

## Übung 3: Reibung

1. Mit welcher Beschleunigung gleitet ein Körper eine schiefe Ebene mit einem Neigungswinkel  $\alpha = 25^\circ$  abwärts, wenn der Gleitreibungskoeffizient  $\mu_G = 0.20$  ist? Wie gross ist seine Geschwindigkeit nach 5.0 s?

---

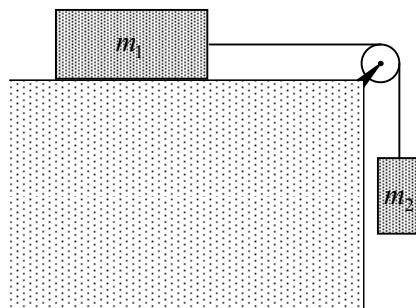
2. Ein Holzklotz wird auf eine horizontale Ebene gestellt. Dann wird der Neigungswinkel der Ebene von exakt  $0^\circ$  aus langsam erhöht. Bei einem Winkel von  $\alpha = 20^\circ$  beginnt der Klotz zu rutschen. Wie gross ist der Haftreibungskoeffizient  $\mu_H$  zwischen Holzklotz und Unterlage?

---

3. Welche Verzögerung kann ein Auto bei trockener Strasse bestenfalls erreichen und wie lang ist der Bremsweg bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 120 km/h, wenn,
  - a) die Räder zwar noch rollen (und somit bei der Auflagefläche lokal haften) aber so stark abgebremst werden, dass sie knapp vor dem Rutschen sind? (trockene Strasse:  $\mu_H = 0.65$ ,  $\mu_G = 0.50$ )
  - b) die Räder blockiert sind?

---

4. Der Wagen mit der Masse  $m_1 = 20$  kg wird durch den in der Skizze dargestellten Mechanismus auf horizontaler Unterlage aus der Ruhe in Bewegung versetzt. Die andere Masse wiegt  $m_2 = 10$  kg. Wie gross ist die Beschleunigung des Systems und die Belastungskraft des Seils,
  - a) wenn die Reibung vernachlässigt wird.
  - b) wenn die Gleitreibung der Masse  $m_1$  mit einem Gleitreibungskoeffizienten von  $\mu_G = 0.30$  berücksichtigt wird?



- 
5. Ein Automobilist parkt sein Fahrzeug auf einem abfallenden Strassenstück ( $\mu_H = 0.35$ ).
    - a) Wie gross darf die Neigung der Strasse sein, damit der Wagen nicht zu rutschen beginnt?
    - b) Mit welcher maximalen Beschleunigung kann der Mann bergaufwärts starten, wenn der Neigungswinkel nur  $\alpha = 15^\circ$  beträgt?

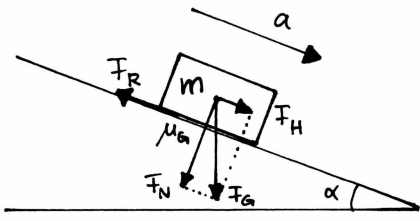
---

  6. Beim Abstoppen eines Autos auf einer horizontalen Strasse misst der Bremsweg 40 m. Als Reibungszahl wird 0.50 angenommen. Wie gross war die Geschwindigkeit vor der Bremsung und welche Verzögerung ist während der Bremsung aufgetreten?
-

## Lösungen

1. a) Bewegungsgleichung

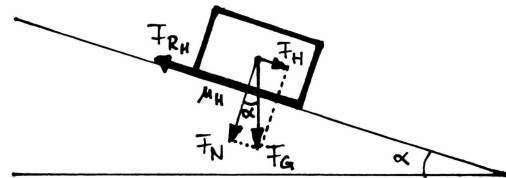
$$\begin{aligned}
 m \cdot a &= F_H - F_{RG} \\
 \underline{a} &= \frac{F_H - F_{RG}}{m} = \frac{m \cdot g \cdot \sin(\alpha) - \mu_G \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha)}{m} \\
 &= g \cdot \sin(\alpha) - \mu_G \cdot g \cdot \cos(\alpha) = g \cdot (\sin(\alpha) - \mu_G \cdot \cos(\alpha)) \\
 &= 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (\sin(25^\circ) - 0.2 \cdot \cos(25^\circ)) = \underline{\underline{2.4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \quad \left( 2.368 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)
 \end{aligned}$$



b)  $\underline{v} = a \cdot t = 2.368 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5.0 \text{ s} = \underline{\underline{12 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} \quad \left( 11.84 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$

2. Bei  $\alpha = 20^\circ$  gilt gerade (und nur dann!):

$$\begin{aligned}
 F_{RH\max} &= F_H \\
 \mu_H \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) &= m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \\
 \mu_H \cdot \cos(\alpha) &= \sin(\alpha) \\
 \underline{\underline{\mu_H}} &= \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \tan(\alpha) = \tan(20^\circ) = \underline{\underline{0.36}}
 \end{aligned}$$



3. a) Die Räder sind gerade noch nicht blockiert, d.h. sie haften am Boden noch,  $F_{RH} = F_{RH\max}$ :

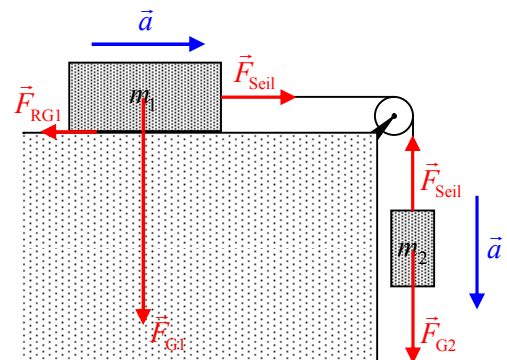
$$\begin{aligned}
 m \cdot a &= F_{RH\max} = \mu_H \cdot m \cdot g \\
 \underline{a} &= \mu_H \cdot g = 0.65 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \underline{\underline{6.4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \\
 t_B &= \frac{\Delta v}{\Delta a} = \frac{33.3 \text{ m/s}}{6.4 \text{ m/s}^2} = 5.23 \text{ s} \quad \underline{\underline{s_B}} = \frac{v_o + v_{\text{End}}}{2} \cdot t_B = \frac{33.3 \text{ m/s}}{2} \cdot 5.23 \text{ s} = \underline{\underline{87 \text{ m}}} \quad (87.13 \text{ m})
 \end{aligned}$$

b) Die Räder sind blockiert, d.h. sie gleiten auf dem Boden:

$$\begin{aligned}
 m \cdot a &= F_{RG} = \mu_G \cdot m \cdot g \\
 \underline{a} &= \mu_G \cdot g = 0.5 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \underline{\underline{4.9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \\
 t_B &= \frac{\Delta v}{\Delta a} = \frac{33.3 \text{ m/s}}{4.9 \text{ m/s}^2} = 6.80 \text{ s} \quad \underline{\underline{s_B}} = \frac{v_o + v_{\text{End}}}{2} \cdot t_B = \frac{33.3 \text{ m/s}}{2} \cdot 6.80 \text{ s} = \underline{\underline{0.11 \text{ km}}} \quad (113.26 \text{ m})
 \end{aligned}$$

4. b)

$$\begin{aligned}
 m_1 \cdot a &= F_{\text{Seil}} - F_{RG1} \\
 m_2 \cdot a &= F_{G2} - F_{\text{Seil}} \\
 a \cdot (m_1 + m_2) &= F_{G2} - F_{RG1} \\
 \Rightarrow a &= \frac{F_{G2} - F_{RG1}}{m_1 + m_2} = \frac{m_2 \cdot g - \mu_G \cdot m_1 \cdot g}{m_1 + m_2} \\
 &= \frac{98.1 \text{ N} - 58.9 \text{ N}}{30 \text{ kg}} = \underline{\underline{1.3 \text{ m/s}^2}}
 \end{aligned}$$



a) wir setzen  $F_{RG1} = 0 \text{ N}$ :

$$\Rightarrow a = \frac{F_{G2}}{m_1 + m_2} = \frac{m_2 \cdot g}{m_1 + m_2} = \frac{98.1 \text{ N}}{30 \text{ kg}} = \underline{\underline{3.3 \text{ m/s}^2}}$$

5. a) Kräftegleichgewicht:

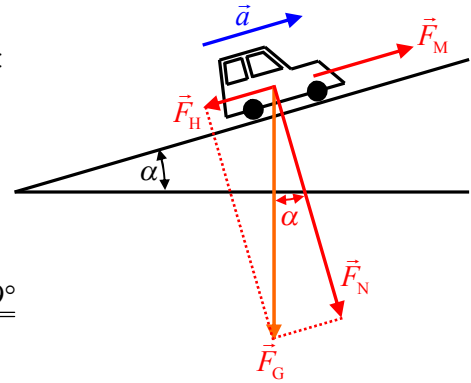
Hangabtriebskraft = maximale Haftreibungskraft,  $F_H = F_{RHmax}$  :

$$F_G \cdot \sin(\alpha) = \mu_H \cdot F_N = \mu_H \cdot F_G \cdot \cos(\alpha)$$

$$\sin(\alpha) = \mu_H \cdot \cos(\alpha)$$

$$\frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \mu_H$$

$$\tan(\alpha) = \mu_H \quad \underline{\underline{\alpha_{max} = \arctan(\mu_H) = \arctan(0.35) = 19^\circ}}$$



b)

$$m \cdot a = F_{RHmax} - F_H$$

$$\underline{\underline{a}} = \frac{F_{RHmax} - F_H}{m} = \frac{\mu_H \cdot F_N - F_H}{m} = \frac{\mu_H \cdot F_G \cdot \cos(\alpha) - F_G \cdot \sin(\alpha)}{m}$$

$$= \frac{\mu_H \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) - m \cdot g \cdot \sin(\alpha)}{m} = \mu_H \cdot g \cdot \cos(\alpha) - g \cdot \sin(\alpha)$$

$$= 0.35 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos(15^\circ) - 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin(15^\circ) = \underline{\underline{0.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

---

6.  $m \cdot a = F_R = \mu \cdot m \cdot g \quad \Rightarrow \quad \underline{\underline{a}} = \mu \cdot g = 0.5 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \underline{\underline{4.9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$

$$s_B = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2 \cdot s_B}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 40 \text{ m}}{4.91 \text{ m/s}^2}} = 4.04 \text{ s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \underline{\underline{v_o}} = \Delta v = a \cdot \Delta t = 4.91 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4.04 \text{ s} = \underline{\underline{20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$