

# FREIER FALL MIT GRENZGESCHWINDIGKEIT

Felix Baumgartner ist bekannt für seine Aufsehen erregenden Sprünge aus großen Höhen. Mit einem Team von Wissenschaftlern und dem Sponsor Red Bull plante er einen freien Fall aus einer Höhe von 120000 Fuß um die Schallmauer zu durchbrechen. Am 25. Juli 2012 führte er einen Testsprung aus einer Höhe von 96640 Fuß durch. Der freie Fall dauerte drei Minuten und 48 Sekunden bevor sich sein Fallschirm öffnete. Seine höchste Geschwindigkeit war 536 Meilen pro Stunde.

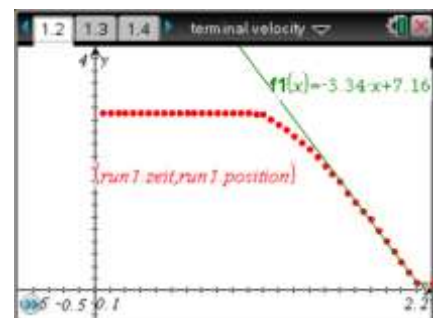
Wir wissen, dass die Erdbeschleunigung etwa  $10\text{m/s}^2$  beträgt. Die Geschwindigkeit eines Körpers nimmt also im freien Fall in jeder Sekunde um  $10\text{ m/s}$  zu. Die Tatsache, dass Baumgartner's Höchstgeschwindigkeit viel kleiner als  $2280\text{m/s}$  war, ist auf den Luftwiderstand zurückzuführen. Obwohl im Physikunterricht der Luftwiderstand meist vernachlässigt wird, ist evident, dass sich Baumgartner nicht mit konstanter Beschleunigung in Richtung Erde bewegte.

## A. Vorbereitung

- 1) Halte einen Quader, den du aus zusammengeklebter Plastikfolie (oder ein anderes leichtes Objekt) in deiner Hand. Lasse es los und beobachte, wie es zu Boden fällt. Erstelle ein Diagramm, wo die Höhe als Funktion der Zeit dargestellt ist.
- 2) Klebe dann zwei Quader, wie in 1) verwendet, zusammen und lasse den Körper wieder fallen. Denkst du, dass die beiden Quader nun schneller oder langsamer fallen? Oder sind sie überhaupt gleich schnell wie ein einzelner Quader?
- 3) Denkst du, dass ein mathematischer Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit mit der die Objekte nach unten fallen und der Anzahl der „Quader“ besteht? Wenn ja, welcher?

## B. Erste Überlegungen

- 1) Studiere das Bild in der Abbildung rechts, wo ein Zeit-Weg-Diagramm dargestellt ist.
- 2) Die Punkte stellen Datenpaare für Zeit und Höhe des in A1) beschriebenen Körpers dar. Beschreibe die Bewegung im Detail.
- 3) Die Linie im Bild rechts stellt eine lineare Funktion  $f_1(x) = -3.34x + 7.16$  dar. Was gibt der Koeffizient von  $x$  an?



## C. Experimente durchführen

- 1) Lass leichte Gegenstände unterhalb eines Bewegungssensors nach unten fallen und untersuche die gesammelten Daten.

Bitte zitieren Sie diese Arbeit in folgender Weise:

Urban-Woldron, Hildegard (2014). Freier Fall mit Grenzggeschwindigkeit. S. 1-2. Verfügbar unter <http://comblab.uab.cat>

-This work is under a Creative Commons License BY-NC-SA 4.0 Attribution-Non Commercial-Share Alike. More information at <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein Project N. 517587-LLP-2011-ES-COMENIUS-CMP

- 2) Bestimme die Geschwindigkeit des fallenden Objekts aus der Steigung des Zeit-Positions-Diagramms. Beachte die zwei verschiedenen Teile des Graphen: (a) Abschnitt mit zunehmender Steigung am Anfang der Bewegung und (b) darauf folgend einen linearen Abschnitt.
- 3) Verändere die Masse des fallenden Objekts in kontrollierter Weise und wiederhole den Schritt 2), um den Zusammenhang zwischen der Masse der fallenden Objekte und der Grenzggeschwindigkeit zu untersuchen.
- 4) Zeichne ein Kräftediagramm für das Objekt aus A1). Erkläre, warum nur zwei Kräfte auf das Objekt wirken. Mathematisch kann die Luftwiderstandskraft durch  $F_{\text{Luft}} = -bv$  oder  $F_{\text{Luft}} = -cv^2$  beschrieben werden. Die Konstanten  $b$  und  $c$  werden als Luftwiderstandskoeffizienten bezeichnet, die von der Größe und Form des Objekts abhängen.
- 5) Zusatz: Baue einen kleinen Fallschirm und untersuche mit Hilfe des Bewegungssensors, wie sich der Luftwiderstand ändert, wenn du die Masse des Fallschirms vergrößerst.

## D. Die Daten auswerten

- 1) Was kannst du mit Hilfe der Ausgleichsgeraden für den geraden Teil im Zeit-Weg-Diagramm ermitteln?
- 2) Erzeuge einen Scatter-Plot für die Grenzggeschwindigkeit  $v_G$  (y-Achse) als Funktion des Gewichts des Objekts (x-Achse).
- 3) Ermittle, welcher Zusammenhang besser passt:  $v_G \sim m$  oder  $v_G^2 \sim m$  und entscheide dich für ein Modell zur Beschreibung der Luftwiderstandskraft. Erkläre deine Vorgangsweise.
- 4) Erkläre, warum beim Erreichen der Grenzggeschwindigkeit die Luftwiderstandskraft gleich groß wie das Gewicht des Körpers sein muss.
- 5) Wie verhält sich die Zeit für den Fall zum Gewicht und der Luftwiderstandskraft des fallenden Körpers? Wenn ein Objekt mit der Masse  $m$  in der Zeit  $t$  zu Boden fällt, wie lange braucht ein Körper dann für dieselbe Fallhöhe, wenn er eine Masse von  $4m$  hat (wenn angenommen wird, dass sich die Körper mit einer Grenzggeschwindigkeit bewegen)

## E. Die Ergebnisse darstellen

Untersuche die Richtigkeit der folgenden Aussagen:

- a) Ohne Luftwiderstand würden ein Fußball und ein Blatt Papier gleich schnell zu Boden fallen.
- b) Wenn ein Körper die Grenzggeschwindigkeit erreicht, gibt es eine resultierende Kraft, die nach oben zeigt.
- c) Für fallende Objekte gilt: Grenzggeschwindigkeit<sup>2</sup> ist proportional zur Masse des Objekts. Deshalb gilt: Die Grenzggeschwindigkeit eines Objekts mit einer Masse von 30g ist dreimal so groß wie jene eines Körpers mit einer Masse von 10g.
- d) Der Fall eines Objekts mit einer Masse von 40g würde halb so lang dauern, wie der Fall eines Objekts mit einer Masse von 10g.
- e) Beim Erreichen der Grenzggeschwindigkeit heben sich Gewicht und Luftwiderstandskraft auf. Daher ist die resultierende Kraft Null.
- f) Beim Erreichen der Grenzggeschwindigkeit ist die resultierende Kraft konstant.