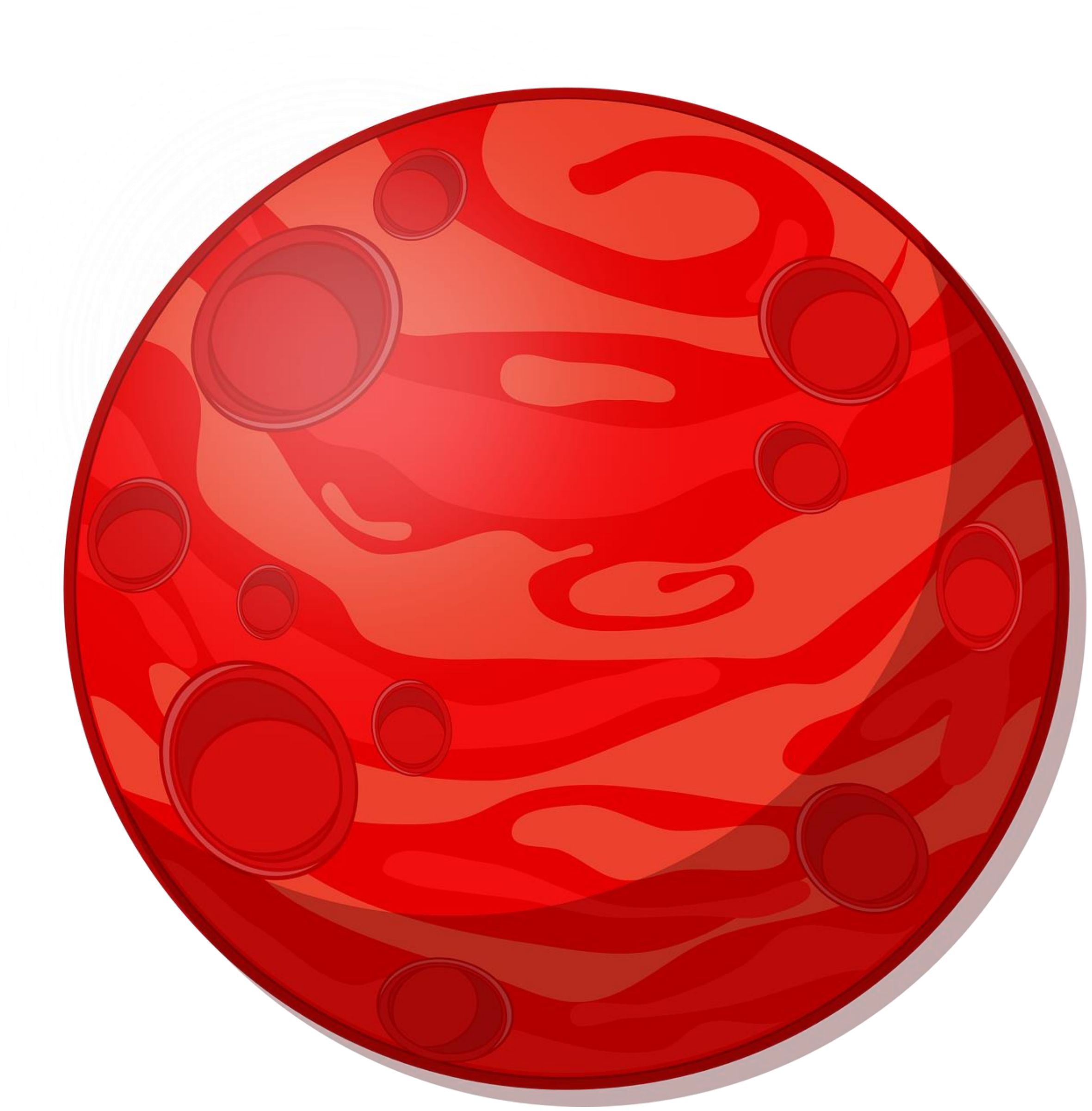
Mission to Mars

Formelsammlung und Lösungen



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

Bildquelle: D. Keck

Zusammenfassung

In dieser physikalischen Abenteuergeschichte machen sich die Schüler*innen im Jahre 2048 auf die Reise zum Mars, dem roten Planeten. Sie begeben sich als Astronaut*innen von ihrem sicheren Heimatplaneten Erde in die Schwerelosigkeit des Weltraums. Nach vielen Monaten an Bord ihres Raumschiffes Ares Heavy X nähern sie sich dem Mars. Werden sie es schaffen und sicher auf der Marsoberfläche landen?
Im Verlauf der Geschichte lernen die Schüler*innen über den Alltag von Astronaut*innen, über die Schwierigkeiten und Gefahren der Raumfahrt und über ihr Reiseziel Mars. Während der Mission gibt es Aufgaben im Bereich der Mechanik und Elektrizitätslehre zu lösen. Dieses Arbeitsblatt greift aktuelle Themen auf, denn mit den Weiterentwicklungen der modernen Raketen stehen der bemannten Raumfahrt spannende Zeiten bevor!

Kurze Infos

Unterrichtsfach: Physik
Alter: 14-17 Jahre
Typ: Lerngeschichte mit integrierten Aufgaben
Schwierigkeit: leicht - mittel
Kosten: gering (0-10 Euro)
Benötigte Zeit: 1-2 Schulstunden pro Kapitel, insgesamt 9 Kapitel
Ort: Klassenraum, Zuhause
Besonderes Equipment: -
Stichworte: Physik, Mars, Raumfahrt, Raketen, Mechanik, Elektrizitätslehre

Lernziele

Die Schüler*innen lernen…

- über den Mars und die lange Reise zu ihm.
- Unterschiede zwischen Mars und der Erde kennen.
- wie sie ihr Wissen aus dem Schulunterricht im „Alltag als Astronaut*innen“ anwenden.
- relevante Fakten aus einem Text zu entnehmen.
- Formeln zu verstehen und zum Bearbeiten der Aufgaben zu nutzen.

Durchführung

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, diese Abenteuergeschichte in den Unterricht zu integrieren:

- Man kann die Geschichte im Unterricht durchgehen oder kapitelweise über das Schulhalbjahr verteilt besprechen.
- Die Aufgaben können in Einzel- oder Gruppenarbeit bearbeitet werden.
- Die Geschichte ist auch geeignet für Home Schooling oder als Hausaufgabe für mehrere Wochen.
- Die Formeln, die in den Aufgaben benötigt werden, sind in der beigefügten Formelsammlung zu finden. Diese kann von den Schüler*innen benutzt werden. (Wenn mehr Eigenrecherche der Schüler*innen gefordert werden soll, kann man Formelsammlung auch einfach nicht austeilen.)

Start

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?*

Die Gewichtskraft auf eure Rakete beträgt 34 335 kN und ist damit kleiner als die Schubkraft der ersten Stufe.

Rechnung: $F_G = m \cdot g = 3\,500\,000\ kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} = 34\,335\ kN$

Die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit beträgt 108 000 km/h.

Rechnung: $v = 30\,000 \frac{m}{s} = 30\,000 \cdot \frac{3600 \cdot km}{1000 \cdot h} = 108\,000\ \frac{km}{h}$

Damit ergibt sich eine innerhalb von sechs Monaten zurückgelegte Strecke von 466 560 000 km.

Rechnung: $s = v \cdot t = 108\,000\ \frac{km}{h} \cdot 6 \cdot 30 \cdot 24\ h = 466\,560\,000\ km$

Schwerelos

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?*

Auf der Autobahn wirken bremsende Reibungs- und Luftwiderstandskräfte auf das Auto. Will man mit konstanter Geschwindigkeit fahren, ist eine dauerhafte Antriebskraft nötig, um diese auszugleichen. Da sich eine Rakete im (fast perfekten) Vakuum des Weltalls bewegt, gibt es (nahezu) keine abbremsende Reibungskräfte oder ähnliches. Eine dauerhafte Antriebskraft ist somit nicht nötig.

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

Schall benötigt zu seiner Ausbreitung einen materiellen Träger wie z.B. Luft oder Wasser. Im Vakuum des Weltalls kann sich Schall daher nicht ausbreiten. Ein vorbeifliegendes Raumschiff wäre also für einen Astronauten nicht zu hören.

Unterwegs

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?*

Nach sechs Monaten ist der Knochenmineralgehalt (KMG) auf 2,82 kg gesunken. Dies entspricht einem Verlust von 180 g.

Rechnung: $KMG_{nacher} = KMG_{vorher} \cdot 0.99^{Anzahl_{Monate}} = 3\ kg \cdot 0.99^6 \approx 2{,}82\ kg$

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?*

Die physikalische Leistung beträgt 115,7 W. Der gesamte Energiebedarf der Crew beträgt 5 400 MJ. Dies entspricht 2 865 Marsriegeln.

Rechnung: $P = \frac{E}{t} = \frac{10\,000\,kJ}{24\,h} = \frac{10\,000 \cdot 1000\,J}{24 \cdot 60 \cdot 60\,s} \approx 115{,}7\,W$

$$E_{gesamt} = E_{Tag} \cdot Tage \cdot Personen = 10\,000\,kJ \cdot 6 \cdot 30 \cdot 3 = 5\,400\,MJ$$

$$Anzahl\ der\ Marsriegel = \frac{E_{gesamt}}{E_{Marsriegel}} = \frac{5\,400\,000\,kJ}{1\,885\,kJ} = 2\,865$$

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?“*

Ein Kompass zeigt mit seiner Spitze (= magnetischer Nordpol) zum geographischen Nordpol. Folglich befindet sich dort ein magnetischer Südpol. Am geographischen Südpol befindet sich umgekehrt der magnetische Nordpol der Erde.

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?*

Im günstigsten Fall beträgt die Zeitdauer 6,2 Minuten, im ungünstigsten Fall 44,6 Minuten.

Rechnung: $t = \frac{s}{v}$

wobei die Nachricht verschickt und wieder zurückgeschickt wird

geringste Entfernung: $t_{min} = 2 \cdot \frac{56 \cdot 10^6\,km}{300\,000\,\frac{km}{s}} = 373{,}33\,s = 6{,}2\,min$

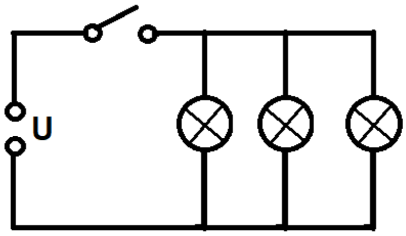
weiteste Entfernung: $t_{max} = 2 \cdot \frac{401 \cdot 10^6\,km}{300\,000\,\frac{km}{s}} = 2\,673{,}33\,s = 44{,}6\,min$

Emergency

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?*

Es muss eine Parallelschaltung gewählt werden. Bei einer Reihenschaltung würde nämlich keine Lampe mehr leuchten, sobald eine Lampe defekt ist.

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?*



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 entfällt deine Wahl?*

Die benötigt Betriebsspannung beträgt 3,85 V. Der Schaltkreis muss folglich an die 4 V-Spannungsquelle angeschlossen werden.

Rechnung: $U_{Lämpchen} = I \cdot R_{Lämpchen} = 70 \cdot 10^{-3}\,A \cdot 55\,\Omega = 3{,}85\,V$

Aufgabe 11: *Während du die Befehle zur automatischen Neuausrichtung in den Bordcomputer eingibst, überlegst du, welche Leistung die Solarmodule liefern: Euer Raumschiff verfügt über sechzehn quadratische Solarmodule, die jeweils eine Seitenlänge von 2,8 m haben. In eurer Entfernung zur Sonne liefert diese eine Strahlungsleistung von ca. 700 W/m². 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?*

Die Solarmodule liefern insgesamt eine elektrische Leistung von ungefähr 17,5 kW. Damit könnten acht handelsübliche Haartrockner betrieben werden.

Rechnung:

$$P = n_{Solarmodul} \cdot A_{Solarmodul} \cdot Strahlungsleistung \cdot Wirkung = 16 \cdot 2{,}8 \cdot 2{,}8\,m^2 \cdot 700\frac{W}{m^2} \cdot 0{,}2 = 17\,561{,}6\,W$$

$$Anzahl\ der\ Haartrockner = \frac{P}{P_{Haartrockner}} = \frac{17\,561{,}6\,W}{2\,kW} \approx 8{,}78 \approx 8$$

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 Lustpolstern haben, damit der Astronaut im Wasser (Dichte 997 kg/m³) schwebt? Welche Auftriebskraft erfährt der Astronaut dann? Was passiert, wenn seine Dichte größer bzw. kleiner als die des Wassers ist?*

Der Raumanzug benötigt mit Luftpolstern ein Volumen von 0,2 m³ (zum Vergleich: Das Volumen einer durchschnittlichen Person ohne Raumanzug beträgt ungefähr 0,075 m³). Die Auftriebskraft entspricht in diesem Fall der Gewichtskraft und beträgt somit 1 962 N. Ist seine Dichte geringer als diejenige des Wassers, so schwimmt der Astronaut an der Wasseroberfläche. Ist sie größer, so sinkt der Astronaut auf den Grund.

Rechnung: $V_{A+R} = \frac{m_{A+R}}{\rho_{Wasser}} = \frac{200kg}{997\frac{kg}{m^3}} \approx 0{,}2m^3$

$$F_{Auftrieb} = F_G = m_{A+R} \cdot g_{Erde} = 200kg \cdot 9{,}81\frac{N}{kg} = 1\,962N$$

Außenbordeinsatz

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

Die Astronautinnen verringern ihren Abstand zueinander soweit, dass sich die Glasvisiere ihrer Helme berühren. Der Schall kann dann durch das schwingende Glas der Visiere vom Inneren des einen Helms in das Innere des anderen Helms übertragen werden.

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?*

Um zurück zum Raumschiff zu gelangen, müssen die schweren Werkzeuge in entgegengesetzte Richtung fortgestoßen werden. Der dadurch entstehende Rückstoß erzeugt eine Bewegung in Richtung des Raumschiffs. Aber Achtung: Die Werkzeuge sollten dabei vom Körperschwerpunkt aus weggestoßen werden. Andernfalls würde das Fortstoßen eine Rotation um den Körperschwerpunkt erzeugen.

Reiseziel erreicht

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 anfasst?*

Die Hitzeentwicklung beim Eintritt eines Flugobjektes in eine Atmosphäre hat zwei Ursachen: Zum einen entsteht Wärme durch die Reibung der Atmosphäre an der Hülle des Flugobjekts. Die wesentlich entscheidendere Ursache ist jedoch die Kompression der Atmosphäre. Beim sehr schnellen Eintritt des Flugobjektes in die Atmosphäre wird die „Luftschicht“ vor dem Flugobjekt schlagartig stark zusammengedrückt, wodurch sie sich erhitzt. Beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre können dabei Temperaturen von mehreren tausend Grad Celsius entstehen.

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 fallt ihr dennoch nicht auf die Marsoberfläche?*

Auf der Kreisbahn um den Mars wirkt zum einen die Gravitationskraft, zum anderen jedoch auch die Zentrifugalkraft (aus Sicht einer mitfliegenden Astronautin) auf euer Raumschiff. Sind der Radius der

Kreisbahn und die Geschwindigkeit des Raumschiffes passend zueinander gewählt, so gleichen sich diese beiden Kräfte gegenseitig aus. Dadurch „fällt“ das Raumschiff weder in Richtung Mars, noch wird es „aus der Kurve hinaus“ ins Weltall geschleudert.

Formeln: $F_G = \frac{G \cdot m_{Raumschiff} \cdot M_{Mars}}{r^2}$ und $F_Z = \frac{m_{Raumschiff} \cdot v_{Raumschiff}{}^2}{r}$

Gravitationskraft = Zentrifugalkraft

$$\Leftrightarrow \frac{G \cdot m_{Raumschiff} \cdot M_{Mars}}{r^2} = \frac{m_{Raumschiff} \cdot v_{Raumschiff}{}^2}{r}$$

$$\Leftrightarrow \frac{G \cdot M_{Mars}}{r} = v_{Raumschiff}{}^2$$

wobei die Gravitationskonstante und das Gewicht M_{Mars} konstant sind

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).*

Dividiert man den Bahnumfang durch die Geschwindigkeit, so ergibt sich eine Umlaufdauer von ungefähr 24,6 h = 24 h 36 min, was der Länge eines Marstages entspricht.

Rechnung: $t_{Orbit} = \frac{s_{Umlaufbahn}}{v_{Raumschiff}} = \frac{2\,\pi\, r_{Orbit}}{v_{Raumschiff}} = \frac{2\,\pi \cdot (17\,125 + 3\,350\ km)}{1\,450\,\frac{m}{s}} \approx 88\,678 s \approx 1\,478\ min \approx 24{,}6\ h$

Rendezvous im All

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.*

Um ein im gleichen Orbit weiter vorne befindliches Flugobjekt einzuholen, muss das Raumschiff zunächst abgebremst werden. Dadurch „fällt“ es in eine tiefere Umlaufbahn. Zusätzlich steigt beim Fallen seine Geschwindigkeit. Dadurch befindet sich das Raumschiff also auf einer tieferen, kürzeren Umlaufbahn und bewegt sich schneller als das einzuholende Flugobjekt. Ist das Flugobjekt eingeholt, beschleunigt das Raumschiff und steigt dadurch wieder in den ursprünglichen Orbit auf. Gleichzeitig reduziert sich dabei seine Geschwindigkeit auf die Geschwindigkeit des Flugobjektes.

Touchdown

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, ρ 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 m² und Dichte der Marsatmosphäre 0,012 kg/m³.

In der Geschichte wird beschrieben, dass erst ein Fallschirm geöffnet wird, welcher der Supersonic-Fallschirm ist. Erst wenn dieser die Landekapsel etwas abgebremst hat, kann man die anderen drei Fallschirme gleichzeitig öffnen. Diese bestimmen dann die Sinkgeschwindigkeit. Durch Gleichsetzen der Gewichtskraft mit der Luftwiderstandskraft ergibt sich eine Gleichung, die sich nach der Geschwindigkeit v auflösen lässt. Das Einsetzen der gegebenen Werte liefert anschließend als Wert für die Endgeschwindigkeit 29,3 m/s = 105 km/h.

Rechnung: $F_L = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$ *und* $F = m \cdot g_{Mars}$

Luftwiderstandskraft = Gewichtskraft

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 = m \cdot g_{Mars}$$

$$\Leftrightarrow v^2 = \frac{2 \cdot m \cdot g_{Mars}}{c \cdot \rho \cdot A}$$

$\Leftrightarrow v = \pm\sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g_{Mars}}{c \cdot \rho \cdot A}}$ *wobei die negative Lösung vernachlässigt wird*

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot 3\,000 kg \cdot 3{,}7 \frac{m}{s^2}}{1{,}2 \cdot 0{,}012 \frac{kg}{m^3} \cdot 3 \cdot 600 m^2}} = 29{,}3 \frac{m}{s} = 29{,}3 \frac{3\,600 \cdot km}{1\,000 \cdot h} = 105{,}3 \frac{km}{h}$$

One small step...

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?*

Die Gewichtskraft auf dem Mars beträgt 740 N. Eine Masse von 75,4 kg auf der Erde erfährt die gleiche Gewichtskraft.

Rechnung: Mars: $F_G = m \cdot g_{Mars} = 200\ kg \cdot 3{,}69 \frac{m}{s^2} = 740\ N$

Erde: $m = \frac{F_G}{g_{Erde}} = \frac{738\ N}{9{,}81 \frac{m}{s^2}} \approx 75{,}4\ kg$

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

☺

Formelsammlung

Mechanik:

Kraft	$F = m \cdot a$ $F_G = m \cdot g$	F m a F_G g	Kraft $[N]$ Masse $[kg]$ Beschleunigung $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ Gewichtskraft Ortsbeschleunigung/ Ortsfaktor $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
Leistung	$P = \frac{E}{t}$	P E t	Leistung $[W]$ Übertragene Energie $[J]$ Zeit $[s]$
Auftriebskraft	$F_A = \rho \cdot V \cdot g$	F_A ρ V g	Auftriebskraft $[N]$ Dichte des verdrängten Stoffes $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ Volumen des Körpers $[m^3]$ Ortsfaktor der Erde $\left[\frac{N}{kg}\right]$
Geradlinige Bewegung	$s = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v \cdot t + s_0$	s s_0 t v a	Weg $[m]$ Anfangsweg bei t=0 $[m]$ Zeit $[s]$ Geschwindigkeit $\left[\frac{m}{s}\right]$ Beschleunigung $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
Kreisbewegung	$F_Z = \frac{m \cdot v^2}{r}$ $F_Z = \frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$	F_Z m v r T	Zentripetalkraft $[N]$ Masse $[kg]$ Geschwindigkeit $\left[\frac{m}{s}\right]$ Radius $[m]$ Umlaufzeit $[s]$

Luftwiderstand $F_L = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$

F_L Luftwiderstandskraft $[N]$
c_w Widerstandbeiwert $[-]$
ρ Dichte der Atmosphäre $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
A Querschnittsfläche $[m^2]$
v Geschwindigkeit $\left[\frac{m}{s}\right]$

Gravitationskraft zwischen zwei Körpern $F_G = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \cdot G$

F_G Gravitationskraft $[N]$
$m_{1,2}$ Masse der Körper $[kg]$
r Abstand der Massenmittelpunkte $[m]$
G Gravitationskonstante $\left[\frac{m^3}{kg \cdot s^2}\right]$

Elektrizitätslehre:

Elektrischer Widerstand $R = \frac{U}{I}$

Reihenschaltung

$$I_{Ges} = I_1 = I_2 = \cdots = I_n$$
$$U_{Ges} = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$$
$$R_{Ges} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

U Spannung $[V]$
R Widerstand $[\Omega]$
I Stromstärke $[A]$

Parallelschaltung

$$I_{Ges} = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$$
$$U_{Ges} = U_1 = U_2 = \cdots = U_n$$
$$\frac{1}{R_{Ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

Konstanten:

Gravitationskonstante $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$

Ortsfaktor Erde $g_{Erde} = 9{,}81 \frac{N}{kg} = 9{,}81 \frac{m}{s^2}$

Ortsfaktor Mond $g_{Mond} = 1{,}62 \frac{N}{kg}$

Ortsfaktor Mars $g_{Mars} = 3{,}7 \frac{N}{kg}$