

Reibung – freier Fall mit Reibung

Bisher haben wir Reibungskräfte vernachlässigt. Dies ist in einigen Fällen zwar akzeptabel – im allg. aber eine vollkommen unrealistische Näherung! Wie groß ist zum Beispiel die Luftreibung beim freien Fall? Ist sie dafür verantwortlich, dass zum Beispiel eine Stahlkugel schneller fällt als eine Vogelfeder? Für die Reibungskraft F_R gilt¹:

$$F_R = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

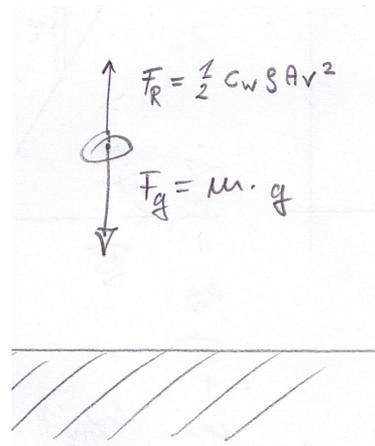
mit: c_w dem „Widerstandsbeiwert“², ρ der Dichte des Mediums (bei uns Luft, also $\rho_L = 1,23 \frac{kg}{m^3}$), A der Querschnittsfläche des Körpers und v seiner Geschwindigkeit.

Wir sehen: die Reibungskraft hängt von der Geschwindigkeit ab! Während der Körper fällt ändert sie also ihre Größe – und damit verändert sich auch die Beschleunigung. Hier liegt also offensichtlich *keine* gleichmäßig beschleunigte Bewegung mehr vor!

Unsere Gleichungen für $s(t)$ und $v(t)$ können wir hier also nicht anwenden. Aber es hilft uns ein anderer Trick: Wir können ausrechnen, für welche Geschwindigkeit die Reibungskraft gerade genau so groß wie die Gewichtskraft ist. Die Beiden müssen sich dann gerade die Waage halten – die Gesamtkraft auf den Körper ist bei dieser Geschwindigkeit also Null. Die Bedingung dafür lautet also:

$$\frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 = mg \quad (1)$$

$$v = \sqrt{\frac{2mg}{c_w \cdot \rho \cdot A}} \quad (2)$$



Bei dieser Geschwindigkeit kompensiert die Reibung also die Gewichtskraft. Die Gesamtkraft ist Null (siehe Zeichnung) und der Körper bewegt sich geradlinig gleichförmig mit dieser Geschwindigkeit weiter!

Maximale Geschwindigkeit eines Fallschirmspringers

Während ohne Luftreibung $v(t) = gt$ gilt – die Geschwindigkeit also ständig zunimmt – führt die Reibung zu einer maximalen Fallgeschwindigkeit. Ohne diesen Effekt könnten Regentropfen uns erschlagen und würden Fallschirmspringer viel schneller fallen. Schätzen wir ihre maximale Fallgeschwindigkeit ab: $m = 80kg$, $A = 0,5m^2$ und $c_w = 1$ scheinen plausible Werte. Dann gilt $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 80kg \cdot 9,81m/s^2}{1,23kg/m^3 \cdot 0,5m^2}} = 50,52m/s \approx 180km/h$. Ohne Luftreibung würde der Fallschirmspringer diese Geschwindigkeit schon nach 5s Fallzeit erreichen; mit Luftreibung ist dies die maximale Geschwindigkeit, die er gar nicht überschreitet!

Fallen alle Körper gleich schnell?

Natürlich bewirkt die Luftreibung, dass Körper unterschiedlich schnell fallen! Bei größerer Fläche oder schlechterem c_w Wert ist die Reibungskraft größer – der Fall also stärker verzögert. Wie sieht es aber aus, wenn bei identischer Form nur die Massen verschieden sind? Gleichung 2 zeigt, dass bei verdoppelter Masse sich die maximale Geschwindigkeit um $\sqrt{2}$ vergrößert – auch wenn Fläche und c_w identisch sind.

¹tatsächlich gibt es verschiedene Formen der Reibungskraft. Wir betrachten hier die sog. Stokes Reibung für „schnelle“ Bewegung in einem Gas oder einer Flüssigkeit...

²Der Widerstandsbeiwert ist eine einheitenlose Zahl. Er hängt von der Form des Körpers ab. Bei einer Kugel gilt $c_w \approx 1$. Bei Autos erreicht man Werte von 0,2-0,5.