

Linearer Impuls

A. Äussere Kraft auf frei beweglichen Körper

- A.1.) Ein 4.0 kg schwerer Körper wird (im Schwerfeld der Erde) fallen gelassen. Nach 2.5 s Fallzeit prallt er auf den Boden.
- a) Welche Kraft beschleunigt den Körper?
 - b) Welche Impulsänderung erfährt der Körper beim freien Fall?
 - c) Wie schnell bewegt sich der Körper beim Aufprall?
 - d) Wie gross ist die Fallhöhe?
- A.2.) Ein 28 t schwerer Lastwagen fährt auf einer horizontalen Strecke mit einer Geschwindigkeit von 108 km/h . Bei einer Vollbremsung soll er durch gleichförmige Verzögerung auf einer Strecke von 60 m bis zum Stillstand abgebremst werden.
- a) Wie gross ist die mittlere Geschwindigkeit beim Abbremsen?
 - b) Wie lange dauert das Abbremsen bis zum Stillstand?
 - c) Welche Impulsänderung erfährt das Fahrzeug beim Abbremsen?
 - d) Welche Bremskraft ist zum Abbremsen erforderlich?

A.3.) Ein 0.40kg schwerer Ball prallt mit einer Geschwindigkeit von 5.0m/s senkrecht auf eine Wand. Welche Impulsänderung erfährt der Ball, wenn er sich nach dem Aufprall mit einer Geschwindigkeit von

- a) 5.0m/s
- b) 3.5m/s

in Gegenrichtung bewegt?

A.4.) Ein 0.35kg schwerer Ball prallt nach einem freien Fall mit einer Geschwindigkeit von 2.5m/s auf den Boden und steigt unmittelbar nach dem Aufprall mit einer Geschwindigkeit von 2.0m/s wieder hoch.

- a) Welche Impulsänderung erfährt der Ball beim Aufprall?
- b) Welche mittlere Kraft ist erforderlich, um die Impulsänderung herbeizuführen, wenn der Vorgang 25ms dauert?
- c) Mit welcher mittleren Kraft drückt der Boden beim Aufprall auf den Ball?

A.5.) Eine 9.0g schwere Pistolenkugel prallt mit einer Geschwindigkeit von 500m/s auf ein Holzbrett. Die Kugel durchbohrt das Holzbrett und fliegt mit einer verminderten Geschwindigkeit von 250m/s weiter.

- a) Wie viel Impuls hat die Pistolenkugel beim Durchdringen des Bretts verloren?
- b) Welche mittlere Kraft hat die Kugel abgebremst, wenn das Durchdringen des Bretts $60\mu\text{s}$ gedauert hat?

B. Stossprozesse („innere“ Kräfte)

B.1.) Zwei frei bewegliche Körper prallen aufeinander. Bei einem zentralen Stoss üben die Körper mit Massen $m_1 = 15\text{kg}$ und $m_2 = 10\text{kg}$ aufeinander während $50\mu\text{s}$ eine Kraft von 120kN aus.

a) Wie gross ist die Impulsänderung des Körpers mit Masse

a.1) m_1 ?

a.2) m_2 ?

Kommentiere deine Ergebnisse!

b) Wie verändert sich die Geschwindigkeit des Körpers mit Masse

b.1) m_1 , d.h. wie gross ist $|v_1 - v_1'|$?

b.2) m_2 , d.h. " " " $|v_2 - v_2'|$?

B.2.) Bei einem zentralen Stoss trifft ein 10kg schwerer Körper mit einer Geschwindigkeit von 8m/s auf einen 18kg schweren, ruhenden Körper. Der ruhende Körper bewegt sich nach dem Stoss mit einer Geschwindigkeit von 5m/s .

a) Welche Impulsänderungen erfahren die Körper beim Stoss?

b) Wie schnell ($v = ?$) und in welche Richtung bewegt sich der 10kg schwere Körper nach dem Stoss?

B.3.) Ein 9.0g schweres Projektil trifft mit einer Geschwindigkeit v_1 auf einen 3.0kg schweren Holzklotz und bleibt in ihm stecken. Der Holzklotz (samt Kugel) wird beim Aufprall mit einer Geschwindigkeit von 1.5m/s weggeschleudert.

a) Wie gross ist der Gesamtimpuls?

b) Wie gross war v_1 ?

c) Wie viele Prozent der ursprünglichen Bewegungsenergie der Kugel sind nach dem Stoss noch vorhanden?

B.4.) Ein 0.72t schwerer Kleinwagen und ein 18t schwerer Lastwagen prallen mit Geschwindigkeiten von je 100km/h aufeinander (zentraler Stoss). Beim Aufprall verkeilen sich die Fahrzeuge zu einem „Blechhaufen“, d.h. sie bewegen sich nach dem Stoss gemeinsam.

a) Wie gross ist der Gesamtimpuls?

b) Wie schnell und in welche Richtung bewegt sich der „Blechhaufen“ nach dem Stoss?

c) Welche Geschwindigkeitsänderung Δv erfährt

c.1) der Kleinwagen beim Zusammenstoss?

c.2) der Lastwagen beim Zusammenstoss?

d) Wie gross ist die mittlere Beschleunigung des

d.1) Kleinwagens

d.2) Lastwagens

wenn die Geschwindigkeitsänderung innerhalb von 4ms erfolgte?

Musterlösungen:

$$A.1. a) F = F_G = m \cdot g = 4 \cdot 10 \text{ N} = \underline{40 \text{ N}}$$

$$b) \Delta p = F_G \cdot \Delta t = m \cdot g \cdot \Delta t = 4 \cdot 10 \cdot 2.5 \text{ N} \cdot \text{s} = \underline{100 \text{ N} \cdot \text{s}}$$

$$c) m \cdot v = \Delta p \rightarrow v = \Delta p / m = (100/4) \text{ m/s} = \underline{25 \text{ m/s}}$$

$$d) \bar{v} = (0 + v) / 2 = v / 2 = 12.5 \text{ m/s}$$

$$h = \bar{v} \cdot \Delta t = 12.5 \cdot 2.5 \text{ m} = \underline{31 \text{ m}}$$

$$A.2. a) \bar{v} = ((108 + 0) / 2) \text{ km/h} = 54 \text{ km/h} = \underline{15 \text{ m/s}}$$

$$b) \Delta t = s / \bar{v} = (60 / 15) \text{ s} = \underline{4 \text{ s}}$$

$$c) \Delta p = m \cdot \Delta v = m \cdot (0 - v) = 28'000 (0 - 30) \text{ N} \cdot \text{s} \\ = \underline{84 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{s}}$$

$$d) \Delta p = F \cdot \Delta t \rightarrow F = \Delta p / \Delta t = (84 \cdot 10^4 / 4) \text{ N} \\ = \underline{0.21 \text{ MN}}$$

$$A.3. a) \Delta p = m \Delta v = m \cdot v_E - m \cdot v_0 = m (v_E - v_0) = \\ 0.4 (-5 - 5) \text{ N} \cdot \text{s} = \underline{-4 \text{ N} \cdot \text{s}}$$

$$b) \Delta p = m (v_E - v_0) = 0.4 (-3.5 - 5) \text{ N} \cdot \text{s} = \underline{-3.4 \text{ N} \cdot \text{s}}$$

$$A.4. a) \Delta p = m \cdot (v_E - v_0) = 0.35 (-2 - 2.5) \text{ N} \cdot \text{s} = \underline{1.6 \text{ N} \cdot \text{s}}$$

$$b) F = \Delta p / \Delta t = (1.575 / 0.025) \text{ N} = \underline{63 \text{ N}}$$

$$c) F_{\text{Boden}} = F = \underline{63 \text{ N}}$$

$$A.5 a) \Delta p = m (v_E - v_0) = 0.009 \cdot (250 - 500) \text{ N} \cdot \text{s} = \\ \underline{2.3 \text{ N} \cdot \text{s}}$$

$$b) F \cdot \Delta t = \Delta p \rightarrow F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2.25}{60 \cdot 10^{-6}} \text{ N} = \underline{38 \text{ kN}}$$

B.1. a) a.1) $\Delta p_1 = F \cdot \Delta t = 120 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s} = \underline{\underline{6.0 \text{ N} \cdot \text{s}}}$

a.2) $\Delta p_2 = \Delta p_1 = \underline{\underline{6.0 \text{ N} \cdot \text{s}}}$

Die Impulsänderungen sind einander entgegengerichtet. Es gilt $\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2$

b) b.1) $|v_1 - v_1'| = \Delta p_1 / m_1 = (6/15) \text{ m/s} = \underline{\underline{0.4 \text{ m/s}}}$

b.2) $|v_2 - v_2'| = \Delta p_2 / m_2 = (6/10) \text{ m/s} = \underline{\underline{0.6 \text{ m/s}}}$

B.2. a) $\Delta p_1 = \Delta p_2 = m_2 \cdot v_2' = 18.5 \text{ N} \cdot \text{s} = \underline{\underline{90 \text{ N} \cdot \text{s}}}$

b) $\Delta v_1 = \Delta p_1 / m_1 = (90/10) \text{ m/s} = 9 \text{ m/s} \rightarrow$

$v_1' = v_1 - 9 \text{ m/s} = (8 - 9) \text{ m/s} = \underline{\underline{-1 \text{ m/s}}}$

B.3. a) $p_{\text{tot}} = (m_1 + m_2) \cdot v' = (0.009 + 3) \cdot 1.5 \text{ N} \cdot \text{s} = \underline{\underline{4.5 \text{ N} \cdot \text{s}}}$

b) $v_1 = p_{\text{tot}} / m_1 = (4.5135 / 0.009) \text{ m/s} = \underline{\underline{5.0 \cdot 10^2 \text{ m/s}}}$

c) $\frac{\frac{1}{2}(m_1 + m_2)(v')^2}{\frac{1}{2}m_1 v_1^2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (0.009 + 3) \cdot 1.5^2}{\frac{1}{2} \cdot 0.009 \cdot 501.5^2} = 0.00299$
 $\rightarrow \underline{\underline{0.30\%}}$

B.4. a) $p_{\text{tot}} = m_1 v_1 + m_2 v_2 = \left[18'000 \cdot \frac{100}{3.6} + 720 \cdot \left(\frac{-100}{3.6} \right) \right] \text{ N} \cdot \text{s}$
 $= \underline{\underline{48 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{s}}}$

b) $v' = p_{\text{tot}} / (m_1 + m_2) = (48 \cdot 10^4 / (18'000 + 720)) \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 $= \underline{\underline{26 \text{ m/s} = 92 \text{ km/h}}}$ (in Bewegungsrichtung des Lastwagens)

c.1.) $v_2 + v' = (100 + 92) \text{ km/h} = \underline{\underline{192 \text{ km/h} = 53 \text{ m/s}}}$

c.2.) $v_1 - v' = (100 - 92) \text{ km/h} = \underline{\underline{7.7 \text{ km/h} = 2.1 \text{ m/s}}}$

d.1.) $a_2 = \Delta v_2 / \Delta t = \underline{\underline{13 \cdot 10^3 \text{ m/s}^2}}$

d.2.) $a_1 = \Delta v_1 / \Delta t = \underline{\underline{5.3 \cdot 10^2 \text{ m/s}^2}}$