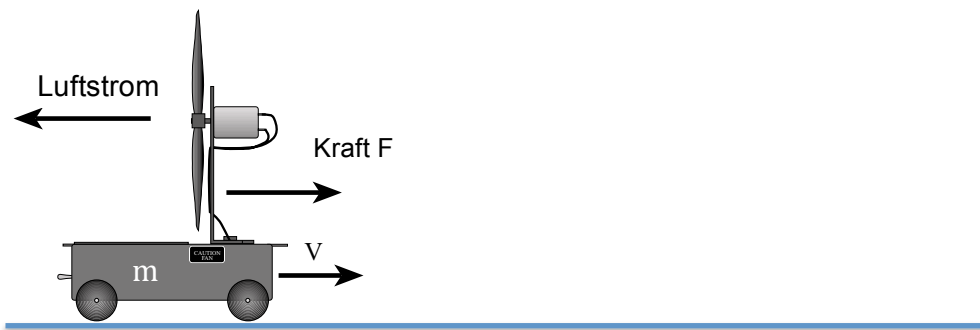


## Experimente mit einem Propellerwagen

Experiment 1: Der Propellerwagen mit Gesamtmasse  $m = 0.50 \text{ kg}$  wird aus der Ruhe gestartet! Der Luftstrom nach hinten bewirkt eine Kraft von  $F = 0.28 \text{ N}$  nach vorne (Rückstoss-Prinzip).



Beobachtung: (Beschreibung der Bewegung)

Gleichmässig beschleunigte Bewegung nach rechts

- a) Geben sie an wie die Beschleunigung  $a$  wirkt und wie sie aus der Kraft  $F$  berechnet werden kann. Geben sie auch an ob und wie sich die Beschleunigung  $a$  verändert im Laufe der Zeit.

Die Beschleunigung wirkt in dieselbe Richtung wie die wirkende Kraft  $F$  des Propellermotors, gemäss des 2. Newton'schen Gesetzes:  $F = m \cdot a$ !

$$a = F/m = 0.28 \text{ N} / 0.50 \text{ kg} = 0.56 \text{ m/s}^2$$

Da  $F$  und  $m$  konstant sind, bleibt auch  $a$  konstant. Die Beschleunigung  $a$  verändert sich somit nicht! (Hinweis: Diese Aussage ist streng genommen nur richtig, wenn der Luftstrom wesentlich schneller bewegt ist als der Propellerwagen.)

- b) Berechnen sie die Geschwindigkeit  $v(t)$  nach  $t_1 = 2.0 \text{ s}$  resp.  $t_2 = 5.0 \text{ s}$ . Geben sie auch eine rein formale (algebraische) Formel an für  $v(t)$  (d.h. ohne Zahlen einzusetzen!).

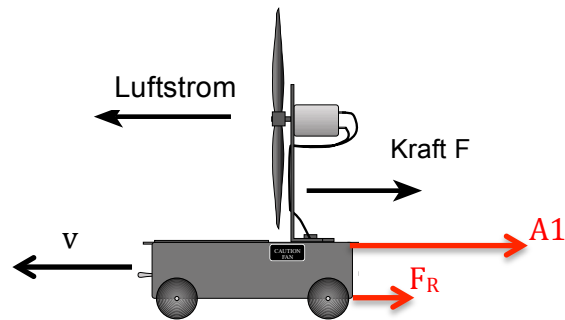
$$v(t) = a \cdot t \quad \begin{aligned} v_1 &= a \cdot t_1 = 0.56 \text{ m/s}^2 \cdot 2.0 \text{ s} = 1.12 \text{ m/s} \text{ (man könnte auf } v_1 = 1.1 \text{ m/s abrunden)} \\ v_2 &= a \cdot t_2 = 0.56 \text{ m/s}^2 \cdot 5.0 \text{ s} = 2.8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- c) Wie nimmt der zurückgelegte Weg  $s(t)$  mit der Zeit zu? Welchen Weg hat der Wagen nach  $t_1 = 2.0 \text{ s}$  resp. nach  $t_2 = 5.0 \text{ s}$  zurückgelegt? Geben sie auch eine rein formale (algebraische) Formel an für  $s(t)$  (d.h., ohne Zahlen einzusetzen!).

Der zurückgelegte Weg  $s$  wächst schneller als linear mit der Zeit an: genau quadratisch mit der Zeit wie das folgende Gesetz zeigt:

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = (0.28 \text{ m/s}^2) \cdot t^2 \quad \begin{aligned} \text{für } t = t_1: s_1 &= s(t = 2\text{s}) = 1.12 \text{ m} \\ \text{für } t = t_2: s_1 &= s(t = 5\text{s}) = 7.0 \text{ m} \end{aligned}$$

**Experiment 2:** Der Propellerwagen mit Masse  $m = 0.50 \text{ kg}$  wird gegen die Kraftwirkung des Luftstroms angestossen und fährt mit  $v = 1.3 \text{ m/s} > 0 \text{ m/s}$  gegen die Bremswirkung des Luftstromes los.  
a)

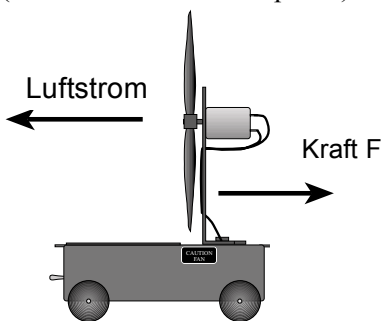


Die Richtung der Reibungskraft  $F_R$  in obiger Figur einzeichnen (d.h., die Kombination von Luft- und Rollreibung). Angriffspunkt sei das Hinterrad.

Gemessen wurde in dieser Situation eine (bremsende) Beschleunigung von  $a = 0.65 \text{ m/s}^2$ .

Aufgrund der Bewegungsrichtung (Vektorpfeil  $v$  der Geschwindigkeit) wirkt die Reibungskraft in die Gegenrichtung. Damit wirken  $F$  und  $F_R$  in dieselbe Richtung und bremsen gemeinsam den Wagen ab. Die resultierende Bremsbeschleunigung ist  $a = 0.65 \text{ m/s}^2$  wie aus den Angaben zu entnehmen ist.

b) Im jetzigen Zeitpunkt hat der Propellerwagen die grösste Entfernung vom Startpunkt erreicht, d.h. er steht für einen Moment still. Berechnen sie aus den obigen Angaben den Zeitpunkt und den zurückgelegten Weg  $s$  (= Distanz  $D$  vom Startpunkt).

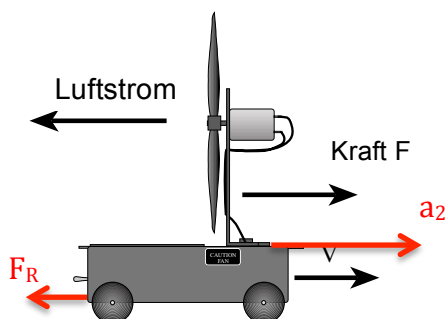


Das Fahrzeug bremst von  $v = 1.3 \text{ m/s}$  auf 0 ab. Die Bremsbeschleunigung ist  $a = 0.65 \text{ m/s}^2$ . Damit folgt für die Bremszeit:  $v = a \cdot t$  resp.  $t = v/a = (1.3 \text{ m/s}) / (0.65 \text{ m/s}^2) = 2.0 \text{ s}$ .

In dieser Zeit  $t = 2.0 \text{ s}$  bewegt sich der Propellerwagen nach links und bremst auf  $v = 0$  ab:

$$s = v_{\text{mittel}} \cdot t = (1.3 \text{ m/s} / 2) \cdot t = 0.65 \text{ m/s} \cdot 2.0 \text{ s} = 1.3 \text{ m}$$

c) Jetzt hat der Propellerwagen wieder beschleunigt und fährt nach rechts, d.h.  $v < 0 \text{ m/s}$  !



Zeichnen sie als erstes wieder die Richtung der Reibungskraft  $F_R$  ein. Beachten sie dabei die Fahrtrichtung des Wagens. Gemessen wurde jetzt eine Beschleunigung von  $a = 0.45 \text{ m/s}^2$ . Weshalb ist die Beschleunigung jetzt kleiner als bei a)? Berechnen sie den Betrag der Reibungskraft  $F_R$ , die gleich gross sein soll wie bei Situation a)!

Berechnen sie ausserdem die Geschwindigkeit 4.0 s nachdem der Wagen gestartet wurde, (siehe Aufgabe a).

Im Gegensatz zur Teilaufgabe a) wirken die beiden Kräfte  $F$  und  $F_R$  antiparallel. Somit ist die resultierende Kraft kleiner:

$$F_{\text{Res}} = F - F_R = m \cdot a_2 \text{ gemäss 2. NG!}$$

In Teilaufgabe a) gibt entsprechend: Kraft  $F_{\text{Res}} = F + F_R = m \cdot a_1$  also:

$$F + F_R = m \cdot 0.65 \text{ m/s}^2 \quad (1)$$

$$F - F_R = m \cdot 0.45 \text{ m/s}^2 \quad (2)$$

Daraus findet man (1) – (2) :  $2 \cdot F_R = m \cdot (0.65 - 0.45 \text{ m/s}^2) = m \cdot (0.20 \text{ m/s}^2).$   
 $F_R = m \cdot (0.10 \text{ m/s}^2)$

und:  $F_R = 0.5 \text{ kg} \cdot 0.10 \text{ m/s}^2 = 0.05 \text{ N}$

zusätzlich der (nicht gefragte) Wert von F, der Kraft des Propellermotors:

$$F = 0.5 \text{ kg} \cdot 0.45 \text{ m/s}^2 + F_R = 0.225 \text{ N} + 0.05 \text{ N} = 0.375 \text{ N}$$

Nach 2.0 s steht der Wagen still (Position bei Bild b), dann beschleunigt der Wagen wieder für 2.0 s mit der Beschleunigung  $a_2 = 0.45 \text{ m/s}^2$

$$\text{Also mit } v = a_2 \cdot t = 0.45 \text{ m/s}^2 \cdot 2.0 \text{ s} = 0.90 \text{ m/s} \text{ nach rechts.}$$