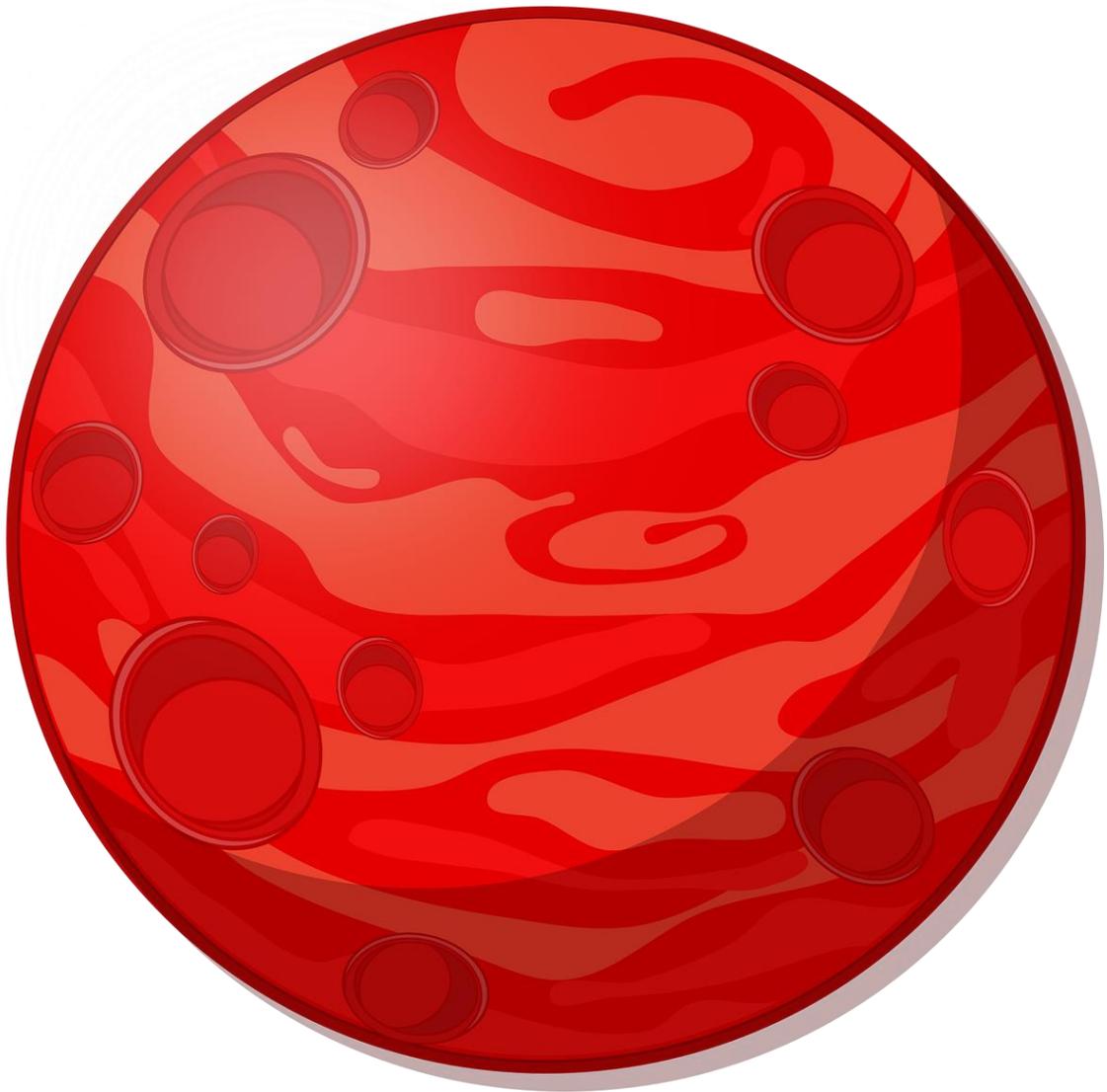


# Mission to Mars

Eine physikalische  
Abenteuergeschichte



© ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

**Autoren:** D. Keck, A. Wittje, R. Decke und M. Schroer

**Bildquelle:** D. Keck

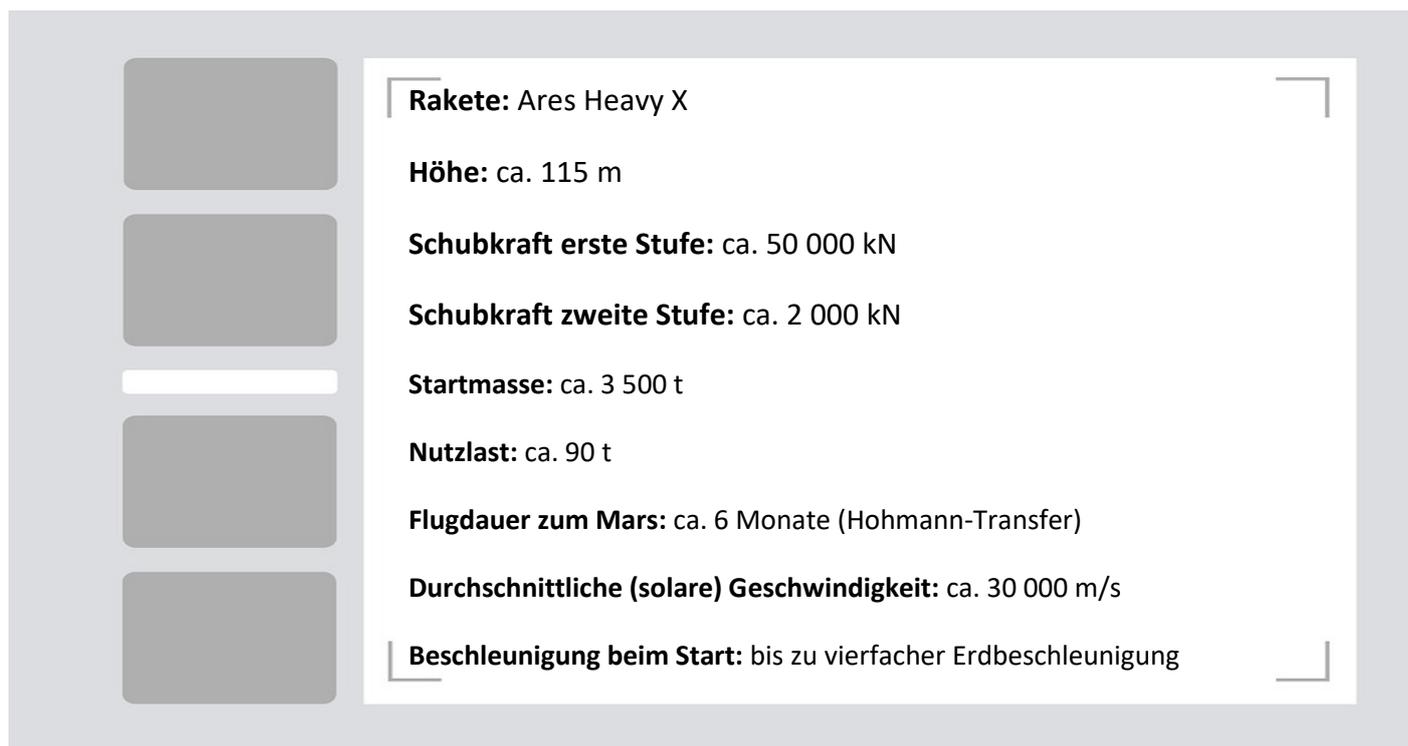
**Bilder der ESA:**

**Erde, Seite 7:** [www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Meteorological\\_missions/meteosat\\_third\\_generation/Introducing\\_MTG](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Meteorological_missions/meteosat_third_generation/Introducing_MTG)

**Mars, Seite 19:** [www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Mars\\_Express/Facts\\_about\\_Mars](http://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express/Facts_about_Mars)

## Der Start

Zehn... Neun... Acht... Sieben... Sechs... Das ist er also, der Tag, auf den du solange hingearbeitet hast: Heute am 11. März 2048, startest du als eines von drei Mitgliedern vom Weltraumbahnhof der ESA zu deiner Weltraummission. Das Ziel: Der rote Planet Mars. Eure Aufgabe: Als erste Menschen einen Fuß auf unseren Nachbarplaneten setzen. Während du dem Countdown zum Start der Rakete lauschst, versuchst du deine Anspannung und Nervosität in den Griff zu bekommen, indem du dir zur Ablenkung die Eckdaten deiner Mission durchliest:



**Rakete:** Ares Heavy X

**Höhe:** ca. 115 m

**Schubkraft erste Stufe:** ca. 50 000 kN

**Schubkraft zweite Stufe:** ca. 2 000 kN

**Startmasse:** ca. 3 500 t

**Nutzlast:** ca. 90 t

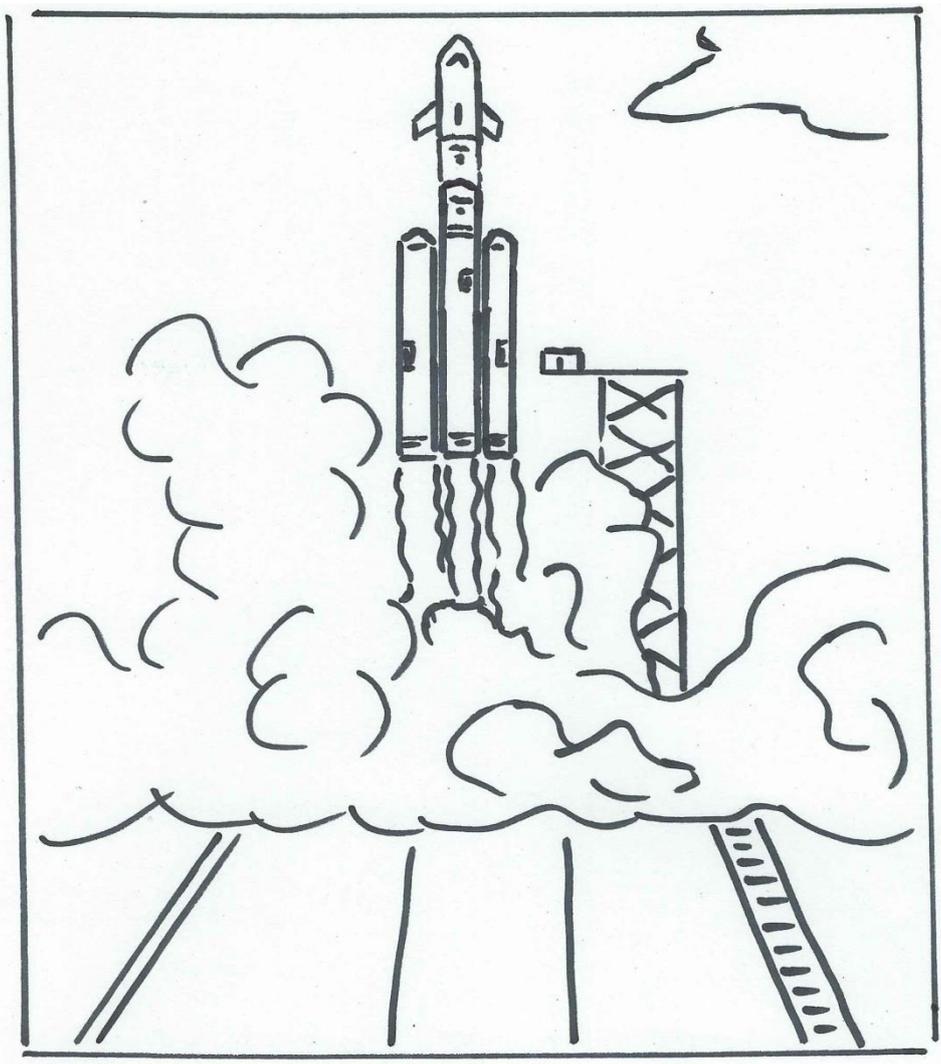
**Flugdauer zum Mars:** ca. 6 Monate (Hohmann-Transfer)

**Durchschnittliche (solare) Geschwindigkeit:** ca. 30 000 m/s

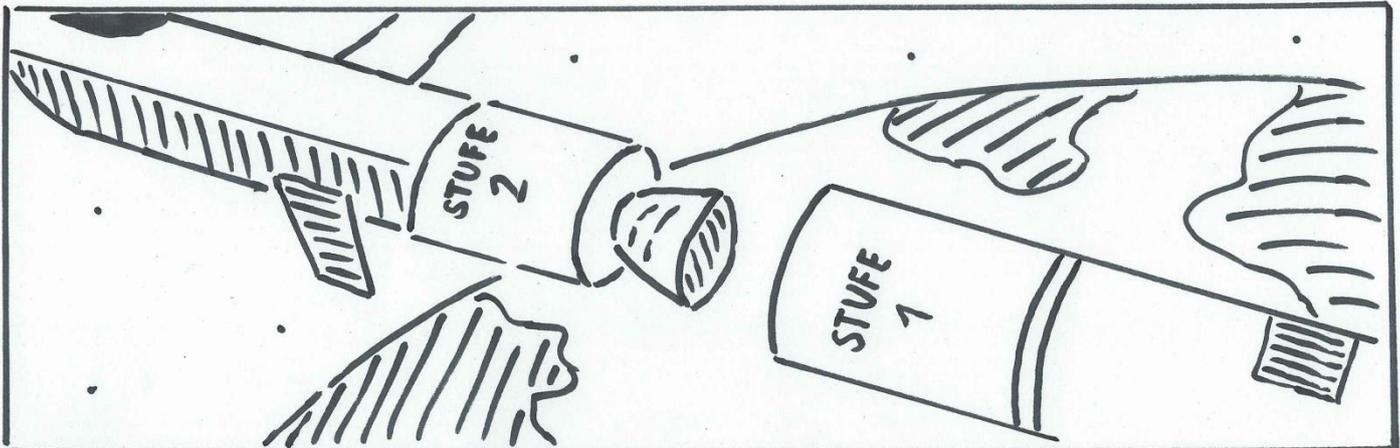
**Beschleunigung beim Start:** bis zu vierfacher Erdbeschleunigung

**Aufgabe 1:** *Du überschlägst noch einmal im Kopf: Welche Gewichtskraft wirkt kurz vor dem Start auf eure Rakete? Wie groß wird deine Reisegeschwindigkeit in km/h sein? Wie viele Kilometer wirst du auf deiner Reise bis zum Mars ungefähr zurücklegen?*

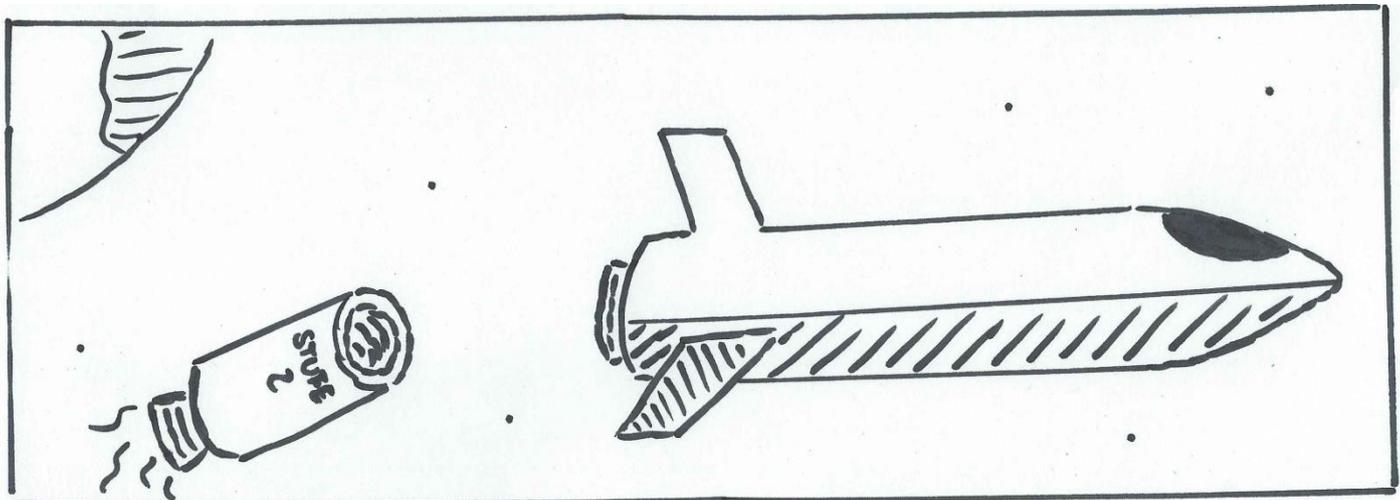
Fünf... Vier... Drei... Zwei... Eins... und Zündung! Die Triebwerke der Rakete starten und kurz darauf presst dich die extreme Beschleunigung in deinen Sitz. Dir fällt das Atmen schwer und du musst deine Zunge nach vorne pressen, damit sie dir nicht in den Rachen rutscht. Nach kurzer Zeit bemerkst du, wie du deine Umgebung nur noch unscharf erkennst. Dir fällt ein, dass die Durchblutung deines Gehirns durch die starke Beschleunigung abnimmt. Zum Glück hast du während deines Trainings für Astronauten und Astronautinnen gelernt, derartige Beschleunigungen auszuhalten. Eine untrainierte Person könnte bei einem Raketenstart leicht bewusstlos werden.



## Schwerelos



Nach einigen Minuten werden die äußeren Booster-Triebwerke der ersten Raketenstufe abgetrennt und fallen zur Erde zurück. Sie landen schließlich eigenständig auf der Erde und können so für weitere Flüge wiederverwendet werden. Nach ein paar weiteren Minuten trennt sich mit dem Mitteltriebwerk der Rest der ersten Stufe (vgl. Bild oben) und kehrt ebenfalls zur Erde zurück. Die zweite Stufe, auf der das eigentliche Raumschiff montiert ist, in dem ihr euch befindet, setzt ihre Reise fort. Nach einem weiteren Beschleunigungsmanöver mit dem Triebwerk der zweiten Stufe, wird auch diese abgetrennt (vgl. Bild unten) und ihr befindet euch endlich mit eurem Raumschiff auf der Flugbahn Richtung Mars. Ohne die Raumschiffeigenen Triebwerke zu zünden, rast ihr ab jetzt mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von ungefähr 30 000 m/s durchs All.



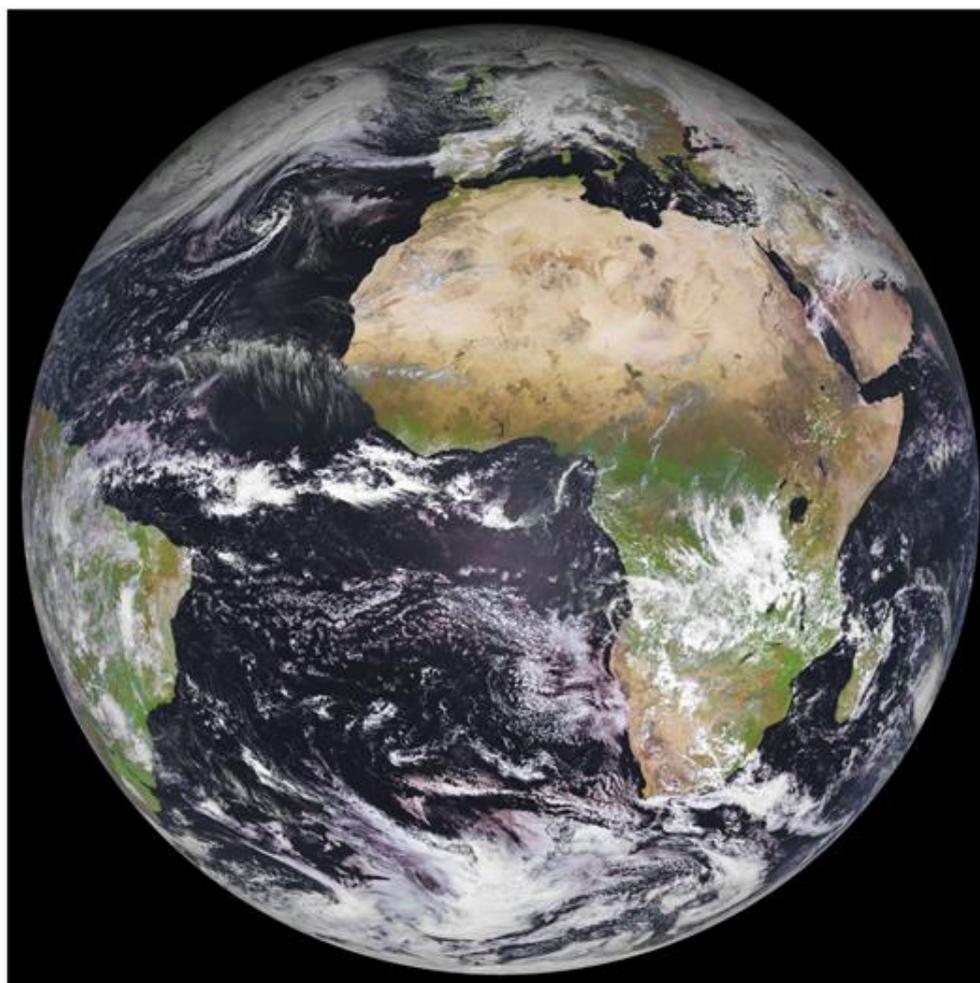
**Aufgabe 2:** Wie bereits bei der Planung der Marsmission bist du auch jetzt wieder kurz verwundert, dass keine Zündung notwendig ist. Schließlich muss man ja auf der Autobahn beim Autofahren auch die ganze Zeit Gas geben, um konstant z.B. 100 km/h zu fahren. Warum ist hier kein dauerhafter Antrieb nötig?

Endlich kannst du die Gurte deines Sitzes lösen und schwerelos aus dem Cockpit in den hinteren Teil des Raumschiffes schweben, der nun für die nächsten sechs Monate euren Arbeits-, Wohn- und Schlafbereich bildet. Da kommt auch schon dein Kollege angeschwebt und sagt: „Swusch, nächste Haltestelle Mars!“ Du lachst, als du das Swusch-Geräusch hörst, das wohl das Geräusch eures vorbeisenden Raumschiffs darstellen soll.

**Aufgabe 3:** *Natürlich weißt du es besser: Welches Geräusch würde ein im All schwebender Astronaut hören, wenn euer Raumschiff vorbeifliegt?*

Während euer Raumschiff weiter ins Weltall vordringt, wirfst du einen letzten Blick zurück auf deinen Heimatplaneten: Wie wunderschön die Erde von hier oben aussieht! Ihr Anblick macht dir bewusst, dass keine Anstrengungen und Mühen zu groß sind, um die Erde mit all ihrer einzigartigen Natur und Artenvielfalt für zukünftige Generationen zu erhalten. Denn eines ist sicher: Selbst wenn es der Menschheit jemals in Zukunft gelingt, eine dauerhafte Siedlung auf dem Mars zu etablieren, so bleibt dennoch die Erde der einzige Planet in unserem Sonnensystem, der uns „von sich aus“ perfekte Lebensbedingungen bietet: Luft zum Atmen, flüssiges Wasser und ideale Temperaturen.

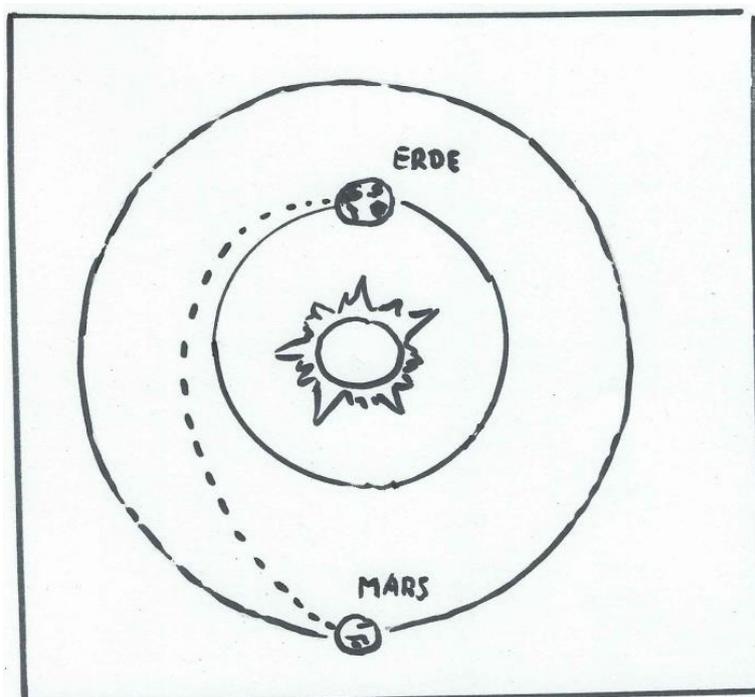
Auf dem Mars hingegen könnten Menschen nur in geschlossenen Räumen und dank aufwendiger Techniken leben, die künstlich die nötigen Lebensbedingungen für uns Menschen herstellen. Aufenthalte außerhalb dieser Räumlichkeiten wären nur in Raumanzügen möglich und selbst dann nur für relativ kurze Zeit solange der mitgeführte Sauerstoff ausreicht.



Quelle: ESA

## Unterwegs

Nachdem sich die Aufregung des Starts gelegt hat, bemerkst du langsam die ersten Anzeichen der sogenannten Raumkrankheit, dein Orientierungssinn ist massiv gestört: Im Gleichgewichtsorgan des Innenohrs drücken winzige Kristalle auf die Sinneshärchen, welche so die Richtung der Schwerkraft anzeigen. In der Schwerelosigkeit können die Kristalle keinen Druck mehr ausüben: Es gibt also kein oben und unten mehr. Dein Körper reagiert mit Übelkeit und Schweißausbrüchen. Nach einigen Tagen passt er sich an die neue Situation an – die Symptome verschwinden. Von nun an orientiert ihr euch vor allem visuell, da euer Gleichgewichtssinn keine nützlichen Informationen mehr liefert.



Die Tage im Raumschiff haben eine klare Struktur: In Schichten arbeitet ihr die Navigations- und Forschungsaufträge ab, die euch vom Missionskontrollzentrum auf der Erde geschickt werden, und führt Wartungs- und kleinere Reparaturarbeiten an den Bordgeräten durch. Ebenso schläft, esst und treibt ihr Sport in Schichten. Insbesondere die täglichen zwei bis drei Stunden Sport sind wichtig, da sie dem Stressabbau dienen sowie dem Schwund an Muskelmasse und Knochenmineralgehalt auf Grund der fehlenden Gewichtskraft entgegenwirken. Dennoch verlierst du pro Monat im All ca. 1 % deines Knochenmineralgehalts.

**Aufgabe 4:** Bei einem durchschnittlichen Erwachsenen haben die Knochen ungefähr einen Mineralgehalt von 3 kg. Wieviel Knochenmineralgehalt wirst du auf dem Flug zum Mars verlieren?

Du versuchst dich abzulenken, um nicht weiter über die ungesunden Folgen deines Allaufenthalts nachzudenken. Dabei bemerkst du, dass du Hunger hast. Während du zur Bordküche schwebst und dir etwas Astronautennahrung zubereitest, wird dir wieder einmal klar, wie stark das Essen rationalisiert ist. Ausgehend von einem täglichen Energiebedarf von 10 000 kJ pro Person wurde berechnet, wie viel Proviant ihr für euren Flug zum Mars mitnehmen müsst.

**Aufgabe 5:** *Du überlegst: Welche physikalische Leistung erbringt ein Mensch, der in 24 h die obige Energiemenge umsetzt? Wie hoch ist der Energiebedarf der gesamten Crew während eurer Reise zum Mars? Als alter Spaßvogel überlegst du weiter: Wie viele Mars-Riegel (Brennwert jeweils 1 885 kJ) wären dafür nötig?*

Während du deine Mahlzeit zu dir nimmst und darauf achtest, dass kein Essen davonschwebt und eventuell empfindliche Geräte verschmutzt, fällt dir ein, dass Allaufenthalte sich noch auf andere Weise negativ auf die Gesundheit auswirken, nämlich durch die Strahlung im Weltall. Diese wird von der Sonne und anderen Sternen außerhalb unseres Sonnensystems abgestrahlt und besteht aus vielen unterschiedlichen, winzigen und energiereichen Teilchen wie zum Beispiel Wasserstoff-Ionen. Werden Menschen dieser Strahlung über einen längeren Zeitraum ungeschützt ausgesetzt, erhöht sich das Risiko, an Krebs, degenerativen Krankheiten des Herz-Kreislauf-Systems und des zentralen Nervensystems zu erkranken. Auf der Erde sind wir vor dieser Strahlung geschützt: Das Magnetfeld der Erde verhindert, dass sie in hoher Intensität die Erdoberfläche erreicht.

**Aufgabe 6:** *Du versuchst dich an dein Wissen über das Erdmagnetfeld zu erinnern: „Es ähnelt dem Magnetfeld eines riesigen Stabmagneten. Seine magnetischen Pole sind in der Nähe der geographischen Pole. Aber wie war das nochmal genau: Welcher magnetische Pol liegt wo?“*

Nachdem du dein Essen beendet hast, begibst du dich zu deiner Schlaf- und Wohnkoje, da du gerade arbeitsfrei hast. Zur Freizeitbeschäftigung hast du auf deinem persönlichen Tablet Unmengen an Bildern, Musik, Spielen, Videos und Filmen gespeichert. Auch die Kommunikation mit deinen Freunden und deiner Familie erledigst du während der Freizeit. Zu Beginn eurer Reise war es noch möglich per Funksignal zu „telefonieren“. Mittlerweile seid ihr aber so weit von der Erde entfernt, dass die Zeitdauer zur Übertragung der Funksignale ein „Telefongespräch“ unmöglich macht. Du kommunizierst daher nur noch durch das Versenden von E-Mails oder aufgezeichneten Video- oder Audionachrichten.

Während du also das E-Mail-Programm startest und dabei das Lied „Life on Mars?“ von David Bowie hörst, wird dir bewusst, dass auch die Kommunikation vom Mars aus mit der Erde nur auf diese Weise möglich sein wird.

**Aufgabe 7:** *Funksignale breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit (ca. 300 000 km/s) aus. Der Abstand zwischen Mars und Erde schwankt je nach Position der Planeten auf ihren Umlaufbahnen zwischen 56 und 401 Millionen Kilometer. Wie lange musst du im günstigsten bzw. ungünstigsten Fall nach Absenden einer Nachricht (mindestens) warten, bis du eine Antwort erhältst?*

Nachdem du deine E-Mail abgesandt hast, überbrückst du die Zeit bis zur Antwort mit Lesen. Um optimal für eure Aufgaben auf dem Mars vorbereitet zu sein, liest du dir nochmal den Steckbrief eures Reiseziels durch:



Der Mars ist der vierte Planet im Sonnensystem und der äußere Nachbar der Erde. Er zählt wie die Erde zu den Gesteinsplaneten. Sein Durchmesser ist mit knapp 6 800 km etwa halb so groß wie der der Erde. Mit einer durchschnittlichen Entfernung von 228 Millionen Kilometern ist er rund 1,5-mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde. Die Masse des Mars beträgt etwa ein Zehntel der Erdmasse. Der Ortsfaktor auf seiner Oberfläche beträgt 3,69 N/kg, dies entspricht etwa 38 % des Ortsfaktors auf der Erde (9,81 N/kg). Mit einer Dichte von 3,9 g/cm<sup>3</sup> weist der Mars die geringste Dichte der Gesteinsplaneten in unserem Sonnensystem auf. Der Mars wird oft auch als „der Rote Planet“ bezeichnet. Diese Färbung geht auf Eisenoxid-Staub (Rost) zurück, der sich auf der Oberfläche und in der dünnen CO<sub>2</sub>-Atmosphäre verteilt hat. Seine orange- bis blutrote Farbe und seine Helligkeitsschwankungen am irdischen Nachthimmel sind auch der Grund für seine Namensgebung nach dem römischen Kriegsgott Mars. Fotos von Raumsonden zeigen eine teilweise mit Kratern bedeckte Oberfläche sowie tiefe Canyons und einen über 20 km hohen Vulkan. Marsroboter haben schon mehrere Gebiete geologisch untersucht. Der Mars besitzt zwei kleine, unregelmäßig geformte Monde, die 1877 entdeckt wurden: Phobos und Deimos (griechisch für „Furcht“ und „Schrecken“).

Schnell beginnen dir jedoch die Augen zu zufallen und nach einem weiteren „Tag“ an Bord der Ares Heavy X schläfst du schließlich ein...

## Emergency

Der nächste Tag beginnt für dich mit dem Auftrag, den elektrischen Schaltkreis zum Betrieb dreier Warnlämpchen auszutauschen, die zu leuchten beginnen, wenn der Sauerstoffgehalt in der Raumschiff Luft zu niedrig ist. Nachdem du den alten Schaltkreis aus seiner Konsole ausgebaut und entsorgt hast (um keinen unnötigen Ballast auf eurer Reise mitzuschleppen, wird der Müll zunächst in einer Luftschleuse gesammelt und dann regelmäßig ins Weltall entsorgt), beginnst du mit dem Aufbau des neuen Schaltkreises.

**Aufgabe 8:** *Zunächst überlegst du: Der Schaltkreis enthält aus Sicherheitsgründen drei Lampen, damit im Falle einer oder zweier defekter Lampen immer noch mindestens eine leuchten kann. Prinzipiell gibt es für mehrere elektrische Geräte zwei Möglichkeiten, sie in einen Schaltkreis einzubauen: Als Reihen- oder Parallelschaltung. Welche Schaltung muss hier gewählt werden?*

Nachdem du dir die richtige Schaltungsart ausgesucht hast, zeichnest du dir eine Skizze des Schaltkreises auf ein zufällig gerade vorbeischiebendes Verpackungspapier eines Mars-Riegels.

**Aufgabe 9:** *Der Schaltkreis besteht aus einer Spannungsquelle, Stromleitungen, den drei Lämpchen und einem automatischen Schalter, der die Lämpchen anschaltet, wenn der Sauerstoffgehalt einen kritischen Grenzwert unterschreitet. Wie musst du die Schaltskizze zeichnen?*

Entsprechend deiner Skizze kannst du nun endlich den Schaltkreis zusammenbauen. Als du gerade die letzten Stromleitungen an der Spannungsquelle befestigen willst, fällt dir auf, dass die Konsole zwei verschiedene Spannungsquellen enthält: Eine liefert eine Spannung von 4 V, die andere eine Spannung von 12 V. „An welche soll ich denn jetzt den Schaltkreis anschließen?“, denkst du.

**Aufgabe 10:** *Du betrachtest eines der Lämpchen genauer und erinnerst dich: Für den korrekten Betrieb muss ein Strom von ungefähr 70 mA Stromstärke durch die Lämpchen fließen. Jedes Lämpchen hat im Betrieb einen Widerstand von ungefähr  $55 \Omega$ . Das genügt dir. Schnell berechnest du, welche Betriebsspannung daraus für das Lämpchen folgt und entscheidest dich anschließend für die richtige Spannungsquelle. Auf welche fällt deine Wahl?*

Zügig schließt du nun den Schaltkreis richtig an und beendest deine Arbeit, indem du die Deckplatte der Konsole wieder festschraubst. Das wurde auch langsam Zeit: Ein Blick auf deine Uhr zeigt dir, dass du dich ins Cockpit des Raumschiffs begeben musst: Deine Schicht zur Steuerung und Überwachung der Bordsysteme startet gleich.

Deine Schicht beginnt zunächst mit einer Routineaufgabe: Die nach eurem Start ausgeklappten Solarmodule müssen zum optimalen Betrieb neu zur Sonne hin ausgerichtet werden. Sie liefern durch Umwandlung der Strahlungsenergie der Sonne die elektrische Energie zum Betrieb der Bordsysteme eures Raumschiffs. Gleichzeitig besitzt euer Raumschiff mehrere Akkus, die von den Solarmodulen aufgeladen werden und die Versorgung des Raumschiffs mit elektrischer Energie sicherstellen, für den Fall, dass ihr durch den Schattenbereich eines Himmelskörpers durchfliegt oder die Solarmodule aus anderen Gründen keine Energie liefern können.

**Aufgabe 11:** Während du die Befehle zur automatischen Neuausrichtung in den Bordcomputer eingibst, überlegst du, welche Leistung die Solarmodule liefern: Euer Raumschiff verfügt über 16 quadratische Solarmodule, die jeweils eine Seitenlänge von 2,8 m haben. In eurer Entfernung zur Sonne liefert diese eine Strahlungsleistung von ca.  $700 \text{ W/m}^2$ . Allerdings können die Solarmodule lediglich 20 % der auftreffenden Strahlungsenergie in elektrische Energie umwandeln. Welche elektrische Leistung liefern alle Solarmodule gemeinsam? Wie viele handelsübliche Haartrockner (Leistung 2 kW) könnte man damit gleichzeitig betreiben?

„Gar nicht mal so viel“, denkst du. „Gut, dass alle Bordsysteme extra so konstruiert sind, dass sie möglichst wenig Energie benötigen.“

Nachdem du die Neuausrichtung der Solarmodule beendet hast, willst du dich gerade der nächsten Aufgabe widmen, als plötzlich ein leises, schepperndes Geräusch durch das Raumschiff hallt. Es klingt so, als habe jemand von außen an ein Bauteil eures Raumschiffs geschlagen. Du überlegst gerade noch, was das Geräusch verursacht haben könnte, als auch schon auf dem Display des Bordcomputers eine Warnmeldung erscheint: Plötzlicher Abfall der elektrischen Leistung der Solarmodule. Zuerst fragst du dich, ob du einen Fehler bei der Neuausrichtung der Solarmodule gemacht hast. Doch dann erinnerst du dich wieder an das Geräusch und dir wird schlagartig klar, was passiert sein muss: Ein kleiner Meteorit muss eines der Solarmodule getroffen und funktionsunfähig gemacht haben!

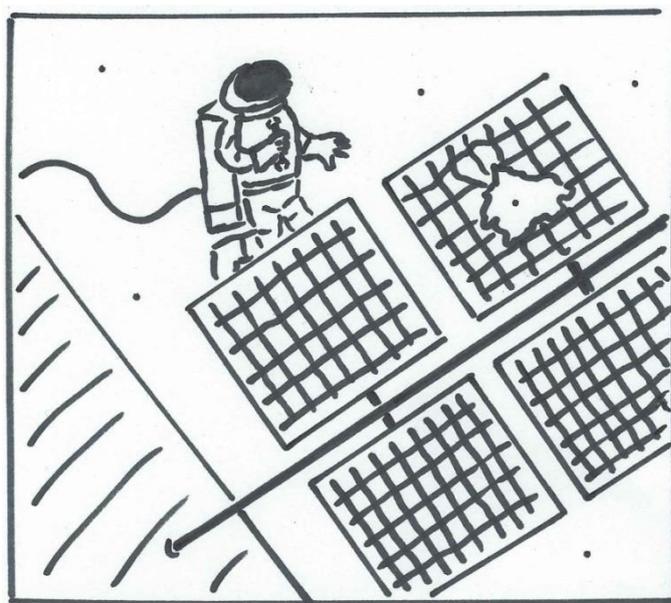
Sofort rufst du deine Crewmitglieder ins Cockpit, und ihr beginnt die Situation zu analysieren: Zunächst einmal stellt ihr fest, dass der Ausfall des Solarmoduls nicht kritisch ist. Da bei der Planung eurer Mission verschiedene Notfallszenarien bedacht wurden, ist euer Raumschiff so konstruiert, dass die Leistung der Solarmodule selbst dann noch für den Betrieb der Bordsysteme ausreicht, wenn eines davon defekt ist. Außerdem stünde euch bei einem größeren Ausfall der Solarmodule ja noch die in den Akkus gespeicherte Energie zur Verfügung. Dennoch muss das Solarmodul natürlich schnellstmöglich repariert beziehungsweise gegen ein Ersatzmodul ausgetauscht werden. Andernfalls könnte der nächste Ausfall eines Moduls schnell kritisch werden. Da man die nötigen Arbeiten nur von außen erledigen kann, steht euch also ein „Weltraumspaziergang“ bevor. Der Gedanke daran, das Raumschiff zu verlassen, während du nur durch einen Raumanzug vor den lebensfeindlichen Bedingungen des Weltalls geschützt bist, lässt deine Anspannung steigen. Klar, diese Anzüge sind wahre Wunderwerke der Technik: In ihrem Rucksack befindet sich ein komplettes Lebenserhaltungssystem bestehend aus Batterien, Sauerstoffflaschen, einem Funkgerät und Wasser, das zur Temperaturregulierung in dünnen Schläuchen durch den Anzug läuft. Aber ein mulmiges Gefühl bleibt trotzdem. Um dich von deiner Anspannung abzulenken, beginnst du sofort zusammen mit deiner Kollegin, eure Raumanzüge, das Ersatzmodul sowie alle nötigen Werkzeuge zu holen und euch auf den Außenbordeinsatz vorzubereiten. Zur Einstimmung auf euren „Weltraumspaziergang“, lässt euer Kollege, der während eures Außenbordeinsatzes im Raumschiff bleibt, das Lied „Starman“ von David Bowie über die Lautsprecheranlage des Raumschiffs laufen. Du schmunzelst: Genau dieses Lied habt ihr immer während eures Trainings für Astronauten und Astronautinnen unter Wasser gehört. Um Arbeiten während eines Außenbordeinsatzes in den Raumanzügen routiniert und sicher ausführen zu können, habt ihr die Aktivitäten auf der Erde in Wasserbecken trainiert. Indem man euch mit euren Raumanzügen im Wasser zum Schweben gebracht hat, wurde ein Zustand erzeugt, der dem der Schwerelosigkeit recht nahekommt. Allerdings erzeugt das Wasser einen Bewegungswiderstand, den man im All nicht spürt.

**Aufgabe 12:** Ein Astronaut im Raumanzug hat eine Gesamtmasse von ca. 200 kg. Um im Wasser zu schweben, müssen Luftpolster an den Raumanzug angebracht werden. Dadurch sinkt die mittlere Dichte des Astronauten (inklusive Luftpolster und Raumanzug). Welches Volumen muss der Raumanzug mit den Luftpolstern haben, damit der Astronaut im Wasser (Dichte  $997 \text{ kg/m}^3$ ) schwebt? Welche Auftriebskraft erfährt der Astronaut dann? Was passiert, wenn seine Dichte größer bzw. kleiner als die des Wassers ist?

## Außenbordeinsatz

Nachdem ihr eure Vorbereitungen beendet und eure Raumanzüge angezogen habt, sitzt ihr nun in der Luftschleuse und wartet, bis die Vakuumpumpen die Luft aus der Schleuse in einen Behälter abgepumpt haben. Dort verbleibt die Luft bis zu eurer Rückkehr in die Schleuse. Anschließend öffnet ihr die Außenluke und schwebt langsam hintereinander hinaus ins Weltall.

Als erstes befestigt ihr eure Sicherheitsleinen an einer der Griffleisten, die an den Außenwänden eures Raumschiffs angebracht sind. So seid ihr davor geschützt, versehentlich den Halt zu verlieren und unwiederbringlich in die Leere des Weltalls davon zu schweben. Anschließend hangelt ihr euch an den Griffleisten entlang zu dem defekten Solarmodul und tatsächlich: Ein Einschlag hat ein Loch in das Modul gerissen und es so funktionsunfähig gemacht. Sofort beginnt ihr mit den Arbeiten zum Austausch. Während du mit einem Akkuschauber die Halterung des Moduls löst, kümmert sich deine Kollegin um dessen elektrische Verkabelung. Anschließend entsorgt ihr das defekte Solarmodul,



indem ihr es in die Weiten des Alls stoßt, und beginnt mit dem Einbau des neuen Moduls. Zunächst kommt ihr mit eurer Arbeit auch gut voran, doch dann macht deine Kollegin plötzlich eine ruckartige Bewegung zur Seite, so als hätte sie einen Stoß bekommen. Nachdem sie sich mit Hilfe der Griffleiste wieder stabilisiert hat, siehst du von außen, wie rote Warnmeldungen auf ihrem Helmdisplay aufleuchten. „Da stimmt irgendwas nicht!“, denkst du. Du versuchst deine Kollegin über Funk zu erreichen, aber sie antwortet nicht. Stattdessen tippt sie mit ihrer Hand mehrfach leicht von außen an ihren Helm, genau an der Stelle, unter der sich eines ihrer Ohren befindet. Du verstehst sofort: Ihr Funkgerät funktioniert nicht mehr. Du beginnst laut zu schreien: „Alles in Ordnung? Sollen wir den Einsatz abbrechen?“ Doch sofort wird die klar, dass dich deine Kollegin unmöglich hören kann. Plötzlich kommt dir eine Idee und du weißt, wie ihr euch doch noch unterhalten könnt. Langsam hangelst du dich an den Griffleisten zu deiner Kollegin und neigst deinen Helm nach vorne. Zum Glück versteht deine Kollegin deine Idee sofort und reagiert entsprechend.

**Aufgabe 13:** *Auf welche geniale Methode gelingt es euch doch noch zu kommunizieren (wenn auch in keiner besonders guten Qualität)?*

„Mein Lebenserhaltungssystem funktioniert nicht mehr richtig. Irgendetwas muss mich getroffen haben. Ich verliere Luft und muss sofort zurück ins Raumschiff. Mach du die Arbeit alleine fertig“, hörst du deine Kollegin sagen. Sofort beginnt sie, sich Richtung Luftschleuse zu hangeln. Von hinten siehst du, dass sie die Situation richtig eingeschätzt hat: An ihrem Rucksack prangen zwei kleine Löcher, aus denen Luft ausströmt. „Vermutlich hat ein Mikrometeorit ihren Rucksack durchschlagen. Von denen scheint es in dieser Gegend mehrere zu geben“, denkst du. „So ein Glück, dass er nur ihren Rucksack erwischt hat!“

Zügig wendest du dich wieder dem Einbau des neuen Solarmoduls zu. Nachdem du es mit dem Akkuschauber befestigt hast, beendest du noch die Verkabelungsarbeit, die deine Kollegin begonnen hat. „So jetzt aber schnell zurück ins Raumschiff, bevor es mich hier draußen auch erwischt“, denkst du. Mit einer Hand (in der anderen hältst du den Akkuschauber und das restliche Werkzeug) beginnst du dich an der Griffleiste zurück zu hangeln. In deiner Eile rutschst du jedoch von der Griffleiste ab und stößt dich dadurch aus Versehen vom Raumschiff ab. Ganz langsam treibst du von eurem Raumschiff weg und bis du dich wieder orientiert hast, bist du schon so weit entfernt, dass du es nirgends mehr zu fassen bekommst. Doch zum Glück hast du ja genau für solche Zwecke die Sicherheitsleine. Du greifst mit deiner freien Hand nach der Leine und versuchst, dich wieder an das Raumschiff ran zuziehen, als dir plötzlich das Blut in den Adern gefriert: Ohne am Raumschiff befestigt zu sein, trudelt die Sicherheitsleine auf dich zu. Deine Kollegin muss in ihrer Panik vorhin versehentlich nicht nur ihre, sondern auch deine Sicherheitsleine von der Griffleiste gelöst haben!

Jetzt heißt es Ruhe bewahren und nicht in Panik verfallen. In Windeseile wägst du deine Optionen ab: Deine Crewmitglieder um Hilfe bitten? Das würde zu lange dauern. Bis die aus der Luftschleuse draußen sind, hättest du dich bereits zu weit vom Raumschiff entfernt. Plötzlich fällt dein Blick auf die Werkzeuge in deiner Hand und schlagartig breitet sich ein Grinsen in deinem Gesicht aus. Jetzt weißt du, wie du es doch noch zurück zum Raumschiff schaffen kannst.

**Aufgabe 14:** *Beim Startvorgang strömen brennende Gase aus den Triebwerken der Rakete. Durch deren „Rückstoß“ wird die Rakete beschleunigt. Wie hilft dir dieses Wissen, um wieder zurück zum Raumschiff zu gelangen?*

Sofort startest du dein Rettungsmanöver und kurze Zeit später bekommst du mit beiden Händen die Griffleiste eures Raumschiffs zu fassen. Erst jetzt lässt deine Anspannung etwas nach und du bist wieder in der Lage das wahrzunehmen, was du über Funk empfangst: „Alles klar da draußen? Warum meldest du dich nicht?“, hörst du deinen Kollegen besorgt fragen.

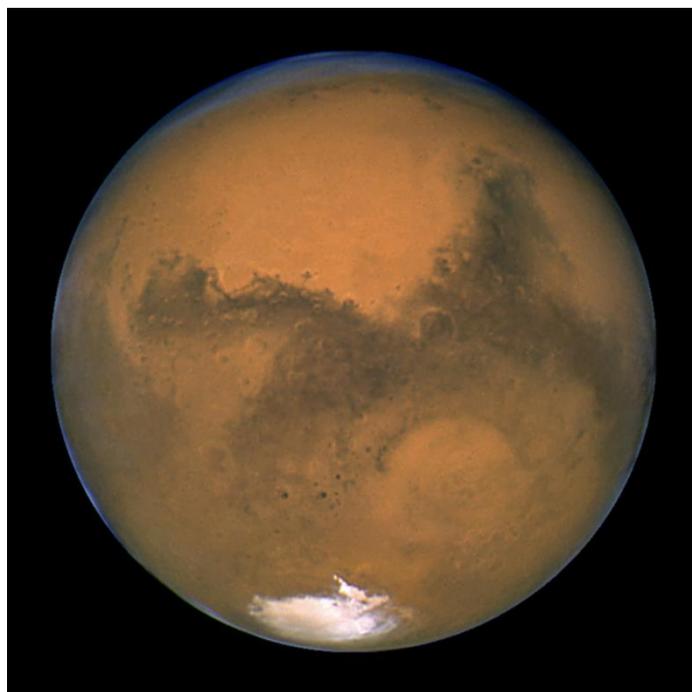
Ein paar Minuten später sitzt du wieder in der Luftschleuse und hörst, wie die Luft aus dem Tank zurück in das Schleuseninnere strömt. Als endlich der normale Druck wieder hergestellt ist, kannst du deinen Helm abnehmen und deine Crewmitglieder öffnen die innere Lucke. Entgeistert starren sie dich an, als sie bemerken, wie leichenblass und zittrig du nach deinem Schockerlebnis noch bist. Da überkommt dich plötzlich heftige Übelkeit und so schnell es geht, schwebst du an den anderen beiden vorbei zur Bordtoilette.



## Reiseziel erreicht

Nachdem ihr euch von eurem nervenaufreibenden Außenbordeinsatz erholt habt, verstreichen die letzten Tage bis zu eurer Ankunft am Mars wieder in der gewohnten Routine: Schlafen, essen, arbeiten und Sport treiben – alles im Schichtbetrieb.

Und dann endlich erreicht ihr nach ungefähr sechs Monaten Flugzeit euer Reiseziel: den Mars. Selbstverständlich konntet ihr ihn schon seit geraumer Zeit aus eurem Cockpit heraus sehen und dabei beobachten, wie er von Tag zu Tag näher rückte. Aber jetzt habt ihr euch ihm soweit genähert, dass ihr euer Raumschiff in eine stabile Umlaufbahn (Orbit) um den Mars lenken könnt. Dabei handelt es sich um ein komplexes Navigationsmanöver. Der Grund dafür: Eure Geschwindigkeit ist zum Eintritt in die gewünschte Umlaufbahn zu groß. Ohne eure Geschwindigkeit zu reduzieren, würdet ihr am Mars einfach vorbeisausen, ohne dass dessen Anziehungskraft euch einfangen könnte.



Quelle: ESA, Mars Express

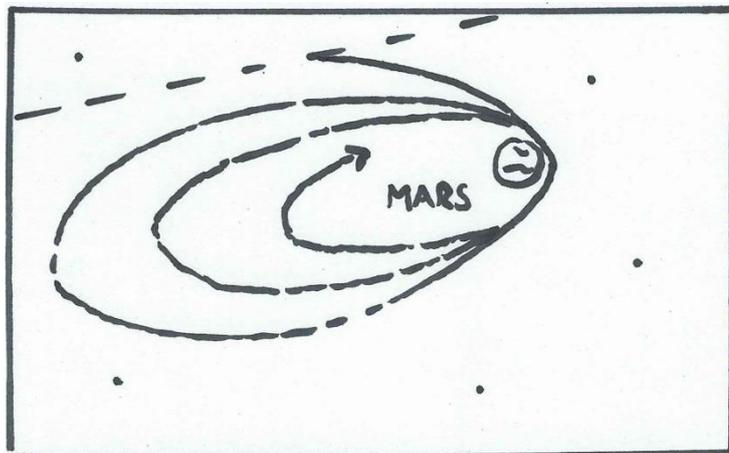
Für das Bremsmanöver gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten: Zum einen könnten die Triebwerke

eures Raumschiffs zum Abbremsen genutzt werden. Dazu müsstet ihr euer Raumschiff mit Hilfe der Steuerröhren um 180° drehen und dann eure Geschwindigkeit durch Zünden der Triebwerke reduzieren. Das Problem dabei ist jedoch, dass für ein derartiges Vorgehen eine große Menge Treibstoff benötigt wird. Diese hätte von der Erde mitgenommen werden müssen, was sich bei der Planung eurer Mission als nicht praktikabel erwies.

Daher habt ihr euch für die zweite Möglichkeit entschieden: die Atmosphärenbremsung. Hierbei steuert ihr euer Raumschiff zunächst mit Hilfe der Triebwerke so nah an den Mars heran (< 100 km), dass ihr beim Vorbeiflug in dessen Atmosphäre eintaucht. Der „Luftwiderstand“ bremst euer Raumschiff dann ab und es befindet sich nach dem Bremsvorgang auf einer stark elliptischen Umlaufbahn um den Mars.

Um die gewünschte Umlaufbahn zu erreichen, muss das Eintauchen in die Atmosphäre bei den folgenden Umrundungen des Mars jeweils wiederholt werden, wodurch sich eure elliptische Umlaufbahn jedes Mal „verkleinert“. Dieses Vorgehen wird solange fortgesetzt, bis eure Geschwindigkeit auf den richtigen Wert reduziert wurde. Um schließlich euren geplanten Orbit zu erreichen, müsst ihr zum Abschluss des Manövers mit Hilfe eurer Triebwerke eure Umlaufbahn so korrigieren, dass sie nicht mehr durch die Atmosphäre des Mars führt und ihr nicht weiter abgebremst werdet. Darüber hinaus werden die Triebwerke bei der Atmosphärenbremsung lediglich für kleinere Bremsvorgänge und Kurskorrekturen benötigt. Insgesamt wird so wesentlich weniger Treibstoff benötigt als bei einem Bremsmanöver allein mittels der Raumschifftriebwerke.

Während der nächsten Tage vollzieht ihr in mehreren Durchläufen die Atmosphärenbremsung und bewegt euch dabei auf immer kleineren Ellipsen um euer Reiseziel. Beim Durchfliegen der Marsatmosphäre befindet ihr euch jedes Mal angegurtet auf euren Sitzen im Cockpit. Auf Grund eurer Trägheit würdet ihr andernfalls quer durch das Raumschiff geschleudert werden - ähnlich wie bei einer Vollbremsung in einem Auto. Sobald



ihr die Marsatmosphäre verlassen habt, setzt wieder das mittlerweile gewohnte Gefühl der Schwerelosigkeit ein. Und auch wenn das Manöver in der Theorie relativ einfach klingt, sind eure Nerven bei jedem Atmosphärendurchflug bis zum Zerreißen gespannt. Taucht ihr nämlich zu tief in die Atmosphäre ein, so wäre die Hitzeentwicklung zu groß und ihr würdet Gefahr laufen, trotz der Hitzeschutzkacheln aus keramischen Verbundmaterialien auf der Außenhülle eures Raumschiffs zu verglühen.

**Aufgabe 15:** *Du überlegst: Wodurch entsteht die enorme Hitze bei eurem Navigationsmanöver überhaupt? Tipp: Was fühlst du, wenn du deine Hände schnell aneinander reibst? Was fühlst du, wenn du nach dem Aufpumpen deiner Fahrradreifen die Spitze der Luftpumpe oder das Fahrradventil anfässt?*

Schlussendlich geht das Navigationsmanöver jedoch ohne Zwischenfälle zu Ende: Nach dem letzten Atmosphärendurchflug korrigiert ihr mit Hilfe eurer Triebwerke die Umlaufbahn, um bei den weiteren Umrundungen des Mars nicht nochmal in die Atmosphäre einzutauchen.

Anschließend schaltet ihr die Triebwerke ab und gratuliert euch gegenseitig zur Beendigung dieses Manövers. Von nun an befindet ihr euch dauerhaft in eurem stabilen Orbit um den Mars.

**Aufgabe 16:** *Warum ist der Orbit überhaupt stabil? Die Gravitationskraft des Mars zieht doch fortlaufend an eurem Raumschiff und eure abgeschalteten Triebwerke liefern keinen Gegenschub. Warum fällt ihr dennoch nicht auf die Marsoberfläche?*

Wie geplant umrundet ihr von nun an den Mars in einem elliptischen Orbit in einer Höhe von ungefähr 250 bis 34 000 km über seiner Oberfläche. Du wunderst dich kurz, warum ihr euch nicht auf eine kreisförmige Umlaufbahn in einer mittleren Höhe von 17 125 km begeben habt. Doch dann fällt es dir wieder ein: Zwar würde eine Umrundung des Mars dann genauso lange dauern, allerdings würdet ihr dabei der Marsoberfläche nie wirklich nahekommen, was für eine Landung auf dem Mars natürlich ziemlich unpraktisch wäre. Doch warum habt ihr keinen anderen elliptischen Orbit gewählt?

**Aufgabe 17:** *„Es hatte irgendetwas mit der Länge eines Marstages (Sol) zu tun“, denkst du. Wie lange benötigt ihr in eurem Orbit, um den Mars einmal zu umrunden? Zur Vereinfachung gehst du davon aus, dass ihr den Mars auf einer kreisförmigen Bahn in mittlerer Höhe und mit einer konstanten Geschwindigkeit von 1 450 m/s umrundet (mittlerer Radius Mars: 3 350 km, Länge eines Sol: 24 h 37 min).*

## Rendezvous im All

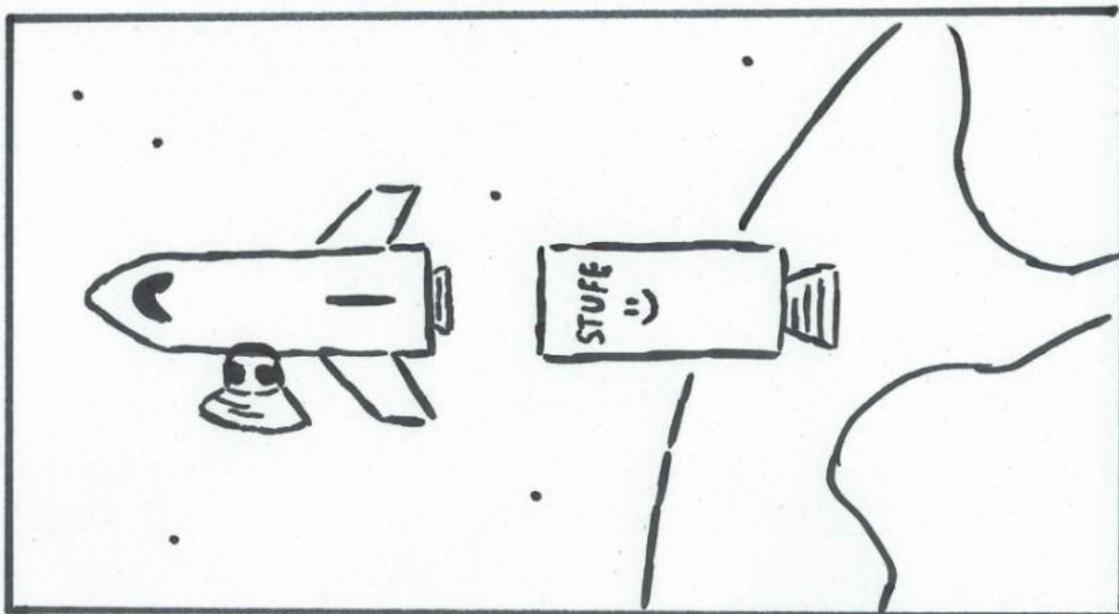
Nachdem ihr euren endgültigen Orbit erreicht habt, steht euch als nächstes ein Rendezvous im Weltall bevor. Genauer gesagt eigentlich drei: Euer Raumschiff ist nämlich nicht das einzige Objekt auf dieser Umlaufbahn. Drei weitere Objekte, die durch frühere unbemannte Raumflüge als Vorbereitung für eure Marsmission hierhergebracht wurden, umkreisen den Mars auf derselben Bahn. Das erste Objekt ist ein Versorgungsmodul. Im Wesentlichen besteht es aus einem großen Container, der Nahrungsmittel, Wasser, Arzneimittel, Sauerstoff und diverse andere Ausrüstungsgegenstände für euren Rückflug zur Erde enthält. Außerdem enthält er Treibstoff für die Triebwerke eures Raumschiffs. Das zweite Objekt ist eine komplette Raketenstufe bestehend aus einem Triebwerk und gefüllten Treibstofftanks. Mit deren Hilfe könnt ihr nach vollendeter Mission den Marsorbit wieder verlassen und euch auf die Heimreise zur Erde begeben. Das letzte Objekt schließlich ist die Landekapsel, mit der ihr von eurem Raumschiff aus auf die Oberfläche des Mars gelangt.

In den nächsten Tagen seid ihr damit beschäftigt, der Reihe nach an die verschiedenen Objekte anzudocken, während ihr zwischendurch immer wieder die spektakuläre Aussicht auf den Mars und seine Oberfläche genießt – schließlich seid ihr die ersten Menschen, die jemals den Mars aus solcher Nähe direkt zu sehen bekommen. Als erstes gilt es, an das Servicemodul anzudocken. Da ihr euch auf eurem gemeinsamen Orbit hinter diesem befindet, müsst ihr es dazu zunächst einholen. Auf der Erde würdet ihr, um zum Beispiel ein anderes Fahrrad auf der Straße einzuholen, einfach eure Geschwindigkeit erhöhen. Im Weltall funktioniert ein Aufholmanöver jedoch komplett anders. Der Grund: Um in eurem Orbit zu bleiben, müssen sich die Gravitationskraft des Mars und die Zentrifugalkraft eurer Kreisbewegung gerade gegenseitig neutralisieren. Würdet ihr nun mit Hilfe eurer Triebwerke eure Geschwindigkeit erhöhen, so hätte dies eine größere Zentrifugalkraft zur Folge und ihr würdet eure Umlaufbahn nach außen verlassen. Und es käme noch schlimmer: Da sich dabei eure Höhe über dem Mars vergrößern würde, nähme eure Höhenenergie auf Kosten eurer Bewegungsenergie zu. Letztendlich wärt ihr also auf einer längeren Umlaufbahn und würdet euch langsamer als das Zielobjekt bewegen. Statt eure Zwischendistanz zu reduzieren, würde sich das Versorgungsmodul also immer weiter von euch entfernen.

**Aufgabe 18:** *Jetzt heißt es, scharf nachzudenken: Mit welchen Navigationsmanövern könnt ihr das Servicemodul einholen? Beachte bei deinen Überlegungen, wie sich Geschwindigkeitsänderungen auf eure Umlaufbahn auswirken und wie sich eure Höhenenergie und eure Bewegungsenergie zueinander verhalten.*

Nach Durchführung der entsprechenden Navigationsmanöver befindet ihr euch schließlich mit eurem Raumschiff direkt hinter dem Servicemodul. Die restliche Navigation erfolgt nun mit Hilfe der Steuerdüsen. Zunächst dreht ihr euer Raumschiff so, dass das Servicemodul an eurer Luftscheune andocken kann. Dann führt ihr langsam und vorsichtig den eigentlichen Andockvorgang durch. Schließlich hört ihr, wie die Haltebolzen einschnappen, womit der Vorgang beendet ist. Glücklicherweise über das erfolgreiche Manöver macht ihr euch auf den Weg zum Servicemodul und beginnt, die Vorräte und Ausrüstungsgegenstände an Bord zu holen. Und siehe da: Eine extragroße Packung Mars-Riegel befindet sich auch in einer der Lebensmittelboxen. Genüsslich macht ihr euch über deren Inhalt her, während ihr zu dem Lied „Let’s dance“ von David Bowie eure Ankunft am roten Planeten feiert.

Als ihr schließlich das Servicemodul ausgeladen und sämtliche Inhalte inspiziert und verstaut habt, dockt ihr wieder ab. Das Servicemodul nutzt daraufhin seine Bremsdüsen für einen kontrollierten Absturz auf den Mars, um nicht als Weltraummüll eure oder künftige Marsmissionen zu behindern. In den folgenden Tagen dockt ihr mittels analoger Navigationsmanöver zuerst noch an die Mars-Landekapsel an und schließlich auch noch an die Raketenstufe. Damit sind alle Vorkehrungen für die spätere Rückreise zur Erde vollendet und ihr könnt euch den Vorbereitungen für die nächste anstehende Aufgabe zuwenden: der Landung auf dem Mars.



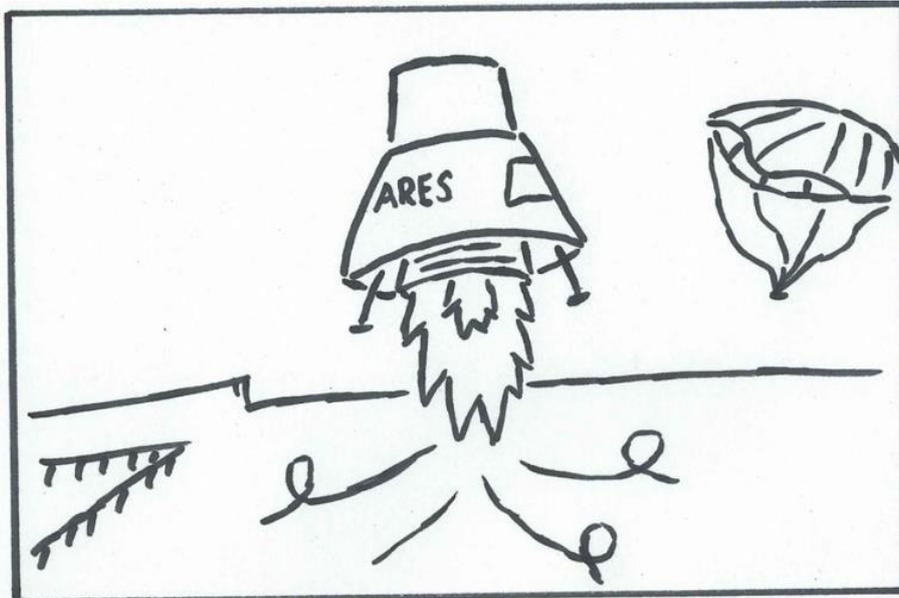
## Touchdown

Es ist soweit: Alle Vorbereitungen zur Landung auf dem Mars sind abgeschlossen und ihr sitzt in euren Raumanzügen dicht gedrängt in der Landekapsel. Jetzt heißt es warten, bis ihr in eurem Orbit die richtige Position erreicht habt, um den Landevorgang zu starten. Schließlich hörst du, wie sich die Haltebolzen lösen, und ihr per Autopilot mit Hilfe der Steuerdüsen von eurem Raumschiff abdockt.

Aus eurer Umlaufbahn heraus wird der Abstieg zur Marsoberfläche mit einem Bremsmanöver eingeleitet. Da nun die Gravitationskraft des Mars eure Zentrifugalkraft übertrifft, bewegt sich eure Landekapsel auf einer spiralförmigen Bahn in Richtung Mars. Einige Zeit später spürt ihr, wie eure Landekapsel mit einer Geschwindigkeit von mehreren Kilometern pro Sekunde in einem flachen Winkel in die Marsatmosphäre eintaucht und dabei abgebremst wird. Dabei wirken extreme Beschleunigungskräfte auf euch (vergleichbar mit denen bei eurem Start von der Erde), wodurch ihr stark durchgeschüttelt und in eure Sitze gepresst werdet. Ungefähr zwei Minuten später erreicht die Hitzeentwicklung ihr Maximum: Die Unterseite eurer Landekapsel beginnt zu glühen, und nur der Hitzeschutzschild verhindert, dass ihr samt eurer Kapsel in der Marsatmosphäre verbrennt. In einer Höhe von ca. 11 km öffnet sich dann euer erster Fallschirm und reduziert eure Geschwindigkeit auf ungefähr 500 m/s. Nachdem der erste Fallschirm abgeworfen wurde, öffnen sich in einer Höhe von ungefähr 5 km drei weitere Fallschirme, wodurch eure Geschwindigkeit weiter reduziert wird. Da die Atmosphäre des Mars jedoch zu dünn ist, reicht das Abbremsen durch die Fallschirme nicht aus, um eine Landung zu ermöglichen, die sanft genug wäre, um sie zu überstehen.

**Aufgabe 19:** *Wie funktioniert das Abbremsen durch einen Fallschirm überhaupt? Ein Fallschirm erzeugt eine Luftwiderstandskraft  $F_L$ , die umso größer ist, je schneller sich das fallende Objekt bewegt:  $F_L = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$  (dabei ist  $A$  die Querschnittsfläche des Fallschirms,  $\rho$  die Dichte der Atmosphäre und  $c$  der sogenannte Widerstandsbeiwert, der die Form des Fallschirms berücksichtigt). Zu Beginn des Falls ist die Luftwiderstandskraft größer als die beschleunigende Gewichtskraft, der Fall wird daher abgebremst. Mit abnehmender Geschwindigkeit wird auch die Luftwiderstandskraft schwächer. Irgendwann ist die Luftwiderstandskraft nur noch genauso groß wie die Gewichtskraft. Ab da sinkt das Objekt mit konstanter Endgeschwindigkeit zu Boden. Berechne aus diesem Kräftegleichgewicht die Endgeschwindigkeit eurer Kapsel nach dem Abbremsen durch die Fallschirme (in m/s und km/h). Benutze dabei folgende Werte: Masse eures Landemoduls 3 000 kg, Ortsfaktor des Mars 3,7 N/kg, Widerstandsbeiwert der Fallschirme 1,2, Querschnittsfläche der Fallschirme jeweils 600 m<sup>2</sup> und Dichte der Marsatmosphäre 0,012 kg/m<sup>3</sup>.*

Als ihr nur noch einige hundert Meter über der Marsoberfläche seid, werden die Fallschirme daher abgeworfen. Der Hitzeschild wird abgesprengt und das Bremstriebwerk an der Unterseite eurer Landekapsel gezündet. Dadurch reduziert sich eure Geschwindigkeit auf ungefähr 10 km/h. Mit dieser Endgeschwindigkeit setzt ihr lediglich acht Minuten nach eurem Eintritt in die Marsatmosphäre etwas unsanft, aber gefahrlos auf der Marsoberfläche auf.



Es folgt ein kurzer Augenblick gespannter Stille, dann brecht ihr in Jubel aus. Ihr habt es geschafft: Als erste Menschen seid ihr erfolgreich auf der Oberfläche des Mars gelandet - was für ein Triumph für den menschlichen Entdecker- und Erfindergeist!

## One small step...

Nachdem ihr eure erste Euphorie überwunden habt, sendet ihr zuerst eine Nachricht über eure erfolgreiche Landung an das Missionskontrollzentrum auf der Erde. Anschließend macht ihr euch an den Ausstieg aus eurer Landekapsel. Während du gerade deine Gurte löst, bemerkst du ein für dich nach so langer Zeit in eurem Raumschiff ungewohntes Gefühl: Als Folge der Gravitation des Mars fühlst du dich schwer. Da du durch den Muskelschwund im Weltall geschwächt bist, gelingt es dir nur unter großer Kraftanstrengung, dich aus deinem Sitz zu erheben.

**Aufgabe 20:** *Du überlegst: Mit Raumanzug hast du eine Masse von ca. 200 kg. Wird es dir überhaupt gelingen, dich damit vernünftig zu bewegen? Welche Gewichtskraft wirkt auf dem Mars auf dich? Welcher Masse entspräche dies auf der Erde?*

Von den Ergebnissen deiner Überlegungen beruhigt, betätigst du die Automatik zur Abspaltung eurer Bordluke. Anschließend steigst du als erstes aus der Luke und beginnst die Leiter zur Marsoberfläche hinabzusteigen. Dabei musst du an Neil Armstrong und seinen legendären Satz denken, den er sprach, als er als erster Mensch den Mond betrat: „That’s one small step for man, one giant leap for mankind“ Selbstverständlich hast auch du dir einen passenden Satz überlegt, mit dem du in die Geschichtsbücher der Menschheit eingehen willst. Und während du die letzte Sprosse der Leiter hinabsteigst und als erster Mensch einen Fuß auf die Oberfläche des Mars setzt, holst du tief Luft und sagst...

**Aufgabe 21:** *Jetzt ist deine Kreativität gefragt: Was sind der Menschheit erste Worte, die auf dem roten Planeten gesprochen werden?*