.2022]

WORRAL, Simon (05.03.2018): Die Menschheit überlebt nur, wenn sie den Mars kolonialisiert. URL: <https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/2018/03/die-menschheit-ueberlebt-nur-wenn-sie-den-mars-kolonisiert> [Stand: 26.02.2022]

ZDF (03.09.2020): Elon Musk. URL: <https://www.zdf.de/kinder/logo/portrait-elon-musk-100.html#> [Stand: 26.02.2022]

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: MTV und Fracht-MTV Quelle: Mamczak und Pirling 2015, S.87 .	10
Abbildung 2: SLS Einzelteile, Quelle: Heidmann.....	12
Abbildung 3: Die 5 Teile der Hauptstufe. Quelle: Boeing 2019 .....	13
Abbildung 4: Aufbau Nuklear-Festkernreaktorantrieb. Quelle: Leitenberger ....	16
Abbildung 5: Starship. Quelle: Teslarati 2018 .....	19
Abbildung 6: Die Superheavy. Quelle: Elonx 2019.....	20
Abbildung 7: Raptor Aufbau. Quelle: Willerding 2016 .....	22
Abbildung 8: Laufband ISS. Quelle: Gerst 06.11.2014.....	28

## **Selbständigkeitserklärung**

*„Ich erkläre, dass ich die Vorwissenschaftliche Arbeit eigenständig angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.“*

Graz, (Datum):