



Spirit (2004): Steckt seit 2009 im Marssand fest, vollständiger Kommunikationsverlust 2010. [16]



Opportunity (2004): Wurde im Juni 2018 von einem Sandstrom begraben. [17]

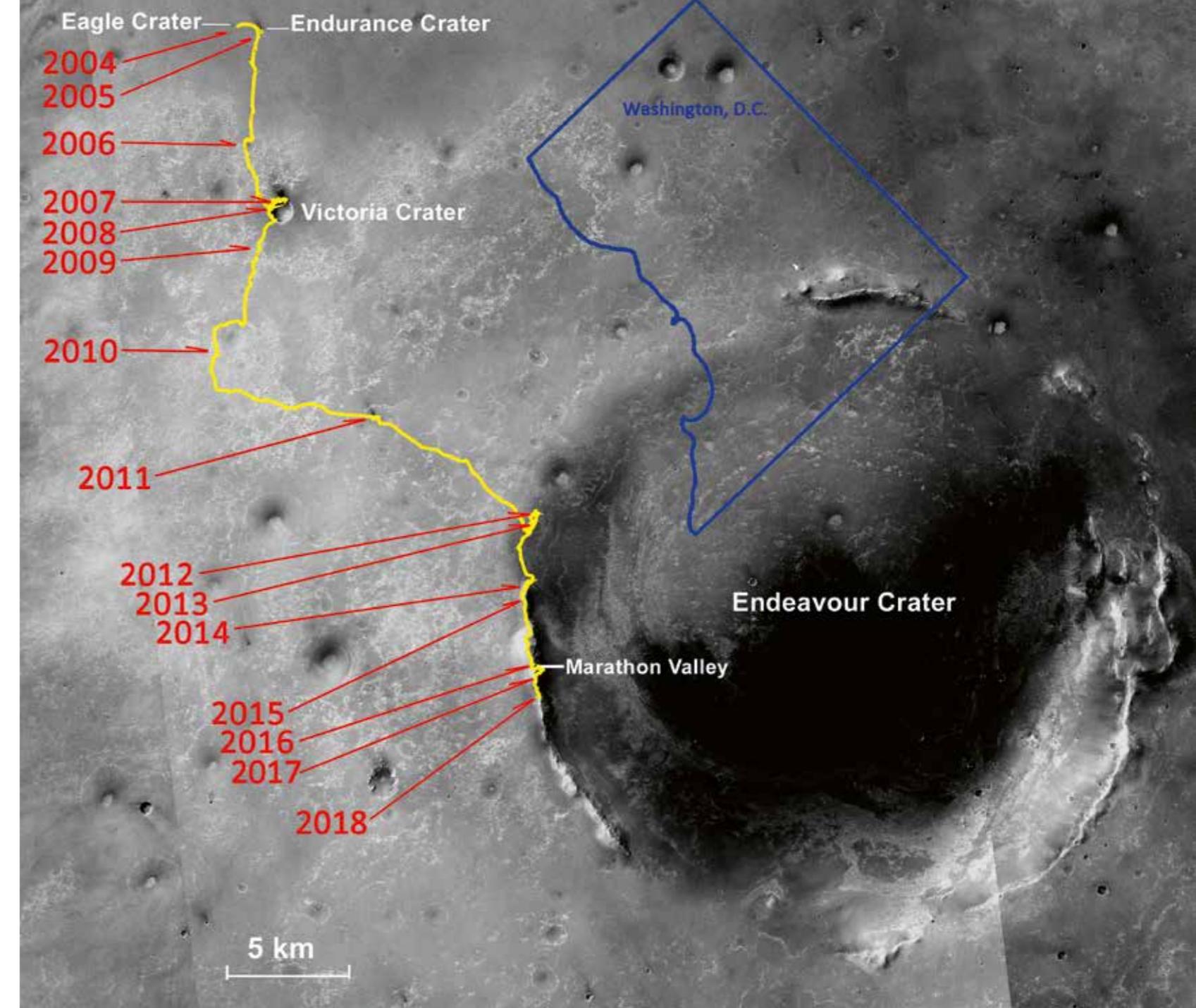
Mars seit 60.000 Jahren und bestand aus einem Orbiter und einem Lander – Beagle 2. Während es der ESA im ersten Versuch gelang eine Sonde in den Marsorbit zu bringen, hatte Beagle 2 weniger Glück. Das Schicksal des Landers ist bis heute unbekannt. Der Orbiter ist heute noch in Betrieb und mit zahlreichen Instrumenten ausgestattet. Mars Express erstellt hochauflösende Bilder der Oberfläche, und verwendet Radar zur mineralogischen Kartierung und Analyse der oberen Bodenschichten bis in den Permafrostbereich. Darüber hinaus beobachtet Mars Express Atmosphärenströmungen, Zusammensetzung und die Interaktion der Atmosphäre mit dem Weltraum.

Im Januar 2004 erreichen die beiden Mars Exploration Rover, Spirit und Opportunity, den roten Planeten. Beide landen sicher in Äquatornähe. Neben verschiedenen Kameras sind die 185 kg schweren Rover mit verschiedenen Experimenten für geologische Untersuchungen der Marsoberfläche und den obligatorischen Klimamessungen ausgerüstet. Spirit (engl. für Geist), legte bis zum 1. Mai 2009 insgesamt 7,73 km auf der Marsoberfläche zurück, ehe er, wie schon mehrfach zuvor passiert, im Sand stecken blieb. Alle Versuche den Rover aus seiner misslichen Lage zu befreien scheiterten. Fortan verrichtete er seinen Dienst als stationäre Sensorplattform. Am 22. Mai 2010 endete schließlich die Kommunikation vollständig. Nach 2210 Marstagen, endet die ursprünglich für 90 Tage geplante Spirit Mission.

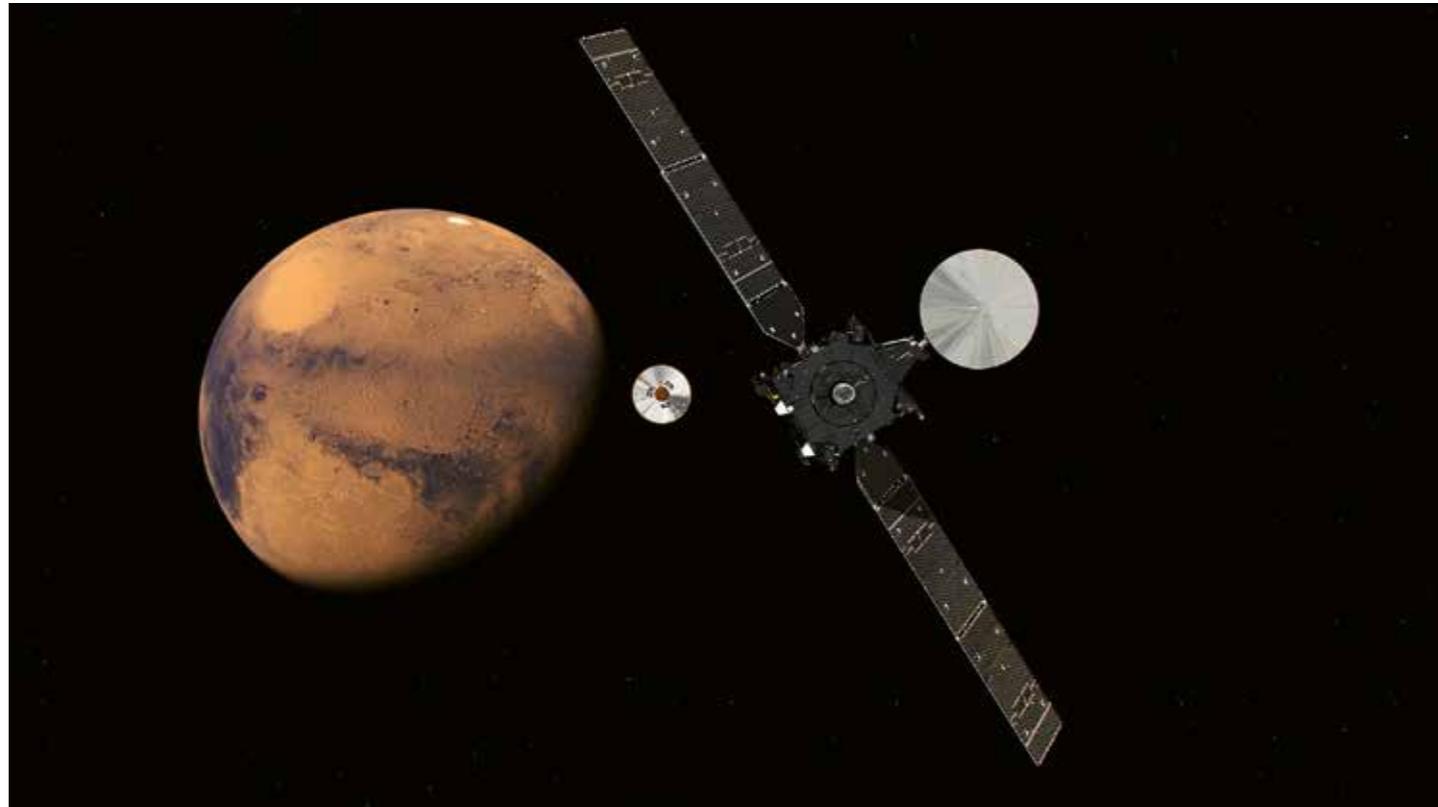
Drei Wochen nach Spirit landete Opportunity (engl. Gelegenheit) auf der anderen Seite vom Mars. Opportunity ist heute, 10 Jahre nach seiner Landung immer noch aktiv und mobil.

Zu den Aufgaben von Spirit und Opportunity gehört primär die Suche nach Wasser und Hinweisen auf Wasser. Dazu werden Gesteins- und Bodenproben untersucht. Um Steine besser untersuchen zu können haben die Rover ein Röntgen und ein Mössbauerspektrometer an Bord. Besonderer Schwerpunkt bei der Mineraliensuche liegt auf eisenhaltigen Verbindungen die sich in Anwesenheit von Wasser gebildet haben könnten.

Nach seiner Landung untersuchte Opportunity zuerst seine Umgebung im Eagle Crater. Unter anderem wurde mit seinem rechten Vorderrad der Sand aufgegraben um auch die darunter liegenden Schichten untersuchen zu können. Nach dem er Eagle Crater verlassen hatte untersuchte er seinen eigenen Hitzeschild, für die Ingenieure des Landemoduls eine erstmalige Gelegenheit der Inspektion nach der Landung. In der Nähe des Schildes fand der Ro-



Opportunitys Erkundungsweg in einem Zeitraum von 14 Jahren. [18]



ExoMars (2016): Orbiter erreichte den Marsorbit erfolgreich. Mars Lander Schiaparelli zerschellte bei der Landung. [26]

TGO untersucht ebenfalls die Gaszusammensetzung der Marsatmosphäre und versucht vor allem die Quellen der Methanspuren in der Atmosphäre zu finden. Die Ergebnisse werden für den zweiten ExoMars Missionsteil, der 2020 starten soll, berücksichtigt. Im zweiten Teil der Mission soll eine Landeplattform und Rover auf dem Mars abgesetzt werden.

Zu den aktiven Missionen gehört auch der InSight Lander, der auf dem Phönix Konzept aufsetzt. InSight ist am 26.11.2018 in der Elysium-Region gelandet. Das Hauptziel ist die Erforschung des Entstehungsprozesses des roten Planeten. Die Mission soll noch bis 2020 andauern.

Das holländische Projekt Mars One hat den ambitionierten Plan verfolgt bemannte Landungen auf dem Mars ab 2026 durchzuführen. Freiwillige wurden unter vielen tausend Interessenten ausgewählt. 2015 begann der zugehörigen Aktiengesellschaft das Geld auszugehen. Der Konkurs wurde 2019 erklärt.

Wie realistisch diese Vorhaben sind werden die folgenden Kapitel zeigen.

Motivation und Ziele einer Marssiedlung

Warum sollte ein, in gemäßigttem Klima lebender, Mitteleuropäer seine Sachen packen, seinen Wohnsitz aufgeben und an den Südpol ziehen, wo die Temperaturen im tiefen zweistelligen Minusbereich liegen und fünf Monate im Jahr keine Sonne scheint? Ein Grund liegt nicht unbedingt auf der Hand und trotzdem ist das IceCube Neutrino Observatorium am Südpol ein beliebter Arbeitsplatz unter Astroteilchenphysikern. Es gibt sogar eine Warteliste.

Warum sollten Menschen die Erde verlassen wollen um den Rest ihres Lebens auf einem komplett lebensfeindlichen Himmelskörper um das Überleben zu kämpfen? Die Frage ist nicht minderschwer zu beantworten, trotzdem hat das Projekt MarsOne bereits über 200.000 Freiwillige gefunden die sich dafür bewerben. Der Grund liegt in der menschlichen Natur. Die Geschichte der Menschheit ist voll von Menschen, die nicht mit dem Status Quo zufrieden waren, die Geschichte der Menschheit ist auch eine Geschichte der Expansion, bei der immer mehr und immer unwirt-

lichere Regionen besiedelt wurden. Der Gedanke fremde Welten zu entdecken, zu erforschen und zu besiedeln ist so alt wie die Menschheit selbst. Ohne dieses Verlangen gäbe es nur ein kleines Dorf in Afrika in dem wir seit 200.000 Jahren leben. Dasselbe Verlangen hat Menschen in den Weltraum und, zumindest kurzfristig, zum Mond, getrieben. Jetzt ist die Zeit gekommen in der wir technisch in der Lage sind zu einem anderen Planeten zu reisen. Noch wächst die Erkenntnis, dass es möglich ist; bemannte Missionen zum Mars werden immer konkreter und finden mehr und mehr Zustimmung. In nicht allzu ferner Zukunft wird der Traum einen anderen Planeten zu besiedeln Realität werden. Wenn unsere Nachfahren in 200.000 Jahren von fernen Welten auf die heutige Zeit zurück blicken werden sie feststellen: Hätte man das Wagnis Mars nicht in Kauf genommen, würden wir immer noch auf einem kleinen Planeten im Sonnensystem festsitzen.

Entwicklung der Menschheit

Für den Enthusiasten ist der treibende Aspekt die Entwicklung der Menschheit hin zu einer idealen utopischen Gesellschaft. Eine Marssiedlung wird dieses Ziel sicherlich nicht in einem Schritt erreichen, nähert sich diesem Ziel jedoch an.

Extraterrestrische Arche

Eine Marssiedlung, wie klein auch immer, stellt einen Überlebensraum für die Menschheit außerhalb der Erde dar. Abhängig von der Größe der Siedlung kann mehr und mehr irdischen Lebensformen auf dem Mars eine Chance gegeben werden, eine irdische Katastrophe von globalem Ausmaß zu überstehen. Die Notwendigkeit für einen sicheren Überlebensraum wird schon länger gesehen, so hat

z. B. die norwegische Regierung auf Spitzbergen den Svalbard Global Seed Vault errichten lassen, um Saatgut vor einer globalen Katastrophe zu beschützen. Mögliche Ursachen für eine globale Katastrophe gibt es viele. Meteoriteneinschläge haben bereits in der Vergangenheit der Erde ihr Potential gezeigt, die vorherrschende Weltordnung zu zerstören. Ein ähnliches Ausmaß an Zerstörung wird vom Ausbruch eines der sieben bekannten Supervulkane erwartet, deren bekannteste Vertreter im Yellowstone Nationalpark (USA), bei Neapel (Italien) oder bei Taupo (Neuseeland) liegen. Jede dieser Katastrophen hat das Potential, eine weltweite Tragödie auszulösen.

Angewiesen ist die Menschheit auf diese „Hilfe“ allerdings nicht. Seit dem Kalten Krieg verfügen die Supermächte über ausrei-

Stand der Technik

In diesem Kapitel werden Trägerraketen, Raumschiffe und ISS Module, die in diesem Buch von Bedeutung sind, kurz vorgestellt.

Trägerraketen

Für Reisen zum Mars wäre eine superschwere Trägerrakete, wie sie die Saturn V war extrem wertvoll. NASA, SpaceX und China setzten daher einiges daran diese Fähigkeitslücke zügig zu schließen. Erstflugtermine für das SLS der NASA steht unmittelbar bevor. Das chinesische Projekt, Langer March 9, befindet sich noch in der Studienphase. Ein Erstflug wird erst für 2030 erwartet.

Falcon Heavy	
Herkunftsland	USA
Indienststellung	6.2.2018
Hersteller	SpaceX
Anzahl Starts	1
Erfolgreiche Starts	1
Durchmesser	3,66 m
Startort	Cape Canaveral
Nutzlast zu LEO	63,800 kg
Nutzlast zu GTO	26,700 kg
Nutzlast zu LLO	22,200 kg
Nutzlast zum Mars	16,800 kg
Startkosten [USD]	90 Millionen
Startkosten zu LEO [USD/t]	1,4 Millionen
Startkosten zu GTO [USD/t]	3,4 Millionen
Startkosten zum Mond [USD/t]	4 Millionen
Startkosten zum Mars [USD/t]	5,4 Millionen



[28]

Falcon Heavy

Die Falcon Heavy ist Teil des ambitionierten Weltraumprogramms von Milliardär und SpaceX Gründer Elon Musk. Sein erklärtes Ziel ist es die Menschheit zu einer multiplanetaren Spezies zu machen, der Mars ist der Planet der Wahl und die Falcon Heavy das Vehikel um dorthin zu kommen.

Die Falcon Heavy ist die konsequente Weiterentwicklung der Falcon Reihe. Die Rakete ist im Kern eine verstärkte Variante der Falcon 9 mit zwei Unterstufen der Falcon 9 als zusätzliche, seitlich angebrachte, Booster. Ein ähnliches Konzept wird auch bei der Delta IV angewendet. Durch die hohe Modularität der Falcon Reihe können die Kosten gering gehalten werden. Alle drei Unterstufen der Falcon Heavy können nach dem Start wieder verwendet werden um die Kosten um weitere 30% zu senken.

Auch wenn zurzeit nicht geplant, ist es vorstellbar die Zahl der Unterstufen die als Booster verwendet werden auf vier oder sechs zu erhöhen und so noch größere Nutzlasten zu erreichen.

Die avisierte Nutzlast ist zwar die geringste der superschweren Trägerraketen, allerdings ist sie ausreichend um ein bis zwei Red Dragons pro Start auf Kurs zum Mars zu bringen.

Space Launch System (SLS)

Das Space Launch System soll die Reihe schwerer Startgeräte der USA erweitern und die erste Rakete seit der Saturn V werden die eine Nutzlast jenseits von 100t zum LEO transportieren kann. Es folgt dem Space Shuttle Programm nach und soll den USA die Möglichkeiten zum bemannten Raumflug wiedergeben. Technologien aus dem Space Shuttle, wie beispielsweise die Booster, werden auch beim SLS eingesetzt. Es ist geplant das SLS Schrittweise von Block 1 nach Block 2 zu entwickeln wobei die Nutz-

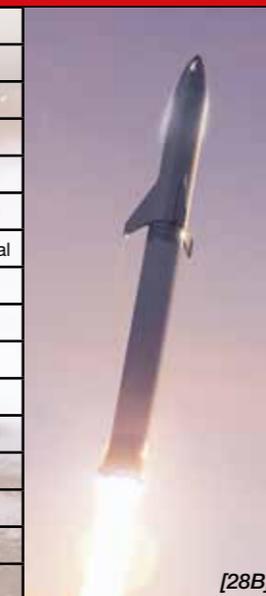
last nach LEO von 95 t auf 130 t gesteigert werden soll. Gehen die Pläne vollständig auf wird das SLS die mächtigste Rakete die jemals gebaut wurde und ihre Schubkraft sogar die der Saturn V übertreffen. Das SLS wird damit zu einem Eckpfeiler der amerikanischen Weltraumpläne, sowohl für die Erkundung der tieferen Regionen des Sonnensystems als auch für bemannte Missionen zu Mond und Mars.

Der Jungfernflug des SLS ist nicht vor 2021 zu erwarten. Zu den erwarteten Startkosten gibt es bisher keine belastbaren Schätzungen, sie dürften jedoch recht hoch sein.

Starship

Super Heavy gemeinsam mit der Oberstufe Starship, früher als Big Falcon Rocket (BFR) bekannt ist die Super Schwere Rakete/ Raumschiff das sich gerade in Entwicklung durch SpaceX befindet. Starship verfolgt ein im Vergleich zu bisherigen Raketen voll-

Super Heavy	
Herkunftsland	USA
Indienststellung	Q2 2020
Hersteller	SpaceX
Anzahl Starts	0
Erfolgreiche Starts	0
Durchmesser	9 m
Startort	Cape Canaveral
Nutzlast zu LEO	150,000 kg
Nutzlast zu GTO	62,600 kg*
Nutzlast zu LLO	51,900 kg*
Nutzlast zum Mars	39,300 kg*
Startkosten [USD]	Unbekannt
Startkosten zu LEO [USD/t]	Unbekannt
Startkosten zu GTO [USD/t]	Unbekannt
Startkosten zum Mond [USD/t]	Unbekannt
Startkosten zum Mars [USD/t]	Unbekannt



[28B]

*Schätzung ohne Nachtanken im Orbit, mit Nachtanken vermutlich über 100 t möglich.

Space Launch System (Block 2)

Herkunftsland	USA
Indienststellung	>2021
Hersteller	Boeing, United Launch Alliance, Northrop Grumman, Aerojet Rocketdyne
Anzahl Starts	0
Erfolgreiche Starts	0
Durchmesser	8,4 m
Startort	Cape Canaveral
Nutzlast zu LEO	130,000 kg
Nutzlast zu GTO	54,200 kg*
Nutzlast zu LLO	45,000 kg*
Nutzlast zum Mars	34,100 kg*
Startkosten [USD]	Unbekannt
Startkosten zu LEO [USD/t]	Unbekannt
Startkosten zu GTO [USD/t]	Unbekannt
Startkosten zum Mond [USD/t]	Unbekannt
Startkosten zum Mars [USD/t]	Unbekannt



[29]

* Schätzung

ständig neues Konzept. Im Prinzip ist es eine zweistufige Rakete, deren erste Stufe „Super Heavy“ genannt, nach dem Start wieder vertikal Landen kann, wie man es schon von der Falcon 9 und Falcon Heavy her kennt.

Die zweite Stufe, das eigentliche Starship, ist Raumschiff und Oberstufe zugleich. Ziel der zweiten Stufe ist es den Übergang bis in den Erdorbit zu schaffen. Dort soll Starship nun durch ein anderes Starship oder später durch eine Starship Tanker Variante betankt werden. Versehen mit neuem Treibstoff kann es nun zu Mars oder Mond starten.