

1. Wenn ein Fallschirmspringer aus dem Flugzeug springt, nimmt seine Geschwindigkeit zunächst rasch zu. Nach ca. 10 s erreicht er - bei noch geschlossenem Fallschirm - seine Höchstgeschwindigkeit von ca. $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Sein Bewegungszustand ändert sich dann nicht mehr.¹

(a) Erkläre diesen Vorgang. Eine Beschreibung in Worten reicht aus.

Lösung:

Gebremst wird die Fallschirmspringerin durch den Luftwiderstand. Die Reibung mit der Luft ist geschwindigkeitsabhängig. Sie nimmt mit der Geschwindigkeit zu².

Zu Beginn des Springs fällt die Springerin noch nicht. Daher gibt es auch noch keinen Luftwiderstand. Der Sturz wird mit genau der Gewichtskraft beschleunigt. Die Springerin wird mit $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ schneller.

Wenn sie 1 s gefallen ist, ist sie bereits $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ schnell und der Luftwiderstand wächst. Noch ist er aber kleiner als die Gewichtskraft. Der Gesamtkraft zieht also noch nach unten. Der Sturz wird noch beschleunigt. Aber schon nicht mehr so stark wie ganz zu Beginn.

Je schneller und schneller der Sturz wird, desto größer wird der Luftwiderstand und desto kleiner wird wiederum die Beschleunigung. Irgendwann erreichen wir den Punkt, an dem der Luftwiderstand genau so groß ist wie die Gewichtskraft. Dann wird die Springerin nicht mehr schneller. Das ist bei $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bis $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ der Fall.

- (b) Kurz nachdem der Fallschirm entfaltet ist, fällt er mit der gleichbleibenden Geschwindigkeit von ca. $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Erkläre, wie es zu diesem Bewegungsablauf kommt.

Lösung:

Der Sinn eines Fallschirms ist es, den Sturz zu bremsen. Dies geschieht über eine massive Vergrößerung des Luftwiderstandes.

Wenn bei $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ der Fallschirm öffnet, ist erst einmal der Luftwiderstand, also die Bremskraft, viel größer als die Gewichtskraft. Die Springerin erlebt also eine negative Beschleunigung³. Laut Wikipedia liegt sie etwa bei $-20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, oder $-2g$.

¹credit: leifiphysik

²Bei Bewegungen wie dieser nimmt sie quadratisch zu, dh. die doppelte (dreifache) Fallgeschwindigkeit führt zu vierfachem (neunfachem) Luftwiderstand. Dies gilt nicht für alle Reibungsformen, aber auf jeden Fall für schnelle Bewegung durch Luft.

³Wenn wir die Bewegung nach unten als die positive Richtung festlegen. Das wäre in dieser Situation wahrscheinlich das natürlichste. Auf jeden Fall geht jetzt die Beschleunigung in die andere Richtung als zu Beginn des Sprungs.

Es findet dasselbe Spiel wie vorher statt, nur umgekehrt: Je langsamer der Sturz wird, desto kleiner wird die Bremskraft und desto kleiner die Beschleunigung, bis wir eine gleichmäßige Geschwindigkeit erreicht haben. Diese liegt bei etwa $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

- (c) Wie sähe derselbe Sturz aus, wenn es keine Luft gäbe?⁴

Lösung:

Der Sturz wäre völlig ungebremst. Jede Sekunde bis zum Aufschlag würde die Geschwindigkeit um $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ zunehmen. Der Fallschirm würde daran nichts ändern. Er würde sich noch nicht einmal öffnen, aber wenn, würde er nichts bremsen. Ein Sturz aus 4500 m Höhe würde mit $300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ oder $1080 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ am Boden enden.

⁴Stellen wir uns lieber ein Crahsteddummy vor...