GUIDE FÜR LEHRER*INNEN

Landen auf dem Mond

Entwirf deinen eigenen Fallschirm zur Landung einer Versorgungskapsel

Kurze Beschreibung

Die Schüler lernen auf diesem Arbeitsblatt etwas über die Vorbereitung einer Versorgungsmission, sowie die damit verbundenen physikalischen Schwierigkeiten (bspw. die Eigenschaften des Fallschirms, Unterschiede auf Mond und Erde…).

KURZE INFOS

Schulfach: Physik
Altersgruppe: ca. 13-15 Jahre
Art der Aufgaben: Rechenaufgaben, Zeichenaufgabe und Experiment
Schwierigkeitsgrad: Einfach bis mittel
Benötigte Zeit: ca. 2,5h insgesamt
Kosten: mittel
Ort: Klassenzimmer, draußen
Man benötigt: Stativklemme, Messzylinder/Glasrohr, Öl, Lineal, Murmeln verschiedener Größe, Gummibänder, Stoppuhr, Magnet, Wasser, Stoff, Schere, Nähzeug, Handy, Garn, Stoff/Gewebe
Stichwörter: Physik, Ingenieur, Fallschirm, Versorgung

Lernziele

Die Schüler*innen lernen,

- wie die Versorgung auf dem Mond geplant wird
- wie man vorausplant und Verantwortung übernimmt
- Experimente zu planen und durchzuführen
- Messungen auszuwerten und Schlussfolgerungen zu ziehen
- als Team zu arbeiten

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Zusammenfassung der Aktivitäten

Aktivität	Titel	Beschreibung	Ergebnis	Voraussetzungen	Zeit
1	Freier Fall	2 Rechenaufgaben zu Gravitation auf dem Mond	Geringere Gravitation auf dem Mond	Gleichungen umstellen, Radius von Erde und Mond kennen	20 min
2	Fallschirme – wie lahm!	Berechnung der Fallzeit eines Fallschirms		Einige Materialien (oben angegeben)	40 min
3	Die Bedeutung von Fläche und Form	Berechnung verschiedener Fallschirmeigenschaften, Bau des Fallschirms	Rundkappenfallschirm am langsamsten		1h
4	In der Ruhe liegt die Kraft	Zeichenaufgabe	In Diagramme Fallzeiten in verschiedenen Phasen einzeichnen		30 min

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Einführung

Auf diesem Arbeitsblatt sollen Schüler eine Einschätzung darüber gewinnen, wie unterschiedlich die Eigenschaften auf anderen Himmelstrabanten sind. Auf der Erde und auf dem Mond herrschen sehr verschiedene Bedingungen, welche mit in die Landung einer Kapsel einbezogen werden müssen, da die Kapsel auf dem Mond zum Beispiel ein viel geringeres Gewicht hat als auf der Erde. Dies bringt auch eine Verantwortung mit sich, falls die Kapsel zum Beispiel beschädigt wird, können die Astronauten auf dem Mond nicht versorgt werden.

Grundlagen

Der Mond ist ein Satellit unserer Erde. Er ist von der Erde aus am Nachthimmel gut sichtbar und erscheint im Vergleich zu den Planeten unseres Sonnensystems sehr groß. Dies liegt an der Nähe des Mondes zu unserer Erde und aufgrund eben dieser Nähe eignet sich der Mond auch sehr gut als erster Himmelskörper für die Errichtung einer Station.

Genauso wie die Erde, dreht auch der Mond sich um sich selbst. Außerdem dreht er sich um die Erde. Eine Umdrehung dauert einen Monat.

Auf dem Mond selbst sieht es aus wie in einer Steinwüste. Überall ist Geröll und Staub. Im Gegensatz zur Erde weist der Mond sehr viele Krater auf, die durch den Einschlag von Meteoriten entstanden sind. Die dunklen Flecken, die man auch von der Erde aus auf dem Mond aus machen kann, sind besonders große Krater, die man auch „Meere“ nennt.

Die Atmosphäre auf unserer Erde, also eine Hülle aus Gas um unseren Planeten, schützt uns vor Meteoriten, da diese in ihr verbrennen. Außerdem ermöglicht die Erdatmosphäre, dass wir atmen können. Der Mond hat eine solche Atmosphäre nicht, daher können die Meteoriten ungestört einschlagen und Menschen können auf dem Mond nicht atmen.

Außerdem sind die Temperaturunterschiede auf dem Mond enorm. Ist auf dem Mond Nacht, so kann es bis zu - 160 °C kalt werden, am Tag dagegen können die Temperaturen bis auf 130 °C ansteigen. Entsprechend gibt es auf dem Mond auch kein flüssiges Wasser. Dies liegt unter anderem auch am niedrigen Druck auf dem Mond, welcher der Grund ist, weshalb Wasser nur in fester oder gasförmiger Form vorliegen kann.

Auch die Anziehungskraft auf dem Mond unterscheidet sich von der auf der Erde. Sie ist nur rund ein Sechstel so groß wie die auf unserer Erde.

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Größe des Mondes: *Die Erde ist ca. 4-mal so groß wie der Mond*	3.475 km
Entfernung zur Erde:	400.000 km
Temperatur an der Oberfläche:	- 160 bis + 130 °C
Oberflächenbeschaffenheit:	steinig mit vielen Kratern
Anziehungskraft:	$\frac{1}{6}$ so groß wie die der Erde
Atmosphäre: *Kein Schutz vor Meteoriten, keine Atmung möglich*	Nicht vorhanden

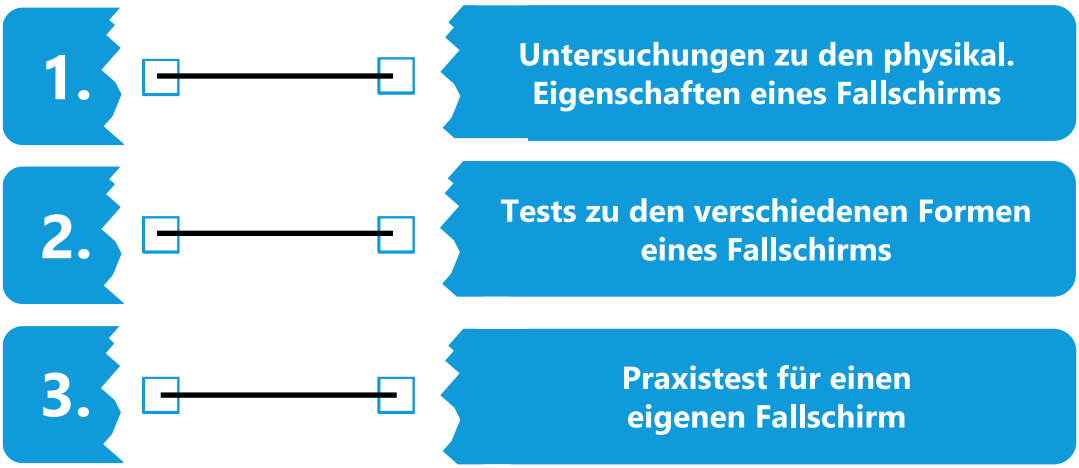
Missionen außerhalb der Erdatmosphäre bringen aufgrund der verschiedenen Bedingungen immer gewisse Schwierigkeiten mit sich. Bei Landungen auf dem Mond hat man durch die kaum vorhandene Atmosphäre sowie die geringere Gravitationskraft andere Bedingungen für eine Landung als auf der Erde. Auch der Start einer Kapsel verhält sich auf beiden Himmelskörpern aufgrund der unterschiedlichen Fluchtgeschwindigkeiten anders. Betrachtet man das Ganze aus ökonomischer Sicht, wäre für die ESA beispielsweise das Scheitern einer solchen Mission sehr teuer (ca. 1.5 Mrd. € kostet eine unbemannte Mondmission). Geht man nun davon aus, es handele sich um eine Versorgungskapsel die Astronauten auf dem Mond versorgen muss, hat man natürlich noch die zusätzliche Verantwortung, die Astronauten auch wirklich zu versorgen…

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Vorbereitung

1 – Freier Fall

In diesem Teil lernen Schüler die unterschiedlichen Bedingungen auf der Erde und dem Mond. Durch die verschiedenen Eigenschaften hat man beispielsweise das geringere Gewicht der Kapsel zu beachten, oder verschiedene Fluchtgeschwindigkeiten.



Lösungen der Aufgaben

Was hoch geht, kommt auch wieder runter!

Alles auf dem Mond wird durch die Schwerkraft nach unten gezogen, wenn auch nur zu einem Bruchteil, wie es auf unserem Planeten der Fall ist.

Das Gewicht eines Gegenstandes ist nichts anderes als die darauf einwirkende Kraft bedingt durch die Schwerkraft: **Gewicht = Masse x Schwerkraft; (w = m x g)**

Die UN Versorgungsmissions-Richtlinien schreiben vor, dass die **Masse** einer Versorgungskapsel **zwischen 300 und 350 g** liegen muss.

1. Was ist das erlaubte Gewicht für die Kapsel (sowohl für den Mond als auch die Erde)?

$$g_{mond} = \frac{1}{6} \cdot 9.81\, ms^{-2} = 1.635\, ms^{-2}$$

$$w_{erde} = 9.81\, ms^{-2} \cdot 350\, g = 3433.5\, \frac{m \cdot g}{s^2}$$

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

$$w_{mond} = 1.635\, ms^{-2} \cdot 350\, g = 572.25\, \frac{m \cdot g}{s^2}$$

Wenn ein Gegenstand unter Einfluss der Schwerkraft fällt, so gewinnt er an Geschwindigkeit bzw. beschleunigt. Auf der Erde liegt die Beschleunigung bei 9,81ms^{-2}, auf dem Mond nur 1/6 dieser. Stellt euch nun vor, ihr schmeißt zwei unterschiedliche Gegenstände in einem Vakuum von einem Hochhaus. Aufgrund des Vakuums gibt es keinen Widerstand für die fallenden Gegenstände. Beide fallen mit der gleichen Beschleunigung und das, obwohl sie unterschiedliche Massen haben!

Diese Tatsache kann nicht intuitiv sein, da auf dem Planeten Erde, als auch auf dem Mond, die Luft immer für einen Widerstand beim Fall eines Gegenstandes sorgt. Deshalb fällt z. B. eine Feder langsamer als ein Medizinball. Der Schlüssel zum Verstehen dies Konzepts ist das Medium, in dem der Gegenstand fällt, sei es Luft, Öl oder ein Vakuum.

2. Das „Hammer und Feder Experiment" führt zu einer interessanten Frage: Wie würde sich der Start der Versorgungskapsel verändern, wenn er auf dem Mond stattfinden würde?

   Durch die geringere Gravitation hat man eine andere Fluchtgeschwindigkeit auf Erde und Mond. Es gilt vereinfacht $v = \sqrt{2gr}$

   Weiterhin $r_{erde} = 6371\, km$

   $r_{mond} = 1737.4\, km$

Mit den obigen Werten hat man daher für

$$v_{erde} = 11180.3\, \frac{m}{s}$$

und für $v_{mond} = 2383.5\, \frac{m}{s}$

Untersucht den Effekt eines Mediums auf fallende Objekte

3. Wie verändert sich die Geschwindigkeit der Murmel beim Durchqueren des Zylinders?

   Sie steigt bis zur Endgeschwindigkeit an und ist dann konstant

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

4. Was für Veränderungen würdet ihr erwarten, wenn ihr das Öl durch Wasser austauschen würdet? Schreibt eure Vorhersage auf und probiert es anschließend aus!

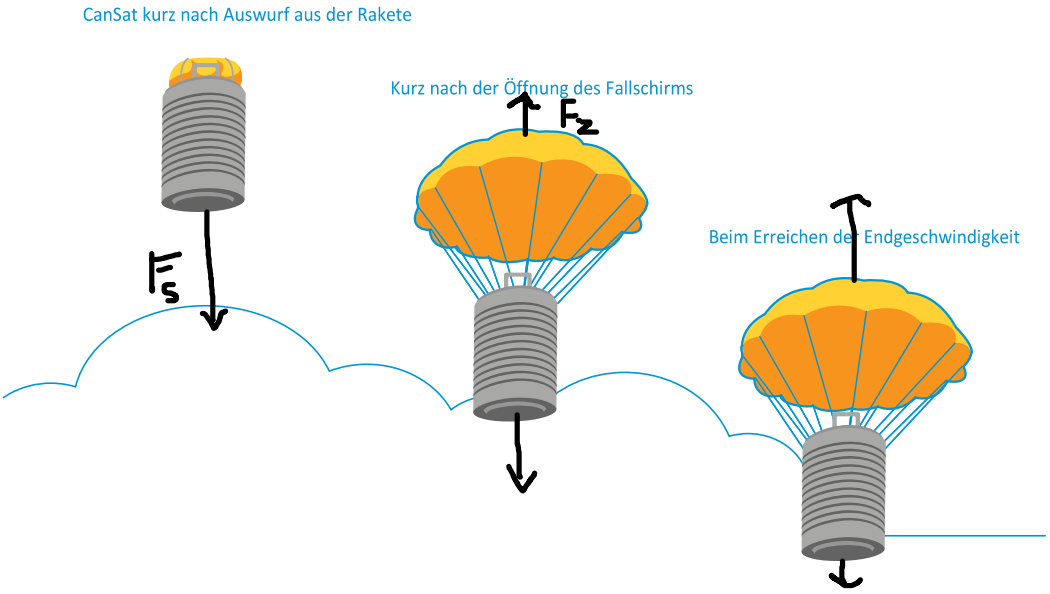
   Wasser hat eine geringere Viskosität, weshalb eine geringere Reibung herrscht und damit die Endgeschwindigkeit der Kugel höher ist.

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

2 – Fallschirme – wie lahm!

In diesem Experiment soll den Schülern die Wirkung eines Fallschirmes verdeutlicht werden.

1. Wendet die Erkenntnisse aus dem Murmelexperiment in der untenstehenden Grafik an und benennt und kennzeichnet die Kräfte, die während des Sinkfluges auf die Versorgungskapsel einwirken. Zeigt ihre relative Höhe durch die Größe des Pfeils an.



2. Nehmt an, die Rakete werfe eure Kapsel bei einer Höhe von 1000 m ab. Wieviel Zeit vergeht laut der Richtlinien zwischen Abwurf und Landung der Kapsel (wenn man die Beschleunigungsphase außer Acht lässt)?
   Es gilt $t = \frac{s}{v} = \frac{1000\ m}{11\frac{m}{s}} = 90.9\ s$

3 - Die Bedeutung von Fläche und Form

Auswahl des Fallschirmdesigns

Schaut euch einmal die Gleichung für den Sinkflug eurer Versorgungskapsel an:

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

$$mg - \frac{1}{2} C_D \, \rho \, A \, v^2 = 0$$ Gleichung 3

1. Welche Faktoren in Gleichung 3 können parallel zum Design eurer Kapsel ausgetauscht werden?

   Die Fallschirmoberfläche, der Luftwiderstandsbeiwert und die Geschwindigkeit

2. Schaut euch die Luftwiderstandsbeiwerte in der vorangegangenen Tabelle noch einmal an und überlegt, welcher Fallschirmtyp folglich am langsamsten absinkt und welcher am schnellsten.

   Die Rundkappe sinkt am langsamsten ab, der Paraglider am Schnellsten.

3. Der Kreuzfallschirm ist einfach herzustellen. Seine Sinkgeschwindigkeit ist im Vergleich zur Rundkappe aber zu schnell. Was kann man tun?

   Die Oberfläche vergrößern.

Bestimmung der Fallschirmfläche

Jetzt da ihr die minimale und maximale Sinkgeschwindigkeit (8-11 m/s) festgestellt habt und die Luftwiderstandsbeiwerte der unterschiedlichen Fallschirmtypen kennt, könnt ihr die benötigten Oberflächen berechnen.

4. Stellt die Gleichung 3 nach A um:

$$A = 2mg/(C_D \cdot \rho \cdot v^2)$$

5. Jetzt da ihr Gleichung 3 mit Fläche als Subjekt habt, könnt ihr für die unterschiedlichen Fallschirmtypen individuell den Bereich berechnen, der den Richtlinien entspricht. Geht dabei von einem Gewicht von 350g für eure Kapsel aus. Die Ergebniswerte könnt ihr in der Tabelle unten eintragen.
   Beachtet: Der Bereich der erlaubten Geschwindigkeit beträgt 8-11 ms^{-1}

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

			Tabelle 2
Fallschirmtyp	**Luftwiderstandsbeiwert C_D**	**minimale Fläche**	**maximale Fläche**
Rundkappe	0.62	$0.07m^2$	$0.14m^2$
Kreuz	0.8	$0.06m^2$	$0.11m^2$
Paraglider	0.8	$0.06m^2$	$0.11m^2$
Flaches Sechseck	0.8	$0.06m^2$	$0.11m^2$

6. Wenn ihr euren Kreuzfallschirm gegen einen Rundkappenfallschirm austauscht, wie müsst ihr die Oberfläche anpassen, damit er weiterhin mit derselben Geschwindigkeit fällt?

   Man muss die Fläche des Fallschirms vergrößern.

4 – In der Ruhe liegt die Kraft

- Wie hoch ist die Geschwindigkeit der Kapsel, wenn sie ausgeklinkt wird?

Die Geschwindigkeit beim Loslassen ist v=0, dann beginnt die Kapsel zu beschleunigen bis zur Endgeschwindigkeit.

- Wie schnell beschleunigt sie in Richtung Erde?

Die Kapsel beschleunigt mit der Anziehungskraft g.

- Was passiert, wenn sich der Fallschirm öffnet?

Die Kapsel bremst ab, bis sie eine konstante Fallgeschwindigkeit erreicht hat.

Diskussion

Was folgt aus der zweiten Tatsache, also dass man verschiedene Fluchtgeschwindigkeiten hat? (Weniger Treibstoffverbrauch auf dem Mond als auf der Erde). Brauchen die Fallschirme verschiedene Eigenschaften? (Weniger Luftwiderstand auf dem Mond, da man eine geringere Atmosphäre hat).

Welche Fallschirmform ist am sinnvollsten bzw. wird am häufigsten in der Raumfahrt genutzt?

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

ARBEITSBLATT FÜR SCHÜLER*INNEN

Landen auf dem Mond

Entwirf deinen eigenen Fallschirm für die Landung einer Versorgungskapsel

Einleitung

Der Mond ist ein Satellit unserer Erde. Er ist von der Erde aus am Nachthimmel gut sichtbar und erscheint im Vergleich zu den Planeten unseres Sonnensystems sehr groß. Dies liegt an der Nähe des Mondes zu unserer Erde und aufgrund eben dieser Nähe eignet sich der Mond auch sehr gut als erster Himmelskörper für die Errichtung einer Station.

Genauso wie die Erde, dreht auch der Mond sich um sich selbst. Außerdem dreht er sich um die Erde. Eine Umdrehung dauert einen Monat.

Auf dem Mond selbst sieht es aus wie in einer Steinwüste. Überall ist Geröll und Staub. Im Gegensatz zur Erde weist der Mond sehr viele Krater auf, die durch den Einschlag von Meteoriten entstanden sind. Die dunklen Flecken, die man auch von der Erde aus auf dem Mond aus machen kann, sind besonders große Krater, die man auch „Meere" nennt.

Die Atmosphäre auf unserer Erde, also eine Hülle aus Gas um unseren Planeten, schützt uns vor Meteoriten, da diese in ihr verbrennen. Außerdem ermöglicht die Erdatmosphäre, dass wir atmen können. Der Mond hat eine solche Atmosphäre nicht, daher können die Meteoriten ungestört einschlagen und Menschen können auf dem Mond nicht atmen.

Außerdem sind die Temperaturunterschiede auf dem Mond enorm. Ist auf dem Mond Nacht, so kann es bis zu - 160 °C kalt werden, am Tag dagegen können die Temperaturen bis auf 130 °C ansteigen. Entsprechend gibt es auf dem Mond auch kein flüssiges Wasser. Dies liegt unter anderem auch am niedrigen Druck auf dem Mond, welcher der Grund ist, weshalb Wasser nur in fester oder gasförmiger Form vorliegen kann.

Auch die Anziehungskraft auf dem Mond unterscheidet sich von der auf der Erde. Sie ist nur rund ein Sechstel so groß wie die auf unserer Erde.

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Größe des Mondes: *Die Erde ist ca. 4-mal so groß wie der Mond*	3.475 km
Entfernung zur Erde:	400.000 km
Temperatur an der Oberfläche:	- 160 bis + 130 °C
Oberflächenbeschaffenheit:	steinig mit vielen Kratern
Anziehungskraft:	$\frac{1}{6}$ so groß wie die der Erde
Atmosphäre: *Kein Schutz vor Meteoriten, keine Atmung möglich*	Nicht vorhanden

Fallschirme sind ein sehr wichtiger Teil jeder Versorgungsmission. Auch wenn sie im Vergleich zu dem teils überlebenswichtigen Inhalt der Versorgungskapseln nur wie eine Nebensache wirken, darf man nicht den Fehler begehen und ihre Wichtigkeit unterschätzen, denn ohne einen funktionierenden Fallschirm kann es dazu kommen, dass die Kapsel abstürzt und der so wichtige Inhalt zerstört wird!

Mit Hilfe der vorliegenden Materialien werdet Ihr die zugrundeliegende Physik eines Fallschirmsprungs untersuchen, um herauszufinden, was man beim Bau eines für eine Versorgungsmission geeigneten Fallschirms zu beachten hat. Am Ende der Aufgabe solltet Ihr zuversichtlich sein, einen Versorgungskapsel sicher starten und landen lassen zu können!

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Bevor ihr mit der eigentlichen Entwicklung beginnt, müsst ihr euch zunächst Gedanken darüber machen, wie ihr bei einer solch komplexen Aufgabe vorgeht. Bitte besprecht euch dazu in eurem Team und verbindet anschließend die nachfolgend aufgeführten Schritte in richtiger Reihenfolge:

Nun habt ihr einen Plan erarbeitet und wisst wie ihr euer Ziel, die erfolgreiche Planung einer Versorgungsmission, erreichen könnt.

1.	☐	☐	**Untersuchungen zu den physikal. Eigenschaften eines Fallschirms**
2.	☐	☐	**Tests zu den verschiedenen Formen eines Fallschirms**
3.	☐	☐	**Praxistest für einen eigenen Fallschirm**

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

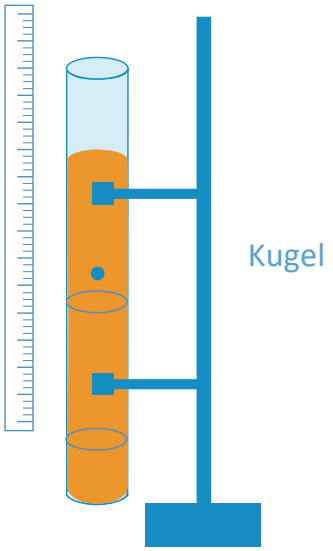
Aufgabe 1: Freier Fall

Bevor ihr mit dem Entwurf eines Fallschirms beginnen könnt, müsst ihr euch mit dem Konzept der Endgeschwindigkeit auseinandersetzen. In dieser Aufgabe führt ihr ein simples Experiment durch, welches euch dabei helfen wird, zu verstehen, was Endgeschwindigkeit bedeutet.

Was hoch geht, kommt auch wieder runter!

Alles auf dem Mond wird durch die Schwerkraft nach unten gezogen, wenn auch nur zu einem Bruchteil, wie es auf unserem Planeten der Fall ist.

- 1x Stativklemme
- 1x Messzylinder oder Glasrohr (je höher und breiter, desto besser)
- 1x Öl (Glyzerin einigt sich gut) oder Tapetenkleister
- 1x Lineal
- Murmeln unterschiedlicher Größe
- Gummibänder
- 1x Stoppuhr
- 1x Magnet (falls Sie Metallkugeln verwenden)
- Wasser



Das Gewicht eines Gegenstandes ist nichts anderes als die darauf einwirkende Kraft bedingt durch die Schwerkraft: **Gewicht = Masse x Schwerkraft ; (w = m x g)**

Die UN Versorgungsmissions-Richtlinien schreiben vor, dass die **Masse** einer Versorgungskapsel **zwischen 300 und 350 g** liegen muss.

1. Was ist das erlaubte Gewicht für die Kapsel (sowohl für den Mond als auch die Erde)?

_____

_____

_____

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Wenn ein Gegenstand unter Einfluss der Schwerkraft fällt, so gewinnt er an Geschwindigkeit bzw. beschleunigt. Auf der Erde liegt die Beschleunigung bei $9{,}81 ms^{-2}$, auf dem Mond bei nur 1/6 dieser. Stellt euch nun vor, ihr schmeißt zwei unterschiedliche Gegenstände in einem Vakuum von einem Hochhaus. Aufgrund des Vakuums gibt es keinen Widerstand für die fallenden Gegenstände. Beide fallen mit der gleichen Beschleunigung und das, obwohl sie unterschiedliche Massen haben!

Diese Tatsache kann nicht intuitiv sein, da auf dem Planeten Erde, als auch auf dem Mond, die Luft immer für einen Widerstand beim Fall eines Gegenstandes sorgt. Deshalb fällt z. B. eine Feder langsamer als ein Medizinball. Der Schlüssel zum Verstehen dies Konzepts ist das Medium, in dem der Gegenstand fällt, sei es Luft, Öl oder ein Vakuum.

2. Das „Medizinball und Feder Experiment" führt zu einer interessanten Frage: Wie würde sich der Start der Versorgungskapsel verändern, wenn er auf dem Mond stattfinden würde?

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Untersucht den Effekt eines Mediums auf fallende Objekte

Was passiert mit einem Objekt, wen es in einem Medium fällt? Findet dies anhand eines kleinen Experimentes heraus! Die dafür notwendigen Komponenten hat euch der UN-Wissenschaftsrat in seiner letzten Mail mitgeteilt.

Hinweis: Solltet Ihr Metallkugeln verwenden, legt einen Gummistopfen oder ein Stück Watte auf den Boden des Glaszylinders, damit das Glas nicht bricht.

Der Magnet kann euch dabei helfen, die Kugeln wieder aus dem Zylinder herauszubekommen.

Versuchsdurchführung:

1) **Falls du ein Smartphone hast:**

   b) Baut die Komponenten wie zuvor abgebildet auf.

   c) Ladet die App „Vernier Video Physics" herunter.

   d) Filmt, wie ihr die Murmel im Glaszylinder versenkt.

   e) Verwendet die Funktion der App um die Geschwindigkeit der Murmel zu messen.

   f) Wiederholt das Experiment!

2) **Falls du die altbewährte Art bevorzugst:**

   a) Baut die Komponenten wie in der Mail abgebildet auf.

   b) Startet die Stoppuhr, sobald ihr die Murmel in den Zylinder fallen lasst.

   c) Stoppt die Uhr, nachdem die Murmel eine festgelegte Distanz zurückgelegt hat – abhängig von der Geschwindigkeit der Murmel solltet ihr dies alle 5 cm bewerkstelligen können. Ihr werdet diesen Versuch wahrscheinlich mehrmals wiederholen müssen.

   d) Verwendet eure Messungen, um die Geschwindigkeit der Murmel in jedem Abschnitt zu berechnen.

   e) Wiederholt das Experiment!

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

3. Wie verändert sich die Geschwindigkeit der Murmel beim Durchqueren des Zylinders?

_____

4. Was für Veränderungen würdet ihr erwarten, wenn ihr das Öl durch Wasser austauschen würdet? Schreibt eure Vorhersage auf und probiert es anschließend aus!

_____

_____

Anders als im Vakuum, wird ein Objekt beim Fall in einem Medium schließlich eine **Endgeschwindigkeit** erreichen. Die Endgeschwindigkeit stellt sich ein, wenn die Widerstandskräfte und die Erdanziehungskraft (auf dem Mond natürlich die Mondanziehungskraft) in ein Gleichgewicht eintreten.

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Aufgabe 2: Fallschirme – wie lahm!

Es gibt Methoden, um die Endgeschwindigkeit in einem wenig viskosen Medium wie Luft, zu reduzieren. So kann man die Querschnittsfläche des Objektes z. B. durch einen Fallschirm erhöhen, damit der Luftwiderstand erhöht wird.

1. Wendet die Erkenntnisse aus dem Murmelexperiment in der untenstehenden Grafik an und benennt und kennzeichnet die Kräfte, die während des Sinkfluges auf die Versorgungskapsel einwirken. Zeigt ihre relative Höhe durch die Größe des Pfeils an.

Möge die Schwerkraft mit dir sein

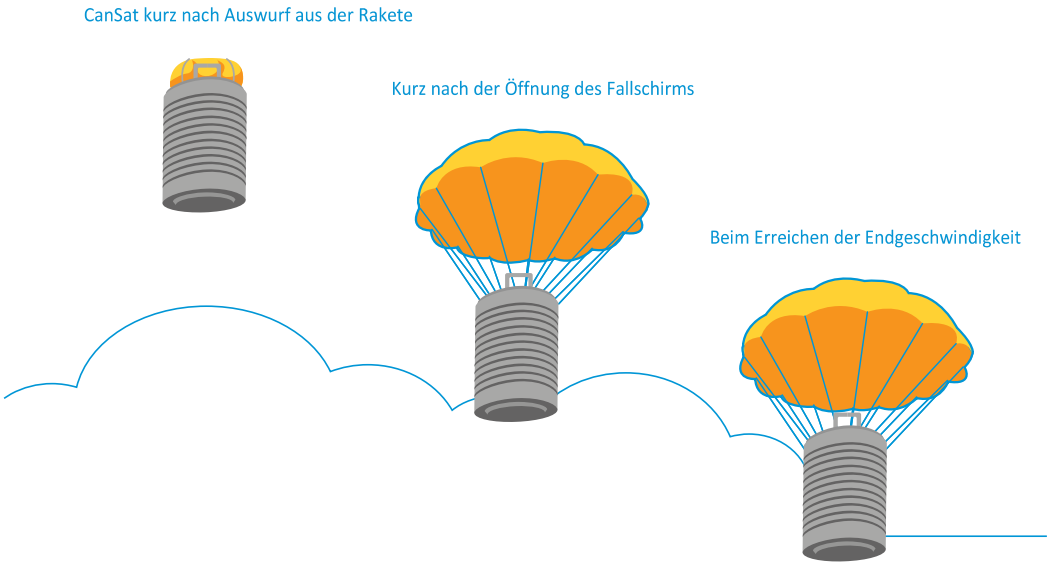
Analysiert nun die Kräfte, die an diesem Prozess beteiligt sind. Dabei soll die Richtung der Kapsel (abwärts) als positive Richtung der Kraft bezeichnet werden. Die erste Kraft, an die man hier denkt, ist das Gewicht der Kapsel. Dabei handelt es sich um eine nach unten gerichtete Kraft, die durch die Erdanziehungskraft entsteht.

$$F_{Schwe\ kraf} = m\,g\,\hat{z} \qquad \text{Gleichung 1}$$

mit

m = Masse der Versorgungskapsel (ca. 0,35 kg);

g = Beschleunigung durch Erdanziehungskraft = 9,81 m/s^2



©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Während die Kapsel durch die Luft hinabgleitet, wirkt aufgrund des Fallschirms eine Zugkraft auf diese ein, die gegen ihr Gewicht arbeitet:

$$F_{Zugkraf} = \frac{1}{2} C_D \, \rho \, A \, v^2 \, \hat{z}$$ Gleichung 2

A = Fallschirmoberfläche

C_D = Zugkraftkoeffizient des Fallschirms – dieser Wert hängt von **Form/Geometrie** des Fallschirms ab; Beispielswerte sind im nächsten Abschnitt aufgelistet.

ρ = angenommene konstante, lokale Atmosphärendichte von 1,255 kg/m^3

v = Sinkgeschwindigkeit der Versorgungskapsel in m/s

Nach Newtons 2. Gesetz:

$$F_{ne} = \Sigma F = m \, a \, \hat{z}$$

Beachte: Beim Sinkflug wird die Kraft (F_{net}) für wenige Sekunden nicht null sein (weil es für kurze Zeit Beschleunigung und Abbremsung geben wir), aber dieser Umstand muss nicht weiter beachtet werden, weil die Kapsel die meiste Zeit mit der Endgeschwindigkeit fallen wird.

Wenn die Endgeschwindigkeit erreicht wird, gilt $a = 0$, und demnach $F_{\text{net}} = 0$. So kommen wir auf:

$$F_{Schwerkraf} + F_{Zugkraf} =_t 0$$

Wenn wir nun die Kräfte auf der ausbalancieren, ergibt sich folgende Gleichung:

$$mg - \frac{1}{2} C_D \, \rho \, A \, v^2 = 0$$ Gleichung 3

Später, wenn ihr euch für das Design eines Fallschirms entschieden habt, könnt ihr diese Gleichung umstellen und die Beschränkung der Sinkgeschwindigkeit nutzen, die für den Fallschirm benötigte Fläche zu berechnen. Beachtet immer, dass ihr hier stellenweise mit ungenauen Zahlen gearbeitet habt; ihr werdet in jedem Fall Tests durchführen müssen, um die Sinkgeschwindigkeit eures Fallschirms zu messen!

Laut der Richtlinien des UN-Wissenschaftsrates muss die Versorgungskapsel wenige Sekunden nach Beginn des Sinkflugs eine Endgeschwindigkeit von **8 – 11 m/s** erreichen. Nicht zu langsam,

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

damit sie sich nicht zu weit von der Startbasis entfernt landet und nicht zu schnell, damit die Landung nicht zu hart wird.

2. Nehmt an, die Rakete werfe eure Kapsel bei einer Höhe von 1000 m ab. Wieviel Zeit vergeht laut der Richtlinien zwischen Abwurf und Landung der Kapsel (wenn man die Beschleunigungsphase außer Acht lässt)?

_____

_____

Aufgabe 3: Die Bedeutung von Fläche und Form

Auswahl des Fallschirmdesigns

Schaut euch einmal die Gleichung für den Sinkflug eurer Versorgungskapsel an:

$$mg - \frac{1}{2} C_D \, \rho \, A \, v^2 = 0$$

Gleichung 3

1. Welche Faktoren in Gleichung 3 können parallel zum Design eurer Kapsel ausgetauscht werden?

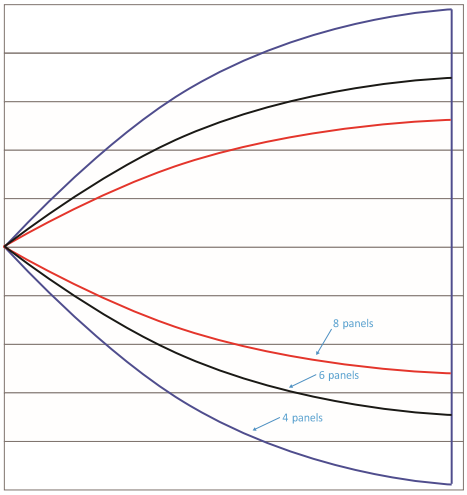
_____

_____

Fallschirmformen

Die einfachsten Arten von Fallschirmen sind der flache runde z.B. hexagonale und die Rundkappenfallschirme. Das Problem bei diesen Designs ist, dass sie sich mit Luft aufblähen und dann zu einer Seite kippen, um Luft wieder abzugeben. Manchmal kann eine sogenannte Scheitelöffnung helfen, den Fallschirm zu stabilisieren. Wir werden uns kurz anschauen, welche unterschiedlichen Arten von Fallschirmen für eure Versorgungskapsel in Frage kommen.

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)



Rundkappenfallschirm

Ein halbkugelförmiger Fallschirm ist wohl die erste Variante, an die man denkt, wenn man das Wort ‚Fallschirm' hört. Das Material formt hier eine Halbkugel, wenn sich der Fallschirm aufbläht. Die Rundkappe wird aus einzelnen Segmenten hergestellt. Die einzelnen Segmente werden zusammengenäht, um am Ende die Form einer Halbkugel zu ergeben. Je mehr Segmente verwendet werden, desto näher kommt man bei der Form an eine echte Halbkugel heran und desto komplizierter wird auch die Herstellung. Der Winkel, der durch die entgegengesetzten Segmente entsteht, wird immer kleiner, je mehr Segmente ihr hinzufügt.

Der Winkel kann mithilfe der untenstehenden Formel berechnet werden:

$$Winkel = 360°/n \qquad \text{mit n = Nummer der Segmente}$$

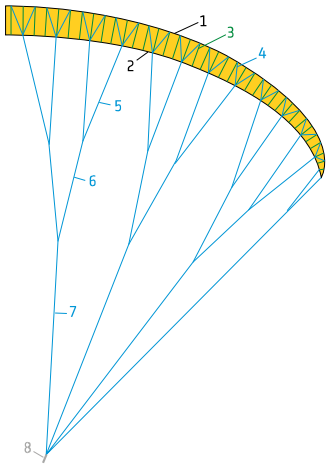
Im Bild zu sehen sind drei Rundkappenfallschirme, die das Orion-Modul sicher zurück zur Erdoberfläche bringen. Beachtet die unterschiedlichen Farben. Hier kann man erkennen, wie die Segmente zusammenpassen und die typische Halbkugel bilden.

Die Vorgehensweise bei der Konstruktion eines Rundkappenfallschirms sind die folgenden:

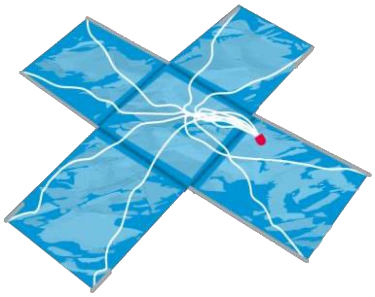
- Zuerst muss man die Form der Segmente auf das Material aufzeichnen und sie anschließend ausschneiden. Dabei sollte man darauf achten 2cm Spiel für das Umschlagen und Vernähen zu lassen.
- Näht die Kanten zusammen, um eine Fallschirmform zu erhalten.
- Zuletzt müsst ihr die Fangleinen an den Fallschirm nähen*, mit denen ihr den Fallschirm an der Kapsel befestigen werdet

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

*Beachtet, dass die Fangleinen üblicherweise durch die Segmente gehen: die Last (der Luft) wird nicht von dem Segment selbst aufgenommen, sondern von den Fangleinen. Dabei beginnt eine Fangleine bei der Scheitelöffnung und läuft das gesamte Segment entlang bis hin zum gegenüberliegenden Segment und weiter bis sie wieder bei der Scheitelöffnung ankommt.



Kreuzfallschirm



Ein Kreuzfallschirm ist einfacher zu nähen als ein Rundkappenfallschirm, weil die Form einfacher von Hand hergestellt werden kann.

Informationen zum Bau eines Kreuzfallschirms findet ihr unter:

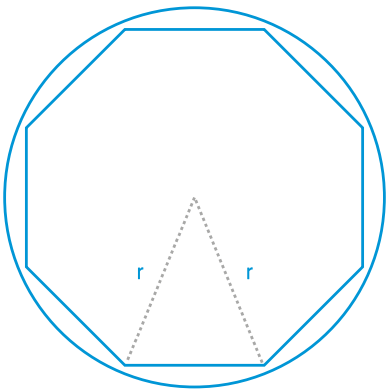
http://www.nakka-rocketry.net/xchute1.html

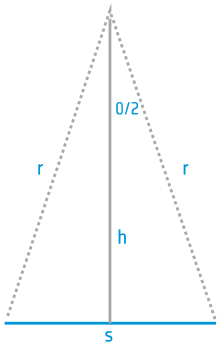
Gleitschirm

Vielleicht ist euch schon einmal ein Gleitschirm begegnet. Der größte Vorteil an seinem Design ist, das man ihn steuern kann. Im Vergleich zu den einfacheren Designs oben, ist der Gleitschirm erheblich schwieriger herzustellen.

Fallschirm

Flachfallschirme sind die gängigsten Fallschirme. Sie werden aus flachen geometrischen Figuren wie Sechs- oder Achtecken hergestellt. Die Abbildung links zeigt, dass der achteckige Fallschirm aus acht identischen Dreiecken besteht.





Dies sind einige der zur Verfügung stehenden Fallschirmdesigns für eure Versorgungskapsel. Der Luftwiderstandsbeiwert für jeden Typ findet ihr in der untenstehenden Tabelle. Mehr Infos über den Luftwiderstandsbeiwert findet Ihr in der Linksammlung.

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

		Tabelle 1
Fallschirmtyp	**Luftwiderstandsbeiwert C_D**	**Kommentare**
Halbkugel	0.62-0.77	sehr üblich; zeitaufwendig herzustellen
Kreuz	0.6-0.8	einfach herzustellen; beliebt für CanSat
Paraglider	0.75-1.10	kompliziertes Design; gelenkte Landung möglich
Flaches Sechseck	0.75-0.8	einfach herzustellen

Wenn Ihr euren eigenen Flachfallschirm machen wollt, werdet Ihr folgendes Material brauchen:

- Geeignetes Material – Rip Stop Gewebe ist am besten geeignet
- Seile / Schnüre, um die Versorgungskapsel und den Fallschirm zu verbinden.
- Faden, um alles zu vernähen

Die Vorgehensweise ist recht einfach. Schneidet mithilfe einer Schablone euer Material zurecht. Am besten lässt man dabei ein paar Zentimeter überstehen, damit man die Kanten umnähen kann. Dies sorgt für zusätzliche Stabilität. Schneidet die Schnüre in richtiger Länge ab und vernäht sie mit dem Fallschirm. Jetzt seid Ihr bereit für Euren ersten Test!

2. Schaut euch die Luftwiderstandsbeiwerte in der vorangegangenen Tabelle noch einmal an und überlegt, welcher Fallschirmtyp folglich am langsamsten absinkt und welcher am schnellsten.

   _____

   _____

3. Der Kreuzfallschirm ist einfach herzustellen. Seine Sinkgeschwindigkeit ist im Vergleich zur Rundkappe aber zu schnell. Was kann man tun?

   _____

   _____

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Bestimmung der Fallschirmfläche

Jetzt da ihr die minimale und maximale Sinkgeschwindigkeit (8-11 m/s) festgestellt habt und die Luftwiderstandsbeiwerte der unterschiedlichen Fallschirmtypen kennt, könnt ihr die benötigten Oberflächen berechnen.

4. Stellt die Gleichung 3 nach A um:

5. Jetzt da ihr Gleichung 3 mit Fläche als Subjekt habt, könnt ihr für die unterschiedlichen Fallschirmtypen individuell den Bereich berechnen, der den Richtlinien entspricht. Geht dabei von einem Gewicht von 350g für eure Kapsel aus. Die Ergebniswerte könnt ihr in der Tabelle unten eintragen.
   Beachtet: Der Bereich der erlaubten Geschwindigkeit beträgt 8-11ms-1

			Tabelle 2
Fallschirmtyp	**Luftwiderstandsbeiwert C_D**	**minimale Fläche**	**maximale Fläche**
Rundkappe	0.62		
Kreuz	0.8		
Paraglider	0.8		
Flaches Sechseck	0.8		

6. Wenn ihr euren Kreuzfallschirm gegen einen Rundkappenfallschirm austauscht, wie müsst ihr die Oberfläche anpassen, damit er weiterhin mit derselben Geschwindigkeit fällt?

_____

_____

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Aufgabe 4: In der Ruhe liegt die Kraft

Habt ihr euch für ein Design entschieden, ist es unverzichtbar, dass ihr es testet. Obwohl die durchgeführten Berechnungen euch eine Vorstellung davon geben, was ihr zu erwarten habt, müsst ihr eure Entwürfe dennoch unter realen Bedingungen testen. Bevor ihr das tut, solltet ihr euch den Flug der Kapsel vor Augen führen und wie die Kräfte im Flugverlauf auf diese einwirken werden.

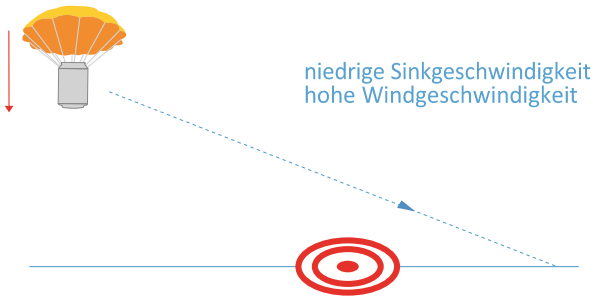
Bestimmung der Fallschirmfläche

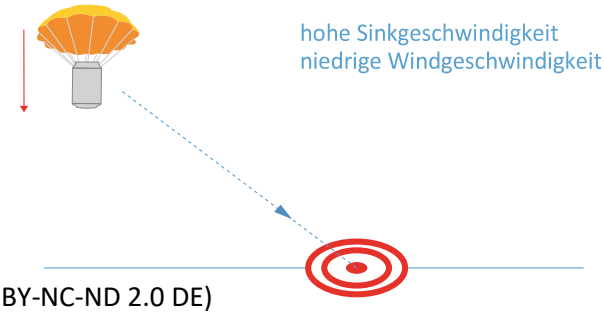
Schaut euch einmal an, wie sich Höhe und Geschwindigkeit eurer Versorgungskapsel im Verlauf des gesamten Fluges verändern werden. Wenn ihr damit fertig seid, werdet ihr all eure Erkenntnisse bündeln und ihr werdet bereit sein, euren eigenen Fallschirm zu konstruieren!

Beim Sinkflug einer Versorgungskapsel müsst ihr auch immer eventuelle Seitenwinde berücksichtigen und wie diese die Flugbahn beeinflussen könnten. Bedenkt auch, dass manche Fallschirmtypen (z.B. Kreuzfallschirm) auch bei Windstille beträchtliche seitliche Geschwindigkeiten durch die eigene Stabilisierung beim Fall aufbauen können.

Abhängig von der Sinkgeschwindigkeit und der Windgeschwindigkeit kann dies bedeuten, dass die Kapsel eine beträchtliche Strecke von der Abschussstelle entfernt, wieder landet. Und genau deshalb ist die Sinkgeschwindigkeit so wichtig. Wenn eure Kapsel zu langsam sinkt, könnte es sein, dass diesem vom Wind so weit weggetragen wird, dass es schwierig wird sie wieder zu bergen!

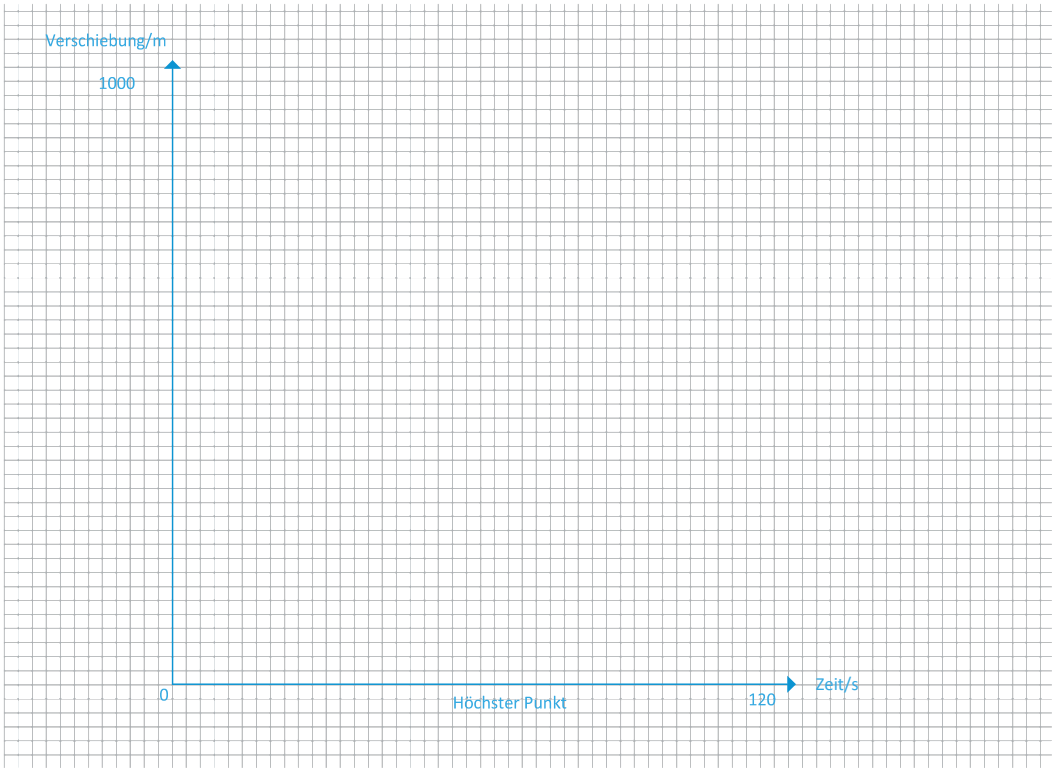
Schaut euch hierzu folgendes Diagramm an.





©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

1. Zeichnet im Diagramm eine Kurve ein, wie du sie für die Veränderung der Höhe mit voranschreitender Zeit erwarten würdest, und zwar vom Start der Kapsel bis zu ihrer Landung und ohne Seitengeschwindigkeiten. Bedenke dabei, wie sich die Geschwindigkeit verändert und welchen Effekt dies auf die Form der Kurve hat.
   Der wichtigste Teil der Mission ist der Sinkflug, da hier der Fallschirm zum Tragen kommt. Denkt nun darüber nach, wie sich die Geschwindigkeit der Versorgungskapsel beim Sinkflug verändert.

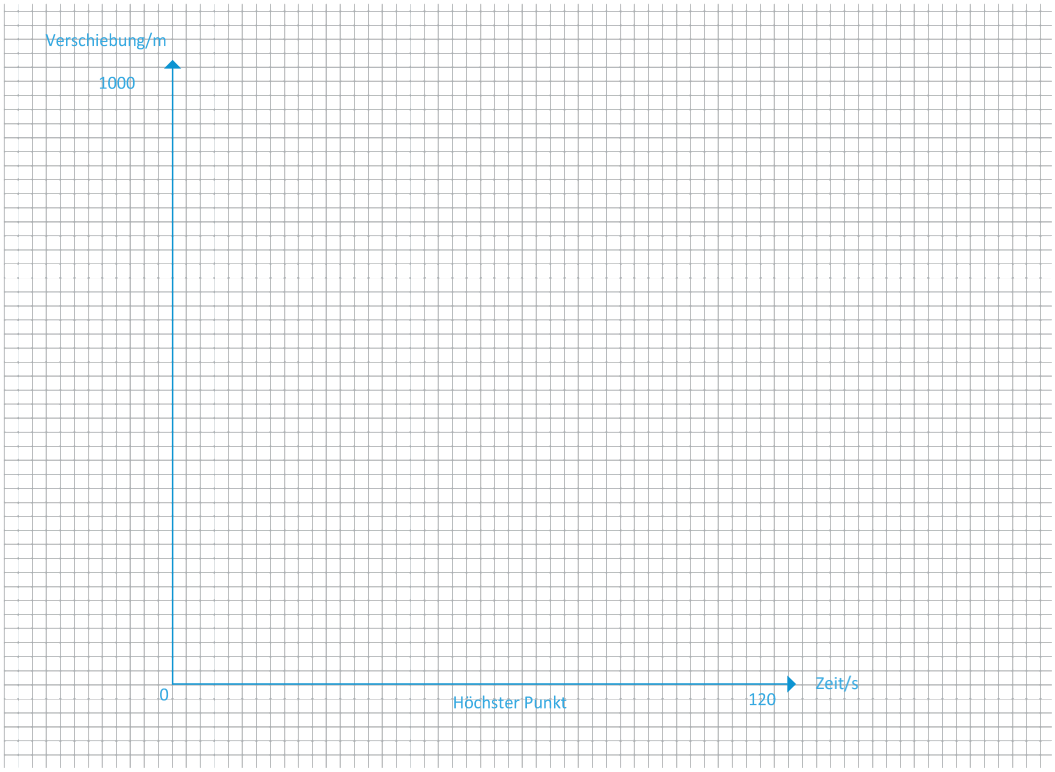


2. So wie ihr es für die Höhe der Kapsel schon getan habt, solltet ihr jetzt eine Kurve einzeichnen, die zeigt, wie sich die Geschwindigkeit <u>während des Sinkflugs</u> und ohne Rücksicht auf den Aufstieg verändert. Somit ergibt sich t=0 für das Auswerfen der Kapsel aus der Rakete.

   Denkt über die folgenden Fragen nach, bevor ihr die Kurve einzeichnet:

   - Wie hoch ist die Geschwindigkeit der Kapsel, wenn sie ausgeklinkt wird?
   - Wie schnell beschleunigt sie in Richtung Erde?
   - Was passiert, wenn sich der Fallschirm öffnet?

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)



©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

Links

ESA Ressourcen

ESERO Germany Webseite: www.esero.de

ESERO Germany Arbeitsblätter: www.esero.de/materialien/arbeitsblaetter

ESA classroom resources: www.esa.int/Education/Classroom_resources

ESA Kids Homepage: www.esa.int/kids

©ESERO Germany (CC BY-NC-ND 2.0 DE)