

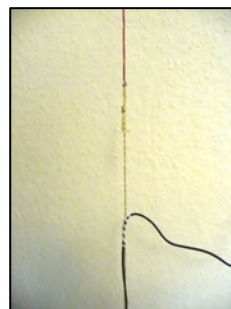
Bungee-Jumping und Schwerelosigkeit Analyse einer Bewegung

Schwerelosigkeit erreicht man auf der Erde am einfachsten, wenn man einen Körper frei fallen lässt. Zu diesem Zweck gibt es z. B. in Bremen einen Fallturm. Um die Dauer der Schwerelosigkeit zu vergrößern, lässt man die dort durchgeführten Experimentieranordnungen nicht nur einfach fallen, sondern schießt sie von unten in dem Fallturm nach oben. Die Geräte vollführen also einen Wurf senkrecht nach oben, wobei nach dem Abwurf Schwerelosigkeit herrscht. Sollen auch Menschen in der Schwerelosigkeit experimentieren, so kann man mit Flugzeugen eine Wurfparabel fliegen. Bei normalen Flügen werden solche Phasen der Schwerelosigkeit als sehr unangenehm empfunden („Luftlöcher“). Im kleinen Maßstab erfahren aber auch wir die Schwerelosigkeit, wenn wir z. B. von einem Sprungturm ins Wasser springen, Sprünge auf einem Trampolin machen oder ein waghalsiges Fahrgeschäft auf einer Kirmes besuchen. Allerdings muss man dieses Empfinden stark einschränken, da uns der Fahrtwind stets klar macht, dass wir uns bewegen. Beim Bungee-Sprung ist die Zeit der Schwerelosigkeit besonders lang. Im Labor kann man einen solchen Sprung simulieren. Dabei wird die Beschleunigung im bewegten System gemessen, die im Falle der Schwerelosigkeit 0 m/s^2 betragen sollte.

Material

- (Taschen-)Computer mit Messwerterfassung (hier TI-Nspire™ CX mit Lab Cradle™)
- Beschleunigungssensor, z. B. LGA-BTA
- Fallkörper aus Holz
- ca. 1 m Bindfaden
- 5 größere Haushaltsgummis

Versuchsaufbau



Gummi



Fallkörper

Die Gummis werden miteinander zu einer Kette verschlungen. Der Beschleunigungssensor wird zusammen mit einem Gegengewicht am eigentlichen Fallkörper aus Holz befestigt, damit der Fallkörper senkrecht fällt. Es ist dabei darauf zu achten, dass der Sensor in der richtigen Lage befestigt wird (Pfeilrichtung nach oben). Damit er nicht vom Fallkörper abfällt, ist ein Draht durch die Löcher in der Bodenplatte des Sensors und durch Bohrungen im Fallkörper zu führen. Das Gegengewicht wird festgeklebt. Das Kabel des Sensors wird durch etwas Bindendraht am Bindfaden bis zum Gummi fixiert. Alternativ kann man den Fallkörper auch mit einem kräftigeren Gummi und Stativmaterial nachbauen.

Versuchsdurchführung

Bungee-Jumping: Man hebt das Fallobjekt etwa bis zu der Stelle an, an der das Gummiband beginnt. Der Taschenrechner sollte abseits gehalten werden, damit sich das Sensorkabel nicht mit dem Fallkörper verwickelt. Man startet erst die Messung, wartet einen kleinen Moment und lässt dann den Fallkörper los.

„Fallturm“: Man zieht den Fallkörper etwa 50 cm nach unten, startet die Messung und lässt den Fallkörper los. Der Fallkörper wird beschleunigt und gerät in die Phase der Schwerelosigkeit. Beim Herunterfallen werden die Taumelbewegungen aber so stark, dass keine weiteren verlässlichen Messungen mehr möglich sind.

Vorbereitung: 20 min, *Durchführung:* 20 min (mit Auswertung)

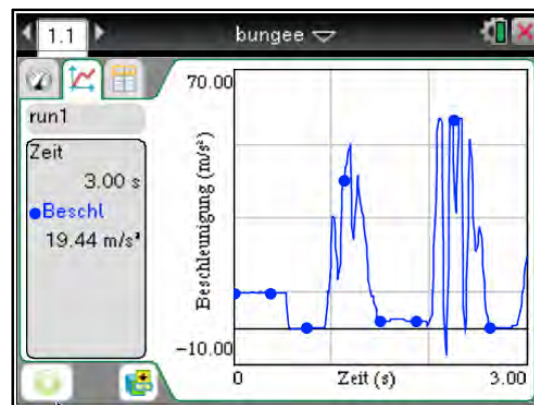
Einstellungen

- Messmodus: Time Based (zeitbasiert)
- Messzeit: z. B. 3 s
- Messrate: z. B. 100 Messungen pro Sekunde

Auswertung und Graphen

Bungee-Jumping:

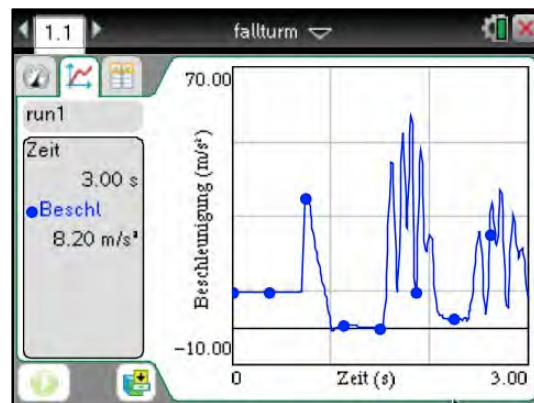
Die Beschleunigung geht sehr schnell auf 0 m/s² zurück. Nach kurzer Zeit wird das Gummi dann wieder belastet, bis die Bremsbeschleunigung etwa 4g beträgt (Maximum bei 1,3 s). Anschließend erfolgt durch das Gummi eine Beschleunigung nach oben, bis der Fallkörper auf einer Wurfparabel wieder nahezu schwerelos fliegt. Beim letzten abgebildeten Zyklus ganz rechts wird der Zustand der Schwerelosigkeit kurz erreicht. Beim Beschleunigen taumelt der Fallkörper, zusätzlich treten Schwingungen auf. Die gemessene Beschleunigung zeigt deshalb sehr unterschiedliche Werte, je nachdem wie sich der Fallkörper im Raum einstellt.



Graph – „Bungee-Jumping“

„Fallturm“:

Ähnliches gilt beim „Fallturm“-Versuch. Beim Herunterfallen werden die Taumelbewegungen so stark, dass anschließend keine verlässlichen Messungen mehr möglich sind.



Graph – „Fallturm“

Aus den Messungen lassen sich die Maximalgeschwindigkeiten näherungsweise durch numerische Integration bestimmen. Da sich die Beschleunigung ändert, gilt für die Geschwindigkeit:

$$v(t) = \int_{t_1}^{t_2} a dt$$

Darin ist $\Delta t = t_2 - t_1$ der Zeitraum von der maximalen Beschleunigung bis zum Wiedereintritt der Schwerelosigkeit. Zur Berechnung kopiert man die Listen der Zeit und der Beschleunigung in die Spalten A und B der Tabellenkalkulation. Dann sucht man sich im Diagramm die Grenzen t_1 und t_2 und kopiert die dazugehörigen

Beschleunigungen in die Spalte C. Die Multiplikation dieser Werte mit der Breite des Messintervalls (hier 0,01s) und anschließende Summation ergibt in Spalte D die Geschwindigkeit. Beim Bungee-Jumping sind dies hier 6,8 m/s, beim „Fallturm“ etwa 5,0 m/s. Eine weitere numerische Integration ergibt dann den zurückgelegten Weg.

Diese Form der Auswertung wird für die Schüler jedoch eher nicht durchführbar sein, da sie noch nicht über den mathematischen Hintergrund verfügen, wenn dieses Experiment im Unterricht eingesetzt wird. Eine einfachere Form der Auswertung verwendet einen Energieansatz.

Bei einem Fall aus 1 m Höhe liefert der Ansatz $m \cdot g \cdot h = 0,5 \cdot m \cdot v^2$
die Geschwindigkeit $v \approx 4,43 \text{ m/s}$.
Im Beispielfall hat der Fallkörper die Masse $m = 63 \text{ g}$,
das ergibt eine kinetische Energie von $E_{kin} \approx 0,618 \text{ J}$.

Für den senkrechten Wurf gilt $s(t) = v \cdot t - 0,5 \cdot g \cdot t^2$
im Moment, in dem das Gummi voll entspannt ist. Die Masse von Gummi und Bindfaden ist klein gegenüber der Masse des Fallkörpers, so dass ihre Einwirkung hier vernachlässigt werden soll. Man erhält als „Wurfzeit“ $t = 2v/g \approx 0,9 \text{ s}$.

Dieser Wert müsste nun mit der gemessenen Dauer der Schwerelosigkeit verglichen werden. Sie wird geringer sein, da die Dehnung des Gummibandes (innere Reibung) und der Luftwiderstand (Luftreibung) zu „Energieverlusten“ führen.

Tipps und Tricks

Unter Umständen ist es notwendig, den Beschleunigungssensor vor Beginn der Messung auf die Erdbeschleunigung zu kalibrieren.