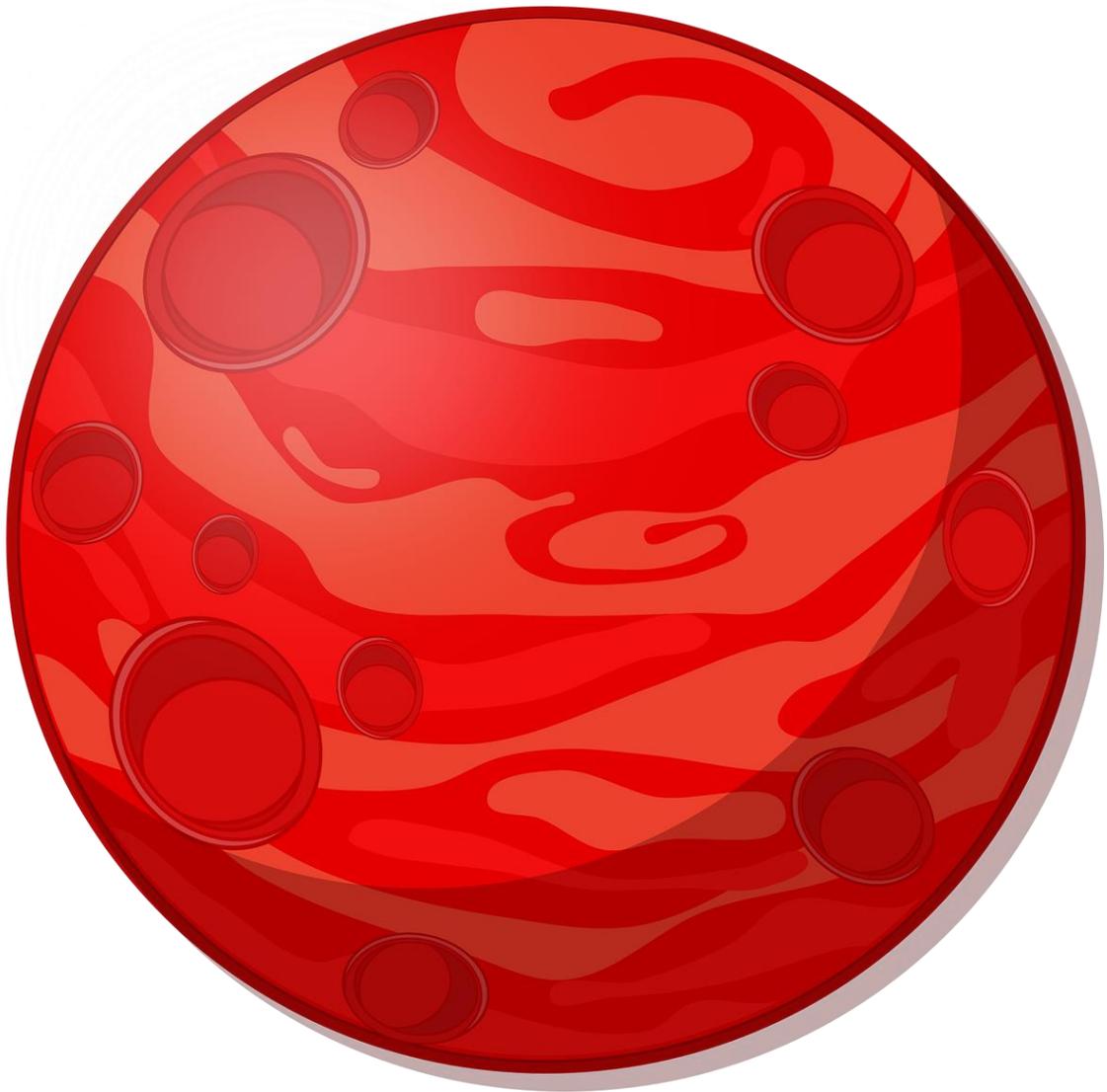


# Mission to Mars

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

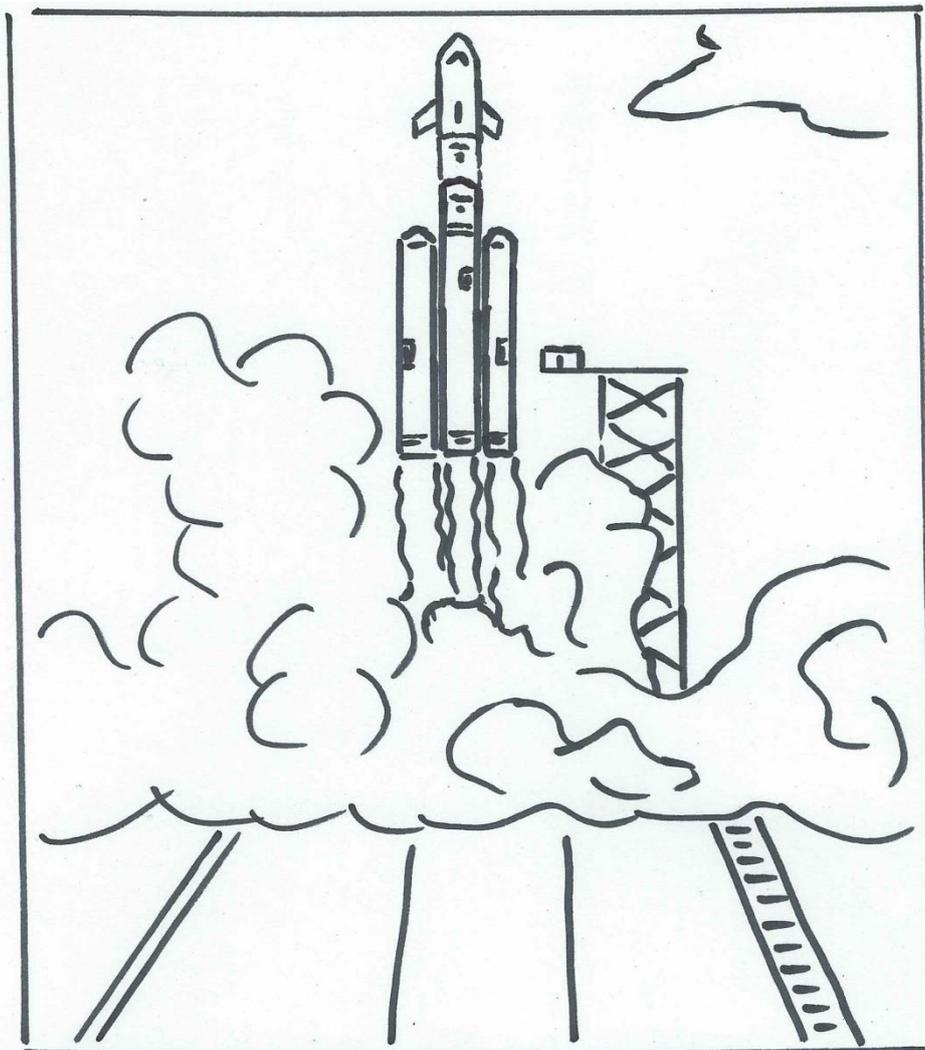
**Bilder der ESA:**

**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)

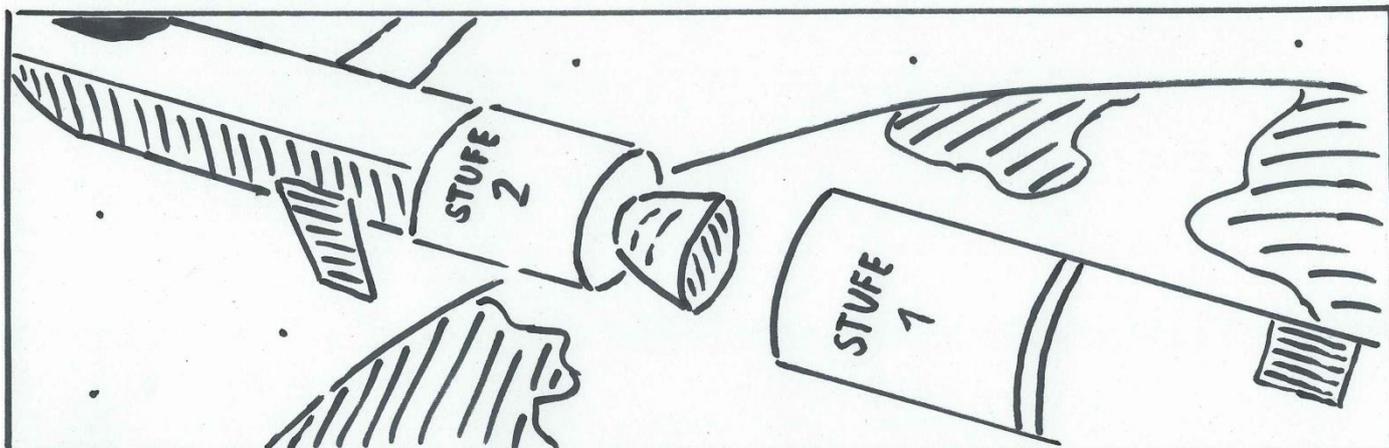
**Mars, Seite 19:** [www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Mars\\_Express/Facts\\_about\\_Mars](http://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express/Facts_about_Mars)



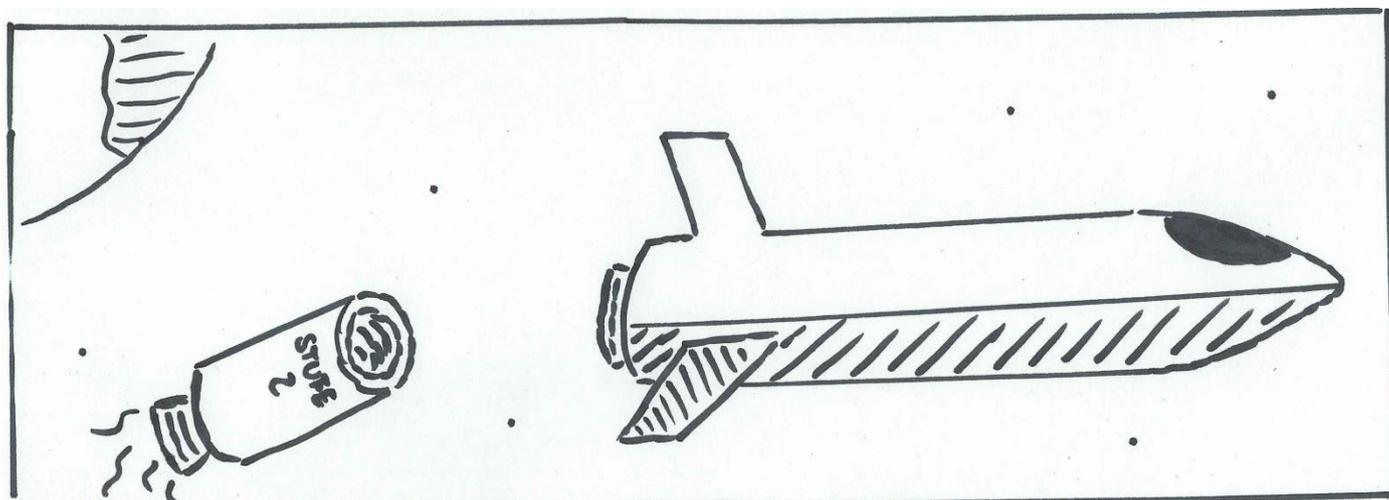
Fünf... Vier... Drei... Zwei... Eins... und Zündung! Die Triebwerke der Rakete starten und kurz darauf presst dich die extreme Beschleunigung in deinen Sitz. Dir fällt das Atmen schwer und du musst deine Zunge nach vorne pressen, damit sie dir nicht in den Rachen rutscht. Nach kurzer Zeit bemerkst du, 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.







Quelle: ESA



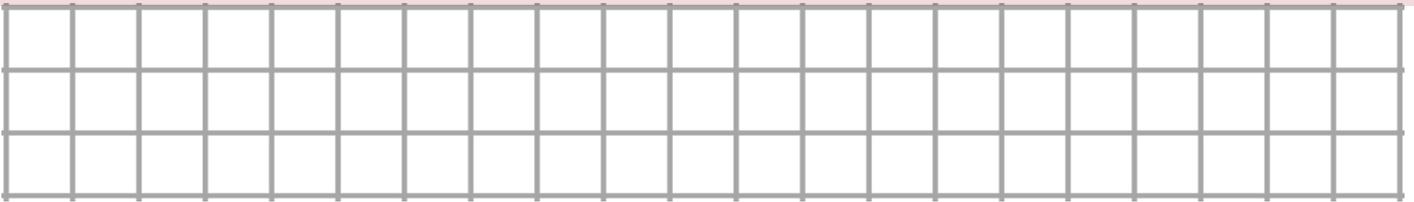




# Emergency

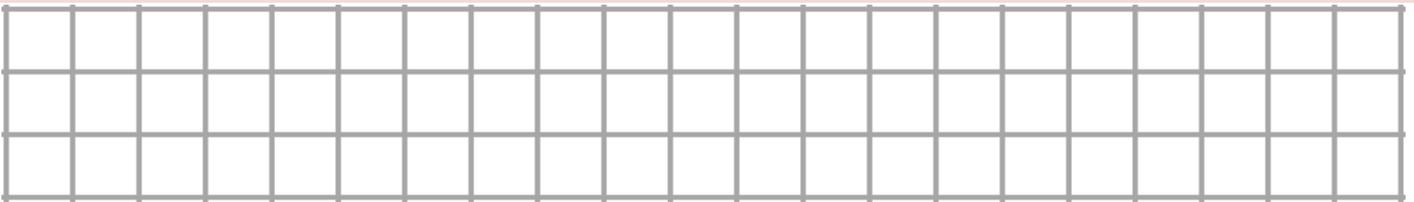
Der nächste Tag beginnt für dich mit dem Auftrag, den elektrischen Schaltkreis zum Betrieb dreier Warnlämpchen auszutauschen, die zu leuchten beginnen, wenn der Sauerstoffgehalt in der Raumschiff Luft zu niedrig ist. Nachdem du den alten Schaltkreis aus seiner Konsole ausgebaut und entsorgt hast (um 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?*



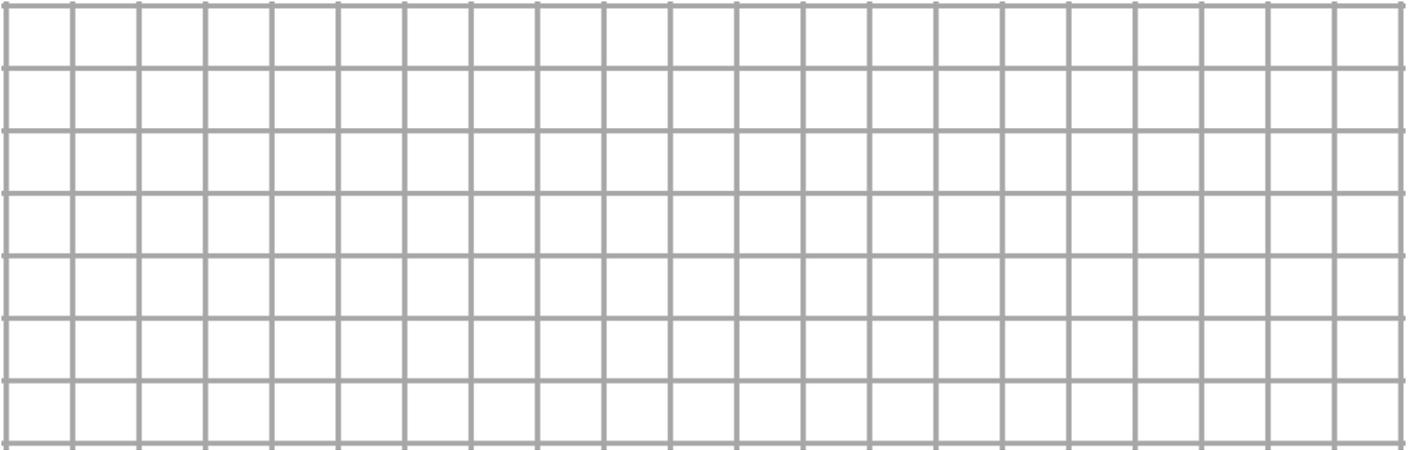
Nachdem du dir die richtige Schaltungsart ausgesucht hast, zeichnest du dir eine Skizze des Schaltkreises auf ein zufällig gerade vorbeischiebendes Verpackungspapier eines Mars-Riegels.

**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.

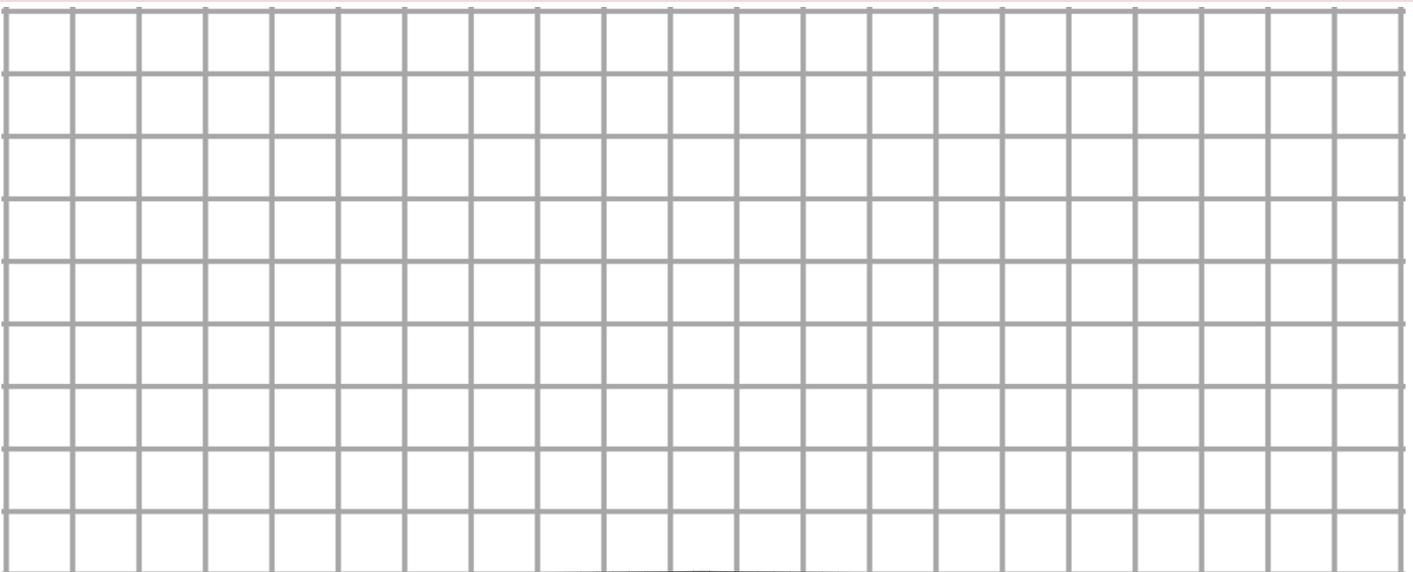
**Aufgabe 10:** *Du betrachtest eines der Lämpchen genauer und erinnerst dich: Für den korrekten Betrieb muss ein Strom von ungefähr 70 mA Stromstärke durch die Lämpchen fließen. Jedes Lämpchen hat im Betrieb einen Widerstand von ungefähr 55 Ω. Das genügt dir. Schnell berechnest du, welche Betriebsspannung 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?

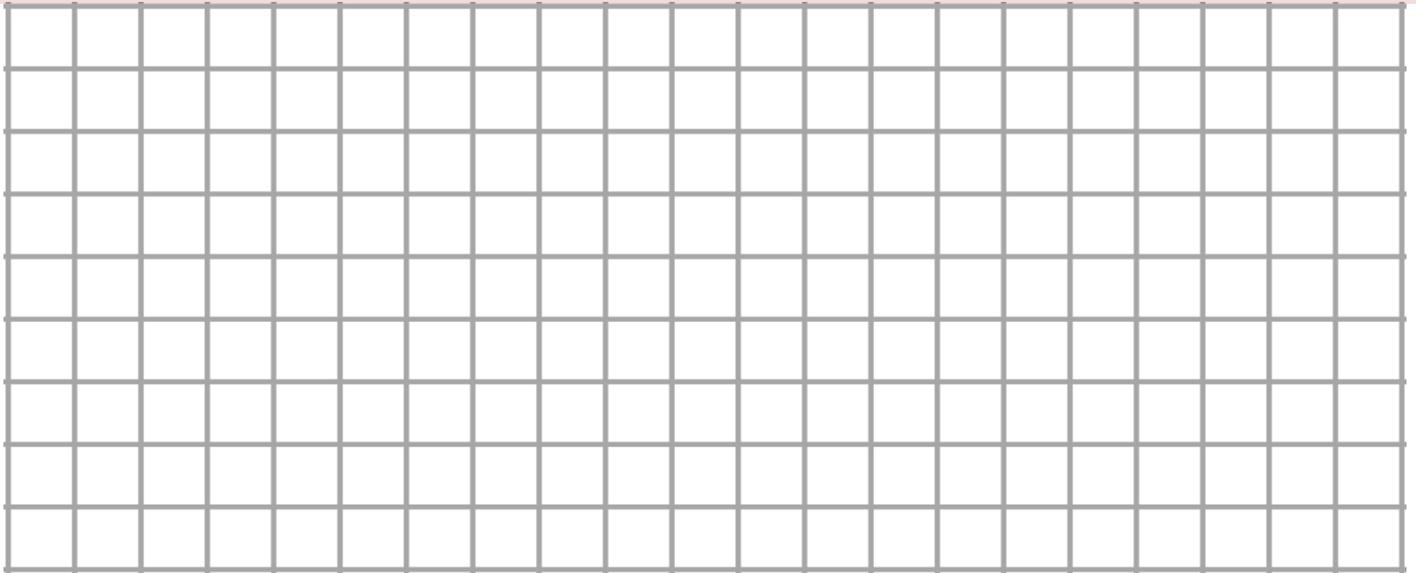


„Gar nicht mal so viel“, denkst du. „Gut, dass alle Bordsysteme extra so konstruiert sind, dass sie möglichst wenig Energie benötigen.“

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?





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 Akkuschrauber 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 Akkuschrauber 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 empfängst: „Alles klar da draußen? Warum meldest du dich nicht?“, hörst du deinen Kollegen besorgt fragen.

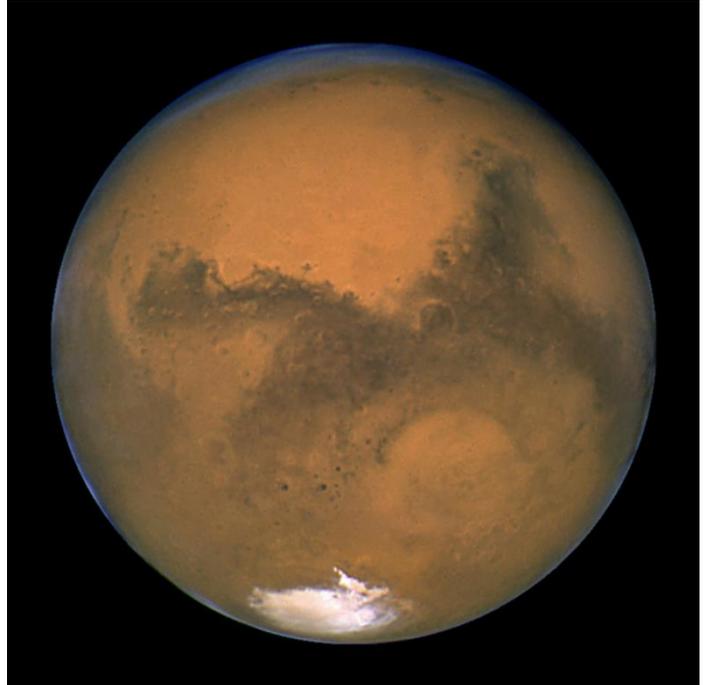
Ein paar Minuten später sitzt du wieder in der Luftschleuse und hörst, wie die Luft aus dem Tank zurück in das Schleuseninnere strömt. Als endlich der normale Druck wieder hergestellt ist, kannst du deinen Helm abnehmen und deine Crewmitglieder öffnen die innere Lucke. Entgeistert starren sie dich an, 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.

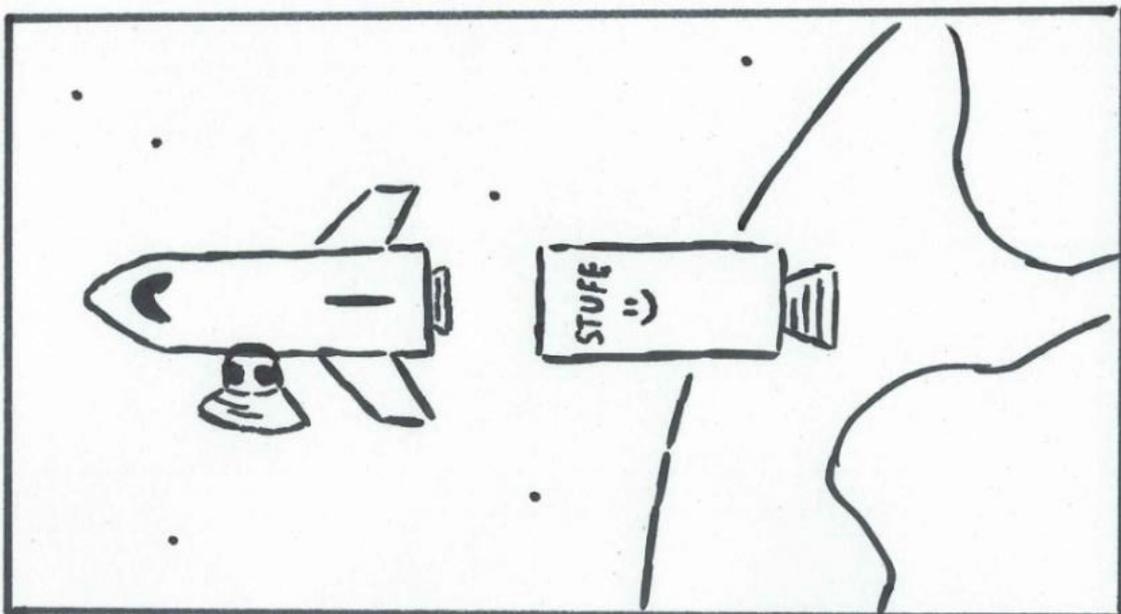




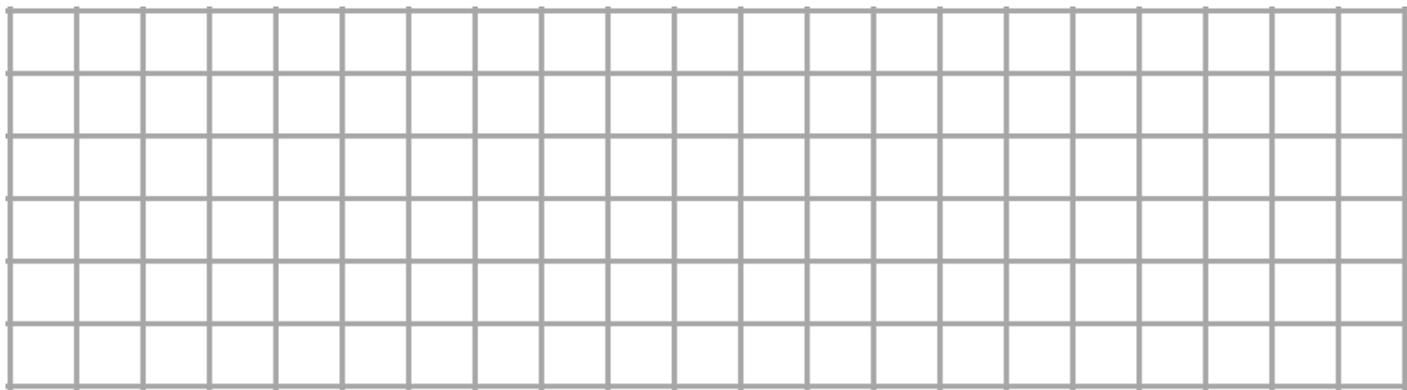


Nach Durchführung der entsprechenden Navigationsmanöver befindet ihr euch schließlich mit eurem Raumschiff direkt hinter dem Servicemodul. Die restliche Navigation erfolgt nun mit Hilfe der Steuerdüsen. Zunächst dreht ihr euer Raumschiff so, dass das Servicemodul an eurer Luftschleuse andocken kann. Dann führt ihr langsam und vorsichtig den eigentlichen Andockvorgang durch. Schließlich hört ihr, wie die Haltebolzen einschnappen, womit der Vorgang beendet ist. Glücklich 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.

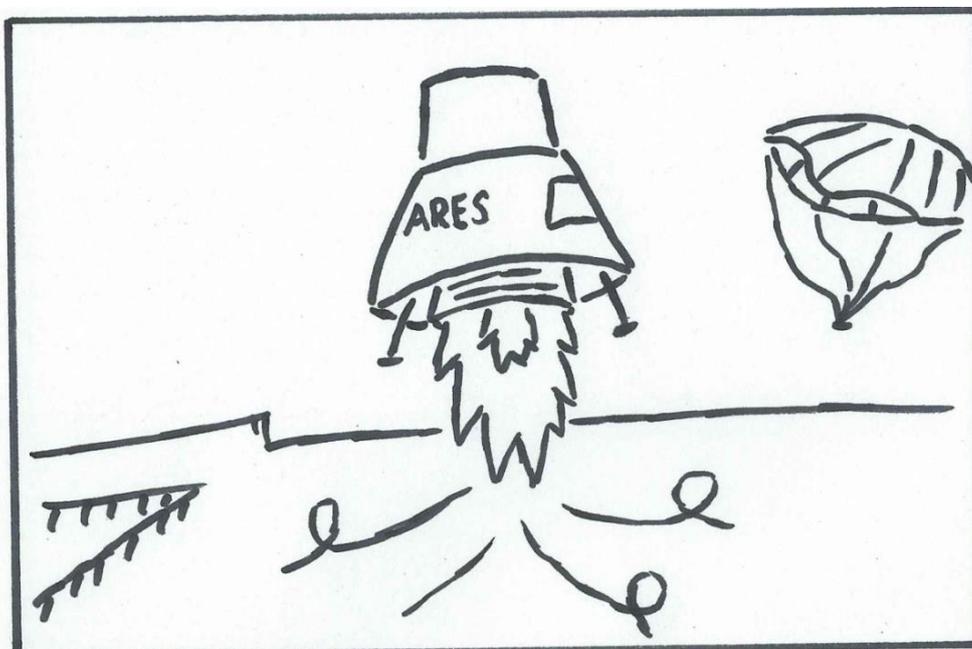
Als ihr schließlich das Servicemodul ausgeladen und sämtliche Inhalte inspiziert und verstaut habt, dockt ihr wieder ab. Das Servicemodul nutzt daraufhin seine Bremsdüsen für einen kontrollierten Absturz auf den Mars, um nicht als Weltraummüll eure oder künftige Marsmissionen zu behindern. In den folgenden 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.







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!

