

Aufgaben zur Dynamik

24. Beim ruckartigen Anheben eines schweren Koffers kann der Griff abreißen. Warum passiert das beim langsamen Anheben nicht?

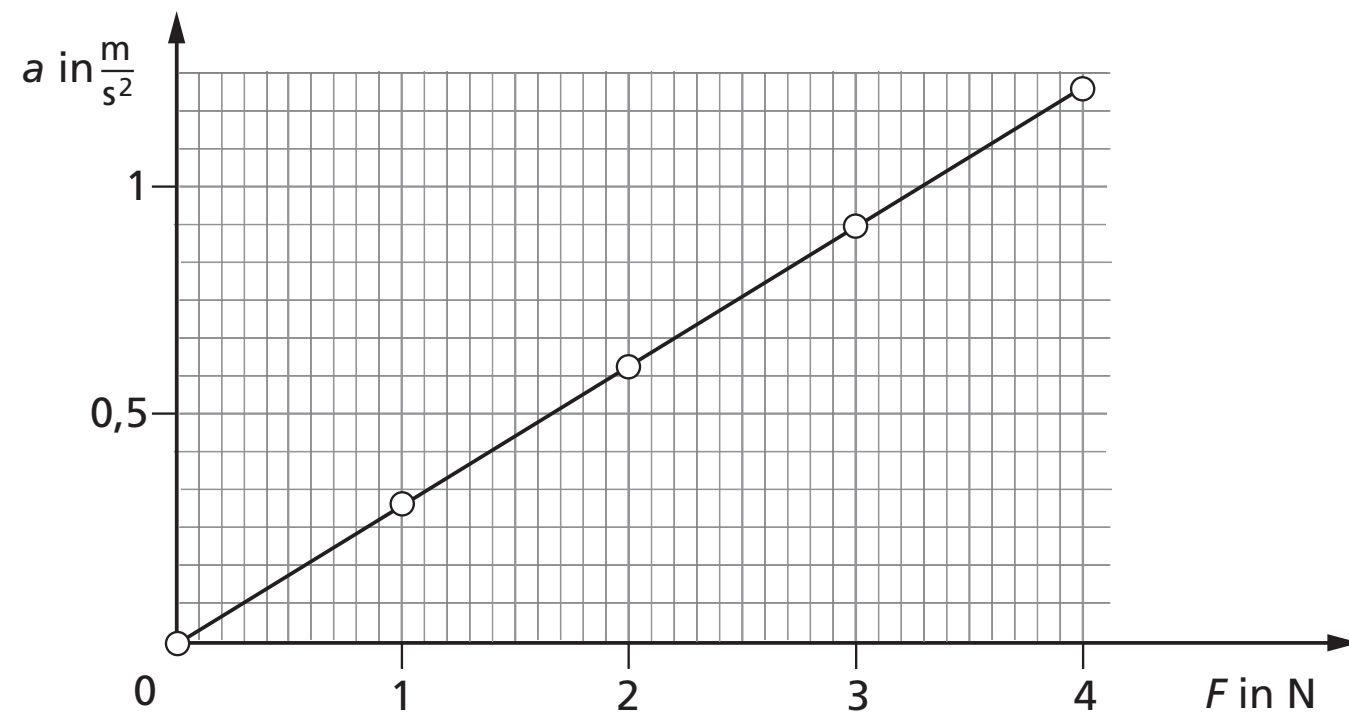
25. Für die Sicherheit beim Autofahren sind Sicherheitsgurte, Airbag, Kopfstützen und eine Knautschzone vorgesehen.
Erläutern Sie aus physikalischer Sicht den Zweck und die Wirkungsweise der genannten Sicherheitseinrichtungen!

26. Bei einem Experiment zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Beschleunigung eines Körpers und der beschleunigenden Kraft wurden folgende Messwertepaare aufgenommen:

F in N	0	1,0	2,0	3,0	4,0
a in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	0	0,30	0,59	0,91	1,20

- a) Zeichnen Sie das Beschleunigung-Kraft-Diagramm!
- b) Interpretieren Sie das Diagramm!
- c) Berechnen Sie aus den Messwerten die Masse des Körpers!

26. a)



$m_1 = 3,33 \text{ kg}$, $m_2 = 3,39 \text{ kg}$, $m_3 = 3,30 \text{ kg}$, $m_4 = 3,33 \text{ kg}$ und damit als Mittelwert: $m = 3,34 \text{ kg}$.

27. Welche Bremskraft ist erforderlich, um ein Fahrzeug mit einer Masse von 1 100 kg, das mit 65 km/h fährt, nach 55 m zum Halten zu bringen?

28. Die Elektromotoren eines Intercityexpress haben eine maximale Antriebskraft von 270 kN. Die Masse des Zugs beträgt 500 t.

- a) Welche maximale Beschleunigung erreicht ein ICE beim Anfahren?
- b) In welcher Zeit erreicht der ICE bei dieser Beschleunigung eine Geschwindigkeit von 100 km/h? Vergleichen Sie das mit den Zeiten, die bei einem Pkw erreicht werden! Welchen Weg legt der ICE dabei zurück?
- c) Die Bremsverzögerung beim Abbremsen beträgt $0,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Welche Strecke benötigt der mit 200 km/h fahrende Zug, um zum Stillstand zu kommen? Wie groß ist dabei die Bremskraft?
- d) Zeichnen Sie das Weg-Zeit-Diagramm für den gesamten Bremsvorgang!

27. Geht man von einem gleichmäßigen Abbremsen aus, so können neben dem newtonschen Grundgesetz die Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung angewendet werden.

Gesucht: F

Gegeben: $m = 1\,100\text{ kg}$
 $v = 65 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 $s = 55\text{ m}$

Lösung: $F = m \cdot a \quad (1)$

Die Beschleunigung lässt sich folgendermaßen ausdrücken:

Aus $v = a \cdot t$ folgt $t = \frac{v}{a}$.

Eingesetzt in $s = \frac{a}{2} \cdot t^2$ erhält man $s = \frac{v^2}{2a}$ und damit $a = \frac{v^2}{2s} \quad (2)$

Einsetzen von (2) in (1) ergibt:

$$F = m \cdot \frac{v^2}{2s}$$
$$F = 1\,100\text{ kg} \cdot \frac{\left(18 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 55\text{ m}}$$

$$\underline{F = 3\,240 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}$$

Die erforderliche (durchschnittliche) Bremskraft beträgt 3 240 N.

28. a) Es wird von einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung ausgegangen. Folglich können zur Lösung neben dem newtonschen Grundgesetz die betreffenden Bewegungsgesetze genutzt werden.

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{270\,000\text{ N}}{500\,000\text{ kg}}$$

$$\underline{a = 0,54 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

Die maximale Beschleunigung eines ICE beträgt etwa $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

b) Aus $v = a \cdot t$ folgt $t = \frac{v}{a}$

$$t = \frac{27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,54 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\underline{t = 51,5 \text{ s}}$$

Für den Weg aus dem Stillstand gilt:

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2$$

$$s = \frac{0,54 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} \cdot (51,5 \text{ s})^2$$

$$\underline{s = 716 \text{ m}}$$

c) Gesucht: s, F

Gegeben: $a = 0,6 \text{ m/s}^2$

$$v_0 = 200 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 55,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Lösung: Aus $v = v_0 - a \cdot t$ folgt mit $v = 0$: $t = \frac{v_0}{a}$ (1)

Das Weg-Zeit-Gesetz lautet:

$$s = v_0 \cdot t - \frac{a}{2} \cdot t^2 \quad (2)$$

Setzt man (1) in (2) ein, so erhält man:

$$s = \frac{v_0^2}{a} - \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2a}$$

$$s = \frac{\left(55,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\underline{s = 2\,576 \text{ m}}$$

Für die Bremskraft gilt:

$$F = m \cdot a$$

$$F = 500\,000 \text{ kg} \cdot 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\underline{F = 300\,000 \text{ N}}$$

Der Zug kommt nach etwa 2 600 m zum Stehen. Die Bremskraft beträgt ca. 300 kN.

.. - .. - .. - .. - .. - ..

d) Es liegt eine gleichmäßig verzögerte Bewegung bis zum Stillstand vor, für die folgendes Weg-Zeit-Gesetz gilt:

$$s = v_0 \cdot t - \frac{a}{2} \cdot t^2$$

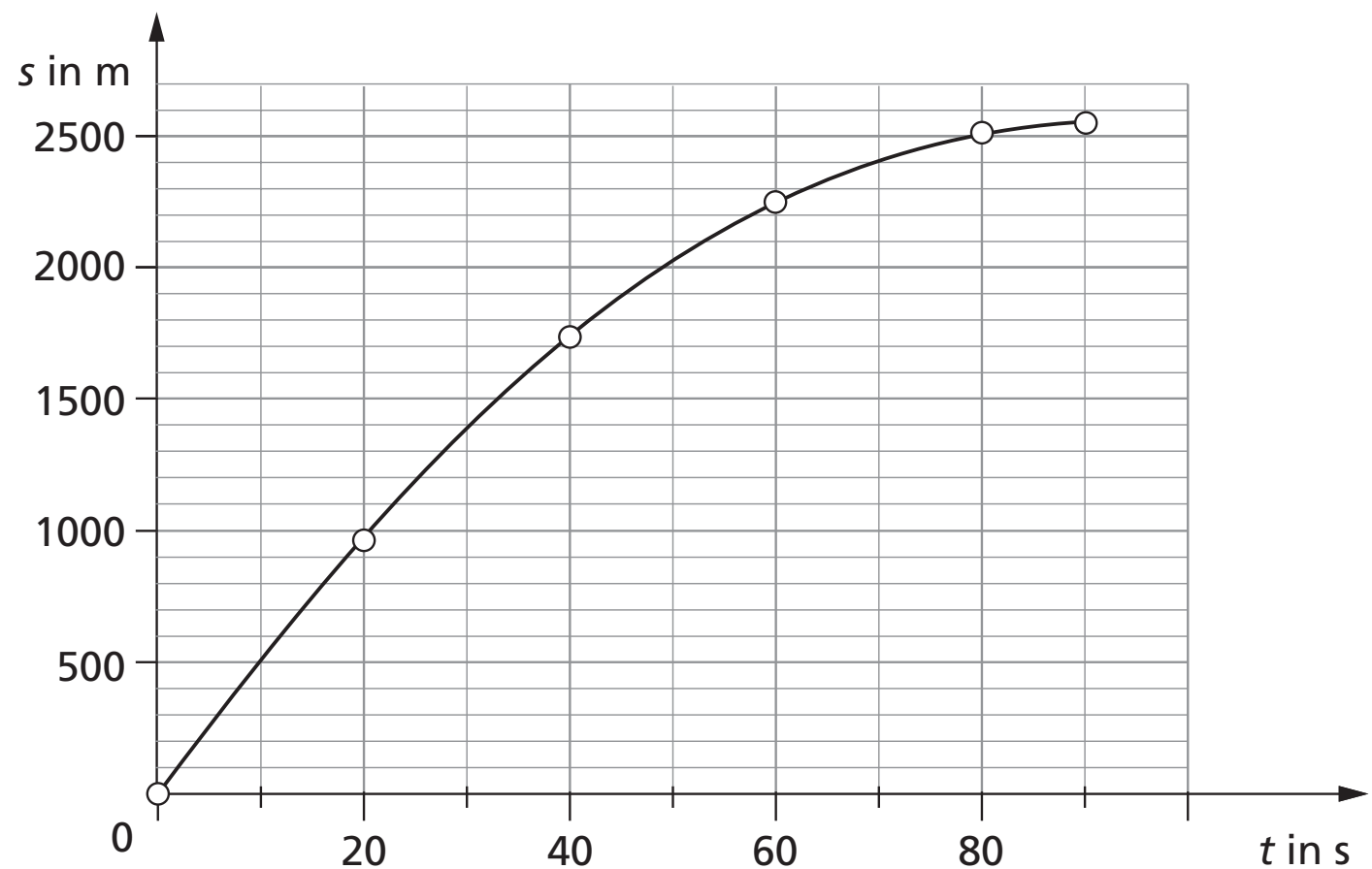
Mit

$$v_0 = 200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

und

$$a = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

erhält man:



t in s	0	20	40	60	80	90
s in m	0	991	1 742	2 253	2 524	2 570

33. Nach Messungen des TÜV treten in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp bei einem Frontalaufprall auf ein festes Hindernis mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h kurzzeitig Verzögerungen zwischen 35 *g* und 50 *g* auf.

- a) Was bedeutet das für die auf Personen und Gegenstände im Auto wirkenden Trägheitskräfte?
- b) Wie groß wären bei einer Verzögerung von 40 *g* die Trägheitskräfte auf eine Person (65 kg) und auf einen Regenschirm (600 g), der lose auf der hinteren Ablage liegt?
- c) Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für Fahrer und Fahrgäste?
- d) Setzen Sie sich mit der Aussage „Ein Auffahrunfall mit 30 km/h ist ungefährlich“ aus physikalischer Sicht auseinander!

34. Mit welcher Beschleunigung rutscht ein 10 kg schwerer Körper bei $\mu = 0,50$ eine geneigte Ebene mit einem Neigungswinkel von 30° hinab?

33. a) Der Betrag einer Trägheitskraft hängt von Masse und Beschleunigung ab: $F_T = m \cdot a$.
Bei Verzögerungen von 35 g bis 50 g bedeutet das: Die auf einen Körper wirkenden Trägheitskräfte sind 35- bis 50-mal so groß wie die Gewichtskraft des Körpers.

b) Gesucht: F_T
Gegeben: $a = 40 \text{ g} = 40 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $m_1 = 65 \text{ kg}$
 $m_2 = 0,6 \text{ kg}$

Lösung: $F_T = m \cdot a$
 $F_{T,1} = 65 \text{ kg} \cdot 40 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $F_{T,1} = 25,5 \text{ kN}$

 $F_{T,2} = 0,6 \text{ kg} \cdot 40 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $F_{T,2} = 235 \text{ N}$

Die Trägheitskraft auf die Person würde 25,5 kN betragen, die auf den Schirm 235 N.

- c) Die Kraft auf die Person ist so groß, dass ein Abstützen nicht möglich wäre. Solche Kräfte könnte nur ein Sicherheitsgurt aufnehmen.
Die Trägheitskraft auf den Regenschirm würde bewirken, dass er wie ein Geschoss nach vorn beschleunigt wird. Gegenstände sollten deshalb nicht lose auf die Ablage gelegt werden.
- d) Erfolgt das Abbremsen sehr schnell, z. B. beim Aufprall auf einen Baum, dann können kurzzeitig sehr große Beschleunigungen und damit entsprechende Trägheitskräfte wirksam werden, die auch bei einer Geschwindigkeitsänderung von $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zu erheblichen Schäden (Verletzungen) führen können.

34. Die beschleunigende Kraft ist die Hangabtriebskraft als eine Komponente der Gewichtskraft. Ihr entgegen wirkt die Gleitreibungskraft.

Gesucht: a

Gegeben: $m = 10 \text{ kg}$

$\mu = 0,50$

$\alpha = 30^\circ$

Lösung: Für die Beschleunigung gilt:

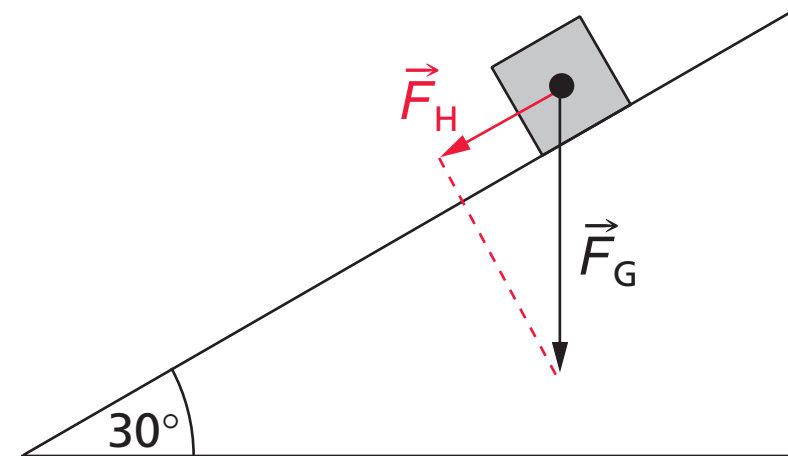
$$a = \frac{F}{m} \quad \text{mit} \quad F = F_H - F_R$$
$$F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$
$$F_R = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$a = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha - \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha}{m}$$

$$a = g \cdot \sin \alpha - \mu \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$a = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 30^\circ - 0,5 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos 30^\circ$$

$$\underline{a = 0,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$



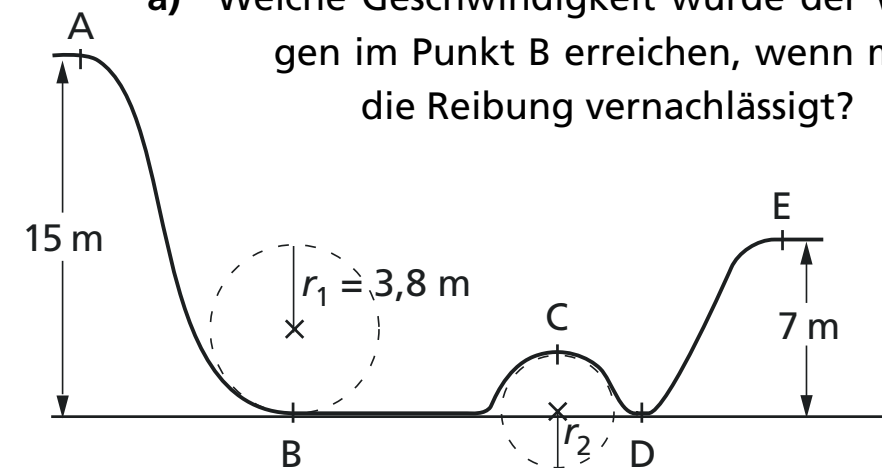
Der Körper rutscht mit einer Beschleunigung von $0,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ die geneigte Ebene hinab.

12. Untersuchungen der Reaktionszeit von Kraftfahrern ergaben einen Mittelwert von 0,92 s.

- a) Wie groß ist der Anhalteweg unter Berücksichtigung der Reaktionszeit bei Geschwindigkeiten von 30 km/h, 50 km/h, 70 km/h und 100 km/h, wenn man auf trockener Straße eine konstante Bremsverzögerung von $5,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ annimmt?
- b) Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für das Verhalten von Kraftfahrern in Ortschaften?

35. Der Wagen einer Berg- und Talbahn hat einschließlich Insassen eine Masse von 380 kg. Er startet vom Punkt A aus. Die gesamte Strecke von A bis E ist 120 m lang.

- a) Welche Geschwindigkeit würde der Wagen im Punkt B erreichen, wenn man die Reibung vernachlässigt?



- b) Mit welcher Kraft wird eine 65 kg schwere Person im Punkt B in den Sitz gedrückt?
- c) Welchen Wert darf der Radius r_2 nicht unterschreiten, wenn der Wagen in Punkt C nicht abheben soll?
- d) Wie groß darf die durchschnittliche Reibungskraft höchstens sein, damit der Wagen den Punkt E noch mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h erreicht?
- e) Experimente mit einer realen Bahn zeigen, dass die Reibungskraft zu groß ist und Punkt E nicht sicher vom Wagen erreicht wird. Welche konstruktiven Änderungen könnte man vornehmen, um die Betriebsicherheit zu gewährleisten?

12. a) Der Anhalteweg ergibt sich aus der gleichförmigen Bewegung während der Reaktionszeit und dem Weg, der während des Bremsens zurückgelegt wird.

Gesucht: s

Gegeben: $a = 5,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$$v = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 70 \frac{\text{km}}{\text{h}}, 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Lösung: $s = v \cdot t_1 + \frac{a}{2} \cdot t_2^2$

Mit $t_2 = \frac{v}{a}$ erhält man: $s = v \cdot t_1 + \frac{v^2}{2a}$

Damit ergibt sich für die verschiedenen Geschwindigkeiten:

$$v = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}: \quad s = \frac{30 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \cdot 0,92 \text{ s} + \left(\frac{30 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \right)^2 \cdot \frac{\text{s}^2}{2 \cdot 5,5 \text{ m}}$$

$$s = 7,67 \text{ m} + 6,31 \text{ m}$$

$$\underline{s \approx 14 \text{ m}}$$

$$v = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}: \quad \underline{s \approx 30 \text{ m}}$$

$$v = 70 \frac{\text{km}}{\text{h}}: \quad \underline{s \approx 52 \text{ m}}$$

$$v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}: \quad \underline{s \approx 96 \text{ m}}$$

- b) Der Anhalteweg vergrößert sich mit steigender Geschwindigkeit überproportional. Damit wird bei höheren Geschwindigkeiten ein Anhalten vor plötzlichen Hindernissen kaum noch möglich.

Hinweis: Bei den für Pkw angegebenen Bremswegen (meist von 100 km/h auf null), die bei etwa 35 m liegen, handelt es sich um die reinen Bremswege bei optimalen Bedingungen und ohne Berücksichtigung der in der Praxis stets vorhandenen Reaktionszeit.

35. a) Es kann der Energieerhaltungssatz der Mechanik genutzt werden $E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}}$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{2 g \cdot h}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 15 \text{ m}}$$

$$v = 17,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) In Punkt B wirkt neben der ~~Gewichtskraft~~ die Zentrifugalkraft in gleicher Richtung. Demzufolge gilt:

$$F = F_G + F_Z$$

$$F = m \cdot g + m \cdot \frac{v^2}{r} = m \left(g + \frac{v^2}{r} \right)$$

$$F = 65 \text{ kg} \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{\left(17,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{3,8 \text{ m}} \right)$$

$$\underline{F = 5,7 \text{ kN}}$$

- c) Der Grenzwert ist erreicht, wenn die Zentrifugalkraft genau so groß wie die Gewichtskraft ist, also gilt:

$$m \cdot g \geq m \cdot \frac{v^2}{r_2} \quad \text{und damit} \quad r_2 \geq \frac{v^2}{g} \quad (1)$$

Die Geschwindigkeit ergibt sich bei reibungsfreier Bewegung aus energetischen Betrachtungen:

$$m \cdot g \cdot (h - r_2) = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$v^2 = 2 g (h - r_2) \quad \text{mit} \quad h = 15 \text{ m}$$

Eingesetzt in (1) ergibt:

$$r_2 \geq \frac{2g(h - r_2)}{g} = 2(h - r_2) \quad \text{oder} \quad r_2 + 2r_2 \geq 2h$$

$$r_2 \geq \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \cdot 15 \text{ m}$$

$$\underline{r_2 \geq 10 \text{ m}}$$

Der Radius der Bahn müsste mindestens 10 m sein, damit der Wagen nicht abhebt.

Beachte: Die Aufgabenskizze ist (bewusst) nicht maßstabsgerecht.

- d) Gesucht: F_R
Gegeben: $s = 120 \text{ m}$
 $v = 5 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Lösung: Es wird davon ausgegangen, dass die bewegungshemmende Reibungskraft entlang des gesamten Weges konstant ist. Dann kann man folgenden energetischen Ansatz machen:

$$m \cdot g \cdot h_1 = F_R \cdot s + \frac{1}{2} m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h_2$$

Die Umformung ergibt:

$$F_R = \frac{m \cdot g \cdot h_1 - \frac{1}{2} m \cdot v^2 - m \cdot g \cdot h_2}{s}$$

$$F_R = \frac{m \cdot g(h_1 - h_2) - \frac{1}{2} m \cdot v^2}{s}$$
$$F_R = \frac{380 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (15 \text{ m} - 7 \text{ m}) - \frac{1}{2} \cdot 380 \text{ kg} \cdot \left(1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{120 \text{ m}}$$

$$F_R = \frac{29\,822 \text{ Nm} - 372 \text{ Nm}}{120 \text{ m}}$$

$$\underline{F_R = 245 \text{ N}}$$

Die Reibungskraft darf höchstens 245 N betragen.

- e) Es gibt sehr unterschiedliche Möglichkeiten, z. B.
- Vergrößerung der Höhe h_1 ,
 - Verkleinerung der Höhe h_2 ,
 - Verkürzung der Bahn,
 - Verkleinerung der Reibung.

