Austria

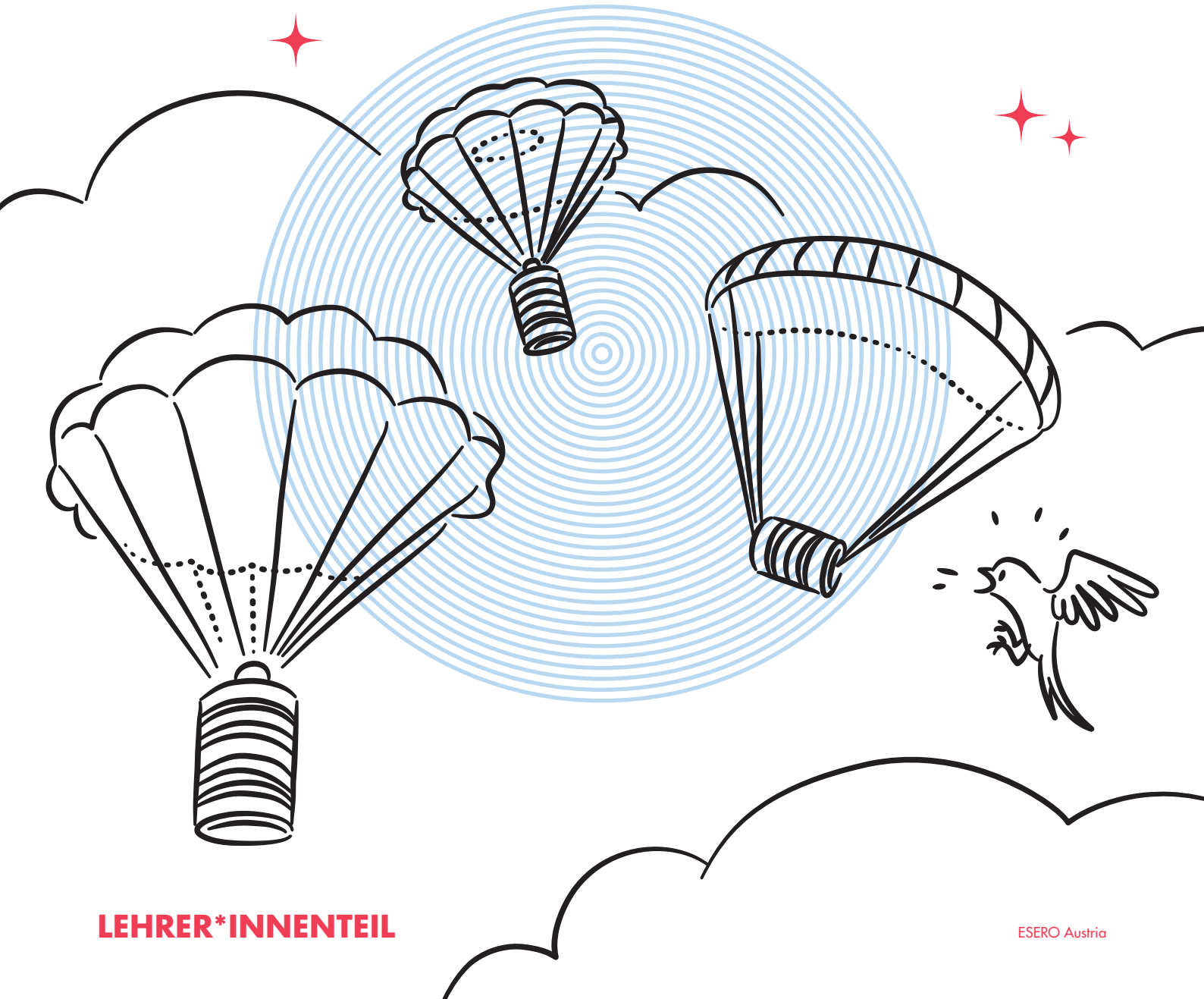
esero

EUROPEAN SPACE EDUCATION RESOURCE OFFICE
A collaboration between ESA & national partners

teach with space

SANFTE LANDUNG - BAUEN SIE EINEN FALLSCHIRM

Eine Anleitung zur sicheren Landung Ihres CanSats



LEHRER*INNENTEIL

ESERO Austria

ENTWERFEN SIE IHREN FALLSCHIRM

Eine Anleitung zur sicheren Landung Ihres CanSats

LEHRER*INNENTEIL

ZUSAMMENFASSUNG, ECKDATEN, ZIELE 3

ÜBERSICHT, EINFÜHRUNG 4

AKTIVITÄT 1 - DER FREIE FALL 5

AKTIVITÄT 2 - DER LUFTWIDERSTAND 6

AKTIVITÄT 3 - DIE BEDEUTUNG VON FLÄCHE UND FORM 8

AKTIVITÄT 4 - DAS RENNEN LANGSAM UND STETIG GEWINNEN 10

LINKS 12

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Ressource gibt den Schüler*innen einen kurzen Überblick über die verschiedenen Optionen, die beim Bau ihres CanSat-Fallschirms zur Verfügung stehen.

Die Schüler*innen lernen die zugrundeliegende Physik von Fallschirmen und deren Design kennen und wie sie die Geschwindigkeit ihres CanSat steuern können.

ECKDATEN

Alter: 14-20
Komplexität: Mittel
Dauer: 120 Minuten
Lehrplanbezug: Physik - Geschwindigkeit, Beschleunigung, freier Fall, Fallbeschleunigung, Endgeschwindigkeit
Unterstützende Dokumente: Erste Schritte mit CanSat
Methodik: Forschendes Lernen
Schlüsselwörter: Fallschirm, Luftwiderstand, Schwerkraft, Gewichtskraft, CanSat

ZIELE

- den Unterschied zwischen Gewicht und Masse verstehen
- verschiedene Fallschirmtypen erkennen und deren Design und Konstruktion unterscheiden können
- wissen, warum es wichtig ist, einen Fallschirm zu testen
- das Konzept der Endgeschwindigkeit verstehen
- s-t und v-t Diagramme mit korrekten Einheiten und Beschriftung erstellen können

ÜBERSICHT

ZUSAMMENFASSUNG DER AKTIVITÄTEN					
	Titel	**Beschreibung**	**Ziel**	**Voraussetzung**	**Dauer**
1	Der freie Fall	Die Schüler*innen führen ein einfaches Experiment durch, um das Konzept der Endgeschwindigkeit zu untersuchen.	Die Schüler*innen können beschreiben, welche Endgeschwindigkeit vorliegt.	keine	25 min
2	Der Luftwiderstand	In dieser Aktivität werden die Schüler*innen in die zugrundeliegende Physik des Fallschirmdesigns eingeführt.	Die Schüler*innen können die wichtigen Faktoren des freien Falls beschreiben.	Aktivität 1	15 min
3	Die Bedeutung von Fläche und Form	Es werden eine Reihe von Fallschirmkonstruktionen und die Folgen, die sie für einen fallenden Körper haben, besprochen.	Die Schüler*innen können ein geeignetes Fallschirmdesign für ihren CanSat erstellen.	Aktivität 1 und 2	25 min
4	Das Rennen langsam und stetig gewinnen	Der Start und die Landung eines CanSats wird genauer untersucht. Die Schüler*innen haben die Möglichkeit, ihren Fallschirm zu testen.	Die Schüler*innen können ein Weg-Zeit- und ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm des CanSats erstellen.	Aktivitäten 1-3. Ein Fallschirm für einen Falltest.	25 min

EINFÜHRUNG

Fallschirme sind ein wesentlicher Bestandteil jeder CanSat-Mission. Es könnte passieren, dass zu wenig Wert daraufgelegt wird, da es sich im Vergleich zu der komplexen Elektronik oft um ein einfaches Stück Stoff handelt; aber das wäre ein großer Fehler! Ohne einen gut gestalteten Fallschirm hat Ihr CanSat möglicherweise zu wenig Zeit, um seine wissenschaftlichen Ziele zu erreichen, oder noch schlimmer: er könnte abstürzen!

In dieser Ressource werden wir die zugrundeliegende Physik einer Fallschirmlandung untersuchen und beginnen, die Entscheidungen zu verstehen, die bei der Auswahl eines geeigneten Fallschirms für eine CanSat-Mission getroffen werden. Am Ende der Ressource sollten Sie sicher sein, dass Sie Ihren CanSat sicher starten und landen können!

AKTIVITÄT 1
DER FREIE FALL

In dieser Aktivität untersuchen die Schüler*innen das Konzept der Endgeschwindigkeit und des freien Falls, indem sie ein einfaches qualitatives Experiment durchführen und Murmeln in Öl und Wasser fallen lassen. Wenn Sie diese Aktivität abschließen, werden Sie beginnen, die Bedeutung der Flüssigkeit/des Gases in der Situation des freien Falls zu verstehen.

Übungen

1. **Was ist der zulässige Gewichtsbereich für den CanSat?**
   Der zulässige Gewichtsbereich beträgt 2,9 bis 3,4 Newton. Ein häufiger Fehler ist, dass die Schüler*innen Masse und Gewicht verwechseln und folglich 300 - 350 g antworten!

2. **Das Hammer- und Federexperiment wirft eine interessante Frage auf: Wie würde sich der Start eines CanSats unterscheiden, wenn er auf dem Mond durchgeführt würde?**
   Auf dem Mond werden die Gravitationseffekte deutlich reduziert, die Schwerkraft beträgt ca. ⅙ im Vergleich zur Erde! Dies bedeutet, dass viel weniger Kraft auf die Rakete wirkt.
   Viele Dinge könnten mit einem Raketenstart auf dem Mond passieren. Wenn die Rakete stark genug ist, hat sie genug Geschwindigkeit, um der Anziehungskraft des Mondes zu entkommen, und könnte in die Umlaufbahn gelangen. Vorausgesetzt, dies ist nicht der Fall, ist auch der Abstieg zur Mondoberfläche sehr unterschiedlich. Da auf dem Mond viel weniger Luft ist, ist der Luftwiderstand geringer. Dies könnte die verringerte Gravitationskraft etwas ausgleichen und zu einer signifikanten Fallgeschwindigkeit führen!
   In dieser Frage sollten Sie keine detaillierte quantitative Analyse erwarten, da das erforderliche physikalische Verständnis komplex ist, sondern Sie sollten nach berechtigten Denkprozessen zu einem Verständnis der Hauptunterschiede zwischen der Erd- und der Mondumgebung kommen.

   Video - Hammer und Federexperiment am Mond:
   www.youtube.com/watch?v=KDp1tiUsZw8

3. **Wie ändert sich die Geschwindigkeit der Murmeln, wenn sie den Zylinder hinunterfallen?**
   Füllen Sie einen Zylinder mit Öl und lassen Sie anschließend Murmeln hinuntergleiten.
   Wenn der von den Schüler*innen verwendete Zylinder lang genug ist, sollten die Schüler*innen erkennen können, dass die Murmeln eine Endgeschwindigkeit erreichen. Zunächst beschleunigen die Murmeln, bevor sie kurz mit konstanter Geschwindigkeit fallen, bevor sie den Boden des Zylinders erreichen.
   Auch hier soll das Experiment auf qualitativer Ebene gewürdigt werden. Ziel ist es, dass die Schüler*innen visuell erkennen können, dass eine Endgeschwindigkeit während des Falls erreicht wird.

4. **Was würden Sie erwarten, wenn Sie das Öl durch Wasser ersetzen würden?**
   Schreiben Sie Ihre Vorhersage auf und probieren Sie es aus!
   Bei Wiederholung mit Wasser sollten die Schüler*innen in der Lage sein, eine erhöhte Fallgeschwindigkeit zu erkennen und eine höhere Endgeschwindigkeit. Dies ist auf geringere Widerstandskräfte des Wassers im Vergleich zum Öl zurückzuführen.

AKTIVITÄT 2
DER LUFTWIDERSTAND

In dieser Aktivität erhalten die Schüler*innen eine Einführung in die zugrundeliegende Physik von Fallschirmen. Die Schüler*innen lernen, wie sie die auf einen Fallschirm einwirkenden Kräfte berechnen und wie sie sich für die richtige Größe des Fallschirms, den sie benötigen, entscheiden. Dies kann berechnet werden, indem das zweite Newtonsche Gesetz berücksichtigt und die im stationären Zustand wirkenden Kräfte ausgeglichen werden. Es ist wichtig, die Vereinfachungen zu beachten, die bei dieser Berechnung vorgenommen werden.

Übungen

1. **Beschriften und benennen Sie anhand Ihres Verständnisses aus dem Murmelexperiment die Kräfte, die während des Abstiegs auf Ihren CanSat wirken, auf den folgenden Bildern.**

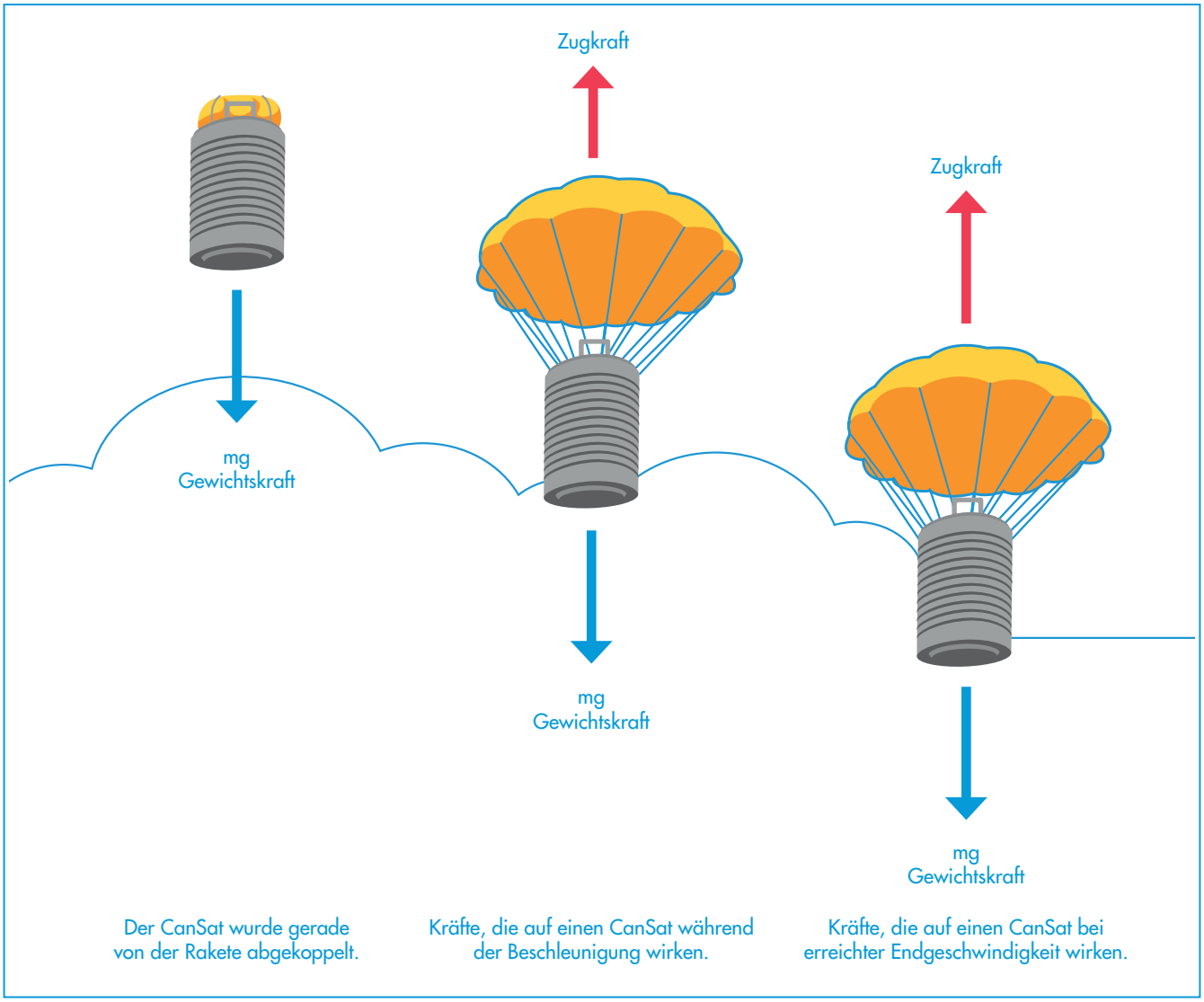


Abb. 1 | **Die Kräfte, die auf einen CanSat während des Fluges wirken.**

2. Angenommen, die Rakete startet Ihren CanSat in einer Höhe von 1000 m. Gemäß der in den CanSat-Richtlinien vorgeschriebenen Sinkgeschwindigkeit: Wie groß sollte die Zeitdauer zwischen dem Auswurf Ihres CanSats und der Landung sein (ohne Berücksichtigung der Beschleunigungsphase)?

Unter der Annahme einer Entfernung von 1000 m und der vorgegebenen Fallgeschwindigkeit in den CanSat-Richtlinien (8-11 ms^{-1}) können die Schüler*innen einen Bereich der erwarteten Falldauer berechnen.

Hinweis:
Der Einfachheit halber vernachlässigen wir jede Beschleunigungsphase und gehen von einer konstanten Geschwindigkeit für die gesamten 1000 m aus. In der Praxis wird dies natürlich nicht genau der Fall sein!

Berechnung:

Da $t = \frac{s}{v}$,
folgt für die minimale Falldauer:

$$t_{min} = \frac{1000\ m}{v_{max}}$$

$$t_{min} = \frac{1000\ m}{11\ \frac{m}{s}} = 90\ s$$

und für die maximale Falldauer:

$$t_{max} = \frac{1000\ m}{v_{min}}$$

$$t_{max} = \frac{1000\ m}{8\ \frac{m}{s}} = 125\ s$$

AKTIVITÄT 3
DIE BEDEUTUNG VON FLÄCHE UND FORM

In dieser Aktivität werden die Schüler*innen in die wichtigsten Fallschirmtypen eingeführt, die üblicherweise in CanSat-Projekten verwendet werden. Designüberlegungen werden ebenso diskutiert wie die positiven und negativen Aspekte der verschiedenen Designs. Es werden Links zu weiteren Ressourcen bereitgestellt, in denen die verschiedenen Typen ausführlicher erläutert werden.

Übungen

1. **Welche Faktoren in Gleichung 3 (siehe Schüler*innenteil) können durch das Design Ihres CanSats geändert werden?**
   Die Oberfläche des Fallschirms kann geändert werden, indem der Fallschirm kleiner oder größer gemacht wird. Der Luftwiderstandsbeiwert kann mit einem anderen Fallschirmstil geändert werden.

2. **Welcher Fallschirmtyp ergibt aus den obigen Luftwiderstandsbeiwerten (Tabelle 1 im Schüler*innenteil) die langsamste Fallgeschwindigkeit? Welcher ergibt die schnellste Fallgeschwindigkeit?**
   Anhand von Gleichung 3 können die Schüler*innen erkennen, dass der Widerstandsbeiwert umgekehrt proportional zur Geschwindigkeit ist. Je höher der Widerstandsbeiwert, desto niedriger die Fallgeschwindigkeit - das macht Sinn!
   Dies bedeutet, dass der halbkugelförmige Fallschirm die niedrigste Fallgeschwindigkeit hat, während der Kreuzfallschirm und der flache Fallschirm die höchste Fallgeschwindigkeit haben.

3. **Das Kreuzdesign ist einfach herzustellen, aber die Fallgeschwindigkeit im Vergleich zum halbkugelförmigen Design ist zu schnell. Was können Sie tun, um dies zu verhindern?**
   Wenn Sie sich noch einmal Gleichung 3 und ihre Bedeutung ansehen, können die Schüler*innen erkennen, dass sie dieses Problem überwinden können, indem sie die Fläche des Fallschirms vergrößern.

4. **Formen Sie die Gleichung 3 nach der Fläche A um.**

$$mg - \frac{1}{2} c_W \rho A v^2 = 0 \qquad | + - \frac{1}{2} c_W \rho A v^2$$

$$mg = \frac{1}{2} c_W \rho A v^2 \qquad | \cdot 2$$

$$2mg = c_W \rho A v^2 \qquad | : c_W \rho v^2$$

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

   Die Schüler*innen können dann diese Gleichung verwenden, um die Fallschirmfläche zu berechnen, die erforderlich ist, um eine bestimmte Fallgeschwindigkeit zu erhalten.

5. Nachdem Sie nun die Gleichung 3 nach der Fläche umgestellt haben, können Sie den Bereich der Flächen berechnen, die für die verschiedenen Arten von Fallschirmen möglich sind. Nehmen Sie dabei eine CanSat-Masse von 350 g an. Sie können die Werte in der folgenden Tabelle eingeben (Tabelle 2 im Schüler*innenteil).

Denken Sie daran: Der Bereich der zulässigen Geschwindigkeit beträgt 8-11 ms^{-1}.

Die Schüler*innen sollen die in Übung 4 gefundene Gleichung verwenden, um diese Frage zu beantworten. Zur Berechnung der minimalen und maximalen Flächen können sie die für die Fallgeschwindigkeit angegebenen Grenzen verwenden.

TABELLE 1			
Fallschirmtyp	**Widerstandsbeiwert**	**Minimale Fläche in m^2**	**Maximale Fläche in m^2**
Halbkreisförmig	0,62	0,08	0,14
Kreuz	0,8	0,06	0,11
Flach, sechseckig	0,8	0,06	0,11

Es ist wichtig zu beachten, dass diese Zahlen für unseren vereinfachten Ausdruck gelten. In der Praxis sollten die Schüler*innen ihren Fallschirm testen, um die minimal und maximal zulässigen Flächen zu bestimmen.

6. Wenn Sie Ihren Fallschirm von einem Kreuzfallschirm in einen halbkugelförmigen Fallschirm ändern wollen, welche Variable des Fallschirms sollten Sie so ändern, dass er mit der gleichen Geschwindigkeit wie zuvor fällt?

Die letzte Übung in dieser Aktivität hilft, das Verständnis der Schüler*innen zu festigen. Sie sollten in der Lage sein zu erkennen, dass der Wechsel von einem Kreuzfallschirm zu einem halbkugelförmigen Fallschirm eine Erhöhung des Widerstandsbeiwerts darstellt. Um die gleiche Sinkgeschwindigkeit aufrechtzuerhalten, ist daher eine Verringerung der Fallschirmfläche erforderlich. Die Schüler*innen können einen Schritt weitergehen und die erforderliche Abnahme mithilfe der Gleichung überprüfen; dies ist jedoch nicht unbedingt erforderlich.

AKTIVITÄT 4
DAS RENNEN LANGSAM UND STETIG GEWINNEN

In dieser Aktivität erhalten die Schüler*innen Anleitungen zur Durchführung eines Falltests für ihren Fallschirm. Es ist wichtig, die CanSat-Richtlinien beim Testen des Fallschirms zu berücksichtigen, um sicherzustellen, dass sie den Wettbewerbsrichtlinien entsprechen.

Übungen

1. **Tragen Sie in das untenstehende Diagramm eine Kurve ein, wie sich die Höhe mit der Zeit verändern würde, vom Start eines CanSats bis zur Landung, unter der Annahme, dass keine seitliche Geschwindigkeit aufgrund der Stabilität auftritt. Um die Kurve zu zeichnen, überlegen Sie, wie sich die Geschwindigkeit ändert und welche Auswirkungen dies auf die Form der Kurve hat.**

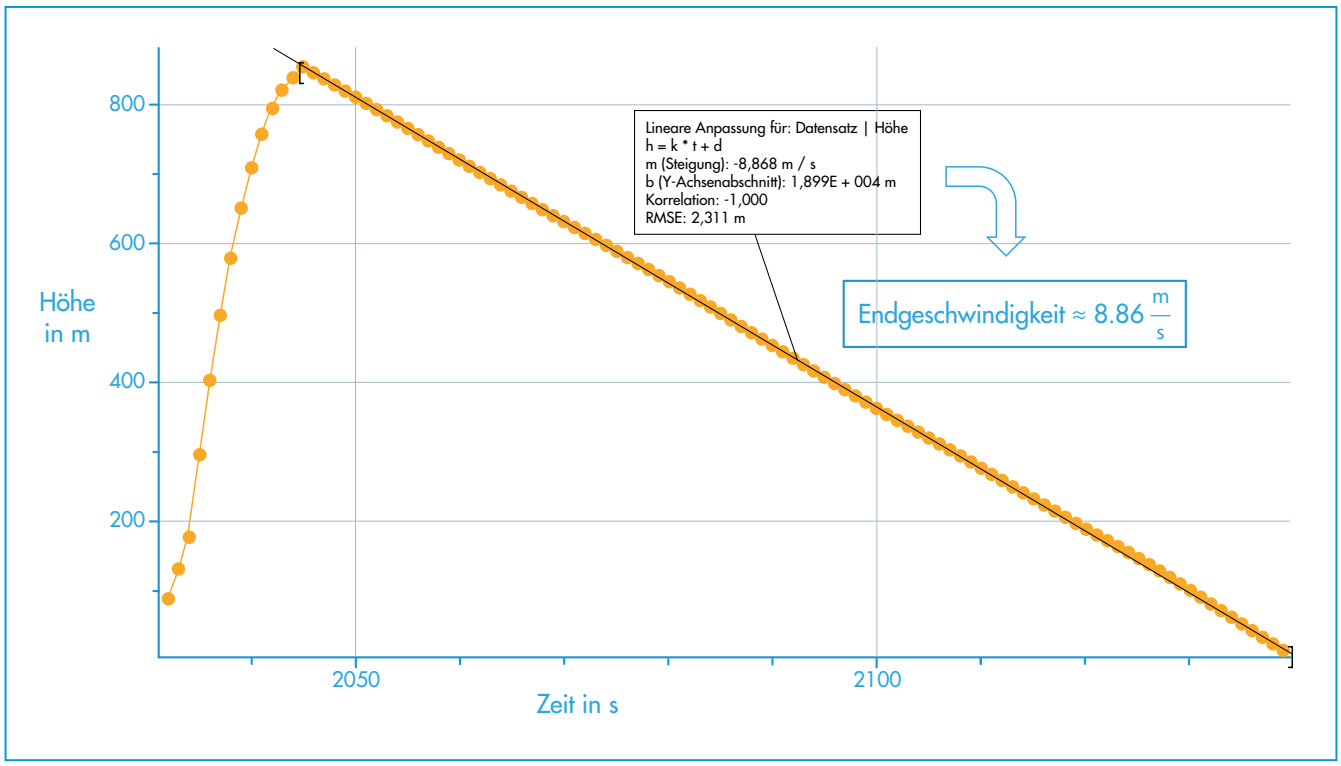


Abb. 2 | **Das Höhen-Zeit-Diagramm wurde beim europäischen CanSat-Wettbewerb 2018 vom Team AnaCan Skywalker aus Dänemark vorgestellt**

Der erste Teil der Kurve entspricht dem Aufstieg mit der Rakete. Auf ca. 800 m wird der CanSat freigegeben und fällt mit annähernd konstanter Geschwindigkeit (Endgeschwindigkeit) ab.
Die Endgeschwindigkeit kann als Steigung der Geraden berechnet werden.

2. Genau wie bei der Höhe zeichnen Sie nun eine Kurve in das untenstehende Diagramm ein, die zeigt, wie sich die Geschwindigkeit des CanSats während des Falls ändert (wir werden den Aufstieg mit der Rakete hier nicht berücksichtigen). Auf diese Weise wäre t = 0 der Abwurf des CanSat von der Rakete.

Nachdem der CanSat in maximaler Höhe freigegeben wurde, hat der CanSat einen Moment der Schwerelosigkeit, in dem sowohl Geschwindigkeit als auch Beschleunigung 0 sind. Danach beginnt der CanSat zu beschleunigen (AB), bis die Endgeschwindigkeit erreicht ist.
Dank des Fallschirms ist die Beschleunigungsphase extrem klein (vernachlässigbar bei der Berechnung der Geschwindigkeit). Im Rest des Falles hat der CanSat mit dem Fallschirm eine konstante Endgeschwindigkeit (CD).

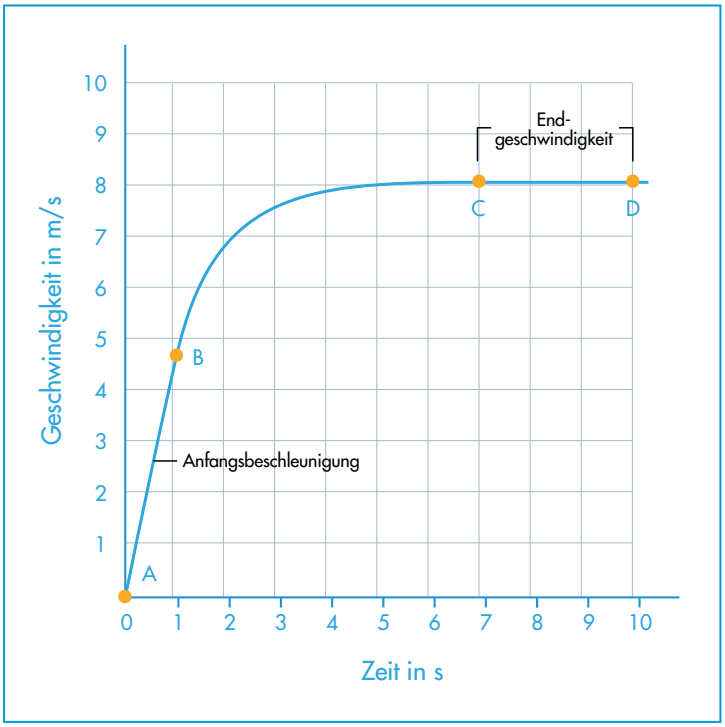


Abb. 3 | **Geschwindigkeits-Zeit-Beispieldiagramm von CanSat nach dem Abkoppeln.**

Austria

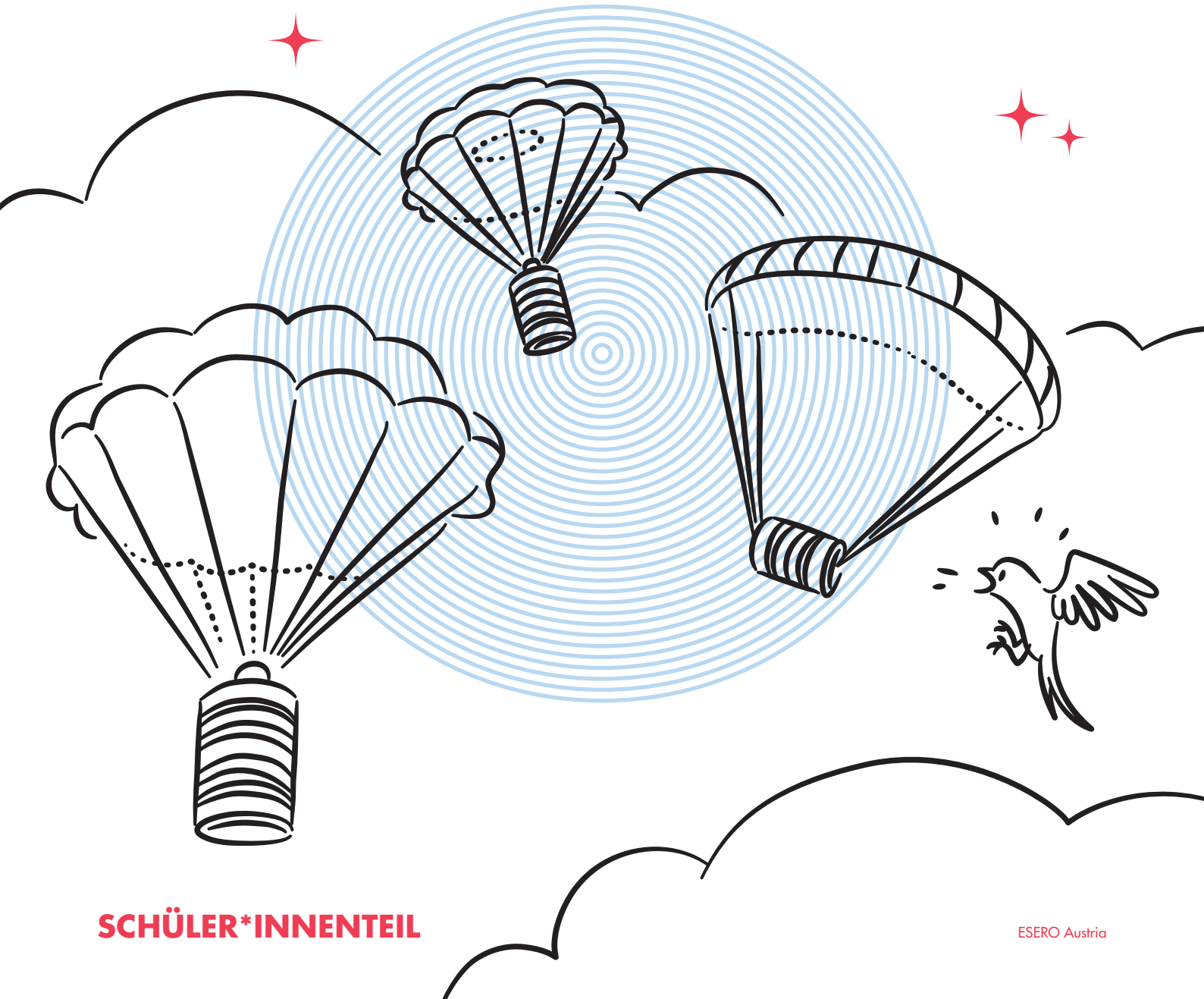
esero

EUROPEAN SPACE EDUCATION RESOURCE OFFICE
A collaboration between ESA & national partners

teach with space

ENTWERFEN SIE IHREN FALLSCHIRM

Eine Anleitung zur sicheren Landung Ihres CanSats



SCHÜLER*INNENTEIL

ESERO Austria

ENTWERFEN SIE IHREN FALLSCHIRM

Eine Anleitung zur sicheren Landung Ihres CanSats

SCHÜLER*INNENTEIL

ZUSAMMENFASSUNG 3

AKTIVITÄT 1 - DER FREIE FALL 4

AKTIVITÄT 2 - DER LUFTWIDERSTAND 8

AKTIVITÄT 3 - DIE BEDEUTUNG VON FLÄCHE UND FORM 11

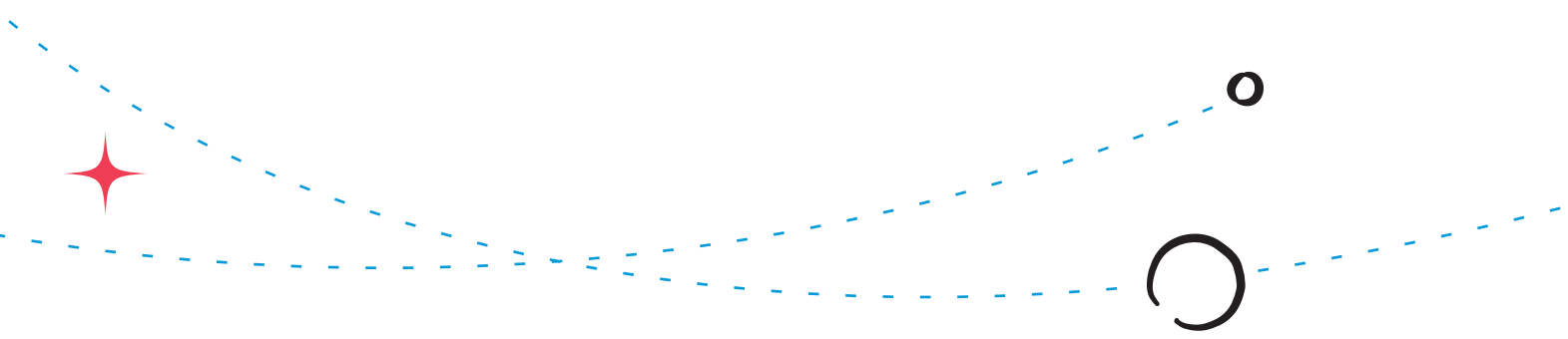
AKTIVITÄT 4 - DAS RENNEN LANGSAM UND STETIG GEWINNEN 16

LINKS 20

ZUSAMMENFASSUNG

Nach dem Start Ihres CanSats ist es eines der wichtigsten Dinge, dass er sicher landet.
Ohne eine sichere Landung kann der CanSat möglicherweise irreparabel beschädigt werden. Der naheliegendste Weg, um eine sichere Landung für Ihren CanSat zu ermöglichen, besteht darin, einen Fallschirm anzubringen, eine Vorrichtung, welche die Geschwindigkeit des fallenden Objekts verringert und zu einer weicheren Landung führt.

Ein Fallschirm hat noch einen weiteren großen Vorteil:
Durch Verringern der Geschwindigkeit des CanSat erhöhen Sie die Zeit, die zum Sammeln der Daten zur Verfügung steht! Wir werden uns nun ansehen, wie ein Fallschirm funktioniert und welche Überlegungen Sie beim Entwerfen und Herstellen Ihres Fallschirms anstellen sollten.



AKTIVITÄT 1
DER FREIE FALL

Die Endgeschwindigkeit ist eines der wichtigsten Konzepte, die wir verstehen müssen, bevor wir über den Bau eines Fallschirms nachdenken. In dieser Aktivität führen wir ein einfaches Experiment durch, um zu verstehen, was Endgeschwindigkeit bedeutet.

Was rauffliegt, muss auch wieder runterkommen.

Alles auf der Erde wird aufgrund der Schwerkraft bzw. Gravitation nach unten gezogen. Die Gravitation der Erde wird durch die Masse der Erde verursacht.
Die Gewichtskraft eines Körpers ist die Kraft, die er aufgrund der auf seine Masse einwirkenden Schwerkraft erfährt:
Gewichtskraft = Masse mal Fallbeschleunigung

$$F_G = m \cdot g$$

Gemäß den CanSat-Richtlinien muss die CanSat-Masse im Bereich von 300 bis 350 g bzw. 0,3 bis 0,35 kg liegen.

Übungen

1. **Was ist der zulässige Bereich der Gewichtskraft für den CanSat?**

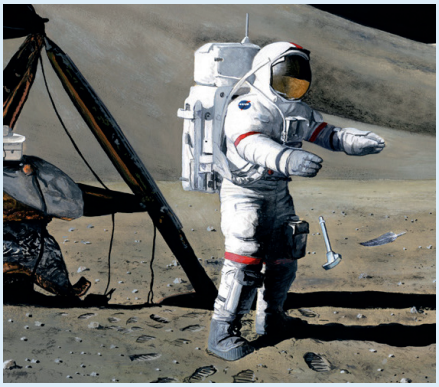
Wenn ein Objekt unter den Einfluss der Schwerkraft fällt, nimmt es an Geschwindigkeit zu bzw. beschleunigt. Auf der Erde ist die Fallbeschleunigung 9,81 ms^{-2}. Stellen wir uns vor, es herrscht ein Vakuum und wir werfen zwei Objekte aus einem Gebäude. Da es keine Flüssigkeit oder Gas gibt, die eine Widerstandskraft ausüben, fallen beide Objekte mit der gleichen zunehmenden Geschwindigkeit (auch wenn sie völlig unterschiedliche Massen haben)!

Diese Tatsache kann nicht intuitiv sein, da auf der Erde die Luft eine Widerstandskraft auf die fallenden Objekte ausübt. So fällt beispielsweise eine Feder langsamer als eine Kugel.
Der Schlüssel dazu ist das Medium, in dem die Objekte fallen - ob Luft, Öl oder Vakuum.

Wussten Sie schon?

Der Astronaut David Scott demonstrierte dieses Prinzip während der Apollo 15-Mondlandung. Er ließ einen geologischen Hammer und eine Feder aus derselben Höhe auf die Mondoberfläche fallen. Da am Mond im Wesentlichen Vakuum herrscht, gibt es wenig bis keinen Luftwiderstand, und so fielen beide Objekte mit der gleichen Geschwindigkeit! Hier können Sie den Hammer und die Feder sehen, die auf der Oberfläche des Mondes hervorgehoben werden.

www.youtube.com/watch?v=KDp1tiUsZw8



Quelle: Ed Hengeveld

2. Das Hammer-Feder-Experiment wirft eine interessante Frage auf: Wie würde sich der Start eines CanSats unterscheiden, wenn er auf dem Mond durchgeführt würde?

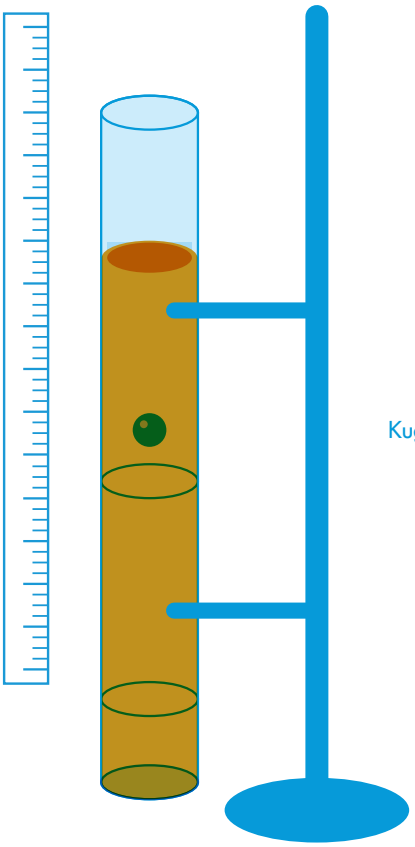
Untersuchung der Wirkung einer Flüssigkeit auf herabfallende Objekte

Was passiert mit einem Objekt, wenn es in eine Flüssigkeit fällt?
Lassen Sie uns ein kleines Experiment durchführen, um es herauszufinden.

Experiment

Für dieses Experiment benötigen Sie:

- einen Klemmständer
- einen Messzylinder oder ein Glasrohr (je höher und breiter desto besser)
- Öl (Glycerin funktioniert gut) oder Sirup
- ein Lineal
- Kugellager oder Murmeln verschiedener Größen
- Gummibänder
- Eine Stoppuhr (Sie können den Timer Ihres Mobiltelefons verwenden)
- Ein Magnet (wenn Sie Metallkugellager verwenden)
- Wasser



Hinweis:
Wenn Sie einen Glasmesszylinder verwenden, empfiehlt es sich, einen Gummistopfen oder einen Wattebausch innen am Boden des Zylinders anzubringen. Dies verhindert, dass das Kugellager oder die Murmeln das Glas beim Auftreffen zerstören. Der Magnet kann helfen, die Kugellager nach dem Herunterfallen aus dem Zylinder zu ziehen.

Ablauf:

Variante A - Wenn Sie ein IPhone haben:

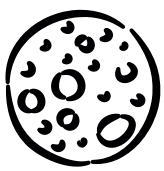
1. Bauen Sie den Versuchsaufbau wie in der obigen Abbildung gezeigt auf.
2. Laden Sie die App ‚Vernier Video Physics' herunter:
   https://itunes.apple.com/us/app/vernier-video-physics/id389784247
3. Nehmen Sie auf, während Sie eine Murmel in den Zylinder fallen lassen.
4. Verwenden Sie die Funktionen der App, um die Geschwindigkeit der Murmeln an jedem Punkt zu berechnen.
5. Wiederholen Sie den Versuch!

Variante B - Wenn Sie ein Android-Telefon haben:

1. Bauen Sie den Versuchsaufbau wie in der obigen Abbildung gezeigt auf.
2. Laden Sie die App ‚VidAnalysis Free' herunter:
   https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vidanalysis.free
3. Nehmen Sie auf, während Sie eine Murmel in den Zylinder fallen lassen.
4. Verwenden Sie die App, um die Geschwindigkeit des Marmors an jedem Punkt zu berechnen.
5. Wiederholen Sie den Versuch!

Variante C - Der altmodische Weg!

1. Bauen Sie den Versuchsaufbau wie in der obigen Abbildung gezeigt auf.
2. Starten Sie die Stoppuhr, während Sie die Murmel in den Zylinder fallen lassen.
3. Stoppen Sie die Stoppuhr, wenn die Murmel eine bestimmte Strecke zurücklegt. Abhängig von der Geschwindigkeit der Murmel sollte dies alle 5 cm möglich sein. Sie müssen diese Messungen wahrscheinlich über mehrere Versuche hinweg durchführen.
4. Verwenden Sie diese Messungen, um die Geschwindigkeit der Murmeln an jedem Punkt zu berechnen.
5. Wiederholen Sie den Versuch!



Übungen

3. Wie ändert sich die Geschwindigkeit der Murmeln, wenn sie den Zylinder hinunterfallen?

4. Was würden Sie erwarten, wenn Sie das Öl durch Wasser ersetzen würden? Schreiben Sie Ihre Vorhersage auf und probieren Sie es aus!

Anders als im Vakuum erreicht ein fallender Gegenstand in einer Flüssigkeit (irgendwann) eine **Endgeschwindigkeit.**

Die Endgeschwindigkeit tritt auf, wenn die Widerstandskräfte, die dem fallenden Objekt entgegengesetzt sind, gleich der Gewichtskraft sind, die auf die Masse des Objekts wirkt.

Ein fallender Gegenstand in der Luft hat viel weniger Kontakt mit umgebenden Partikeln als wenn er durch Öl fällt. Daher gibt es weniger Widerstand gegen seine Bewegung und er kann schneller fallen. Befindet sich der Körper in Luft, nennen wir diesen Widerstand **Luftwiderstand;** Sie sind wahrscheinlich sehr vertraut mit diesem Begriff.

Das Ausmaß des Widerstands (oder der Widerstandskräfte beim Fallen durch andere Medien wie zum Beispiel Öl) hängt ab von:
1. der Dichte des Mediums (ρ)
2. der Geschwindigkeit des Objekts (v)
3. der Querschnittsfläche (A)
4. dem Widerstandsbeiwert (c_w)

Im nächsten Abschnitt werden wir untersuchen, wie all diese Variablen den Fall des CanSats beeinflussen.

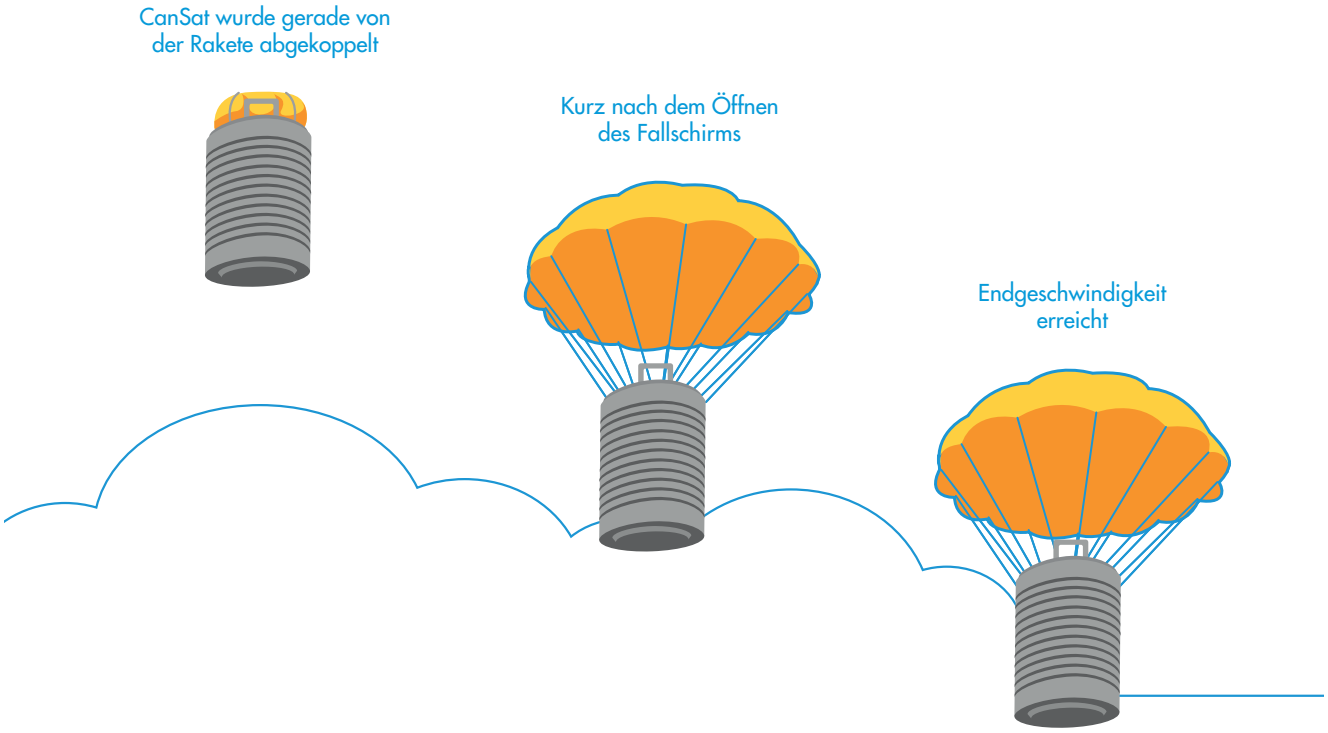
AKTIVITÄT 2
DER LUFTWIDERSTAND

Es gibt Möglichkeiten, die Endgeschwindigkeit in einem Fluid, das nicht sehr viskos ist, (wie z.B. Luft) zu verringern: mit Hilfe eines Fallschirms vergrößert man die projizierte Fläche, die mit der Luft in Kontakt steht.

Übung

1. **Beschriften und benennen Sie mit Hilfe Ihrer Erkenntnisse aus dem Murmelexperiment die Kräfte auf den CanSat während des Sinkflugs.**

   Sie sollten die relative Größe der Kräfte mit der Länge des Pfeils angeben.



Möge die Kraft mit Ihrem Fallschirm sein

Lassen Sie uns nun die an diesem Prozess beteiligten Kräfte analysieren und die Richtung des CanSats (nach unten) als positive Richtung der Kraft auswählen. Die erste Kraft, die uns in den Sinn kommt, ist die Gewichtskraft des CanSats, eine Kraft, die nach unten gerichtet ist (da sie eine Folge der Gravitation der Erde ist).

$$F_G = m \cdot g \qquad \text{Gleichung 1}$$

Wobei gilt:
m = Masse des CanSats in kg (typischer Wert: 0,35 kg)
g = Fallbeschleunigung; g=9,81 ms^{-2}

Wenn der CanSat durch die Luft fällt, erfährt er durch den Fallschirm eine Widerstandskraft (die dem Gewicht entgegenwirkt):

$$F_{Wid} = -\frac{1}{2} c_W \rho A v^2 \qquad \text{Gleichung 2}$$

Wobei gilt:
A = Fallschirmfläche in m^2
c_W = Widerstandsbeiwert des Fallschirms - dieser Wert hängt von der Form / Geometrie des Fallschirms ab; Beispielwerte sind im nächsten Abschnitt aufgeführt. (keine Einheit)
ρ = lokale Dichte der Luft, angenommen konstant bei 1,225 kg/m^3.
v = Fallgeschwindigkeit des CanSats in m/s
Newtons zweites Gesetz besagt:

$$F_{netto} = \sum F_i = m \cdot a$$

Hinweis:
Beim Fallen wird diese Nettokraft einige Sekunden lang nicht Null sein (sie wird beschleunigen und für kurze Zeit verlangsamen), aber wir werden dies jetzt vernachlässigen, da die meiste Zeit des Fallens der CanSat die Endgeschwindigkeit besitzt.
Dies angenommen, dann ist a = 0 und daher F_{netto} = 0, wenn die Endgeschwindigkeit erreicht ist. Das gibt uns:

Gewichtskraft + Luftwiderstand = 0

$$F_G + F_{wid} = 0$$

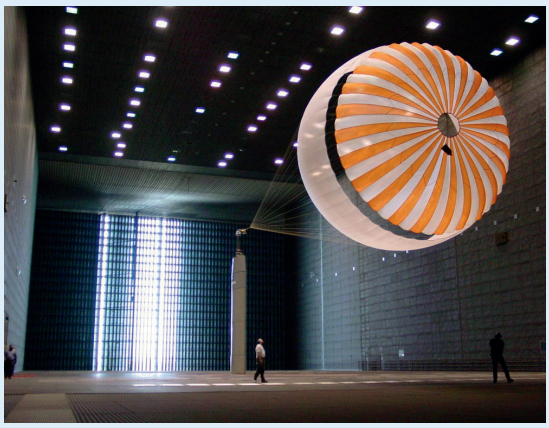
Wenn wir also die Kräfte in der z-Achse ausgleichen, finden wir folgende Gleichung:

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

Wenn Sie sich später für das Design Ihres Fallschirms entschieden haben, können Sie diese Gleichung neu anordnen und den Bereich für die Fallgeschwindigkeit auf Grund der Fläche berechnen. Denken Sie daran, wir haben hier einige Näherungen vorgenommen. Sie müssen noch die Sinkgeschwindigkeit Ihres Fallschirms testen und messen!

Haben Sie schon gewusst?

Die Viking-Raumsonde, die 1976 erfolgreich einen Lander auf die Oberfläche des Mars schickte, war auf eine sehr ähnliche Art wie Ihre Fallschirme, die Sie entwerfen werden, gebaut. Die einzigartige Herausforderung, die der Mars darstellte, war seine Atmosphäre. Mit einer Atmosphäre, die weniger als 1 % der Dicke der Erdatmosphäre hat und mit Überschallgeschwindigkeit war ein Fallschirm allein nicht ausreichend, um eine langsame, stabile Landung zu ermöglichen. Um das Problem zu lösen, setzten die NASA-Ingenieure Raketen zur Unterstützung der Landung ein - leider werden Sie nicht in der Lage sein, das Gleiche tun, also müssen Sie Ihr Fallschirmdesign perfektionieren!



Der Fallschirm der Viking-Raumsonde während des Testens.

Gemäß den Wettbewerbsrichtlinien für den CanSat sollte er einige Sekunden nach dem Auslösen des Fallschirms (dh nach dem Start) eine Sinkrate (Endgeschwindigkeit) zwischen 8 und 11 m / s haben. Nicht zu langsam, damit er nicht zu weit vom Startort entfernt ist, und nicht zu schnell, damit er genug Zeit zum Sammeln der Daten hat. Sonst riskiert man eine harte Landung.

Hinweis:
Der Flugplatz kann zusätzliche obligatorische Einschränkungen für den CanSat festlegen.

Übung

2. **Angenommen, die Rakete startet Ihren CanSat in einer Höhe von 1000 m. Gemäß der in den CanSat-Richtlinien vorgeschriebenen Sinkgeschwindigkeit: Wie groß sollte die Zeitdauer zwischen dem Auswurf Ihres CanSats und der Landung sein (ohne Berücksichtigung der Beschleunigungsphase)?**

AKTIVITÄT 3
DIE BEDEUTUNG VON FLÄCHE UND FORM

In dieser Aktivität werden wir einige der Grundprinzipien des Fallschirmdesigns betrachten. Wir werden die wichtigsten Arten von Fallschirmen, auf die Sie beim Entwerfen Ihres Fallschirms stoßen, besprechen. Außerdem werden wir die Vor- und Nachteile der einzelnen Fallschirme untersuchen.

Auswahl der Materialien Ihres Fallschirms

Das Auswerfen des Fallschirms ist relativ heftig, daher müssen der Stoff und die Fasern, die Sie verwenden, stark sein. Berücksichtigen Sie, dass die Kraft, die der Fallschirm erfährt (und auch die Nutzlast, an der er angebracht ist), doppelt so hoch sein kann wie die Kraft, die während der Endgeschwindigkeit wirkt!

In dieser Analyse konzentrieren wir uns auf den Einfluss Ihres Fallschirms auf die Endgeschwindigkeit. Sie sollten sich jedoch bewusst sein, dass nicht nur die Endgeschwindigkeit (verstanden als vertikale Geschwindigkeit) wichtig ist: Unterschiedliche Fallschirmkonstruktionen haben unterschiedliche „Stabilitätsleistungen", und wir müssen auch die Quergeschwindigkeit berücksichtigen. **Im Allgemeinen ist ein Fallschirm umso weniger stabil, je mehr Luftwiderstand vorhanden ist.**

Geeignete Materialien sind Nylonschnüre und Rip-Stop-Gewebe, die in einem Kite-Shop gekauft werden können. Diese Materialien sind ideal für Ihren Fallschirm. Eine Hauptschwäche ist der Befestigungspunkt der Schnur und des Fallschirmmaterials. Verwenden Sie keine Angelschnur. Beim Schneiden des Stoffes sollten Sie berücksichtigen, dass ein Teil des Stoffes eingeschlagen werden muss, um ihn nähen zu können.

Auswählen des Designs Ihres Fallschirms

Schauen wir uns die Gleichung für unseren Fall des CanSats an:

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

Übung

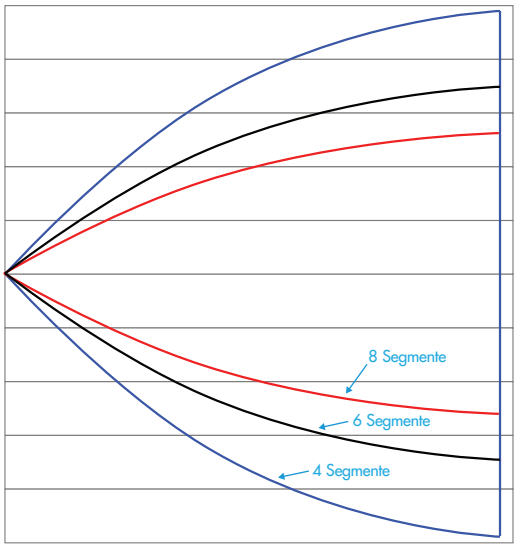
1. **Welche Faktoren in Gleichung 3 können zusammen mit dem Design Ihres CanSat geändert werden?**

Fallschirmformen

Die einfachsten Arten von Fallschirmen sind das flache kreisförmige Blatt und die kugelförmigen Fallschirme. Das Problem bei diesen Konstruktionen ist, dass sie sich mit Luft füllen und zur Seite kippen, um Luft auszulassen.

Manchmal kann ein Überlaufloch helfen, einen Fallschirm zu stabilisieren. Wir werden kurz einige der verschiedenen Arten von Fallschirmen untersuchen, die Sie für Ihren CanSat entwerfen können.

Halbkugelförmiger Fallschirm



Ein halbkugelförmiger Fallschirm ist wahrscheinlich das Design, das Ihnen sofort in den Sinn kommt, wenn Sie aufgefordert werden, an einen Fallschirm zu denken. Der Stoff bildet eine Halbkugel mit Luft. Es besteht aus Abschnitten bzw. Segmenten. Jedes Segment wird zusammengenäht, um die vollständige halbkugelförmige Form zu bilden. Je mehr Segmente verwendet werden, desto näher kommt die Form einer echten Halbkugel, aber desto komplexer ist die Herstellung.

Der Winkel zwischen den beiden Innenseiten der Segmente nimmt ab, je mehr Segmente Sie hinzufügen. Der Winkel kann mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$360°/n$$

wobei n die Anzahl der Segmente ist.

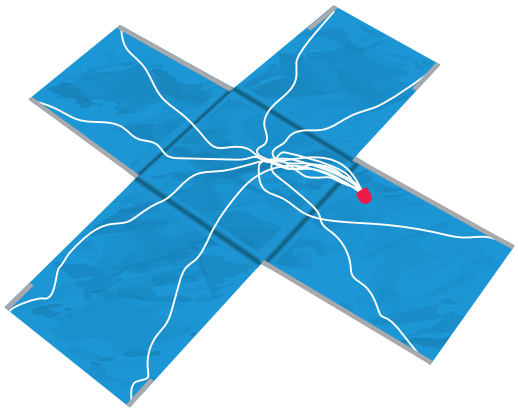
Hier sehen Sie drei typische halbkugelförmige Fallschirme, die den Abstieg des Orion-Moduls unterstützen. Beachten Sie die verschiedenen Farben. Sie können sehen, wie die einzelnen Segmente zusammenpassen, um die halbkugelförmige Form zu bilden.

Das Verfahren zum Aufbau eines halbkugelförmigen Fallschirms ist wie folgt:

- Zeichnen Sie zunächst die Form der Segmente am Material nach und schneiden Sie sie aus. Achten Sie darauf, dass der Saum ca. 2 cm lang ist.
- Nähen Sie die Kanten zusammen, um die Fallschirmform zu bilden.
- Nähen Sie abschließend Schnüre an den Fallschirm*, damit er an Ihrem CanSat befestigt werden kann.

* Beachten Sie, dass die Schnüre normalerweise durch die Segmente verlaufen: Die Last (der Luft) wird nicht von den Segmenten selbst, sondern von den Schnüren aufgenommen. In der Regel beginnt eine Schnur am Rand, verläuft entlang eines Segments, geht durch den gegenüberliegenden Segment und kommt zum Rand zurück.

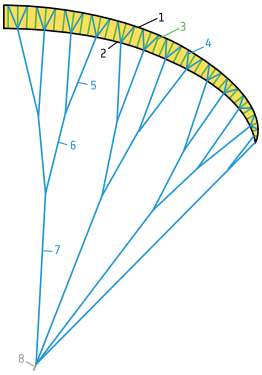
Kreuzfallschirm



Ein Kreuzfallschirm ist leichter zu nähen als ein halbkugelförmiger Fallschirm, da die normale Form leichter von Hand hergestellt werden kann.

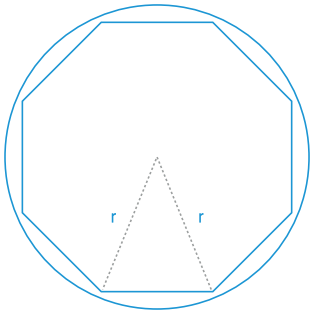
Informationen zur Herstellung eines solchen Fallschirms finden Sie hier:
www.nakka-rocketry.net/xchute1.html

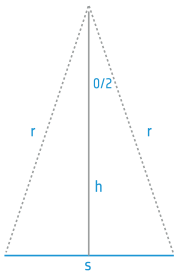
Gleitschirm



Sie haben vielleicht schon einmal ein Gleitschirmdesign gesehen, wenn Sie Interesse am Gleitschirmfliegen haben. Der größte Vorteil eines Gleitschirmdesigns ist, dass es möglich ist zu lenken. Es ist jedoch schwieriger zu entwerfen und herzustellen als die oben beschriebenen einfacheren Designs.

Flacher Fallschirm





Flache Fallschirme sind die am häufigsten erhältlichen Fallschirme, die aus flachen geometrischen Figuren wie Sechsecken oder Achtecken hergestellt werden. Die Abbildung zeigt, dass der achteckige Fallschirm aus 8 gleichen Dreiecken besteht.

Dies sind einige Arten von Fallschirmen, die für einen CanSat geeignet sind.
Der Widerstandsbeiwert für jeden sind in der folgenden Tabelle angeführt.

TABELLE 1		
Fallschirmdesign	**Widerstandsbeiwert c_w**	**Bemerkung**
Halbkreisförmig	0,62-0,77	sehr verbreitet, sehr aufwändig in der Herstellung
Kreuz	0,6-0,8	leicht herstellbar, sehr häufig für CanSats verwendet
Gleitschirm	0,75-1,10	komplizierter Aufbau, gesteuerte Landung möglich
Flach, sechseckig	0,75-0,80	leicht herstellbar, sehr häufig für CanSats verwendet

Wenn Sie Ihren eigenen flachen Fallschirm herstellen möchten, benötigen Sie:

- Geeignetes Material - Rip-Stop-Stoff ist am besten
- Seile / Schnüre zum Verbinden des CanSat mit dem Fallschirm
- Zwirn zum Nähen der Säume und Kanten des Fallschirms und der Schnüre.

Der Vorgang ist ganz einfach. Nehmen Sie einfach Ihren Stoff und schneiden Sie ihn mit einer Schablone in die gewünschte Größe und Form. Lassen Sie am besten einige Zentimeter um die Kante, damit Sie sie umklappen können, um die Struktur zu verstärken. Schneiden Sie die Schnüre auf eine geeignete Länge und nähen Sie sie an den Fallschirm, und schon können Sie ihn testen!

Übung

2. **Welcher Fallschirmtyp ergibt aus den obigen Luftwiderstandsbeiwerten die langsamste Sinkgeschwindigkeit? Welcher ergibt die schnellste Fallgeschwindigkeit?**

3. **Das Kreuzdesign ist einfach herzustellen, aber die Fallgeschwindigkeit im Vergleich zum halbkugelförmigen Design ist zu schnell. Was können Sie tun, um dies zu ändern?**

Bestimmung der Fläche

Nachdem wir nun die maximale und minimale Geschwindigkeit (8-11 ms^{-1}) und die unterschiedlichen Luftwiderstandsbeiwerte der verschiedenen Fallschirmtypen haben, können wir die erforderliche Fläche unseres Fallschirms berechnen.

Übung

4. **Formen Sie die Gleichung 3 nach der Fläche A um:**

5. **Nachdem Sie nun die Gleichung umgestellt haben, berechnen Sie die minimal und maximal mögliche Fläche unter der Annahme einer Masse von 350 g. Berechen Sie dies für alle vorgestellten Fallschirmtypen. Sie können Ihre Ergebnisse in der folgenden Tabelle eintragen.**

   Denken Sie daran: Der zulässige Geschwindigkeitsbereich beträgt 8-11 ms^{-1}.

TABELLE 2			
Fallschirmdesign	**Widerstandsbeiwert c_w**	**minimale Fläche**	**maximale Fläche**
Halbkreisförmig	0,62		
Kreuz	0,8		
Gleitschirm	0,8		
Flach, sechseckig	0,8		

6. **Wenn Sie Ihren Fallschirm von einem Kreuzfallschirm in einen halbkugelförmigen Fallschirm ändern wollen, welche Variable des Fallschirms sollten Sie so ändern, dass er mit der gleichen Geschwindigkeit wie zuvor fällt?**

AKTIVITÄT 4
DAS RENNEN LANGSAM UND STETIG GEWINNEN

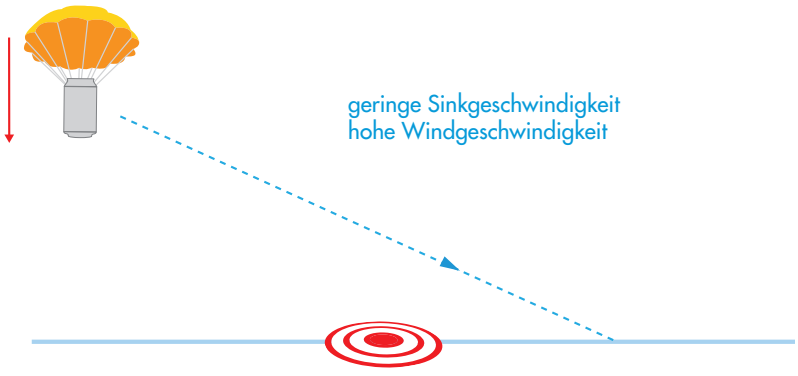
Wenn Sie sich für ein Design für Ihren Fallschirm entschieden haben, müssen Sie ihn unbedingt testen. Während die oben eingeführten Gleichungen Ihnen eine Vorstellung davon geben können, was Sie erwartet, sollten Sie Ihre Entwürfe immer in der realen Welt testen. Bevor Sie dies tun, sollten Sie über den Flug Ihres CanSat nachdenken und darüber, wie sich die auf ihn einwirkenden Kräfte im Laufe der Zeit ändern werden.

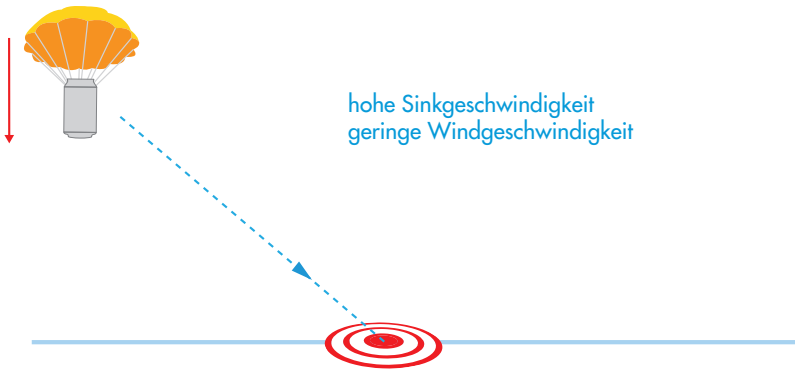
Was rauffliegt, muss auch wieder runterkommen.

Lassen Sie uns zunächst darüber nachdenken, wie sich Höhe und Geschwindigkeit Ihres CanSat während des gesamten Flugs ändern werden. Nachdem wir dies getan haben, werden wir unser gesamtes gewonnenes Wissen zusammenfassen, damit Sie bereit sind, Ihren eigenen Fallschirm zu bauen und zu testen!

Wenn Sie über den Fall Ihres CanSats nachdenken, sollten Sie berücksichtigen, wie sich der Wind auf seine Flugbahn auswirken kann. Wenn der CanSat vertikal fällt, kann ein horizontaler Wind den CanSat in horizontaler Richtung blasen. Berücksichtigen Sie außerdem, dass einige Fallschirmtypen auch ohne Wind (z. B. kreuzförmig) aufgrund ihrer Stabilität eine große Seitengeschwindigkeit erhalten können.
Abhängig von der Geschwindigkeit des Falls und der Windgeschwindigkeit kann dies bedeuten, dass der CanSat an einem Standort landet, der in beträchtlicher Entfernung vom Startplatz ist. Dies ist einer der Gründe, warum die Fallgeschwindigkeit so wichtig ist. Wenn Ihr CanSat zu langsam fällt, kann er vom Startplatz weggeblasen werden und schwer wiederzufinden sein!

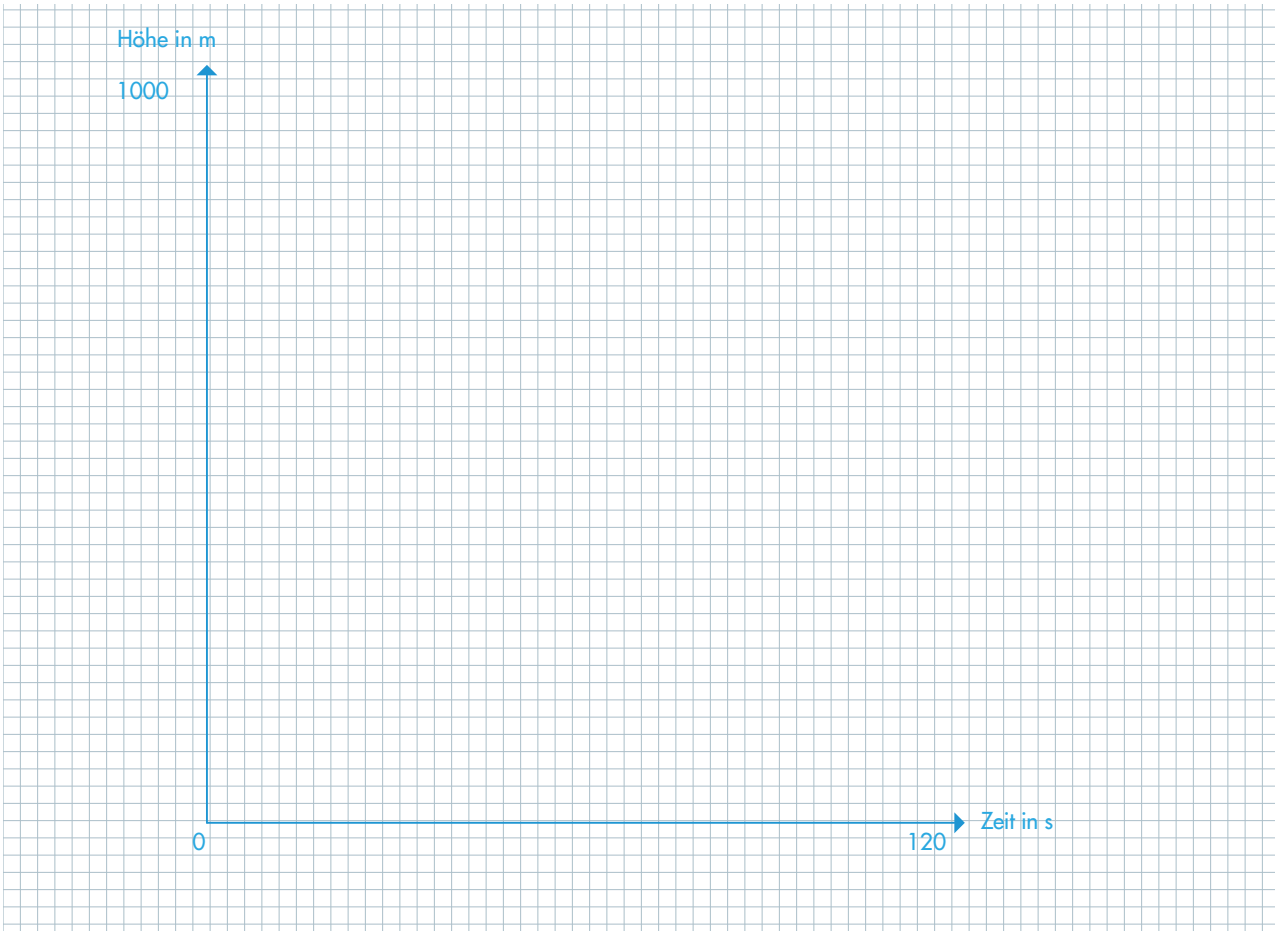
Um diesen Effekt deutlicher zu sehen, betrachten Sie das folgende Diagramm.





Übung

1. **Tragen Sie in das untenstehende Diagramm eine Kurve ein, wie sich die Höhe mit der Zeit verändern würde, vom Start eines CanSats bis zur Landung, unter der Annahme, dass keine seitliche Geschwindigkeit aufgrund der Stabilität auftritt. Um die Kurve zu zeichnen, überlegen Sie, wie sich die Geschwindigkeit ändert und welche Auswirkungen dies auf die Form der Kurve hat.**



Denken Sie daran:
Beim europäischen CanSat-Wettbewerb werden die CanSats in einer Höhe von 1000 m gestartet!

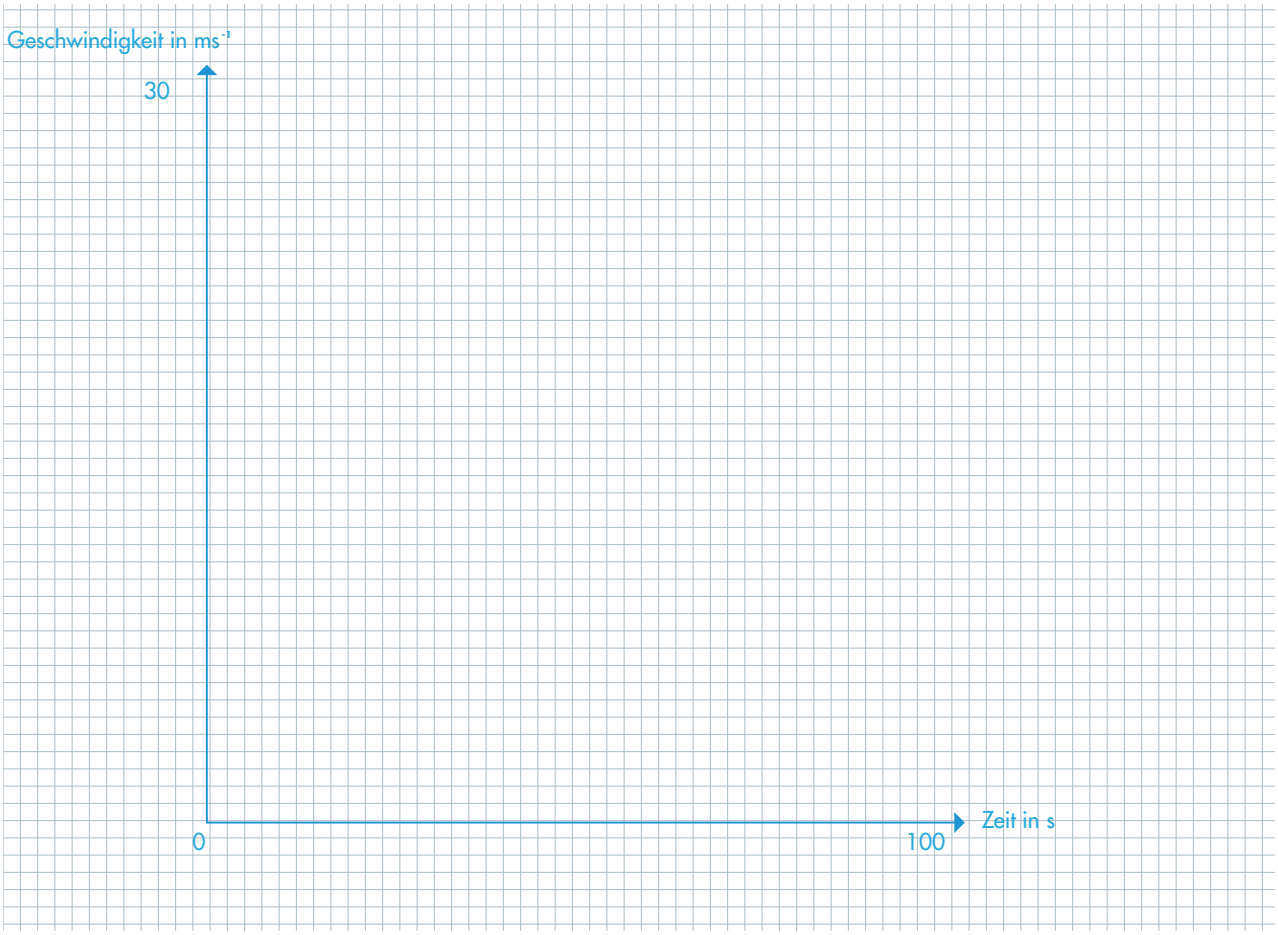
Der wichtigste Teil des Starts ist für uns jetzt der Abstieg vom höchsten Punkt bis zum Auftreffen auf den Boden, da hier der Fallschirm ins Spiel kommt.

Wir werden darüber nachdenken, wie sich die Geschwindigkeit des CanSats während des Falls mit der Zeit verändert.

2. Zeichnen Sie, wie wir es für die Höhe getan haben, eine Kurve in das unten stehende Diagramm, die zeigt, wie sich die Geschwindigkeit des CanSats während des Abstiegs mit der Zeit ändert (wir werden den Aufstieg mit der Rakete hier nicht berücksichtigen). Auf diese Weise wäre t=0 der Abwurf des CanSats von der Rakete.

Denken Sie über die folgenden Fragen nach, bevor Sie die Kurve skizzieren:

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



Zeit für einen Test?

Nachdem Sie nun ein gutes Verständnis für das Verhalten eines CanSats während des Starts und die Kräfte, die auf ihn wirken, erhalten haben, sollten Sie darüber nachdenken, Ihren Fallschirm zu testen. Damit Sie nicht riskieren, dass die Mühe und die Zeit, die Sie in den Bau Ihres CanSats investiert haben, umsonst waren, sollten Sie den Fallschirm mit einem Dummy-CanSat testen!

Gesundheit und Sicherheit

Bevor Sie mit dem Test beginnen, sollten Sie sicherstellen, dass Sie von Ihrer Lehrperson beaufsichtigt werden.

Das Abwerfen des CanSats mit dem Fallschirm aus einer Höhe, z. B. aus einem Fenster im zweiten oder dritten Stock, ist ein guter erster Test für den Fallschirm, aber Sie sollten sich vergewissern, dass der Bereich darunter frei von Passant*innen oder Gegenständen ist, die beschädigt werden könnten!

Mit aufeinanderfolgenden Tests können Sie Ihr Fallschirmdesign verfeinern und die Auswirkungen jedes Aspekts Ihres Fallschirms untersuchen; dies sollte beinhalten:

- Das verwendete Material
- Die Art der Befestigung am CanSat
- Die Fläche des Fallschirms
- Die Art und Weise, wie der Fallschirm gefaltet wird

Wenn Sie sich dem endgültigen Entwurf Ihres Fallschirms nähern, stellen Sie sicher, dass Ihre Testnutzlast mit dem Gewicht und der Größe Ihres tatsächlichen CanSats übereinstimmt.

Wenn alles mit den CanSat-Richtlinien übereinstimmt:
Gratulation, dann ist Ihr Fallschirm fertig!

LINKS

Die Fruitychutes Website beinhaltet weitere Informationen zur Gestaltung eines Fallschirms:
https://fruitychutes.com/help_for_parachutes/how_to_make_a_parachute.htm

Informationen über das Design eines Kreuzfallschirms:
http://www.nakka-rocketry.net/xchute1.html

Die Mathematik von Fallschirmen (E/D):
https://www.sunward1.com/imagespara/The%20Mathematics%20of%20Parachutes(Rev2).pdf
https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/dual/educeth-dam/documents/Unterrichtsmaterialien/mathematik/gruene-berichte/fallschirmspringer.pdf

Fallschirmsprung auf der Leifi Webiste:
https://www.leifiphysik.de/mechanik/kraft-und-bewegungsaenderung/aufgabe/kraefte-beim-fallschirmsprung
https://www.leifiphysik.de/mechanik/freier-fall-senkrechter-wurf/ausblick/fallschirmsprung-mit-luftreibung

Mehr Information zu den unterschiedlichen Fallschirmdesigns:
http://www.hsl.org.au/articles/parachutes.pdf

Wikipedia Seite über Fallschirme:
https://de.wikipedia.org/wiki/Fallschirm