

0.1 Dynamik

- 1) Eine Strassenlampe der Masse $m = 20 \text{ kg}$ hängt an zwei Seilen, die jeweils unter $\alpha = 45^\circ$ geneigt sind.

- a) Welche Zugkraft tritt in einem Seil auf?

Lösung:

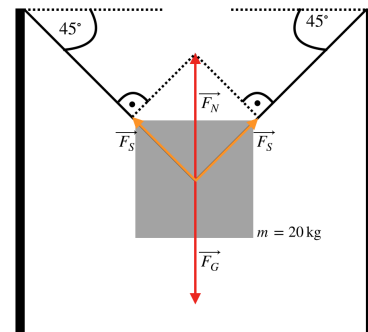
Betrachten Sie für diese Aufgabe die nebenstehende Skizze mit den eingezeichneten Kräften. Mit dem 2. Gesetz von Newton kann die Gewichtskraft \vec{F}_G mit der Masse m und der Beschleunigung $a = g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ berechnet werden. Somit gilt für die Gewichtskraft $|\vec{F}_G| = 196.2 \text{ N}$. Aus der nebenstehenden Skizze ist noch ersichtlich, dass $|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N|$ ist. Nun können wir mithilfe der Vektoraddition die orangenen Pfeile \vec{F}_S verschieben, so dass ein rechtwinkliges Dreieck entsteht. Hier gilt der Satz des Pythagoras:

$$|\vec{F}_S|^2 + |\vec{F}_S|^2 = |\vec{F}_N|^2 \quad (0.1.1)$$

Formt man die Gleichung (0.1.1) nach $|\vec{F}_S|$ um, erhält man:

$$|\vec{F}_S| = \sqrt{\frac{1}{2} |\vec{F}_N|^2} \quad (0.1.2)$$

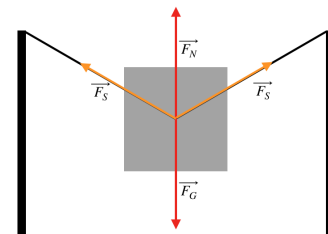
$$= \underline{\underline{138.73 \text{ N}}} \quad (0.1.3)$$



- b) Im Winter ziehen sich die Seile etwas zusammen. Der Durchhang wird kleiner. Wird die Zugkraft dadurch kleiner oder grösser?

Lösung:

In der nebenstehenden Skizze ist es ersichtlich, dass die Längen der beiden Pfeile \vec{F}_S grösser werden. Das bedeutet nun auch, dass die Zugkräfte auch grösser werden, wenn im Winter sich die Seile etwas zusammenziehen. Die orangenen Pfeile in der nebenstehenden Abbildung sind so zu konstruieren, dass die Gesamtkraft 0 N ergibt. Das heisst, dass der Startpunkt des zusammengesetzten Pfeils an der gleichen Stelle ist, wie der Endpunkt des zusammengesetzten Pfeils.



- 2) Ein Mast wird durch zwei Spannseile gehalten. Im Punkt A wirkt im horizontalen Seil die Zugkraft \vec{F}_1 mit dem Betrag 1.8 kN . Welche Kraft $|\vec{F}_2|$ muss am schräg angreifenden Seil wirken, damit in A eine vertikale Druckkraft entsteht? (Die untenstehende Zeichnung ist nur eine Skizze, welche nicht massstabsgetreu gezeichnet wurde!)

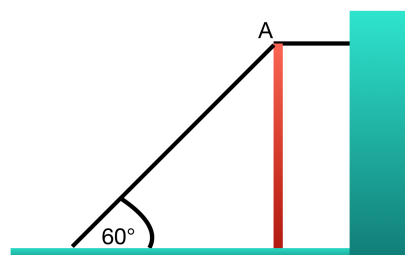
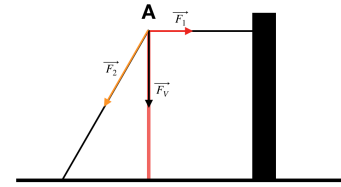


Abbildung 1: Abbildung zur Aufgabe 2.

Lösung:

Betrachten Sie für diese Aufgabe die nebenstehende Skizze. Der Mast wird von einem Seil nach rechts gezogen mit der Kraft $|\vec{F}_1| = 1.8 \text{ kN}$ und mit einem anderen Seil nach links unten mit einer unbekanntem Kraft $|\vec{F}_2|$. Die Kraft \vec{F}_2 muss so eingezeichnet werden, dass die folgende Kräftegleichung erfüllt ist:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_V \quad (0.1.4)$$



Wählen Sie einen geeigneten Massstab aus, z.B. $1 \text{ cm} = 500 \text{ N}$. Nach Konstruktion erhält man für die Kraft beim linken Seil $|\vec{F}_2| = \underline{\underline{3.6 \text{ kN}}}$.

- 3) Ein Kind mit einer Masse von $m = 30 \text{ kg}$ sitzt auf einer Schaukel. Welche Kraft wirkt auf die beiden Seile der Schaukel?

Lösung: Die Kraft, welche vom Kind ausgeübt wird, beträgt $|\vec{F}| = m \cdot a = m \cdot g = 294.3 \text{ N}$. Damit das Kind nicht hinunterfällt, müssen die Kräfte, welche auf die Seile wirken, zusammen die 294.3 N ausgleichen. Somit gilt:

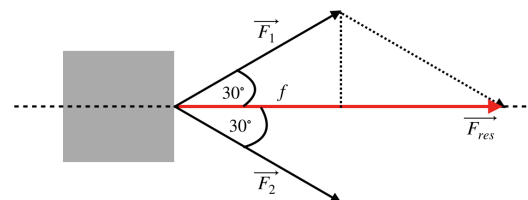
$$|\vec{F}_S| = \frac{1}{2} \cdot 294.3 \text{ N} \quad (0.1.5)$$

$$= \underline{\underline{147.15 \text{ N}}} \quad (0.1.6)$$

- 4) Zwei Kinder ziehen einen Schlitten mit den beiden Kräften $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = 40 \text{ N}$. Die Kräfte wirken in unterschiedlichen Richtungen, der Winkel gegenüber der zum Schlitten senkrecht verlaufenden Linie beträgt jeweils $\phi = 30^\circ$. Welche resultierende Gesamtkraft ergibt sich? Lösen Sie diese Aufgabe graphisch und rechnerisch.

Lösung:

Diese Aufgabe wird rechnerisch mithilfe der Trigonometrie gelöst. Es ist in der nebenstehenden Skizze ersichtlich, dass \vec{F}_{res} die Vektoraddition von \vec{F}_1 und \vec{F}_2 ist. Die "Strecke" f , welche gerade halb so gross ist wie die resultierende Kraft, lässt sich berechnen als:



$$f = |\vec{F}_1| \cos(30^\circ) \quad (0.1.7)$$

$$= 34.64 \text{ N} \quad (0.1.8)$$

Die resultierende Kraft ist doppelt so gross wie f und beträgt somit $|\vec{F}_{res}| = \underline{\underline{69.28 \text{ N}}}$

- 5) Welche Gewichtskraft entspricht einer Masse von 1 kg auf der Erde? Wie gross ist die Gewichtskraft der gleichen Masse auf dem Mond?

Lösung: Gegeben ist die Masse $m = 1 \text{ kg}$. Die Fallbeschleunigung auf der Erde beträgt $g_E = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ und auf dem Mond $g_M = 1.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Mit diesen Angaben kann die Gewichtskraft berechnet werden:

$$|\vec{F}_{G_E}| = m \cdot g_E = \underline{\underline{9.81 \text{ N}}} \quad (0.1.9)$$

$$|\vec{F}_{G_M}| = m \cdot g_M = \underline{\underline{1.6 \text{ N}}} \quad (0.1.10)$$

- 6) Die Gewichtskraft eines Astronauten beträgt auf dem Mond 130 N. Wie gross ist seine Gewichtskraft auf der Erde? Wie gross ist seine Masse?

Lösung: Gegeben ist die Gewichtskraft auf dem Mond $|\vec{F}_{G,M}| = 130 \text{ N}$. Die Masse lässt sich wie folgt berechnen:

$$|\vec{F}_{G,M}| = m \cdot g_M \quad (0.1.11)$$

$$\Leftrightarrow m = \frac{|\vec{F}_{G,M}|}{g_M} \quad (0.1.12)$$

$$= \underline{\underline{81.25 \text{ kg}}} \quad (0.1.13)$$

Die Gewichtskraft auf der Erde lässt sich wie folgt berechnen:

$$|\vec{F}_{G,E}| = m \cdot g_E \quad (0.1.14)$$

$$= \underline{\underline{797.1 \text{ N}}} \quad (0.1.15)$$

- 7) Eine Kiste mit einer Masse von 50 kg wird auf einem waagrechten Betonboden verschoben. Dazu wird eine waagrecht angreifende Kraft von 350 N aufgewendet. Die Gleitreibungszahl zwischen der Kiste und dem Boden hat für jeden Bewegungszustand den Wert 0.6. Welche Geschwindigkeit hat die Kiste nach 10 s erreicht, wenn keine Anfangsgeschwindigkeit vorlag?

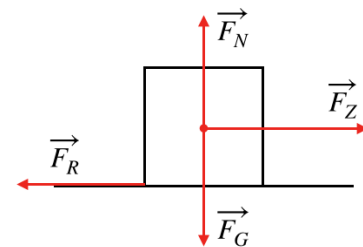
Lösung:

Gegeben sind die folgenden Grössen: $m = 50 \text{ kg}$, $|\vec{F}_Z| = 350 \text{ N}$, $\mu_G = 0.6$, $t = 10 \text{ s}$ und gesucht ist die Endgeschwindigkeit v . Die Fallbeschleunigung g beträgt $9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Laut nebenstehender Skizze gilt für die vertikale Richtung:

$$|\vec{F}_N| = |\vec{F}_G| \quad (0.1.16)$$

$$= m \cdot g \quad (0.1.17)$$

$$= 490.5 \text{ N} \quad (0.1.18)$$



Für die horizontale Richtung gilt:

$$|\vec{F}_{Res}| = |\vec{F}_Z| - |\vec{F}_R| \quad (0.1.19)$$

$$= |\vec{F}_Z| - \mu_G |\vec{F}_N| \quad (0.1.20)$$

$$= 55.7 \text{ N} \quad (0.1.21)$$

wobei für $|\vec{F}_N| = 490.5 \text{ N}$ eingesetzt wurde. Nach dem Aktionsprinzip gilt: $|\vec{F}_{Res}| = m \cdot a$. Umgeformt nach der Beschleunigung, erhält man:

$$a = \frac{|\vec{F}_{Res}|}{m} = 1.114 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (0.1.22)$$

Für eine beschleunigte Bewegung ohne Anfangsgeschwindigkeit kann die Endgeschwindigkeit mit $v = a \cdot t$ berechnet werden und die oben erhaltenen Zahlen in die Formel eingesetzt, erhält man für die Endgeschwindigkeit $v = \underline{\underline{11.14 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$.

- 8) Berechnen Sie die Normalkraft, die ein 122.8 kg schwerer Körper auf eine horizontale Unterlage ausübt.

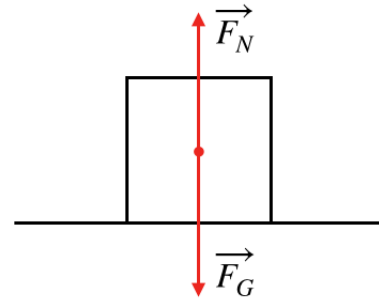
Lösung:

Gegeben ist die Masse $m = 122.8 \text{ kg}$ und die Fallbeschleunigung $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Es gilt $|\vec{F}_N| = |\vec{F}_G|$. Mit dieser Bedingung lässt sich die Normalkraft berechnen:

$$|\vec{F}_N| = |\vec{F}_G| \quad (0.1.23)$$

$$= m \cdot g \quad (0.1.24)$$

$$= \underline{\underline{1204.67 \text{ N}}} \quad (0.1.25)$$



- 9) Berechnen Sie die Reibungskraft, die ein ruhender Körper überwinden muss, dessen Normalkraft 107.5 N entspricht, damit er sich in Bewegung setzt, wenn der Reibungskoeffizient $\mu_H = 1$ ist.

Lösung: Gegeben ist die Normalkraft $|\vec{F}_N| = 107.5 \text{ N}$ und die Haftreibungszahl $\mu_H = 1$. Mit diesen Angaben lässt sich die Reibungskraft wie folgt berechnen:

$$|\vec{F}_R| = \mu_H |\vec{F}_N| \quad (0.1.26)$$

$$= \underline{\underline{107.5 \text{ N}}} \quad (0.1.27)$$

- 10) Berechnen Sie die Reibungskraft, die ein auf einer Unterlage gleitender Körper überwinden muss, dessen Normalkraft 143.1 N entspricht, damit sich seine Geschwindigkeit nicht ändert, wenn die Gleitreibungszahl $\mu_G = 0.95$ ist.

Lösung: Gegeben ist die Normalkraft $|\vec{F}_N| = 143.1 \text{ N}$ und die Gleitreibungszahl $\mu_G = 0.95$. Mit diesen Angaben lässt sich die Reibungskraft wie folgt berechnen:

$$|\vec{F}_R| = \mu_G |\vec{F}_N| \quad (0.1.28)$$

$$= \underline{\underline{135.95 \text{ N}}} \quad (0.1.29)$$

- 11) Berechnen Sie die Druckkraft $|\vec{F}_D|$, mit der ein 14 kg schwerer Körper gegen eine Wand gedrückt werden muss, damit er nicht herunterfällt, wenn die Haftreibungszahl zwischen dem Körper und der Wand 0.45 beträgt.

Lösung:

Gegeben ist die Masse $m = 14 \text{ kg}$ und die Haftreibungszahl $\mu_H = 0.45$. Laut nebenstehender Skizze gelten die folgenden zwei Bedingungen:

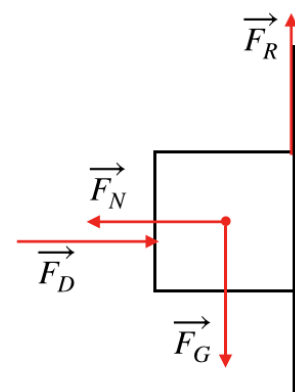
$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.30)$$

$$|\vec{F}_D| = |\vec{F}_N| \quad (0.1.31)$$

Mit der ersten Bedingung (siehe Formel (0.1.30)) kann die Normalkraft berechnet werden:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.32)$$

$$= \mu_H |\vec{F}_N| \quad (0.1.33)$$



Lösung:

$$\Leftrightarrow |\vec{F}_N| = \frac{|\vec{F}_G|}{\mu_H} = \frac{m \cdot g}{\mu_H} = 305.2 \text{ N} \quad (0.1.34)$$

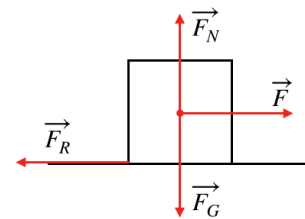
Laut der zweiten Bedingung muss gelten, dass die Normalkraft gleich gross ist wie die Druckkraft. Somit beträgt die Druckkraft: $|\vec{F}_D| = \underline{305.2 \text{ N}}$.

- 12) Wie weit kommt eine Eisschnellläuferin, die eine Geschwindigkeit von $69.84 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht hat, wenn sie auf dem Eis weiter gleitet, ohne zu bremsen? Wie lange dauert ihre freie Fahrt, wenn die Gleitreibungszahl ihrer Schlittschuhe auf dem Eis 0.005 beträgt?

Lösung:

Gegeben ist die Geschwindigkeit $v = 69.84 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 19.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und die Gleitreibungszahl $\mu_G = 0.005$. Betrachtet man die vertikalen Kräfte, so gilt:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| \quad (0.1.35)$$



Durch den Vergleich der horizontalen Kräfte kann die Beschleunigung berechnet werden, wobei im zweiten Schritt die Bedingung (0.1.35) eingesetzt und im vierten Schritt die Formel für die Gewichtskraft $|\vec{F}_G| = m \cdot g$ verwendet wurde:

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.36)$$

$$\Leftrightarrow m \cdot a = \mu_G |\vec{F}_N| \quad (0.1.37)$$

$$\Leftrightarrow m \cdot a = \mu_G |\vec{F}_G| \quad (0.1.38)$$

$$\Leftrightarrow m \cdot a = \mu_G \cdot m \cdot g \quad (0.1.39)$$

$$\Leftrightarrow a = \mu_G \cdot g \quad (0.1.40)$$

$$= 0.04905 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (0.1.41)$$

Mit der Beschleunigung kann nun die Zeit berechnet werden:

$$t = \frac{v}{a} = \underline{395.515 \text{ s}} \quad (0.1.42)$$

Mit der Beschleunigung und der Zeit kann nun die zurückgelegte Strecke berechnet werden:

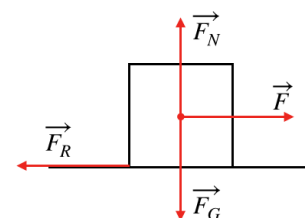
$$s = \frac{1}{2} a t^2 = \underline{3836.5 \text{ m}} \quad (0.1.43)$$

- 13) Wie schnell kann ein 906 kg schwerer Rennwagen maximal beschleunigen, wenn die Haftreibungszahl zwischen den Reifen des Wagens und der Rennbahn 0.54 beträgt? Welche Geschwindigkeit erreicht der Rennwagen 11.8s nach dem Start? Welche Strecke legt er in dieser Zeit zurück?

Lösung:

Gegeben ist die Masse $m = 906 \text{ kg}$, die Haftreibungszahl $\mu_H = 0.54$ und die Zeit $t = 11.8 \text{ s}$. Betrachtet man die vertikalen Kräfte, so gilt:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| \quad (0.1.44)$$



Durch den Vergleich der horizontalen Kräfte kann die Beschleunigung berechnet werden, wobei im zweiten Schritt die Bedingung (0.1.44) eingesetzt und im vierten Schritt die Formel für die Gewichtskraft $|\vec{F}_G| = m \cdot g$ verwendet wurde:

Lösung:

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.45)$$

$$\Leftrightarrow m \cdot a = \mu_H |\vec{F}_N| \quad (0.1.46)$$

$$\Leftrightarrow m \cdot a = \mu_H |\vec{F}_G| \quad (0.1.47)$$

$$\Leftrightarrow m \cdot a = \mu_H \cdot m \cdot g \quad (0.1.48)$$

$$\Leftrightarrow a = \mu_H \cdot g \quad (0.1.49)$$

$$= 5.2974 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (0.1.50)$$

Mit der Beschleunigung und der Zeit kann die Endgeschwindigkeit und die zurückgelegte Strecke berechnet werden:

$$v = a t = \underline{\underline{62.51 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} \quad (0.1.51)$$

$$s = \frac{1}{2} a t^2 = \underline{\underline{368.81 \text{ m}}} \quad (0.1.52)$$

- 14) Welche Zugkraft ist erforderlich, um einen 800 N schweren Schlitten auf Eis (Haftreibungszahl für Eisen–Eis: 0.03; Gleitreibungszahl für Eisen–Eis: 0.01)

a) in Bewegung zu setzen

Lösung: Betrachten Sie für diese Aufgabe die Abbildung aus der Aufgabe 13). Gegeben ist die Gewichtskraft $|\vec{F}_G| = 800 \text{ N}$ und die Haftreibungszahl $\mu_H = 0.03$. Es gilt hier die zwei Bedingungen:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| \quad (0.1.53)$$

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.54)$$

Setzt man die erste Bedingung (Gleichung (0.1.53)) in die zweite Bedingung (Gleichung (0.1.54)) ein, so erhält man das Resultat für die Zugkraft:

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.55)$$

$$= \mu_H |\vec{F}_N| \quad (0.1.56)$$

$$= \mu_H |\vec{F}_G| = \underline{\underline{24 \text{ N}}} \quad (0.1.57)$$

b) in Bewegung zu halten?

Lösung: Betrachten Sie für diese Aufgabe die Abbildung aus der Aufgabe 13). Gegeben ist die Gewichtskraft $|\vec{F}_G| = 800 \text{ N}$ und die Gleitreibungszahl $\mu_G = 0.01$. Es gilt hier die zwei Bedingungen:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| \quad (0.1.58)$$

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.59)$$

Analog wie in Teilaufgabe a) erhält man für die Zugkraft:

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.60)$$

$$= \mu_G |\vec{F}_N| = \underline{\underline{8 \text{ N}}} \quad (0.1.61)$$

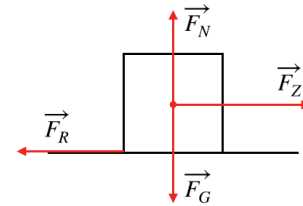
- 15) Welche Zugkraft ist erforderlich, um ein 1400 kg schweres Auto in Bewegung zu setzen? (Haftreibungszahl für Autoreifen-Asphalt: 0.4)

Lösung:

Gegeben ist die Masse $m = 1400 \text{ kg}$ und die Haftreibungszahl $\mu_H = 0.4$. Betrachtet man die nebenstehende Skizze, dann können zwei Bedingungen aufgestellt werden:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| \quad (0.1.62)$$

$$|\vec{F}_Z| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.63)$$



Setzt man die erste Bedingung in die zweite Bedingung ein, so erhält man für die Zugkraft $|\vec{F}_Z|$:

$$|\vec{F}_Z| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.64)$$

$$= \mu_H |\vec{F}_N| \quad (0.1.65)$$

$$= \mu_H |\vec{F}_G| \quad (0.1.66)$$

$$= \mu_H \cdot m \cdot g \quad (0.1.67)$$

$$= \underline{\underline{5493.6 \text{ N}}} \quad (0.1.68)$$

- 16) Nennen Sie zwei Phänomene aus dem Alltag, bei denen Reibung wichtig ist, und erläutern Sie Ihre Wahl.

Lösung:

- Beim Verknoten von Seilen etc. ist Reibung notwendig, da der Knoten sonst nicht halten würde.
- In den Bremsen von Fahrzeugen (z.B. auch beim Fahrrad) wirken hohe Reibungskräfte, wenn die Bremsbeläge gegen die Bremsscheiben gepresst werden.

- 17) Bestimmen Sie bei welchem Versuch die Haftreibungskraft grösser ist.



Abbildung 2: Abbildung zur Aufgabe 17.

Lösung: Da das Gewicht des Körpers beim zweiten Versuch erhöht wird, die Oberfläche jedoch bei beiden gleich bleibt, ist die Haftreibungskraft beim zweiten Versuch grösser als beim ersten. Die Reibungskraft ist nämlich immer proportional zur Normalkraft (hier gleich der Gewichtskraft), und die Gewichtskraft von schwereren Gegenständen ist grösser als die von leichten.

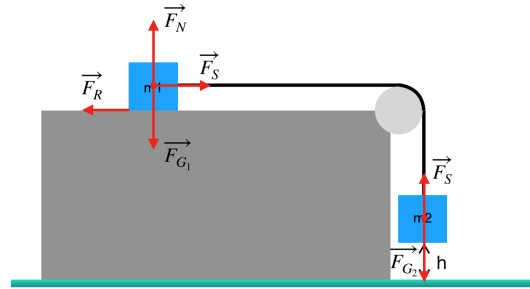
- 18) Ein auf einer waagrecht Ebene liegender Körper der Masse $m_1 = 0.2 \text{ kg}$ wird über ein masseloses Seil an einen nach unten ziehenden Körper der Masse $m_2 = 0.1 \text{ kg}$ angekoppelt. Wir gehen davon aus, dass sich die gesamte Anordnung in Bewegung setzt. Auf der horizontalen Fläche herrscht Reibung mit der Gleitreibungszahl $\mu_R = 0.2$.

a) Berechnen Sie die Beschleunigung der Anordnung.

Lösung: Gegeben sind die folgenden Angaben: $m_1 = 0.2 \text{ kg}$, $m_2 = 0.1 \text{ kg}$ und $\mu_R = 0.2$. Es gilt die folgende Bedingung:

$$|\vec{F}_{G_1}| = |\vec{F}_N| \quad (0.1.69)$$

Nun stellen wir für jede Masse je ein Kräftegleichgewicht auf. Daraus kann man je eine Formel für die Berechnung der Seilkraft aufstellen. Durch Gleichsetzen der beiden Gleichungen für die Seilkraft kann dann die Beschleunigung a berechnet werden.



Für die Masse m_1 gilt:

$$|\vec{F}_{Res_1}| = |\vec{F}_S| - |\vec{F}_R| \quad (0.1.70)$$

$$\Leftrightarrow m_1 \cdot a = |\vec{F}_S| - \mu_R \cdot |\vec{F}_N| \quad (0.1.71)$$

$$\Leftrightarrow m_1 \cdot a = |\vec{F}_S| - \mu_R \cdot |\vec{F}_{G_1}| \quad (0.1.72)$$

$$\Leftrightarrow m_1 \cdot a = |\vec{F}_S| - \mu_R \cdot m_1 \cdot g \quad (0.1.73)$$

$$\Rightarrow |\vec{F}_S| = m_1 \cdot a + \mu_R \cdot m_1 \cdot g \quad (0.1.74)$$

Für die Masse m_2 gilt:

$$|\vec{F}_{Res_2}| = |\vec{F}_{G_2}| - |\vec{F}_S| \quad (0.1.75)$$

$$\Leftrightarrow m_2 \cdot a = m_2 \cdot g - |\vec{F}_S| \quad (0.1.76)$$

$$\Rightarrow |\vec{F}_S| = m_2 \cdot g - m_2 \cdot a \quad (0.1.77)$$

Durch das Gleichsetzen der beiden Gleichungen (0.1.74) und (0.1.77) kann die Beschleunigung berechnet werden:

$$m_1 \cdot a + \mu_R \cdot m_1 \cdot g = m_2 \cdot g - m_2 \cdot a \quad (0.1.78)$$

$$\Rightarrow a = \frac{m_2 \cdot g - \mu_R \cdot m_1 \cdot g}{m_1 + m_2} = \underline{\underline{1.962 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \quad (0.1.79)$$

b) Nach welcher Zeit und mit welcher Geschwindigkeit setzt m_2 unten auf, wenn $h = 1 \text{ m}$ ist?

Lösung: Die Strecke sei $h = 1 \text{ m}$, die Beschleunigung wurde in der Teilaufgabe a) berechnet und beträgt $a = 1.962 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Da es hier um eine beschleunigte Bewegung handelt, gilt:

$$h = \frac{1}{2} a t^2 \quad (0.1.80)$$

$$\Leftrightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{a}} \quad (0.1.81)$$

Setzt man die gegebenen Größen in die Gleichung (0.1.81) ein, erhält man für die Zeit $t \approx \underline{\underline{1.01 \text{ s}}}$. Die Endgeschwindigkeit für eine beschleunigte Bewegung mit Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ kann wie folgt berechnet werden:

$$v = a \cdot t = \underline{\underline{1.98 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} \quad (0.1.82)$$

c) Welche Kraft muss das Seil übertragen (also aushalten)?

Lösung: Um die Seilkraft zu berechnen, kann entweder die Gleichung (0.1.74) oder (0.1.77) verwendet werden. Hier wird die Gleichung (0.1.77) verwendet. Durch das Einsetzen der bekannten Größen erhält man:

$$\Rightarrow |\vec{F}_S| = m_2 \cdot g - m_2 \cdot a = \underline{\underline{0.7848 \text{ N}}} \quad (0.1.83)$$

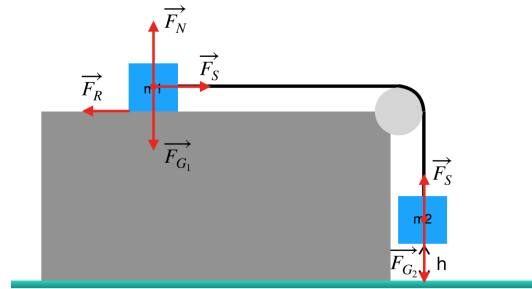
19) Ein auf einer waagrechten Ebene liegender Körper der Masse $m_1 = 1 \text{ kg}$ wird über ein masseloses Seil an einen nach unten ziehenden Körper der Masse $m_2 = 0.5 \text{ kg}$ angekoppelt. Wir gehen davon aus, dass sich die gesamte Anordnung in Bewegung setzt. Auf der horizontalen Fläche herrscht Reibung mit der Gleitreibungszahl $\mu_G = 0.2$.

a) Wie gross darf der Haftreibungskoeffizient μ_H höchstens sein, damit sich die Anordnung in Bewegung setzt?

Lösung: Gegeben sind die folgenden Angaben: $m_1 = 1 \text{ kg}$, $m_2 = 0.5 \text{ kg}$ und $\mu_G = 0.2$. Es gilt die folgende Bedingung:

$$|\vec{F}_{G_1}| = |\vec{F}_N| \quad (0.1.84)$$

Nun stellen wir für jede Masse je ein Kräftegleichgewicht auf. Daraus kann man je eine Formel für die Berechnung der Seilkraft aufstellen. Durch Gleichsetzen der beiden Gleichungen für die Seilkraft kann dann der Haftreibungskoeffizient μ_H berechnet werden.



Für die Masse m_1 gilt:

$$|\vec{F}_{Res_1}| = |\vec{F}_S| - |\vec{F}_R| \quad (0.1.85)$$

$$\Leftrightarrow |\vec{F}_{Res_1}| = |\vec{F}_S| - |\vec{F}_H| \quad (0.1.86)$$

$$\Leftrightarrow m_1 \cdot a = |\vec{F}_S| - \mu_H \cdot |\vec{F}_N| \quad (0.1.87)$$

$$\Leftrightarrow m_1 \cdot a = |\vec{F}_S| - \mu_H \cdot |\vec{F}_{G_1}| \quad (0.1.88)$$

$$\Leftrightarrow m_1 \cdot a = |\vec{F}_S| - \mu_H \cdot m_1 \cdot g \quad (0.1.89)$$

$$\Rightarrow |\vec{F}_S| = m_1 \cdot a + \mu_H \cdot m_1 \cdot g \quad (0.1.90)$$

Für die Masse m_2 gilt:

$$|\vec{F}_{Res_2}| = |\vec{F}_{G_2}| - |\vec{F}_S| \quad (0.1.91)$$

$$\Leftrightarrow m_2 \cdot a = m_2 \cdot g - |\vec{F}_S| \quad (0.1.92)$$

$$\Rightarrow |\vec{F}_S| = m_2 \cdot g - m_2 \cdot a \quad (0.1.93)$$

Nun kann man die beiden Gleichungen (0.1.90) und (0.1.93) gleichsetzen und nach μ_H auflösen:

$$m_1 \cdot a + \mu_H \cdot m_1 \cdot g = m_2 \cdot g - m_2 \cdot a \quad (0.1.94)$$

$$\Leftrightarrow \mu_H = \frac{m_2 \cdot g - m_2 \cdot a - m_1 \cdot a}{m_1 \cdot g} \quad (0.1.95)$$

Lösung: Die Haftreibungskraft existiert dann, wenn die beiden Objekte sich nicht bewegen. Das bedeutet, wenn keine Bewegung stattfindet, dann ist die Beschleunigung $a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Setzt man für die Beschleunigung $a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ in die Gleichung (0.1.95) ein und für die Masse $m_1 = 1 \text{ kg}$ und $m_2 = 0.5 \text{ kg}$, so erhält man für den Haftreibungskoeffizient:

$$\mu_H = \frac{m_2 \cdot g}{m_1 \cdot g} = \underline{0.5} \quad (0.1.96)$$

Das bedeutet, der Haftreibungskoeffizient μ_H darf höchstens 0.5 sein.

- b) Nun sei $\mu_G = 0.4$. Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der m_2 in $h = 3 \text{ m}$ Tiefe aufsetzt.

Lösung: Gegeben ist der Gleitreibungskoeffizient $\mu_G = 0.4$ und die Höhe $h = 3 \text{ m}$. Um die Geschwindigkeit zu berechnen, muss zuerst die Beschleunigung a berechnet werden. Verwenden Sie nun die Gleichung (0.1.94) und formen Sie sie nach a um:

$$m_1 \cdot a + \mu_G \cdot m_1 \cdot g = m_2 \cdot g - m_2 \cdot a \quad (0.1.97)$$

$$\Leftrightarrow a = \frac{m_2 \cdot g - \mu_G \cdot m_1 \cdot g}{m_1 + m_2} = 0.654 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (0.1.98)$$

Mit der Höhe h und der Beschleunigung a kann die Zeit t für den Fall berechnet werden:

$$h = \frac{1}{2} a t^2 \quad (0.1.99)$$

$$\Leftrightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{a}} = 3.0289 \dots \text{ s} \quad (0.1.100)$$

Daraus, unter Verwendung von a und t , kann die Geschwindigkeit v beim Aufprall auf dem Boden berechnet werden:

$$v = a t = \underline{1.98 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \quad (0.1.101)$$

- c) Welche Geschwindigkeit haben die Körper, wenn m_2 in der halben Höhe ist? Wie weit sind sie in der halben Fahrzeit gekommen?

Lösung: Welche Geschwindigkeit haben die Körper, wenn m_2 in der halben Höhe ist?

Die Beschleunigung ist $a = 0.654 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Die Strecke beträgt $s = 1.5 \text{ m}$. Die Zeit lässt sich wie folgt berechnen:

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = 2.14 \dots \text{ s} \quad (0.1.102)$$

Somit beträgt die Geschwindigkeit auf halber Höhe:

$$v = a t = \underline{1.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \quad (0.1.103)$$

Wie weit sind sie in der halben Fahrzeit gekommen?

Wir wissen aus der Teilaufgabe b), dass die Masse m_2 für 3 m eine Zeit von $t = 3.0289 \dots \text{ s}$ braucht. Die halbe Fahrzeit wäre $t_1 = t/2 = 1.514 \dots \text{ s}$. Die zurückgelegte Strecke beträgt nun somit:

$$s = \frac{1}{2} a t_1^2 = \underline{0.75 \text{ m}} \quad (0.1.104)$$

d) Wie gross ist die Seilkraft, solange die Körper noch gekoppelt fahren?

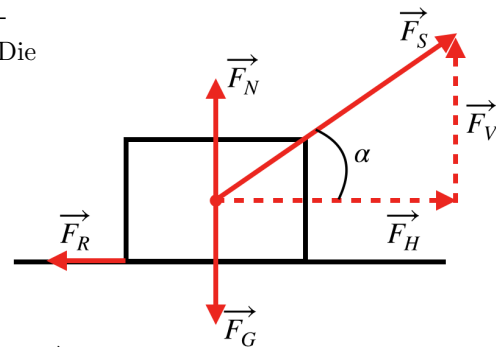
Lösung: Um die Seilkraft zu berechnen, kann entweder die Gleichung (0.1.90) oder (0.1.93) verwendet werden. Hier wird nun die Gleichung (0.1.93) verwendet und man erhält für die Seilkraft:

$$|\vec{F}_S| = m_2 \cdot g - m_2 \cdot a = \underline{\underline{4.578\text{ N}}} \quad (0.1.105)$$

20) Ein Block der Masse 8 kg wird mit einem Seil unter einem Winkel von 35° über dem Boden gezogen. Der Reibungskoeffizient beträgt 0.2. Wie gross muss die Kraft am Seil sein, damit der Block die Geschwindigkeit behält?

Lösung:

Betrachten Sie für die folgende Aufgabe die nebenstehende Skizze mit den eingezeichneten Kräften. Die Seilkraft \vec{F}_S kann zerlegt werden in eine horizontale Komponente \vec{F}_H und in eine vertikale Komponente \vec{F}_V .



Betrachtet man nun die vertikalen Kräfte, so kann das folgende Kräftegleichgewicht aufgestellt werden:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| + |\vec{F}_V| \quad (0.1.106)$$

Mit $|\vec{F}_V| = |\vec{F}_S| \cdot \sin(\alpha)$ eingesetzt in die Gleichung (0.1.106), erhält man für die vertikalen Kräfte das folgende Kräftegleichgewicht:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| + |\vec{F}_S| \cdot \sin(\alpha) \quad (0.1.107)$$

Laut Aufgabenstellung ist die Geschwindigkeit konstant, das heisst die Beschleunigung ist $a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, was wiederum bedeutet, die resultierende Kraft ist $|\vec{F}_{Res}| = 0 \text{ N}$. Betrachtet man nun die horizontalen Kräfte, so kann das folgende Kräftegleichgewicht aufgestellt werden:

$$|\vec{F}_H| - |\vec{F}_R| = |\vec{F}_{Res}| = 0 \quad (0.1.108)$$

$$\Leftrightarrow |\vec{F}_H| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.109)$$

Setzt man in die Gleichung (0.1.109) $|\vec{F}_H| = |\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha)$ und $|\vec{F}_R| = \mu \cdot |\vec{F}_N|$ ein, so erhält man für die horizontalen Kräfte das folgende Kräftegleichgewicht:

$$|\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha) = \mu \cdot |\vec{F}_N| \quad (0.1.110)$$

Um die Seilkraft $|\vec{F}_S|$ zu berechnen, wird nun die Gleichung (0.1.107) nach $|\vec{F}_N|$ umgeformt und in die Gleichung (0.1.110) eingesetzt und man erhält für die Seilkraft $|\vec{F}_S|$:

$$|\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha) = \mu \cdot (|\vec{F}_G| - |\vec{F}_S| \sin(\alpha)) \quad (0.1.111)$$

$$\Leftrightarrow |\vec{F}_S| = \frac{\mu \cdot |\vec{F}_G|}{\cos(\alpha) + \mu \cdot \sin(\alpha)} \quad (0.1.112)$$

$$= \frac{\mu \cdot m \cdot g}{\cos(\alpha) + \mu \cdot \sin(\alpha)} \approx \underline{\underline{16.81\text{ N}}} \quad (0.1.113)$$

wobei für die Masse $m = 8 \text{ kg}$, für den Winkel $\alpha = 35^\circ$ und für den Reibungskoeffizient $\mu = 0.2$ eingesetzt wurde.

- 21) Ein Block der Masse 10 kg wird mit einem Seil unter einem Winkel von 20° über dem Boden gezogen. Die Geschwindigkeit soll dabei konstant bleiben. Die benötigte Kraft beträgt 12 N. Wie gross ist der Reibungskoeffizient?

Lösung:

Betrachtet man nun die vertikalen Kräfte, so kann das folgende Kräftegleichgewicht aufgestellt werden:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| + |\vec{F}_V| \quad (0.1.114)$$

Mit $|\vec{F}_V| = |\vec{F}_S| \cdot \sin(\alpha)$ eingesetzt in die Gleichung (0.1.114), erhält man für die vertikalen Kräfte das folgende Kräftegleichgewicht:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| + |\vec{F}_S| \cdot \sin(\alpha) \quad (0.1.115)$$

Laut Aufgabenstellung ist die Geschwindigkeit konstant, das heisst die Beschleunigung ist $a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, was wiederum bedeutet, die resultierende Kraft ist $|\vec{F}_{Res}| = 0 \text{ N}$. Betrachtet man nun die horizontalen Kräfte, so kann das folgende Kräftegleichgewicht aufgestellt werden:

$$|\vec{F}_H| - |\vec{F}_R| = |\vec{F}_{Res}| = 0 \quad (0.1.116)$$

$$\Leftrightarrow |\vec{F}_H| = |\vec{F}_R| \quad (0.1.117)$$

Setzt man in die Gleichung (0.1.117) $|\vec{F}_H| = |\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha)$ und $|\vec{F}_R| = \mu \cdot |\vec{F}_N|$ ein, so erhält man für die horizontalen Kräfte das folgende Kräftegleichgewicht:

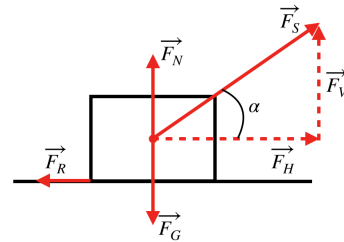
$$|\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha) = \mu \cdot |\vec{F}_N| \quad (0.1.118)$$

Um den Reibungskoeffizient μ zu berechnen, wird nun die Gleichung (0.1.115) nach $|\vec{F}_N|$ umgeformt und in die Gleichung (0.1.118) eingesetzt und man erhält für den Reibungskoeffizient:

$$|\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha) = \mu \cdot (|\vec{F}_G| - |\vec{F}_S| \sin(\alpha)) \quad (0.1.119)$$

$$\Leftrightarrow \mu = \frac{|\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha)}{|\vec{F}_G| - |\vec{F}_S| \cdot \sin(\alpha)} \approx \underline{\underline{0.12}} \quad (0.1.120)$$

wobei in die Gleichung (0.1.120) $|\vec{F}_S| = 12 \text{ N}$, $\alpha = 20^\circ$ und $|\vec{F}_G| = 10 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 98.1 \text{ N}$ eingesetzt wurde.



- 22) Ein Block der Masse 5 kg wird mithilfe eines Seils auf einem horizontalen reibungsfreien Fussboden entlanggezogen. Das Seil übt unter einem Winkel von $\alpha = 25^\circ$ oberhalb der Horizontalen eine Kraft mit dem Betrag $|\vec{F}| = 15 \text{ N}$ aus.

- a) Wie gross ist der Betrag der Beschleunigung des Blocks?

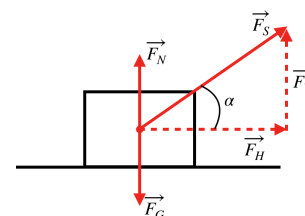
Lösung:

Gegeben sind die folgenden Grössen: $m = 5 \text{ kg}$, $\alpha = 25^\circ$ und $|\vec{F}_S| = 15 \text{ N}$. Betrachtet man nun die vertikalen Kräfte, so kann das folgende Kräftegleichgewicht aufgestellt werden:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| + |\vec{F}_V| \quad (0.1.121)$$

Mit $|\vec{F}_V| = |\vec{F}_S| \cdot \sin(\alpha)$ eingesetzt in die Gleichung (0.1.121), erhält man für die vertikalen Kräfte das folgende Kräftegleichgewicht:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_N| + |\vec{F}_S| \cdot \sin(\alpha) \quad (0.1.122)$$



Lösung: Betrachtet man nun die horizontalen Kräfte, so kann das folgende Kräftegleichgewicht aufgestellt werden:

$$|\vec{F}_H| = |\vec{F}_{Res}| \quad (0.1.123)$$

Setzt man in die Gleichung (0.1.123) $|\vec{F}_H| = |\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha)$ ein, so erhält man für die horizontalen Kräfte das folgende Kräftegleichgewicht:

$$|\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha) = |\vec{F}_{Res}| \quad (0.1.124)$$

Mithilfe der Gleichung (0.1.124) kann die Beschleunigung berechnet werden:

$$|\vec{F}_{Res}| = |\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha) \quad (0.1.125)$$

$$\Leftrightarrow m \cdot a = |\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha) \quad (0.1.126)$$

$$\Leftrightarrow a = \frac{|\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha)}{m} \approx \underline{\underline{2.72 \frac{m}{s^2}}} \quad (0.1.127)$$

- b) Der Betrag der Kraft wird langsam erhöht. Wie gross ist dieser Betrag, kurz bevor der Block (vollständig) vom Boden abhebt?

Lösung: Es wird hier der Grenzfall betrachtet, kurz bevor der Block vollständig vom Boden abhebt, das bedeutet $|\vec{F}_N| = 0 \text{ N}$. Setzt man diese Bedingung in die Gleichung (0.1.122) ein, erhält man:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_S| \cdot \sin(\alpha) \quad (0.1.128)$$

Die Gleichung (0.1.128) kann nach $|\vec{F}_S|$ umgeformt werden und man erhält für den Betrag der Seilkraft:

$$|\vec{F}_S| = \frac{|\vec{F}_G|}{\sin(\alpha)} \quad (0.1.129)$$

$$= \frac{m \cdot g}{\sin(\alpha)} \approx \underline{\underline{116.1 \text{ N}}} \quad (0.1.130)$$

- c) Wie gross ist der Betrag der Beschleunigung des Blocks, kurz bevor er vom Boden abhebt?

Lösung: Aus der Teilaufgabe b) wissen wir, dass die Seilkraft wie folgt berechnet wird:

$$|\vec{F}_S| = \frac{|\vec{F}_G|}{\sin(\alpha)} = \frac{m \cdot g}{\sin(\alpha)} \quad (0.1.131)$$

Aus der Teilaufgabe a) wissen wir, dass die Beschleunigung wie folgt berechnet wird:

$$a = \frac{|\vec{F}_{Res}|}{m} = \frac{|\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha)}{m} \quad (0.1.132)$$

Nun kann die Gleichung (0.1.131) in (0.1.132) eingesetzt werden und man erhält dann für die Beschleunigung:

$$a = \frac{|\vec{F}_S| \cdot \cos(\alpha)}{m} = \frac{m \cdot g}{\sin(\alpha)} \cdot \frac{\cos(\alpha)}{m} \quad (0.1.133)$$

$$= \frac{g \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} \approx \underline{\underline{21.04 \frac{m}{s^2}}} \quad (0.1.134)$$

23) Eine Kraft von 9 N dehnt eine Feder um 20 cm.

a) Berechnen Sie die Federkonstante.

Lösung: Gegeben ist die Federkraft $|\vec{F}_F| = 9 \text{ N}$ und die Ausdehnung $l = 0.2 \text{ m}$. Aus diesen zwei Angaben lässt sich die Federkonstante berechnen:

$$|\vec{F}_F| = D \cdot l \quad (0.1.135)$$

$$\Leftrightarrow D = \frac{|\vec{F}_F|}{l} \quad (0.1.136)$$

$$= \underline{\underline{45 \frac{\text{N}}{\text{m}}}} \quad (0.1.137)$$

b) Um wie viel wird diese Feder durch eine Kraft von 15 N gedehnt?

Lösung: Wir wissen aus der Aufgabe a), dass die Federkonstante $D = 45 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ist. Die Federkraft sei $|\vec{F}_F| = 15 \text{ N}$. Aus diesen zwei Angaben und mithilfe der Formel $|\vec{F}_F| = D \cdot l$ kann die Ausdehnung berechnet werden:

$$l = \frac{|\vec{F}_F|}{D} \quad (0.1.138)$$

$$= \underline{\underline{0.3 \text{ m}}} \quad (0.1.139)$$

24) Ein Gewicht von 7 N dehnt eine Feder um 5.6 cm. Nun werden zusätzliche 500 g an die Feder gehängt. Berechnen Sie die Federkonstante und die gesamte Dehnung der Feder.

Lösung: Die Federkraft sei am Anfang $|\vec{F}_F| = 7 \text{ N}$ und die Ausdehnung beträgt $l = 0.056 \text{ m}$. Daraus lässt sich die Federkonstante berechnen:

$$\Leftrightarrow D = \frac{|\vec{F}_F|}{l} \quad (0.1.140)$$

$$= \underline{\underline{125 \frac{\text{N}}{\text{m}}}} \quad (0.1.141)$$

Wenn nun zusätzlich 500 g, welches einer Kraft von $|\vec{F}_F| = 4.905 \text{ N}$ entspricht, drangehängt wird, haben wir eine Gesamt-Federkraft von $|\vec{F}_{F,tot}| = 11.905 \text{ N}$. Nun kann die gesamte Dehnung berechnet werden:

$$l = \frac{|\vec{F}_{F,tot}|}{D} = 0.09524 \text{ m} = \underline{\underline{9.524 \text{ cm}}} \quad (0.1.142)$$

25) Eine Lokomotive stösst einen Güterwagen mit einer Kraft von 35 kN. Um wie viel werden die beiden Puffer des Wagens zusammengedrückt, wenn sie je eine Federkonstante von $2.5 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ aufweisen und von der Lokomotive gleich stark zusammengedrückt werden?

Lösung: Gegeben ist die Federkraft $|\vec{F}_F| = 35000 \text{ N}$ und die Federkonstante $D = 2.5 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$. Daraus kann die Ausdehnung berechnet werden:

$$l = \frac{|\vec{F}_F|}{D} = 0.14 \text{ m} = 14 \text{ cm} \quad (0.1.143)$$

Das ist nun die Gesamtausdehnung von den beiden Puffern zusammengezählt. Für einen Puffer beträgt die Ausdehnung 7 cm.

26) Ein Trampolin kann für Lasten unter 1000 N als lineare Feder betrachtet werden.

- a) Wenn der Turnlehrer ($m = 76 \text{ kg}$) auf dem Trampolin steht, senkt sich das Tuch um 17 cm. Wie gross ist die Federkonstante dieses Trampolins?

Lösung: Gegeben ist die Masse $m = 76 \text{ kg}$ und die Ausdehnung $l = 0.17 \text{ m}$. Wenn der Turnlehrer auf dem Trampolin steht und das Tuch sich senkt, gilt das untenstehende Kräftegleichgewicht, welches nach der Federkonstante D umgeformt werden kann:

$$|\vec{F}_F| = |\vec{F}_G| \quad (0.1.144)$$

$$\Leftrightarrow D \cdot l = m \cdot g \quad (0.1.145)$$

$$\Leftrightarrow D = \frac{m \cdot g}{l} = \underline{\underline{4386.65 \frac{\text{N}}{\text{m}}}} \quad (0.1.146)$$

- b) Sobald Mirjam auf das Tuch steigt, senkt es sich um 12 cm. Wie schwer ist Mirjam?

Lösung: Es gilt hier wieder das untenstehende Kräftegleichgewicht mit der Federkonstante $D = 4386.65 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, welche in der Aufgabe a) schon berechnet wurde. Das Kräftegleichgewicht kann nach m umgeformt werden:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_F| \quad (0.1.147)$$

$$\Leftrightarrow m \cdot g = D \cdot l \quad (0.1.148)$$

$$\Leftrightarrow m = \frac{D \cdot l}{g} = \underline{\underline{53.65 \text{ kg}}} \quad (0.1.149)$$

27) Wie bei allen Autos, sind bei einem Smart bei allen vier Rädern Stossdämpfer eingebaut um Unebenheiten der Strasse auszugleichen. Welche Federkonstante muss ein solcher Stossdämpfer mindestens haben, damit der Smart bei einer Vollbelastung (zusätzlich 260 kg) nicht weiter als 5.0 Zentimeter absinkt?

Lösung: Gegeben ist die Masse $m = 260 \text{ kg}$ und die Ausdehnung der Feder $l = 0.05 \text{ m}$. Es gilt hier das Kräftegleichgewicht, welches nach D umgeformt werden kann:

$$|\vec{F}_F| = |\vec{F}_G| \quad (0.1.150)$$

$$\Leftrightarrow D \cdot l = m \cdot g \quad (0.1.151)$$

$$\Leftrightarrow D = \frac{m \cdot g}{l} = 51012 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (0.1.152)$$

Da wir jetzt nun die Federkonstante von einem Rad haben möchten, muss die oben berechnete Federkonstante durch vier geteilt werden und man erhält als Lösung für die Federkonstante pro Rad: $\underline{\underline{12753 \frac{\text{N}}{\text{m}}}}$.

28) Zwei (masselose) Federn ($16 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ und $24 \frac{\text{N}}{\text{m}}$) werden aneinandergelängt und mit 6 N belastet. Berechnen Sie die Gesamtdehnung und die Federkonstante der Kombination.

Lösung: Gegeben sind die Grössen $D_1 = 16 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, $D_2 = 24 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ und $|\vec{F}_F| = 6 \text{ N}$. Die Gesamtdehnung lässt sich wie folgt berechnen:

$$l = l_1 + l_2 = \frac{|\vec{F}_F|}{D_1} + \frac{|\vec{F}_F|}{D_2} = 0.625 \text{ m} = \underline{\underline{62.5 \text{ cm}}} \quad (0.1.153)$$

Die Federkonstante der Doppelfeder beträgt:

$$D = \frac{|\vec{F}_F|}{l} = \underline{\underline{9.6 \frac{\text{N}}{\text{m}}}} \quad (0.1.154)$$