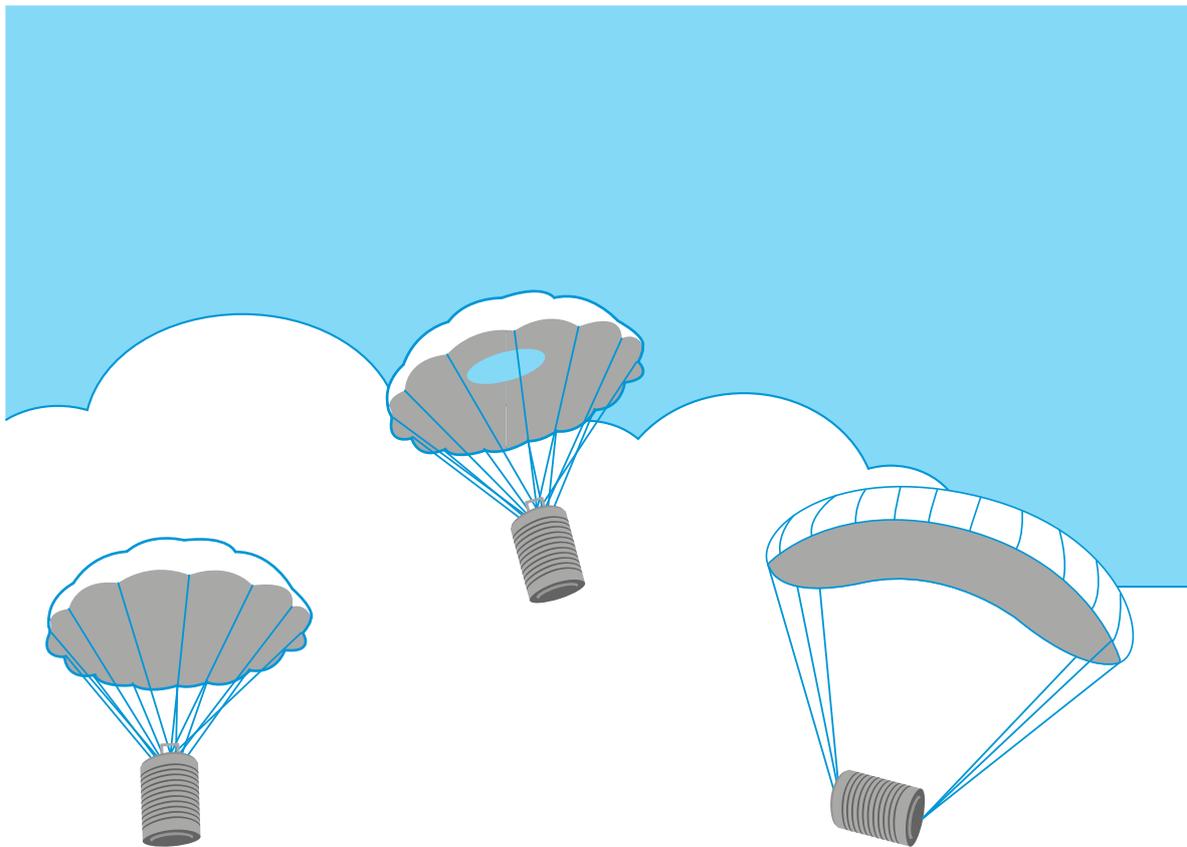
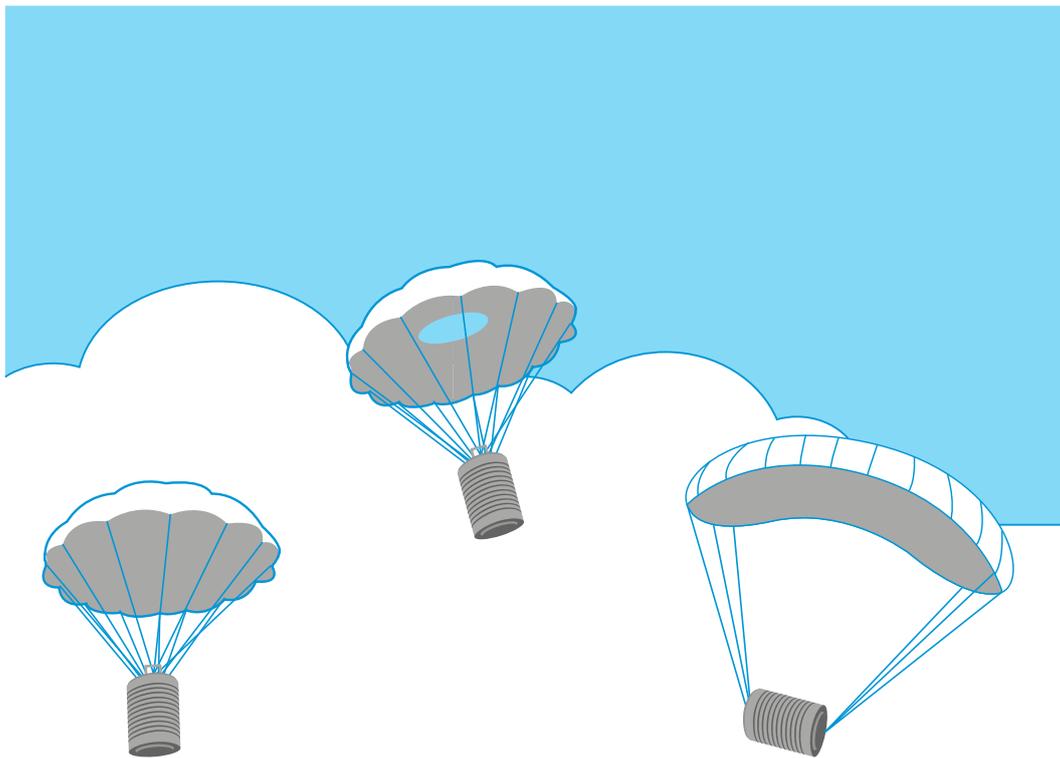


Lehren mit dem All

→ ENTWIRF DEINEN EIGENEN FALLSCHIRM

Eine Anleitung wie Du deinen CanSat sicher wieder landest





Lehrermaterial

Kurzfassung	Seite 3
Zusammenfassung der Aufgaben	Seite 4
Aufgabe 1: Freier Fall	Seite 5
Aufgabe 2: Fallschirme: wie lahm!	Seite 6
Aufgabe 3: Die Bedeutung von Fläche und Form	Seite 7
Aufgabe 4: In der Ruhe liegt die Kraft	Seite 9
Arbeitsblätter	Seite 10
Links	Seite 22

Lernen mit dem All – Entwirf deinen eigenen Fallschirm | T10
www.esa.int/education

Das ESA Education Office freut sich über Feedback und Kommentare
teachers@esa.int

Eine Produktion von ESA Education in Zusammenarbeit mit ESERO Ireland
Copyright 2018 © European Space Agency

Eine Übersetzung von ESERO Germany

→ ENTWIRF DEINEN EIGENEN FALLSCHIRM

Eine Anleitung wie Du deinen CanSat sicher wieder landest

Kurzinfos

Alter: 14-20 Jahre

Verbindungen zum Lehrplan: Physik –
Geschwindigkeit, Beschleunigung,
Beschleunigung durch Gravitation,
Endgeschwindigkeit

Schwierigkeit: mittel

Benötigte Zeit: 120 Minuten

Unterstützendes Material: CanSat: Erste
Schritte

Methodik: Fragenbasiertes Lernen

Stichworte: Fallschirm, Luftwiderstand,
Gravitation, Gewicht, CanSat

Kurzbeschreibung

Dieses Material gibt SuS einen kurzen Überblick darüber, welche unterschiedlichen Möglichkeiten sie beim Design ihres CanSat-Fallschirms haben. Die SuS lernen die zugrundeliegende Physik von Fallschirmen und wie man die Geschwindigkeit eines CanSats kontrolliert.

Lernziele

- Die SuS erkennen den Unterschied zwischen Gewicht und Masse.
- Sie identifizieren unterschiedliche Arten von Fallschirmen und diskutieren die eigenen Designs und Konstruktionen.
- Sie erkennen die Notwendigkeit Fallschirme zunächst zu testen.
- Sie verstehen das Konzept der Endgeschwindigkeit.
- Sie erstellen Graphen mit korrekten Maßeinheiten und Bezeichnungen.

→ Zusammenfassung der Aufgaben

Zusammenfassung der Aufgaben					
	Titel	Beschreibung	Ergebnis	Voraussetzung	Zeit
1	Freier Fall	Die SuS führen ein einfaches Experiment durch, um das Konzept der Endgeschwindigkeit zu begreifen.	Die SuS sind in der Lage zu beschreiben, was Endgeschwindigkeit ist.	keine	25 Minuten
2	Fallschirme: wie lahm!	In dieser Aufgabe werden die SuS mit dem Fallschirmdesign zugrundeliegenden Physik vertraut gemacht.	Die SuS können die wichtigsten Faktoren des freien Falls beschreiben.	Vorangegangene Aufgaben	15 Minuten
3	Die Bedeutung von Fläche und Form	Diskussion einer Palette von Fallschirmdesigns und der Konsequenzen, die sie auf fallende Gegenstände haben.	Die SuS können geeignete Design für ihren CanSat-Fallschirm identifizieren.	Vorangegangene Aufgaben	25 Minuten
4	In der Ruhe liegt die Kraft	Detaillierte Untersuchung eines CanSat-Starts und – Sinkflug. Die SuS haben ferner die Gelegenheit ihren eigenen Fallschirm zu testen.	Die SuS sind in der Lage Graphen herzustellen für die Wegzeit und die Geschwindigkeitszeit des CanSat-Starts und – Sinkflugs.	Vorangegangene Aufgaben. Ein Fallschirm für einen Fallversuch	25 Minuten

→ Einführung

Fallschirme sind ein sehr wichtiger Teil jeder CanSat Mission. Auch wenn sie im Vergleich zu der komplexen Elektronik innerhalb des CanSats nur wie eine Nebensache wirken, darf man nicht den Fehler begehen und ihre Wichtigkeit unterschätzen, denn ohne einen funktionierenden Fallschirm wird der CanSat nicht genügend Zeit haben, um seine Mission zu absolvieren oder viel schlimmer: er könnte abstürzen!

Mithilfe der vorliegenden Materialien werden wir die zugrundeliegende Physik eines Fallschirmflugs untersuchen, um herauszufinden, was man beim Bau eines für die CanSat-Mission geeigneten Fallschirms zu beachten hat. Am Ende der Aufgabe solltest du zuversichtlich sein, deinen CanSat sicher starten und landen lassen zu können!

→ Aufgabe 1: Freier Fall

Im Zuge dieser Aufgabe untersuchen die SuS das Konzept der sog. Endgeschwindigkeit und des freien Falls, indem sie ein einfaches Experiment durchführen, bei dem Murmeln in Behälter mit Öl und Wasser versenkt werden. Dabei werden sie die Wichtigkeit der Unterschiede der jeweiligen Flüssigkeit im Rahmen des freien Falls begreifen.

Übung

1. Was ist das Spektrum des möglichen Gewichts für einen CanSat?

Das erlaubte Spektrum des **Gewichts** liegt bei **2.9-3.4N**. Ein gängiger Fehler seitens der SuS ist es, an dieser Stelle Masse mit Gewicht zu verwechseln und 300-350g zu antworten!

2. Das Hammer und Feder Experiment beleuchtet die interessante Frage, inwiefern sich der CanSat-Start verändern würde, wenn er auf dem Mond ausgeführt werden würde.

Auf dem Mond beträgt die Anziehungskraft gerade einmal $\frac{1}{8}$ dessen, was sie auf der Erde beträgt. D.h. dass viel weniger Kraft auf die Rakete einwirkt. Bei einem Raketenstart vom Mond aus passieren viele interessante Dinge. Ist die Rakete leistungsstark genug, kann sie der Anziehungskraft des Mondes entkommen und in Orbit gehen. Sollte sie dies nicht sein, so wäre der Sinkflug zurück zur Oberfläche des Mondes ebenfalls sehr unterschiedlich von dem auf der Erde. Da es auf dem Mond viel weniger Luft gibt, müssten wir mit viel weniger Widerstand rechnen. Dies würde die fehlende Anziehungskraft gut kompensieren, sodass die Sinkgeschwindigkeit enorm wäre!

Bei dieser Aufgabe sollte man keine detaillierte Analyse des Problems erwarten, da die zugrundeliegende Physik sehr komplex ist. Vielmehr geht es darum Denkanstöße zu geben und ein grundsätzliches Verständnis für die Unterschiede zwischen Erde und Mond zu schaffen.

3. Wie verändert sich die Geschwindigkeit der Murmel beim Herabsinken?

Wenn das Gefäß, das die SuS verwenden, lang genug ist, sollten die SuS in der Lage sein festzustellen, dass die Murmeln eine Endgeschwindigkeit erreichen. Zu Beginn beschleunigen die Murmeln, bevor sie für kurze Zeit bei konstanter Geschwindigkeit den Rest der Strecke zurücklegen und den Boden des Gefäßes erreichen.

4. Was passiert, wenn man das Öl durch Wasser austauscht? Schreibe deine Vermutung auf und probiere es aus!

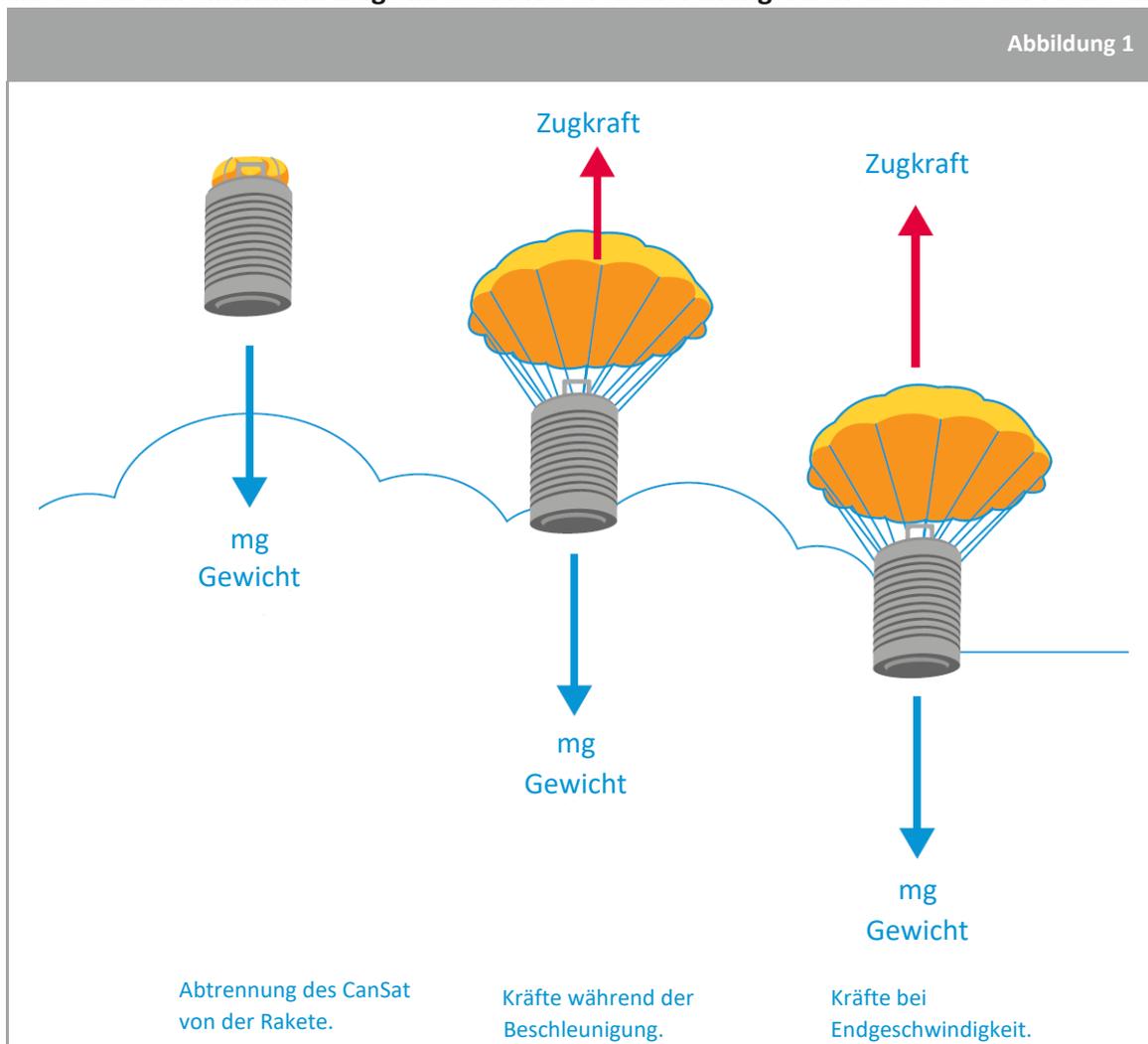
Wenn man das Experiment mit Wasser wiederholt, sollten die SuS in der Lage sein eine höhere Fall- und Endgeschwindigkeit zu erkennen. Das liegt an der geringeren Widerstandskraft des Wassers im Vergleich zum Öl.

→ Aufgabe 2: Fallschirme – wie lahm!

Durch das Lösen dieser Aufgabe verschaffen sich die SuS einen Überblick über die grundlegenden physikalischen Eigenschaften von Fallschirmen. Sie lernen, wie man die Kräfte berechnet, die auf einen Fallschirm einwirken und was eine geeignete Fläche für den Fallschirm ist. Dabei sollen sie das zweite newtonsche Gesetz und das Gleichgewicht der Kräfte in einem Gleichgewichtszustand beachten.

Übung

1. Wende dein Verständnis aus dem Murmelexperiment an und benenne die Kräfte, die beim Fall eines CanSats auf ihn einwirken. Zeige ihre relative Größenordnung durch die Größe der Pfeile an.



↑ Einwirkung von Kräften auf einen CanSat während des Sinkflugs.

2. Nehmen wir an, die Rakete wirft den CanSat bei einer Höhe von 1000m aus. Wie lange dauert laut CanSat Richtlinien der Sinkflug (wenn man die Beschleunigungsphase außer Acht lässt)?

Bei einer Höhe von 1000m und der Begrenzung der Fallgeschwindigkeit wie in den Europäischen Richtlinien ($8-11\text{ms}^{-1}$) angegeben, können die SuS eine unterschiedliche Falldauer berechnen. **Hinweis:** Der Einfachheit halber ignorieren wir die Beschleunigungsphase und nehmen eine gleichmäßige Sinkgeschwindigkeit für die ganzen 1000m an. In der Praxis wird dies anders sein!

$$\text{As } t = s/v$$

$$t_{\min} = 1000/v_{\max}$$

$$= 1000/11$$

$$t_{\min} = 90\text{s}$$

$$t_{\max} = 1000/v_{\min}$$

$$= 1000/8$$

$$t_{\max} = 125\text{s}$$

→ Aufgabe 3: Die Wichtigkeit der Form

In dieser Aufgabe werden die SuS mit den verschiedenen Arten von Fallschirmen vertraut gemacht, die üblicherweise für CanSat-Projekte verwendet werden. Dabei werden unterschiedliche Designs diskutiert und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile geprüft. Es werden Links bereitgestellt zu Seiten, auf denen die unterschiedlichen Designs detailliert besprochen werden.

Übung

1. Welche Faktoren in Gleichung 3 (auf dem Arbeitsblatt) können zusammen mit dem Design des CanSat verändert werden?

Die Fläche des Obersegels kann dadurch verändert werden, dass der Fallschirm kleiner oder größer gemacht wird. Der Zugkraft-Koeffizient kann verändert werden, indem man die Art des Fallschirms ändert.

2. Ausgehend von den Zugkraft-Koeffizienten oben (Tabelle 1 auf dem Arbeitsblatt), welche Art von Fallschirm wird für die langsamste Sinkgeschwindigkeit sorgen? Und welcher für die schnellste?

Durch die Verwendung der Gleichung 3 werden die SuS in der Lage sein, herauszufinden, dass sich der Zugkraft-Koeffizient umgekehrt proportional zur Geschwindigkeit verhält. Das heißt, je **höher** der Zugkraft-Koeffizient, desto **niedriger** die Sinkgeschwindigkeit – macht doch Sinn!

Das bedeutet, dass der halbkugelförmige Fallschirm für die geringste Sinkgeschwindigkeit sorgt, während der kreuzförmige und der flache Fallschirm sehr hohe Sinkgeschwindigkeiten ermöglichen.

3. Das kreuzförmige Design ist sehr einfach herzustellen. Die Sinkgeschwindigkeit, verglichen mit dem halbkugelförmigen Fallschirm ist jedoch sehr schnell. Was kann man tun, um das besser zu kontrollieren?

Lässt man die SuS noch einmal auf Gleichung 3 schauen, werden viele intuitiv vorschlagen, dass man das Problem dadurch in den Griff bekommen könnte, dass man **die Fläche des Fallschirms vergrößert**.

Stelle die Formel so um, dass du A berechnest.

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

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

Multipliziere mit 2: $2 mg = C_D \rho A v^2$

Dividiere mit $C_D \rho A v^2$: $A = \frac{2mg}{C_D \rho v^2}$

Die SuS können diese Gleichung dann verwenden, um die verlangte Fläche des Fallschirms für eine gegebene Sinkgeschwindigkeit auszurechnen.

4. Jetzt da du eine Gleichung mit der Fläche als Subjekt hast, kannst du das Spektrum der Flächen berechnen, die für die unterschiedlichen Fallschirmtypen erlaubt sind, ausgehend von einem CanSat mit einer Masse von 350g. Du kannst die Werte in die Tabelle 2 auf dem Arbeitsblatt eintragen. Nicht vergessen: Der Bereich der erlaubten Geschwindigkeit beträgt $8-11\text{ms}^{-1}$ für den Europäischen Wettbewerb.

SuS sollten hier die Gleichung aus Übung 4 verwenden.

Um die minimale und maximale Fläche zu berechnen, sollen sich die SuS an der minimalen und maximalen Sinkgeschwindigkeit orientieren.

Tabelle 1			
Art des Fallschirms	Zugkraft-Koeffizient	minimale Fläche (m ²)	maximale Fläche (m ²)
halbkugelförmig	0.62	0.08	0.14
gekreuzt	0.8	0.06	0.11
flach, sechseckig	0.8	0.06	0.11

An dieser Stelle muss klargestellt werden, dass diese Zahlen eine Vereinfachung darstellen. In der Praxis sollten die SuS ihre Fallschirme testen, um herauszufinden, was die erlaubten minimalen und maximalen Flächen sind.

5. Wenn du statt eines halbkugelförmigen Fallschirms lieber einen gekreuzten verwenden willst, wie musst du die Fläche deines Fallschirms anpassen, sodass er mit derselben Geschwindigkeit fällt, wie zuvor?

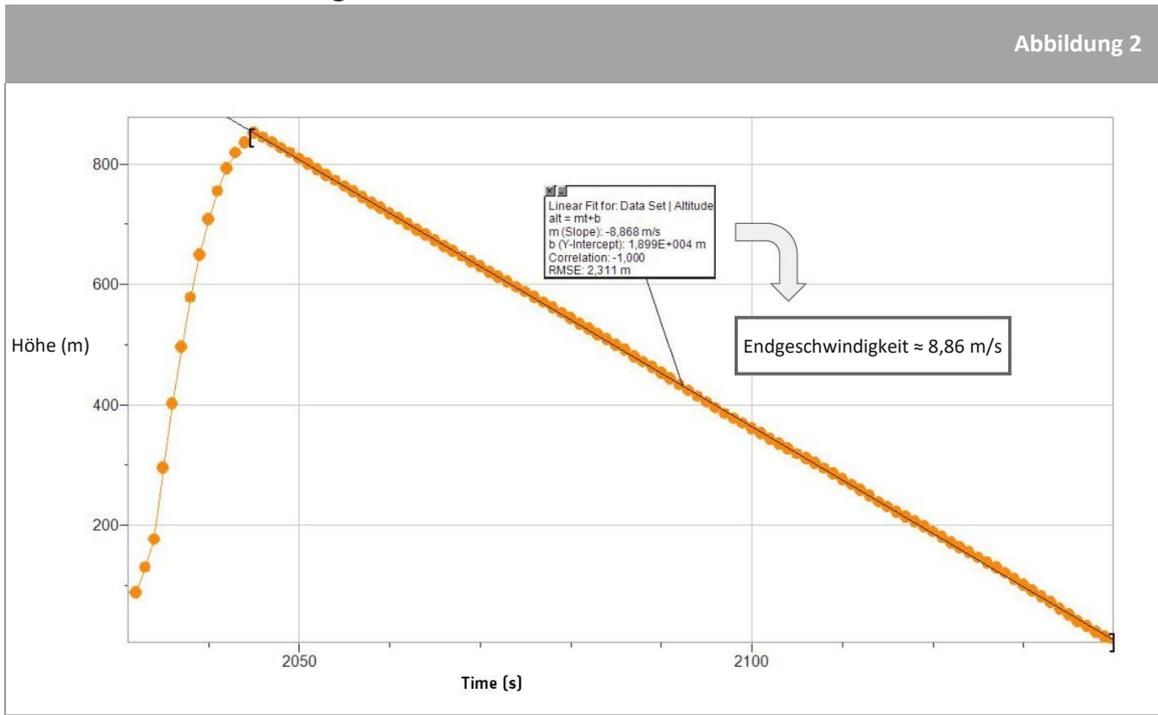
Die letzte Übung in dieser Aufgabe soll helfen das Verständnis der SuS zu festigen. Sie sollen sich darüber klarwerden, dass der Wechsel von einem gekreuzten zu einem halbkugelförmigen Fallschirm einen **Anstieg** des Zugkraft-Koeffizienten zur Folge hat. Demnach müssen sie, wenn sie dieselbe Sinkgeschwindigkeit beibehalten wollen, die Fläche des Fallschirms **verringern**. Die SuS können einen Schritt weiter gehen und die benötigte Verringerung berechnen, indem sie die Gleichung verwenden. Aber dies ist nicht notwendig.

→ Aufgabe 4: In der Ruhe liegt die Kraft

Diese Aufgabe vermittelt den SuS einen Überblick darüber, wie man einen Praxistest für den eigenen Fallschirm durchführt. Dabei sollte man die CanSat-Richtlinien immer im Auge behalten, um sicherzustellen, dass nicht gegen die Wettbewerbsregeln verstoßen wird.

Übung

1. Zeichne eine Kurve in den untenstehenden Graphen ein, in der du beschreibst, wie sich die Höhe mit voranschreitender Zeit verändert, beginnend mit dem Start des CanSat und endend mit der Landung. Gehe von einem stabilen Sinkflug ohne Einwirkung von Seitenwinden aus. Denk darüber nach, wie sich die Geschwindigkeit verändert und welchen Effekt dies auf die Form der Kurve hat.

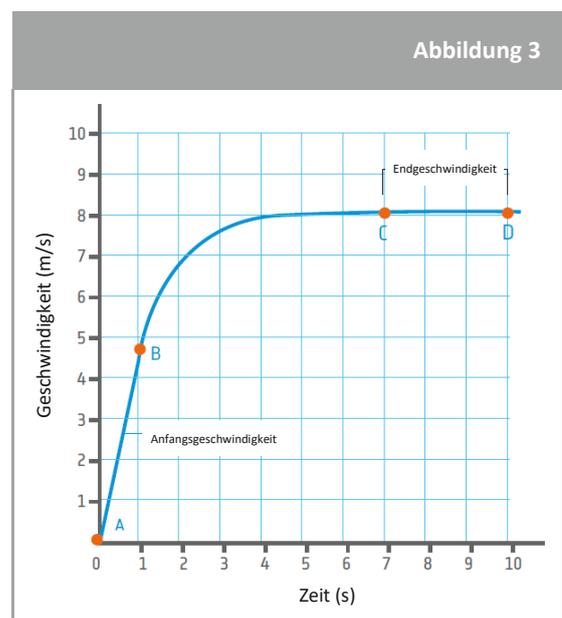


↑ Höhe-Zeit-Graph erarbeitet während der 2018 European CanSat Competition vom Team AnaCan Skywalker aus Dänemark

Der erste Teil der Kurve beschreibt den Aufstieg mit der Rakete. Bei einer Höhe von ca. 800 m wird der CanSat ausgeworfen. Dann sinkt er mit einer annähernd konstanten Geschwindigkeit (Endgeschwindigkeit). Diese kann als Gefälle der Geraden des Falls berechnet werden.

2. So wie wir es für die Höhe getan haben, zeichnen wir nun eine Kurve in den untenstehenden Graphen ein, die zeigt, wie sich die Geschwindigkeit des CanSat beim Sinkflug (Den Aufstieg mit der Rakete lassen wir dabei außer Acht). Dabei steht $t = 0$ für das Auswerfen des CanSat.

Nachdem der CanSat in maximaler Höhe ausgeworfen wurde, ist er einen Moment schwerelos, wobei sowohl Geschwindigkeit als auch Beschleunigung 0 sind. Danach beginnt der CanSat zu beschleunigen (A-B), bis er die Endgeschwindigkeit erreicht. Dank des Fallschirms ist die Beschleunigungsphase extrem kurz und kann bei der Geschwindigkeitsberechnung vernachlässigt werden. Während des restlichen Sinkflugs werden CanSat und Fallschirm eine konstante Endgeschwindigkeit haben (B-C).



↑ Beispielhafter Geschwindigkeit-Zeit-Graph eines CanSats nach dem Auswurf

→ ENTWIRF DEINEN EIGENEN FALLSCHIRM!

Eine Anleitung wie Du deinen CanSat sicher wieder landest

→ Überblick

Die sichere Landung des CanSat ist eine der wichtigsten zu bewältigenden Aufgaben des CanSat-Projekts. Ohne sichere Landung kann der CanSat u.U. irreparabel beschädigt werden. Die offensichtlichste Methode, um eine sichere Landung zu gewährleisten, ist, einen Fallschirm daran zu befestigen, der den Fall des CanSat bremst und für eine sanfte Landung sorgt. Dabei gibt es zweierlei Vorteile: der CanSat wird nicht nur für eine sichere Landung gebremst. Die Tatsache, dass er länger in der Luft schwebt, lässt ihn auch mehr Daten sammeln! Wir werden uns nun anschauen, wie Fallschirme funktionieren und was man beim Entwerfen und Bauen beachten muss.

→ Aufgabe 1: Freier Fall

Bevor man jedoch mit dem Entwurf des Fallschirms beginnt, muss man sich erst einmal mit dem Konzept der Endgeschwindigkeit auseinandersetzen. In dieser Aufgabe führen wir ein simples Experiment durch, welches uns dabei helfen wird, zu verstehen, wie Endgeschwindigkeit funktioniert.

Was hoch geht, kommt auch wieder runter

Alles auf unserem Planeten wird durch die Schwerkraft nach unten gezogen. Der Grund dafür ist die Masse der Erde.

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

Die Europäischen CanSat Richtlinien schreiben vor, dass die **Masse** des CanSat **zwischen 300 und 350 g** liegen muss.

Übung

1. Was ist das erlaubte Gewicht für den CanSat?

Wenn ein Gegenstand unter Einfluss der Schwerkraft fällt, so gewinnt er an Geschwindigkeit bzw. beschleunigt. Auf der Erde liegt die Beschleunigung bei $9,81\text{ms}^{-2}$. Stellen wir uns nun vor, wir schmeißen 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 die Luft immer für einen Widerstand beim Fall von Gegenständen sorgt. Deshalb fällt z.B. eine Feder langsamer als ein Medizinball.

Der Schlüssel zum Verstehen dieses Konzepts ist das Medium, in dem der Gegenstand fällt, sei es Luft, Öl oder ein Vakuum.

Wusstest du schon...?

dass Astronaut David Scott dieses Prinzip während der Apollo 15 Mondlandung vorgeführt hat? Er ließ einen Geologenhammer und eine Feder gleichzeitig aus gleicher Höhe aus seinen Händen fallen. Weil der Mond beinahe keine Atmosphäre besitzt, gibt es auch kaum Luftwiderstand. So fielen beide Gegenstände mit der gleichen Geschwindigkeit zu Boden. Die Abbildung rechts zeigt eben diese Demonstration.



Ed Hengeveld

2. Das ‚Hammer und Feder Experiment‘ führt zu einer interessanten Frage: Wie würde sich der Start eines CanSat verändern, wenn er auf dem Mond stattfinden würde?

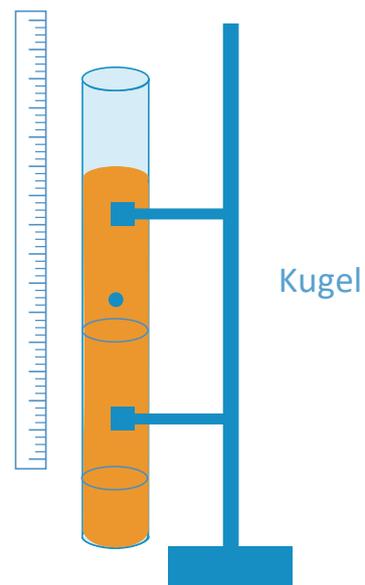
Untersuchen wir den Effekt eines Mediums auf fallende Objekte

Was passiert mit einem Objekt, wenn es in einem Medium fällt? Finden wir heraus anhand eines kleinen Experiments heraus!

Experiment

Für dieses Experiment wirst du folgende Komponenten benötigen:

- Eine Stativklemme
- Einen Messzylinder oder ein Glasrohr (je höher und breiter desto besser)
- Öl (Glyzerin funktioniert gut) oder Tapetenkleister
- Ein Lineal
- Kugeln aus einem Kugellager oder Murmeln unterschiedlicher Größen
- Gummibänder
- Eine Stoppuhr (verwende einfach den Timer deines Mobiltelefons)
- Einen Magneten (falls du Metallkugeln verwendest)
- Wasser



Hinweis: solltest du Metallkugeln verwenden, lege einen Gummistopfen oder ein Stück Watte auf den Boden des Glaszylinders, damit das Glas nicht bricht.

Der Magnet wird dir dabei helfen, die Metallkugeln wieder aus dem Zylinder herauszubekommen.

Schritte:

a. Falls du ein iPhone hast:

1. Baue die Komponenten so auf wie in der obigen Abbildung.
2. Lade die App 'Vernier Video Physics' herunter:
<https://itunes.apple.com/us/app/vernier-video-physics/id389784247>
3. Filme, wie du die Murmel im Glaszylinder versenkst.
4. Verwende die Funktionen der App um die Geschwindigkeiten der Murmel zu messen.
5. Wiederhole das Experiment!

b. Falls du ein Android-Handy hast:

1. Baue die Komponenten so auf wie in der obigen Abbildung.
2. Lade die App 'Vernier Video Physics' herunter:
3. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vidanalysis.free>
4. Filme, wie du die Murmel im Glaszylinder versenkst.
5. Verwende die Funktionen der App um die Geschwindigkeiten der Murmel zu messen.
Wiederhole das Experiment!

c. Falls du die altbewährte Art bevorzugst:

1. Bau die Komponenten so auf wie in der obigen Abbildung.
2. Starte die Stoppuhr, sobald du die Murmel in den Zylinder fallen lässt.
3. Stopp die Uhr nachdem die Murmel eine festgelegte Distanz zurückgelegt hat – abhängig von der Geschwindigkeit der Murmel solltest du dies alle 5 cm bewerkstelligen können. Du wirst diesen Versuch wahrscheinlich mehrmals wiederholen müssen.
4. Verwende deine Messungen, um die Geschwindigkeiten der Murmel in jedem Abschnitt zu berechnen.
5. Wiederhole das Experiment!

Übung

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

4. Was für Veränderungen würdest du erwarten, wenn du das Öl im Zylinder mit Wasser austauschen würdest? Schreibe deine Vorhersage auf und probiere 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 in ein Gleichgewicht eintreten.

Ein Objekt, das im Medium Luft fällt, hat viel weniger Kontakt mit umgebenden Partikeln, als wenn es im Medium Öl fallen würde. Deshalb gibt es hier weniger Widerstand gegen die Bewegung und es fällt schneller. Bei einem Fall im Medium Luft sprechen wir dann von Luftwiderstand.

Der Grad des Widerstands beim Fall durch eine Flüssigkeit, wie z.B. Öl, ist abhängig von:

1. der Dichte der Flüssigkeit (ρ)
2. der Geschwindigkeit des Objekts (V)
3. der Querschnittsfläche (A)
4. dem Widerstandskoeffizienten (C_d)

Wie diese Variablen den Fall des CanSat beeinflussen, erkunden wir im folgenden Abschnitt.

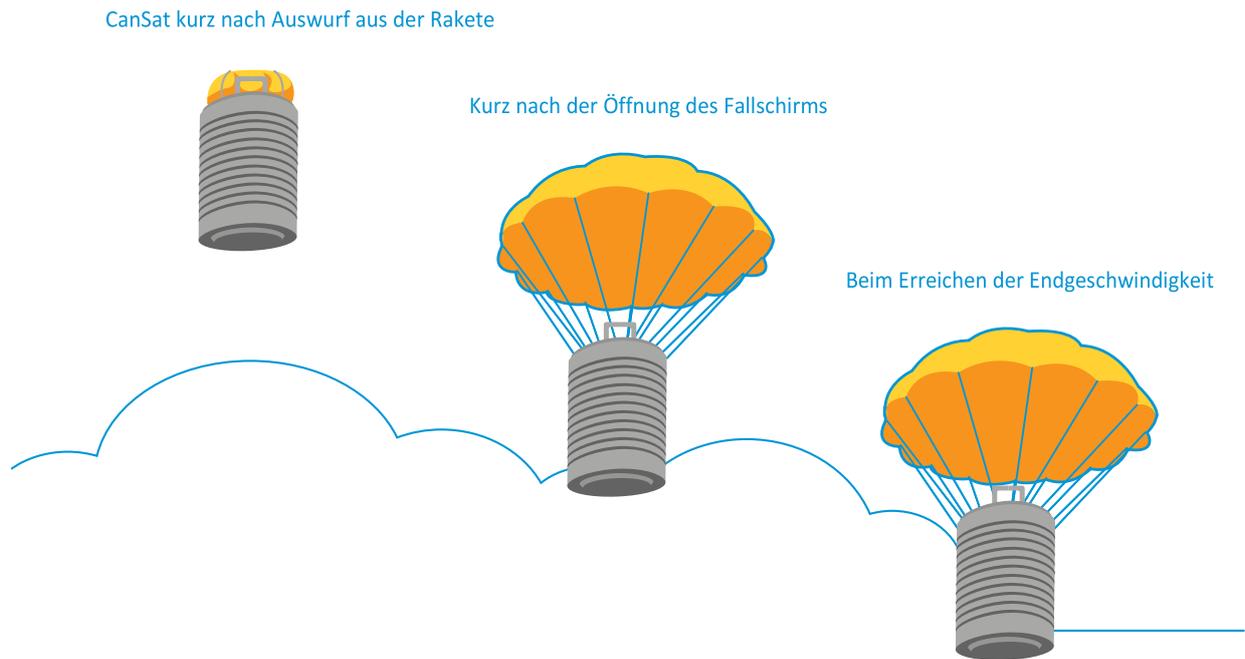
→ Aufgabe 2: Fallschirme – wie lahm!

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

Übung

1. Wende die Erkenntnisse aus dem Murmelexperiment in der untenstehenden Graphik an und benenne und kennzeichne die Kräfte, die während des Sinkflugs auf den CanSat einwirken.

Zeige ihre relative Höhe durch die Größe des Pfeils an.



Möge die Schwerkraft mit dir sein

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

$$F_{\text{Schwerkraft}} = m \cdot g \hat{z} \quad \text{Gleichung 1}$$

mit

m = Masse des CanSat (ca. 0,35 kg)

g = Beschleunigung durch Erdanziehungskraft = 9,81 m/s²

Während der CanSat durch die Luft hinabgleitet, wirkt aufgrund des Fallschirms eine Zugkraft auf ihn ein, die gegen sein Gewicht arbeitet:

$$F_{\text{Zugkraft}} = \frac{1}{2} C_D \rho A v^2 \hat{z} \quad \text{Gleichung 2}$$

A = Fallschirmoberfläche

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

ρ = angenommene konstante, lokale Atmosphärendichte von 1,225 kg/m³.

v = Sinkgeschwindigkeit des CanSat in m/s

Nach Newtons 2. Gesetz:

$$F_{net} = \sum F = m a \hat{z}$$

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

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

$$F_{Schwerkraft} + F_{Zugkraft} = 0$$

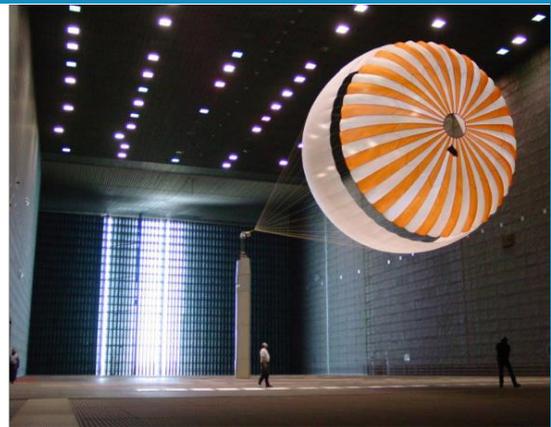
Wenn wir nun die Kräfte auf der T-Achse ausbalancieren ergibt sich folgende Gleichung:

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

Später, wenn du dich für das Design deines Fallschirms entschieden hast, kannst du diese Gleichung umstellen und die Beschränkung der Sinkgeschwindigkeit nutzen, die für den Fallschirm benötigte Fläche zu berechnen. Beachte immer, dass wir hier stellenweise mit ungenauen Zahlen gearbeitet haben; du wirst in jedem Fall Tests durchführen müssen, um die Sinkgeschwindigkeit deines Fallschirms zu messen!

Wusstest du schon...?

Die Viking-Sonde, die 1976 erfolgreich einen Lander auf dem Mars abgesetzt hat, verfügte über einen ähnlichen Fallschirm, wie der, den du entwerfen wirst. Die besondere Herausforderung bei der Viking-Mission war die Atmosphäre des Mars. Mit einer Atmosphäre von nur 1% der auf der Erde und wegen einer Sinkgeschwindigkeit im Überschallbereich reichte der Fallschirm alleine nicht aus, um eine langsame und stabile Landung zu bewerkstelligen. Um dieses Problem zu lösen, verwendeten die NASA-Ingenieure Raketen-triebwerke für die Landung – Leider wirst du ausschließlich auf einen Fallschirm zurückgreifen können. Dieser muss also perfekt werden!



↑ Fallschirm der Viking-Sonde im Test

Laut Europäischen Wettbewerbsrichtlinien muss der CanSat wenige Sekunden nach Beginn des Sinkflugs eine Endgeschwindigkeit von **8 – 11 m/s** erreichen. Nicht zu langsam, damit er sich nicht zu weit von der Startbasis entfernt und nicht zu schnell, damit er ausreichend Zeit hat, um Daten zu sammeln und damit die Landung nicht zu hart wird.

Hinweis: Der Start- und Landeplatz sowie die Richtlinien des jeweiligen nationalen Wettbewerbes kann eventuell auch für Einschränkungen der Sinkgeschwindigkeit sorgen.

Übung

2. Nehmen wir an, die Rakete wirft deinen CanSat bei einer Höhe von 1000m aus. Wieviel Zeit vergeht laut Wettbewerbsrichtlinien zwischen Auswerfen und Landung des CanSat (wenn man die Beschleunigungsphase außer Acht lässt)?

→ Aufgabe 3: Die Bedeutung von Fläche und Form

In dieser Aufgabe schauen wir uns die Grundsätze des Fallschirmdesigns an. Ebenso werden wir die gängigsten Arten von Fallschirmen diskutieren, die dir begegnen werden, wenn du deinen eigenen Fallschirm entwirfst. Dazu gehört die Erörterung der jeweiligen Vor- und Nachteile.

Auswahl des Materials

Das Auswerfen des Fallschirms ist ein recht gewaltsamer Vorgang. Demnach müssen Material und Fasern robust sein. Bedenke, dass die Kraft, der der Fallschirm ausgesetzt ist (und die Nutzlast, an der er angebracht ist) zweimal so hoch sein kann wie die Kraft, die bei Endgeschwindigkeit auf unseren Satelliten einwirkt. In dieser Analyse werden wir uns auf das Zusammenspiel deines Fallschirms mit der Endgeschwindigkeit konzentrieren. Du solltest jedoch auch bedenken, dass nicht nur die Endgeschwindigkeit (die auch vertikale Geschwindigkeit genannt wird) wichtig ist: unterschiedliche Fallschirme performen in Hinblick auf Stabilität unterschiedlich und wir dürfen auch nicht die Seitengeschwindigkeit außer Acht lassen. Prinzipiell gilt: je mehr Zugkraft, desto weniger Stabilität beim Sinkflug.

Geeignete Materialien sind Nylonfasern und sog. **Rip Stop Material**, welches man im Geschäft für Drachen (Kite) bekommt.

Diese Materialien sind ideal für Fallschirme. Eine große Schwachstelle ist der Befestigungspunkt von Schnur und Fallschirmmaterial. Verwende auf keinen Fall Angelschnur!

Beim Schneiden des Materials solltest du immer beachten, dass manche Materialien umgeschlagen werden müssen, bevor man sie nähen kann.

Auswahl des Fallschirmdesigns

Schauen wir uns einmal die Gleichung für den Sinkflug unseres CanSat an:

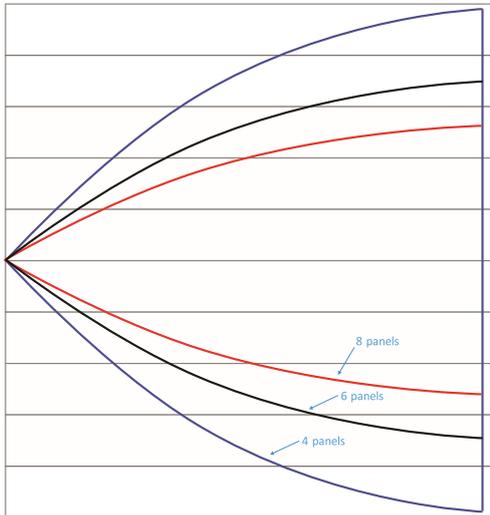
$$mg - \frac{1}{2} C_D \rho A v^2 = 0 \quad \text{Gleichung 3}$$

Übung

1. Welche Faktoren in Gleichung 3 können parallel zum Design deines CanSat 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 euren CanSat in Frage kommt.



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 zusammengeñäht, 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 du hinzufügst. Der Winkel kann mithilfe der untenstehenden Formel berechnet werden:

$$\text{Winkel} = 360^\circ/n \quad \text{mit } n \text{ der Nummer der Segmente}$$

Im Bild zu sehen sind drei Rundkappenfallschirme, die das Orion-Modul sicher zurück zur Erdoberfläche bringen. Beachte 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 zu lassen für das Umschlagen und Vernähen.
- Näh die Kanten zusammen, um eine Fallschirmform zu erhalten.
- Zuletzt musst du die Fangleinen an den Fallschirm nähen*, mit denen du den Fallschirm am CanSat befestigen wirst.



*Beachte, 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

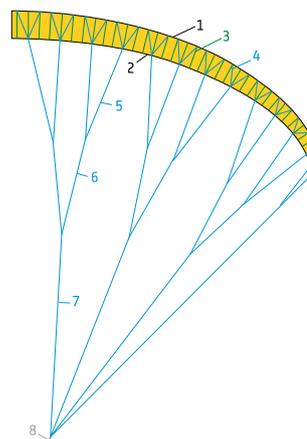


Ein Kreuzfallschirm ist einfacher zu nähen als ein Rundkappenfallschirm, weil die Form einfacher von Hand hergestellt werden kann.

Informationen zum Bau eines Kreuzfallschirms findet ihr unter: <http://www.nakka-rocketry.net/xchute1.html>

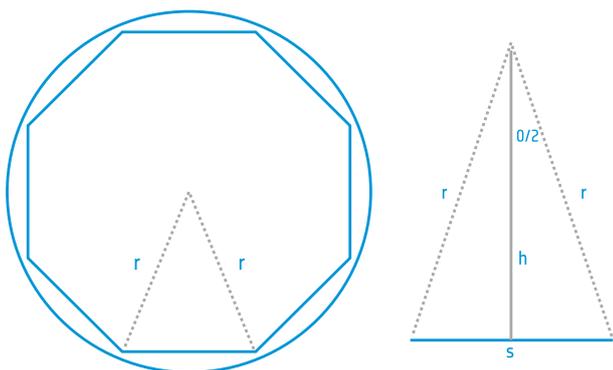
Gleitschirm

Vielleicht ist dir 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.



Flachfallschirm

Flachfallschirme sind die gängigsten Fallschirme. Sie werden aus flachen geometrischen Figuren wie Sechse- 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 deinen CanSat. Der Luftwiderstandsbeiwert für jeden Typ findet ihr in der untenstehenden Tabelle. Mehr Infos über den Luftwiderstandsbeiwert findest du in der Linksammlung.

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, beliebt für CanSat

Wenn du deinen eigenen Flachfallschirm machen willst, wirst du folgendes Material brauchen:

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

Die Vorgehensweise ist recht einfach. Schneide mithilfe einer Schablone dein Material zurecht. Am besten lässt man dabei ein paar cm überstehen, damit man die Kanten umnähen kann. Dies sorgt für zusätzliche Stabilität. Schneide die Schnüre in richtiger Länge ab und vernähe sie mit dem Fallschirm. Jetzt bist du bereit für deinen ersten Test!

Übung

2. Schau dir die Luftwiderstandsbeiwerte in der vorangegangenen Tabelle noch einmal an und überlege, 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 da tun?

Bestimmung der Fallschirmfläche

Jetzt da wir die minimale und maximale Sinkgeschwindigkeit (8-11 m/s) festgestellt haben und die Luftwiderstandsbeiwerte der unterschiedlichen Fallschirmtypen kennen, können wir die benötigten Oberflächen berechnen.

Übung

4. Stelle die Gleichung 3 nach A um:

5. Jetzt da du Gleichung 3 mit Fläche als Subjekt hast, kannst du für die unterschiedlichen Fallschirmtypen individuell den Bereich berechnen, der den Richtlinien entspricht. Gehe dabei von einem Gewicht von 350g für den CanSat aus. Die Ergebniswerte kannst du in der Tabelle unten eintragen. **Beachte: 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 du deinen Kreuzfallschirm gegen einen Rundkappenfallschirm austauschst, wie musst du die Oberfläche anpassen, damit er weiterhin mit derselben Geschwindigkeit fällt?

→ Aufgabe 4: In der Ruhe liegt die Kraft

Hast du dich für ein Design entschieden, ist es unverzichtbar, dass du es testest. Obwohl die durchgeführten Berechnungen dir eine Vorstellung davon geben, was du zu erwarten hast, musst du deine Entwürfe dennoch unter realen Bedingungen testen. Bevor du das tust, solltest du dir den Flug des CanSat vor Augen führen und wie die Kräfte im Flugverlauf auf ihn einwirken werden.

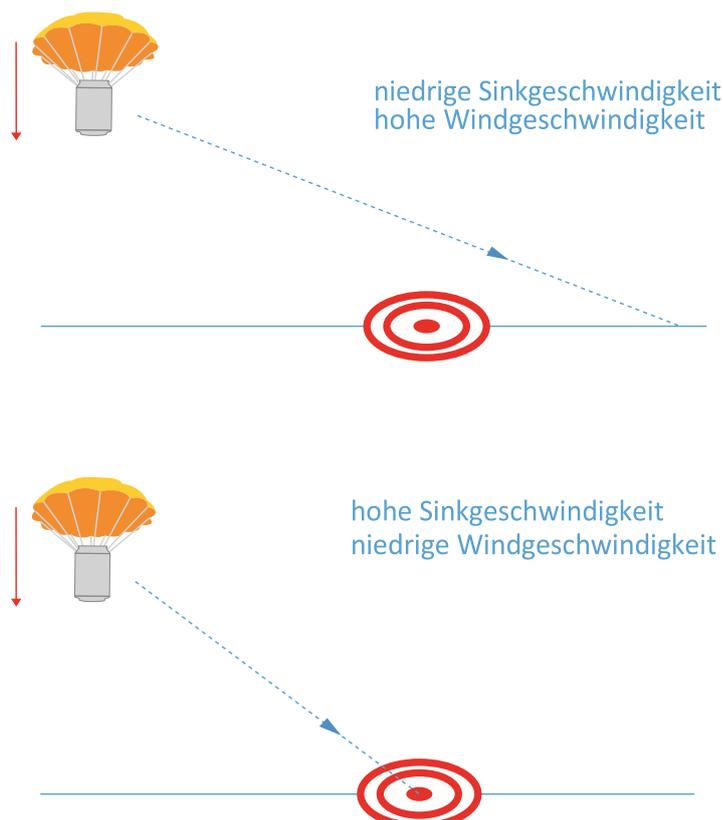
Was abhebt, kommt auch wieder runter

Schauen wir uns einmal an, wie sich Höhe und Geschwindigkeit deines CanSat im Verlauf des gesamten Fluges verändern werden. Wenn wir damit fertig sind, werden wir all unsere Erkenntnisse bündeln und du wirst bereit sein, deinen eigenen Fallschirm zu konstruieren!

Beim Sinkflug des CanSat müssen wir auch immer eventuelle Seitenwinde berücksichtigen und wie diese die Flugbahn beeinflussen könnten. Bedenke auch, dass manche Fallschirmtypen (z.B. Kreuzfallschirm) auch bei Windstille beträchtliche seitliche Geschwindigkeiten aufbauen können durch die eigene Stabilisierung beim Fall.

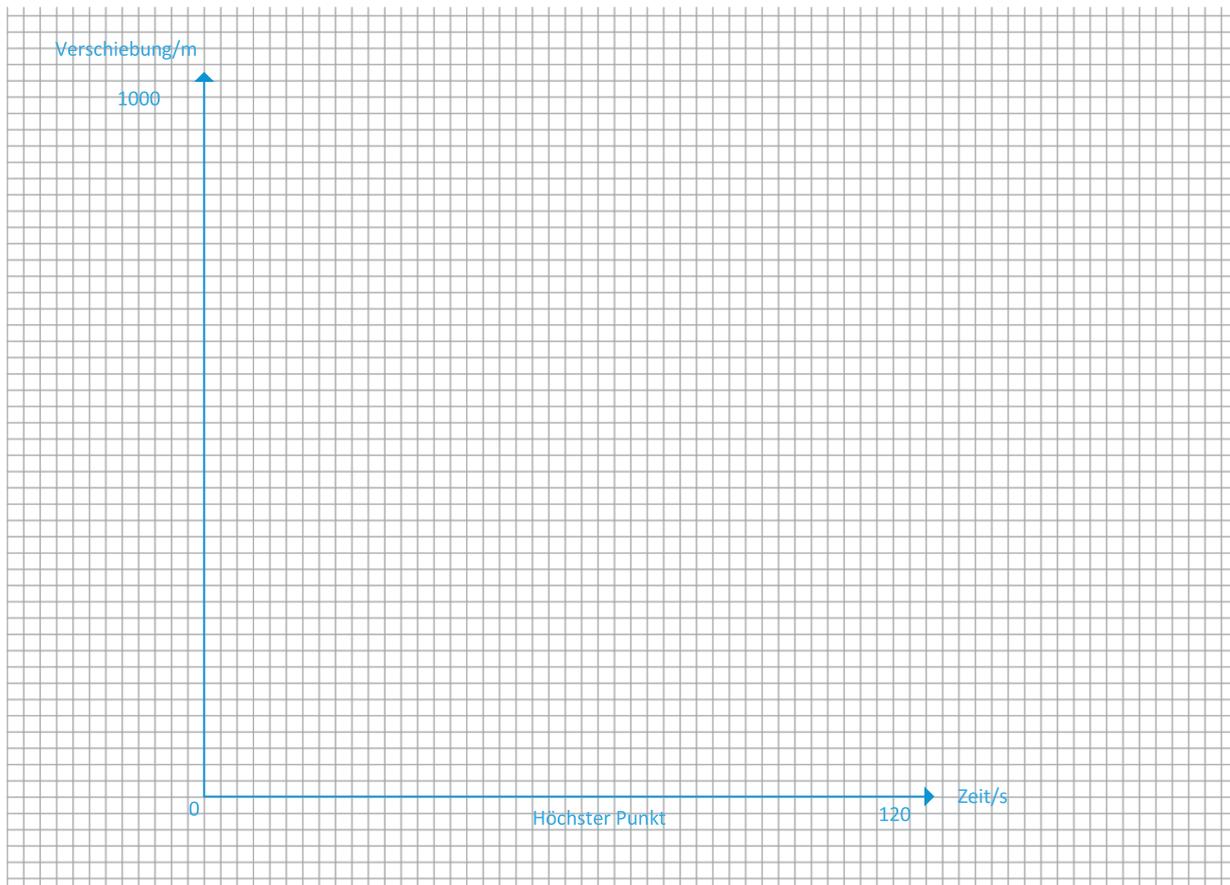
Abhängig von der Sinkgeschwindigkeit und der Windgeschwindigkeit kann dies bedeuten, dass der CanSat eine beträchtliche Strecke von der Abschussstelle entfernt wieder landet. Und genau deshalb ist die Sinkgeschwindigkeit so wichtig. Wenn dein CanSat zu langsam sinkt, könnte es sein, dass er vom Wind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

Schau dir hierzu folgendes Diagramm an.



Übung

1. Zeichne im Diagramm eine Kurve ein, wie du sie für die Veränderung der Höhe mit voranschreitender Zeit erwarten würdest, und zwar vom Start des CanSat bis zu seiner Landung und ohne Seitengeschwindigkeiten. Bedenke dabei, wie sich die Geschwindigkeit verändert und welchen Effekt dies auf die Form der Kurve hat.



Achtung: Beim Europäischen CanSat-Wettbewerb werden die selbstgebauten Satelliten bei einer Höhe von 1000m ausgeworfen wird!

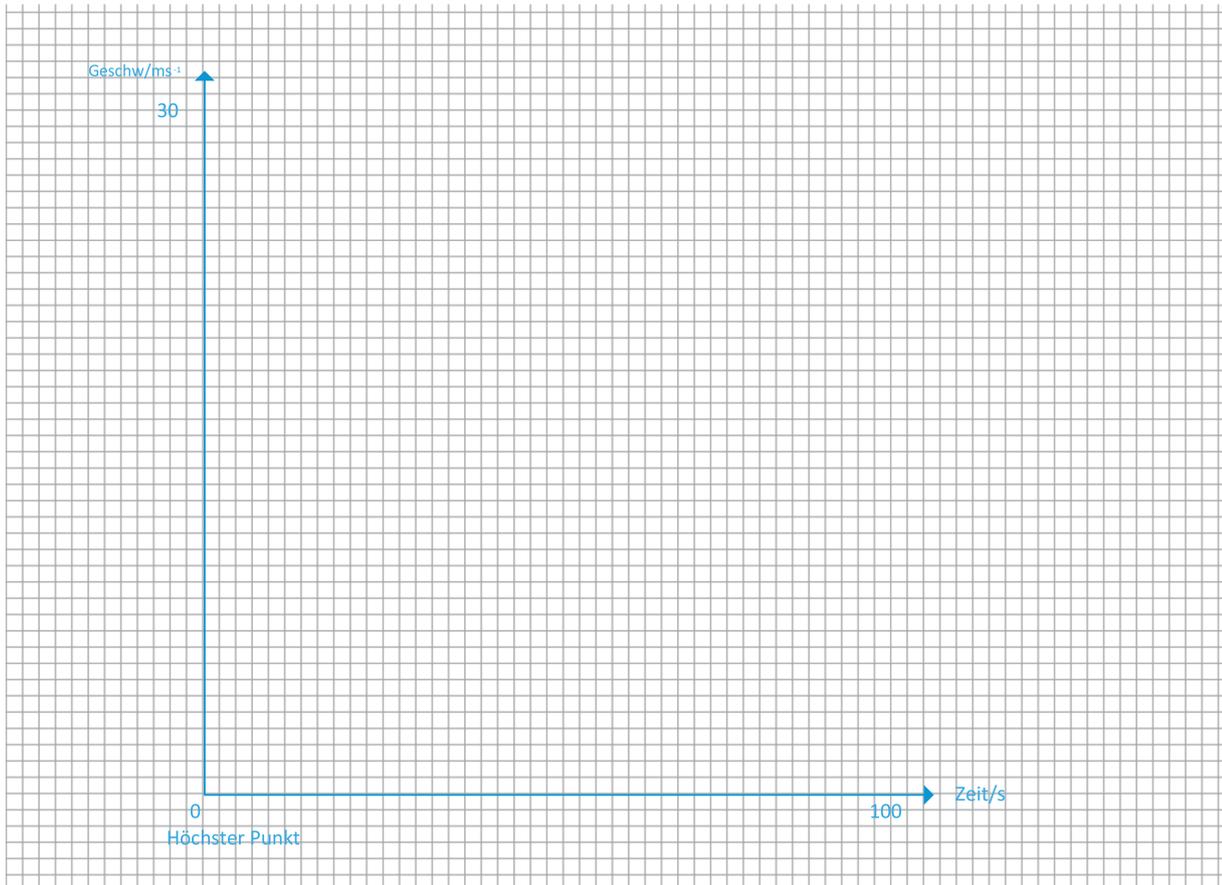
Der wichtigste Teil der Mission ist der Sinkflug, da hier der Fallschirm zum Tragen kommt.

Denken wir nun darüber nach, wie sich die Geschwindigkeit des CanSat beim Sinkflug verändert.

2. So wie wir es für die Höhe des CanSat schon getan haben, wollen wir jetzt eine Kurve einzeichnen, die zeigt, wie sich die Geschwindigkeit des CanSat während des Sinkflugs und ohne Rücksicht auf den Aufstieg verändert. Somit ergibt sich $t=0$ für das Auswerfen des CanSat aus der Rakete.

Denk über die folgenden Fragen nach, bevor du die Kurve einzeichnest:

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



Zeit zum Testen?

Jetzt da du ein ausreichendes Verständnis davon hast, wie sich ein CanSat im Flug verhält, und dich mit den Kräften, die währenddessen auf ihn einwirken, auskennst, kannst du mit dem Testen beginnen. Damit deine Arbeit nicht umsonst war, solltest du deinen Fallschirm zunächst zusammen mit einer CanSat-Attrappe testen!

Gesundheit und Sicherheit

Bevor du mit dem Testen beginnst, solltest du sicherstellen, dass ein Lehrer anwesend ist. Die CanSat-Attrappe mitsamt Fallschirm aus dem 2. oder 3. Stock absinken zu lassen, ist ein angemessener erster Test für den Fallschirm. Dabei musst du immer darauf achten, dass die Landefläche frei von Menschen oder Objekten ist, die beschädigt werden könnten!

Mit aufeinanderfolgenden Tests kannst du dein Fallschirmdesign fortlaufend verbessern, indem du die folgenden Parameter untersuchst:

- Verwendetes Material
- Verbindung zwischen Fallschirm und CanSat
- Fallschirmfläche
- Fallschirmfaltung

Sobald du dich dem endgültigen Fallschirmdesign zu nähern beginnst, solltest du darauf achten, dass das Gewicht deiner Attrappe möglichst genau dem Gewicht und den Dimensionen deines echten CanSat entspricht. Stimmt am Ende alles mit den CanSat-Richtlinien überein, ist dein Fallschirm fertig!

→ Links

Die Fruitychutes-Website enthält weitere Informationen zur Konstruktion von Fallschirmen:
https://fruitychutes.com/help_for_parachutes/how_to_make_a_parachute.htm

Informationen zur Konstruktion eines Kreuzfallschirms:
<http://www.nakka-rocketry.net/xchute1.html>

Hier wird die Mathematik zu flachen Fallschirmen besprochen:
[https://www.sunward1.com/imagespara/The%20Mathematics%20of%20Parachutes\(Rev2\).pdf](https://www.sunward1.com/imagespara/The%20Mathematics%20of%20Parachutes(Rev2).pdf)

Mehr Informationen zu unterschiedlichen Fallschirmdesigns:
<http://www.hsl.org.au/articles/parachutes.pdf>

Hintergrundinformationen zu Fallschirmen:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Parachute>



[CanSat Wettbewerb](#)