

Die Fallkapsel: Experimente in Schwerelosigkeit – selbst gebaut



Auf der Internationalen Raumstation (ISS) herrscht Schwerelosigkeit, das weiß jeder. Aber warum ist das so? Und welche Folgen hat Schwerelosigkeit – nicht nur für die Experimente, sondern auch für das tägliche Leben der Crew an Bord der ISS? Mit einer einfachen, selbst gebauten Fallkapsel könnt ihr der Schwerelosigkeit auf die Spur kommen. Bild: NASA

Einleitung

Schülerinnen und Schüler, die unser Kölner DLR_School_Lab besuchen, sind über vieles begeistert: selbst experimentieren, neue Dinge entdecken, einmal einen Tag lang Forschende spielen. Nur eines vermissen sie immer wieder: „Wo ist denn hier der Raum, in dem man die Schwerkraft abschalten kann?“ Nun, dass wir diesen Raum nicht haben, hat einen einfachen Grund: Es gibt auf der Erde keinen solchen Raum und es kann ihn auch nicht geben.

Massen ziehen sich gegenseitig an. Je größer eine Masse ist, desto größer ist ihre Massenanziehungskraft. Die Erde zieht also alle Dinge in ihrer näheren und weiteren Umgebung zum Erdmittelpunkt hin. Das gilt für eine Feder genauso wie für eine Hochspringerin oder einen Hochspringer. Aber während Objekte ungebremst zum Erdmittelpunkt hinstürzen, herrscht in dem Objekt selbst Schwerelosigkeit. Das klingt seltsam, doch man kann es sich an folgendem Beispiel gut vorstellen: In einem abstürzenden Aufzug wäre man nahezu schwerelos. Der Aufzug wird in Richtung Erde nach unten fallen, aber in

ihm purzeln wir wie die Astronautinnen und Astronauten in der ISS quer durch die Kabine. Schwerelosigkeit ist also eine Frage des Bezugssystems. Auch die ISS „fällt“ um die Erde herum. Sie ist immer noch im Einzugsbereich der Schwerkraft, die ja sogar den viel weiter entfernten Mond auf seiner Bahn hält.

Wenn wir Experimente mit Schwerelosigkeit durchführen wollen, nehmen wir daher am besten eine Fallkapsel. Während sie nach unten fällt, ist ihr Inhalt schwerelos. In professionellen Falltürmen (z.B. ZARM in Bremen) oder Fallschächten dauert der Zustand der Schwerelosigkeit bis zu 10 Sekunden. Einige Experimente kann man aber auch schon in viel kürzerer Zeit durchführen – eben in unserer selbstgebauten Fallkapsel.

Bezug zur Forschung

Unter dem Einfluss der Schwerkraft lassen sich manche Größen nur schwierig messen: Die Schwerkraft stört die Beobachtung. Ein Beispiel ist die Oberflächenspannung. Nicht nur auf Wasser-Luft-Systeme hat die Oberflächenspannung einen deutlichen Einfluss; auch für die rechnerische Simulation von komplexen Metallgussvorgängen (z.B. bei der Herstellung eines Motorblocks) braucht man genaue Werte der Oberflächenspannungen von Legierungen. Sie werden beim Schmelzen ja fast so flüssig wie Wasser. Diese Werte lassen sich aber nur unter Schwerelosigkeit exakt bestimmen. So fliegt bei DLR-Parabelflügen, in denen kurzzeitige Phasen von ca. 20 Sekunden Schwerelosigkeit entstehen, oft eine entsprechende Apparatur (genannt TEMPUS) mit, um solche Untersuchungen durchzuführen.

Siehe dazu auch:

http://www.dlr.de/mp/desktopdefault.aspx/tabid-1792/2472_read-3876/

Im Bremer Fallturm werden häufig auch Messungen zur Verbrennung von Treibstoff-Luft-Gemischen durchgeführt. In turbulenzfreien Flammen (wie die aussehen, wird hier erst einmal nicht verraten), lassen sich mit Hilfe der Laseroptik genaue Messungen der Verbrennungszonen durchführen, um z.B. das Kraftstoffgemisch eines Motors zu optimieren.

Aber auch für die Entwicklung von Experimenten für die Raumstation sind Vorversuche in „Kurzzeit-Schwerelosigkeit“ sehr wichtig. Macht euch nach dem unten beschriebenen Wasser-Luft-Experiment einmal Gedanken darüber, wie ein Aquarium für die Raumstation konstruiert sein muss.

Das Experiment

Ihr konstruiert eine Fallkapsel, in die nacheinander zwei verschiedene Experimente eingebaut werden. Während die Kapsel zu Boden fällt, herrscht in ihrem Inneren Schwerelosigkeit. Mit einer Webcam, die ihr samt Beleuchtung ebenfalls in die Fallkapsel eingebaut habt, zeichnet ihr auf, was passiert, während die Kapsel zu Boden fällt. Ihr könnt vor dem Experiment überlegen, was wohl in der kurzen Phase der Schwerelosigkeit geschehen wird. Nach den Versuchen analysiert ihr die Videoaufzeichnung und vergleicht den tatsächlichen Verlauf mit euren Annahmen.

Materialien und Hilfsmittel: Für die Fallkapsel

Webcam mit Software

Computer

USB-Verlängerungskabel

6 Spanplatten für die Fallkapsel (Material im Baumarkt wie folgt zuschneiden lassen):

16 mm Spanplatte: 2 Stück 10 x 10 cm, 2 Stück 30 x 10 cm,
1 Stück 26,8 x 10 cm, 1 Stück 8,4 x 10 cm)

16 Holzschrauben 2,5 x 25 mm

1 Holzschraube 4 x 50 mm

Klebstoff

Filz

Metallzunge (z.B. aus einem Schnellhefter)

großes Kissen, nicht zu weich

Beleuchtung (optional)

Klettband

Materialien und Hilfsmittel: Für die Experimente

2 Metallplatten ca. 5 x 5 cm, 2 mm stark (oder Holzplättchen 10 mm stark)

2 Rändelschrauben oder Holzschrauben

1 sehr kleines Marmeladenglas oder etwas Ähnliches mit Deckel (5 bis 7 cm hoch)

3 Magnete mit Bohrung

Aluminium- oder Holzstange, 3 mm, 7 cm lang



Vorbereitung, Aufbau und Durchführung

Step 1: Vorbereitung und Aufbau

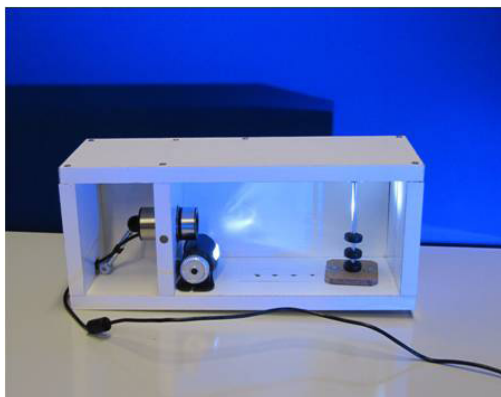


Abb. 1: Hier schon einmal die fertige Fallkapsel, damit ihr wisst, wie es am Ende aussehen muss. Eingebaut ist hier das Experiment „magnetisches Gravimeter“ – eines von zwei Experimenten, die wir euch unten näher erläutern.

Ihr besorgt die oben genannten Zutaten und die entsprechenden Werkzeuge. Vieles davon findet ihr sicher zu Hause, den Rest sollte es im Baumarkt geben.

Baut die Fallkapsel zusammen (Abb. 1 und 2). Die Kapsel muss beim Aufprall – selbst wenn ihr ein dickes Kissen darunter legt – viel aushalten. Darum werden die Platten verklebt und zusätzlich verschraubt. Die Rückwand darf auf keinen Fall fehlen und muss genau eingepasst werden: Sie gibt der Kapsel Stabilität.

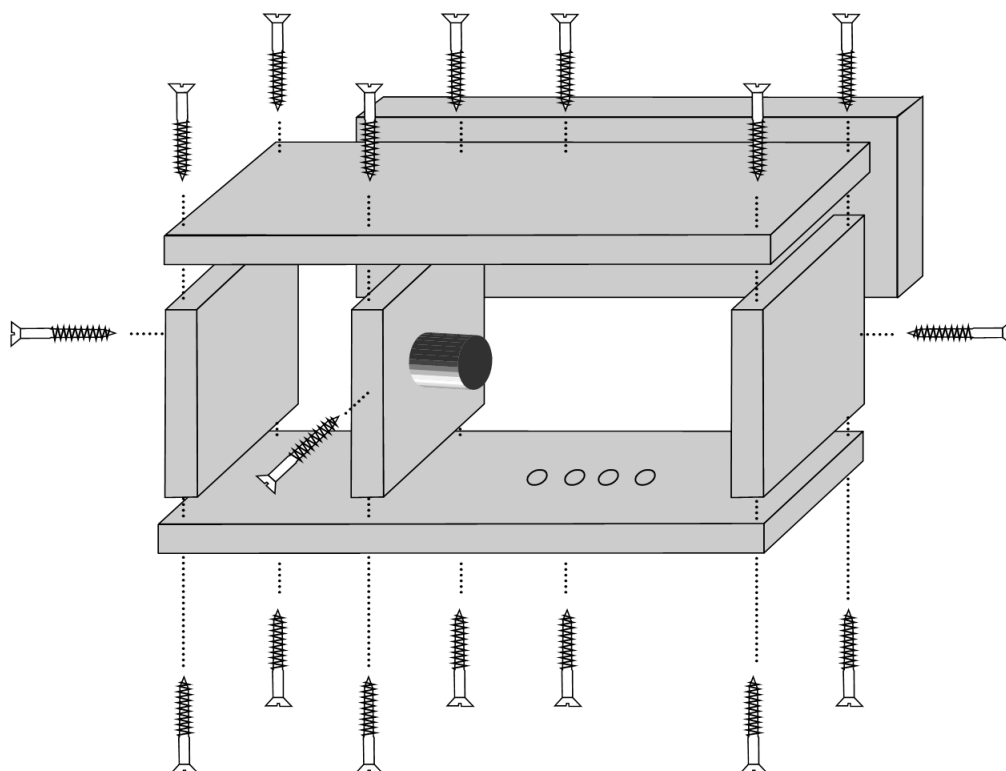


Abb. 2: Hier die Bauanleitung für die Fallkapsel. Nur zur Verdeutlichung ist dabei die Kamera als runder Zylinder angedeutet

Jetzt zur Kamera, denn was in der Kapsel passiert, soll ja per Video aufgezeichnet werden. Es gibt Kameras mit Funkübertragung, aber auch ein günstiges Modell mit USB-Kabel reicht aus. Die Befestigung der Webcam hängt natürlich von ihrer Bauform ab. Wir haben hier ein rundes Modell gewählt. Das passende Loch in der Mittelwand ist mit Filz gepolstert.

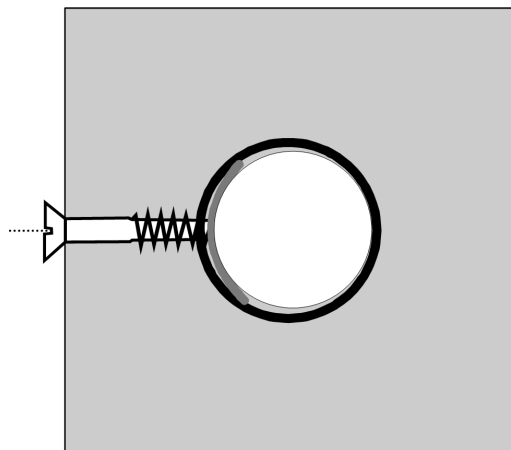


Abb. 3: Befestigung der Webcam

Die Kamera wird durch eine Metallzunge aus einem Schnellhefter angepresst. Die Spannung dieser „Feder“ kann mit Hilfe einer Schraube eingestellt werden (Abb. 3). Je nachdem, welche Kamera ihr wählt, müsst ihr selbst prüfen, wie ihr sie am besten befestigt – Hauptsache, sie nimmt dann genau das auf, was vor und während des Falls passiert.

Durch den Boden der Kapsel sind mehrere Löcher gebohrt, damit Experimente in unterschiedlichem Abstand mit Hilfe einer Rändelschraube befestigt werden können.

Für besonders gute Aufnahmen könnt ihr eine Beleuchtung einbauen. Wir haben eine batteriebetriebene LED-Stirnlampe, wie man sie z.B. beim Jogging benutzt, verwendet. Sie ist mit kräftigem Klettband am Boden der Kapsel befestigt und leuchtet das Experiment aus.

Step 2: Bau der Experimente



Abb. 4: Magnetisches Gravimeter (links) und Wasser-Luft-System (rechts)

Hier werden zwei Experimente beschrieben:

1. Wasser-Luft-System:

Füllt das kleine Marmeladenglas fast vollständig mit Wasser, schraubt es zu und klebt es mit dem Deckel auf eine kleine Holzplatte, mit der es in der Fallkapsel befestigt werden kann (Abb. 4). In die Holzplatte bohrt ihr vorher ein kleines Loch für die Schraube vor, denn die Platte soll ja nun von unten durch eines der Löcher am Boden der Fallkapsel befestigt werden.

2. Magnetisches Gravimeter:

In die Trägerplatte für dieses Experiment ist eine nicht-magnetische Metallstange (z.B. aus Aluminium) oder Holzstange eingelassen, auf der drei Magnete mit Mittelbohrung (z.B. aus einem kleinen Lautsprecher) aufgereiht sind (Abb. 4). Die Magnete sind so angeordnet, dass sie sich gegenseitig abstoßen. Ein Anschlag an der Oberseite der Stange verhindert, dass die Magnete von der Stange rutschen.

Step 3: Software und Kamera

Installiert die Software der Webcam und schließt die Kamera über ein mindestens 2 Meter langes USB-Verlängerungskabel an.

Step 4: Ablauf und Durchführung

Baut eines der beiden Experimente ein und startet die Videoaufzeichnung. Jetzt kommen wir zur eigentlichen Hauptsache, dem freien Fall: Lasst die Fallkapsel aus 1,5 bis 2 Meter Höhe auf das Kissen fallen.

Ein kleiner Exkurs zur Fallzeit: Die Fallzeit kann aus dem allgemeinen Fallgesetz berechnet werden:

$$h(t) = h_0 - \frac{1}{2}gt^2$$

$h(t)$ = Höhe zum Zeitpunkt t ($=0$ setzen); h_0 =Anfangshöhe; g ist die Fallbeschleunigung (in unseren Breiten etwa $9,806 \text{ m/s}^2$)

Bei einer Fallhöhe von 2 m dauert der Fall 0,64 s, bei einer Fallhöhe von 1,5 m 0,55 s.

Das ist kurz, aber diese Zeit reicht aus, um Auswirkungen der Schwerelosigkeit aufzuzeichnen. Die geringe Fallhöhe hat sogar zwei Vorteile:

1. Die Aufprallgeschwindigkeit und damit die Gefahr, dass die Fallkapsel zerstört wird, ist geringer. Rechnet die Aufprallgeschwindigkeit mit Hilfe der Fallzeit und der Fallbeschleunigung aus.
2. Wenn die Kapsel durch die Luft fliegt, sorgt die Reibung der Luft am Kapselboden dafür, dass die Kapsel mit steigender Geschwindigkeit immer stärker abbremst und sich damit die „Qualität“ der Schwerelosigkeit verschlechtert. Dieser störende Effekt kann aber bei geringer Fallhöhe vernachlässigt werden.

Step 5: Auswertung und Ergebnisse



Abb. 5: Wasser-Luft-System in Schwerelosigkeit

1. Wasser-Luft-System:

Während der Schwerelosigkeit – also in der Fallphase – bildet sich eine Luftblase, die in die Mitte der Wassersäule wandert. Die Ursache ist die Oberflächenspannung des Wassers: Wenn die sonst übermächtige Schwerkraft plötzlich fehlt, bestimmt diese Oberflächenspannung als vorherrschende Kraft allein das Verhalten des Wasser-Luft-Systems. Es bildet sich die kleinstmögliche Oberfläche: im Idealfall eine perfekte

Kugel aus Luft im Wasser. Ihr seht: Experimente in Schwerelosigkeit können dazu dienen, andere Kräfte sichtbar zu machen, die sonst von der Schwerkraft „verdeckt“ werden. Das genau ist das Ziel vieler materialwissenschaftlicher Versuche auf der ISS.

Wiederholt das Experiment mit Seifenlösung. Welches Ergebnis erwartet ihr? Was passiert, wenn man verschiedene Mischungen aus Alkohol (Brennspiritus) und Wasser oder Öl verwendet?

2. Magnetisches Gravimeter:

In Abb. 4 ist zu erkennen, dass die Magnete scheinbar übereinander schweben. Natürlich ist das keine Schwerelosigkeit, sondern der Abstand der Magnete wird durch das Gleichgewicht zwischen Gewichtskraft und magnetischer Abstoßungskraft bestimmt. Was würde man also erwarten, wenn dieses Gravimeter Schwerelosigkeit anzeigt? Bildet Hypothesen und überprüft sie dann im Versuch!

Weiterführende Links

DLR_next: Mit Astronautinnen und Astronauten ins All!

http://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6305/10702_read-24119/

DLR_next: Willkommen in der seltsamen Welt der Schwerelosigkeit!

http://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6652/10915_read-24811/

HINWEIS

Die hier beschriebenen Mitmach-Experimente wurden sorgfältig ausgearbeitet. Sie können jedoch auch bei ordnungsgemäßer Durchführung und Handhabung mit Gefahren verbunden sein. Die hier vorgeschlagenen Mitmach-Experimente sind ausschließlich für den Einsatz im Schulunterricht vorgesehen. Ihre Durchführung sollte in jedem Fall durch eine Lehrkraft betreut werden. Die Richtlinien zur Sicherheit im Schulunterricht sind dabei einzuhalten.

Das DLR kann keine Garantie für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Durchführbarkeit der hier beschriebenen Experimente geben. Das DLR übernimmt keine Haftung für Schäden, die bei Durchführung der hier vorgeschlagenen Mitmach-Experimente entstehen.

Informationen für Lehrer

Fächer

Physik

Alter/Schwierigkeitsgrad

Ab ca. 14 Jahre, etwas handwerkliches Geschick ist erforderlich.

Das Thema Schwerkraft/Gravitation sollte unmittelbar zuvor schon behandelt worden sein.

Dauer des Experiments

Vorbereitung/Aufbau: 2 bis 4 Stunden (Bau der Kapsel in Arbeitsgruppe oder im Werkunterricht)

Ablauf/Durchführung/Auswertung: 1 Stunde

Lernziele

Die Schwerkraft ist eine der fundamentalen physikalischen Größen und in allen Physik-Lehrplänen zentraler Inhalt. An ihre Behandlung im Unterricht kann sich zur Verdeutlichung und Vertiefung sehr gut das Thema Schwerelosigkeit anschließen. Mit Astronautinnen und Astronauten als „menschlichem Faktor“ und „Faszinosum“ besteht dabei zudem ein idealer Anknüpfungspunkt, der gerade Kinder und Jugendliche für eine Auseinandersetzung mit dieser gesamten Thematik zusätzlich motivieren kann. Ziel des Experiments ist ein grundsätzliches Verständnis für das Thema Schwerkraft bzw. Schwerelosigkeit. Dabei wird spielerisch auch einer der größten Irrtümer zur Raumfahrt korrigiert – nämlich dass Schwerelosigkeit im erdnahen Orbit als Abwesenheit von Schwerkraft mit der Entfernung zur Erde (oder gelegentlich auch mit dem Vakuum des Weltraums) erklärt wird. Und auch ein differenziertes Verständnis von Kategorien wie Gewicht und Masse kann je nach Alter erzielt werden.

Als Anknüpfungspunkt an den Chemieunterricht kann das Verhalten von Oberfläche, Adsorptions- und Adhäsionskräften behandelt werden. (Dipolcharakter von Flüssigkeiten, Oberflächenspannungen.)

Erweiterungen

Vorschläge für weitere, etwas aufwändigere Experimente:

- Kerzenflamme (in einer Schutzkapsel)
- Pendel
- Kapillarröhren in einem Flüssigkeitsgefäß
- elektrischer Neigungsschalter

Kontakt

schoollab-koeln@dlr.de

schoollab-neustrelitz@dlr.de