Fachhochschule Hannover vorgezogene Wiederholungsklausur 22.09.06
Fachbereich Maschinenbau Zeit: 90 min
Fach: Physik 1 im WS 06/07 Hilfsmittel: Formelsammlung zur Vorlesung

1. Der Sprintweltrekord über die 50 m Strecke liegt bei 5,56 s, der über 60 m Strecke bei 6,39 s. Nehmen Sie an, dass ein Sprint näherungsweise als Überlagerung einer gleichmäßig beschleunigten und einer gleichförmigen Bewegung beschrieben werden kann.

a. Bestimmen Sie die Beschleunigung a_0 und die Geschwindigkeit v_0.

b. Nehmen Sie an, dass man auf der 100 m die gleichen Beschleunigungs- und Geschwindigkeitswerte erreichen kann. Welche Weltrekordzeit für die 100 m Strecke könnte man aus den unter **1a**. bestimmten Werten extrapolieren?

c. Der aktuelle Weltrekord über 100 m liegt bei 9,77 s. Wenn man annimmt, dass die Beschleunigungen bei den Sprintstrecken gleich sind, welcher Geschwindigkeit entspricht die Weltrekordzeit über die 100 m Strecke?

2. Abbildung 1 zeigt einen doppelten Flaschenzug mit $m_1 = 1\,kg$, $m_2 = 2\,kg$ und $m_3 = 3\,kg$. Zur Vereinfachung vernachlässige man die Massen der Seile und Rollen. Ziel ist es, die Seilkräfte und die Beschleunigung der Masse m_3 zu bestimmen.

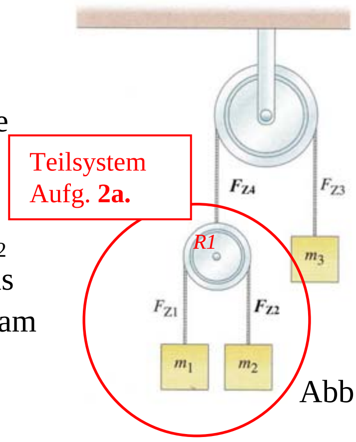

Abb. 1

Hilfestellung:

a. Man betrachte das ruhende Teilsystem mit den Massen m_1 und m_2 an der kleinen Rolle (*R1* im roten Kreis) und leite zunächst für das ruhende Teilsystem eine Beziehung für die Kraft $F'_{Z4}(m_1, m_2, g)$ am oberen Seil der Rolle her. Wird *R1* mit $\pm a$ beschleunigt, ersetzt man g durch $(g \pm a)$ um F_{Z4} zu erhalten.

b. Man berechne unter Verwendung der Beziehung für F_{Z4} die Beschleunigung der Masse m_3.

c. Bestimme die Seilkräfte F_{Z1}, F_{Z2}, F_{Z3} und F_{Z4}.

3. Eine Kette der Masse $m_{ges} = 1kg$ mit homogener Massenverteilung und Gesamtlänge $l = 1\,m$ liegt auf einem Tisch (siehe Abb. 2).

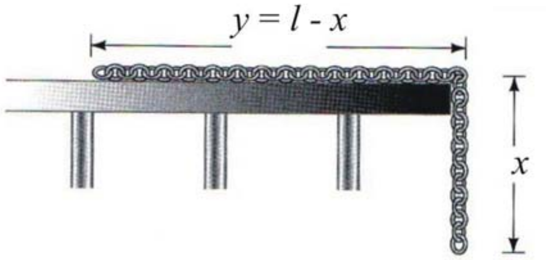

Abb. 2

a. Die Kette gleitet vom Tisch, wenn das überhängende Stück mindestens $x_0 = 0{,}3m$ lang ist. Wie groß ist die Haftreibungszahl $\mu_{H,\max}$?

b. Man betrachte die Gleitbewegung: Wie lauten die Gleichungen der Beschleunigungsfunktion $a(x)$ für $x_0 < x < l$ und für $x \geq l$? Die Gleitreibungszahl soll 10% kleiner als die Haftreibungszahl sein.

c. Welche Geschwindigkeit hat die Kette, wenn sie in voller Länge von der Tischplatte geglitten ist?

4. Ein glühendes (weiches) Werkstück der Masse $m_W = 3\,kg$ wird mit einem Hammer der Masse $m_H = 6\,kg$ auf einem Amboss (Masse: $m_A = 200\,kg$) geschmiedet. Betrachten Sie den Schlag als vollkommen unelastisch. Die Wechselwirkung des Amboss mit der Unterlage muss nicht berücksichtigt werden.

a. Welcher Teil der kinetischen Energie des Hammers dient der Verformung des Werkstückes?

b. Was bewirkt die Restenergie?

Verwenden Sie zur Vereinfachung bei allen Aufgaben $g = 10$ m s^{-2}.

Lösungen:

Hinweis: In der Klausur vom 22. 9. 2006 hatte sich leider ein Tippfehler eingeschlichen. Die Weltrekordzeit über 50 m beträgt nicht 5,46 s, wie in der Aufgabenstellung der Klausur vom 22.09.06, sondern 5,56 s. Der Lösungsweg wird jedoch durch die falsche Zahlenangabe nicht beeinflusst. Allerdings entsprechen die Ergebnisse nicht ganz den im Sprintsport realistischen Werten der Geschwindigkeit und Beschleunigung. Aus diesem Grund werden die Lösungen hier zunächst mit den korrekten Zeiten berechnet und die, die sich mit dem falschen Wert ergeben, zusätzlich angegeben.

1a. Bezeichnung:

s_1 - Gesamtstrecke 50 m

t_{g1} - Gesamtzeit über 50 m: Wirklicher Wert 5,56 s, in der Klausur am 22.9.06 wurde 5,46 s angegeben.

t_a - Beschleunigungszeit

Weg-Zeit-Funktion für 50m Strecke

$$s_1 = \frac{1}{2} a_0 t_a^2 + v_0 \left(t_{g1} - t_a \right)$$

$$s_1 = \frac{1}{2} a_0 t_a^2 + v_0 t_{g1} - v_0 t_a = \frac{1}{2} a_0 t_a^2 + v_0 t_{g1} - a_0 t_a^2$$

$$s_1 = v_0 t_{g1} - \frac{1}{2} a_0 t_a^2$$

mit $v_0 = a_0 t_a$

$$s_1 = a_0 t_a t_{g1} - \frac{1}{2} a_0 t_a^2$$

Herleitung für die Weg-Zeit-Funktion der 60 m Strecke ist analog:

Bezeichnung:

s_2 - Gesamtstrecke 60m

t_{g2} - Gesamtzeit über 60 m: 6,39 s

t_a - Beschleunigungszeit

Die Modellannahme soll sein, dass die Beschleunigungen a_0, die Endgeschwindigkeiten v_0 und die Beschleunigungszeiten t_a bei der 50 m und der 60 Sprintstrecke gleich sind.

Weg-Zeit-Funktion für 60m Strecke

$$s_2 = a_0 t_a t_{g2} - \frac{1}{2} a_0 t_a^2$$

Einsetzen von $\frac{1}{2} a_0 t_a^2$

$$s_1 = a_0 t_a t_{g1} - \left(a_0 t_a t_{g2} - s_2 \right)$$

Es folgt:

$$s_1 - s_2 = a_0 t_a \left(t_{g1} - t_{g2} \right)$$

Lösungen mit richtiger Zeit (5,56 s):

$$a_0 t_a = v_0 = \frac{s_1 - s_2}{t_{g1} - t_{g2}} = \frac{(60-50)\,m}{(6,39-5,56)\,s} = \frac{10\,m}{0,83\,s}$$

$$a_0 t_a = v_0 = \frac{10\,m}{0,83\,s} = 12,05\,m\,s^{-1}$$

$$v_0 = 12,05\,m\,s^{-1} = 43,4\,km\,h^{-1}$$

Lösungen mit falscher Zeit (5,46 s):

$$a_0 t_a = v_0 = \frac{s_1 - s_2}{t_{g1} - t_{g2}} = \frac{(60-50)\,m}{(6,39-5,46)\,s} = \frac{10\,m}{0,93\,s}$$

$$a_0 t_a = v_0 = \frac{10\,m}{0,93\,s} = 10.75\,m\,s^{-1}$$

$$v_0 = 10,75\,m\,s^{-1} = 38,7\,km\,h^{-1}$$

Für s_1 gilt: $$s_1 = v_0\, t_{g1} - \frac{1}{2}\frac{v_0^2}{a_0}$$

Es folgt: $$a_0 = \frac{v_0^2}{2\left(v_0\, t_{g1} - s_1\right)}$$

Lösungen mit richtiger Zeit (5,56 s): $$a_0 = \frac{12,05^2}{2\cdot(12,05\cdot 5,56-50)}\frac{m}{s^2} = 4,27\, m\, s^{-2}$$

Lösungen mit falscher Zeit (5,46 s): $$a_0 = \frac{10,75^2}{2\cdot(10,75\cdot 5,46-50)}\frac{m}{s^2} = 6,64\, m\, s^{-2}$$

1b. Für die 100 m Strecke gilt: $$s_3 = v_0\, t_{g3}^{extrapoliert} - \frac{1}{2}\frac{v_0^2}{a_0}$$

Lösungen mit richtiger Zeit (5,56 s): $$t_{g3}^{extrapoliet} = \frac{s_3}{v_0} + \frac{v_0}{2\,a_0} = \frac{100}{12,05} + \frac{12,05}{2\cdot 4,27} = 9,71\, s$$

Lösungen mit falscher Zeit (5,46 s): $$t_{g3}^{extrapoliet} = \frac{s_3}{v_0} + \frac{v_0}{2\,a_0} = \frac{100}{10,75} + \frac{10,75}{2\cdot 6,64} = 10,11\, s$$

1c. **Lösung mit der richtigen Zeit von 5,56 s für die 50 m Strecke:** Ein Mensch kann über eine Strecke von $s_3 = 100\, m$ offensichtlich nicht die Geschwindigkeit der 50 m und 60 m Strecke halten. Wenn die Beschleunigung a_0 konstant ist, folgt:

$$s_3 = v_{03}\, t_{g3}^{gem} - \frac{1}{2}\frac{v_{03}^2}{a_0}$$

mit: $s_3 = 100\, m$ und $t_{g3} = 9,77\, s$

$$\frac{1}{2}\frac{v_{03}^2}{a_0} - v_{03}\, t_{g3}^{gem} = -s_3$$

$$v_{03}^2 - 2\, v_{03}\, t_{g3}^{gem} a_0 = -2 a_0 s_3$$

mit: $a_0 = 4,27\, m\, s^{-2}$ $$v_{03} = \pm\sqrt{a_0^2\, t_{g3}^2 - 2\, a_0\, s_3} + a_0\, t_{g3}$$

Erste Lösung (unrealistisch): $$v_{03/1} = \left(+29,79 + 41,74\right) m\, s^{-1} = 71,53\, m\, s^{-1}$$

Zweite Lösung (realistisch): $$v_{03/2} = \left(-29,79 + 41,74\right) m\, s^{-1} = 11,95\, m\, s^{-1}$$

Richtige Lösung: $$v_{03/2} = 11,95\, m\, s^{-1} = 43,0\, km\, h^{-1}$$

Lösung mit der falschen Zeit von 5,46 s für die 50 m Strecke: In diesem Fall müsste man den nicht ganz realistischen Schluss ziehen, dass ein Mensch kann über eine Strecke von $s_3 = 100\, m$ eine höhere Geschwindigkeit laufen kann, als über die 50 m und 60 m Strecke. Die Berechnung ist analog. Wenn die Beschleunigung a_0 konstant ist, folgt:

$$s_3 = v_{03}\, t_{g3}^{gem} - \frac{1}{2}\frac{v_{03}^2}{a_0}$$

mit: $s_3 = 100\, m$ und $t_{g3} = 9,77\, s$

mit: $a_0 = 6,64\, m\, s^{-2}$ $$v_{03} = \pm\sqrt{a_0^3\, t_{g3}^2 - 2\, a_0\, s_3} + a_0\, t_{g3}$$

Erste Lösung (unrealistisch): $$v_{03/1} = \left(+53,64 + 64,84\right) m\, s^{-1} = 118,48\, m\, s^{-1}$$

Zweite Lösung (realistisch): $$v_{03/2} = \left(-53,64 + 64,84\right) m\, s^{-1} = 11,20\, m\, s^{-1}$$

Lösung mit falscher Zeit (5,46 s) für die 50 m Strecke:

$$v_{03/2} = 11,20\, m\, s^{-1} = 40,32\, km\, h^{-1}$$

2a. Man betrachte zunächst die Massen m_1 und m_2 an einer <u>ruhenden Umlenkrolle</u> (*R1*) hängend, und berechne die Kraft F'_{Z4} (Kräfte und Beschleunigungen für die ruhende Rolle werden mit einem "Strich" ($'$) gekennzeichnet.

Da (ohne Beschränkung der Allgemeinheit) $m_2 > m_1$ gelten soll, fällt die Masse m_2 nach unten und die Masse m_1 steigt nach oben.

D'Alembertsches Prinzip für m_2: $\left(F'_{g2} - F'_{Z2}\right) - m_2\, a'_2 = 0$

D'Alembertsches Prinzip für m_1: $\left(F'_{Z1} - F'_{g1}\right) - m_1\, a'_1 = 0$

Die Beträge der Beschleunigungen der beiden Massen und die Beträge der Seilkräfte sind gleich.

Es gilt: $a'_1 = a'_2 = a'_{12}$

und: $F'_{Z1} = F'_{Z2} = F'_{Z12}$

Es folgt: $F'_{g1} + m_1\, a'_{12} = F'_{g2} - m_2\, a'_{12}$

$$m_1\, g + m_1\, a'_{12} = m_2\, g - m_2\, a'_{12}$$

Lösung für a'_{12}: $a'_{12} = \dfrac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\, g$ (*)

Der Betrag der Kraft F'_{Z4} ist die Summe der Beträge der Kräfte F'_{Z1} und F'_{Z2}:

$$F'_{Z4} = F'_{Z1} + F'_{Z2} = \left(m_2\, g - m_2\, a'_{12}\right) + \left(m_1\, g + m_1\, a'_{12}\right)$$

Einsetzen von a'_{12}: $F'_{Z4} = g \cdot \left(m_2 - m_2 \dfrac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} + m_1 + m_1 \dfrac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right)$

$$F'_{Z4} = g \cdot \frac{m_2 m_1 + m_2^2 - m_2^2 + m_2 m_1 + m_1^2 + m_1 m_2 + m_1 m_2 - m_1^2}{m_1 + m_2}$$

Lösung für F'_{Z4}: $F'_{Z4} = \dfrac{4\, m_1\, m_2}{m_1 + m_2} \cdot g$

F'_{Z4} ist die Kraft am oberen Seil der Umlenkrolle (*R1*), wenn *R1* nicht beschleunigt wird. Wird *R1* mit $\pm a$ beschleunigt, muss g wie in der Aufgabenstellung angegeben durch die Gesamtbeschleunigung $g \pm a$ ersetzt werden.

Lösung für F_{Z4}: $F_{Z4} = \dfrac{4\, m_1\, m_2}{m_1 + m_2} \cdot \left(g \pm a\right)$

2b. Man betrachte jetzt das Gesamtsystem des doppelten Flaschenzugs.

Da $m_3 > (m_1 + m_2)$ gelten soll, bewegt sich die Masse m_3 nach unten.

D'Alembertsches Prinzip für m_3: $\left(F_{g3} - F_{Z3}\right) - m_3\, a_3 = 0$

Umstellen nach F_{Z3}: $F_{Z3} = m_3\, g - m_3\, a_3 = m_3\,(g - a_3)$

Die Umlenkrolle (*R1*)) bewegt sich noch oben.

Für die Seilkraft F_{Z4} gilt nach **2a**.: $F_{Z4} = \dfrac{4\, m_1\, m_1}{m_1 + m_2}\left(g + a_3\right)$

Da $F_{Z3} = F_{Z4}$ gilt: $F_{Z3} = m_3 \cdot \left(g - a_3\right) = \dfrac{4 m_1\, m_2}{m_1 + m_2} \cdot \left(g + a_3\right) = F_{Z4}$

Umstellen: $\left(m_3 - \dfrac{4 m_1\, m_2}{m_1 + m_2} \right) \cdot g = \left(m_3 + \dfrac{4 m_1\, m_2}{m_1 + m_2} \right) \cdot a_3$

$$\left(\frac{m_1\, m_3 + m_2\, m_3 - 4\, m_1\, m_2}{m_1 + m_2} \right) \cdot g = \left(\frac{m_1\, m_3 + m_2\, m_3 + 4\, m_1\, m_2}{m_1 + m_2} \right) \cdot a_3$$

Lösung $$a_3 = \frac{m_1 m_3 + m_2 m_3 - 4 m_1 m_2}{m_1 m_3 + m_2 m_3 + 4 m_1 m_2} \cdot g$$

Einsetzen $$a_3 = \frac{1\cdot 3 + 2\cdot 3 - 4\cdot 1\cdot 2}{1\cdot 3 + 2\cdot 3 + 4\cdot 1\cdot 2} \cdot g = \frac{1}{17} \cdot g = 0{,}588\, m\, s^{-2}$$

2c. Seilkraft F_{Z3}: $$F_{Z3} = m_3 (g - a_3) = 3\,kg \cdot \left(1 - \frac{1}{17}\right) \cdot g$$

$$F_{Z3} = \left(\frac{3\cdot 16}{17} \cdot 10\right) N = \frac{480}{17} N = 28{,}24\, N$$

Seilkraft F_{Z4}: $$F_{Z4} = F_{Z3} = \frac{480}{17} N = 28{,}24\, N$$

In Aufg. 2a wurde die Gleichung (*) für den Betrag der Beschleunigung der Massen m_1 und m_2 hergeleitet. Wenn die Umlenkrolle (*R1*) mit $+a_3$ beschleunigt wird, muss g durch $g + a_3$ ersetzt werden. $$a_{12} = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} (g + a_3)$$

Für die Seilkraft F_{Z1} gilt: $$F_{Z1} = F_{g1} + m_1 a_{12}$$

$$F_{Z1} = m_1 (g + a_3) + m_1 \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} (g + a_3)$$

$$F_{Z1} = \left(1 + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right) m_1 (g + a_3)$$

Mit $m_1 = 1\,kg$ und $m_2 = 2\,kg$ und $a_3 = \frac{1}{17} g$:

$$F_{Z1} = \left(1 + \frac{2-1}{1+2}\right) \cdot 1\,kg \cdot \left(g + \frac{1}{17} g\right)$$

$$F_{Z1} = \frac{4}{3} \cdot 1 \cdot \frac{18}{17} \cdot 10\,N = 14{,}12\, N$$

Für die Seilkraft F_{Z2} gilt: $$F_{Z2} = F_{g2} - m_2 a_{12}$$

$$F_{Z2} = m_2 (g + a_3) - m_2 \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} (g + a_3)$$

$$F_{Z2} = \left(1 - \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right) m_2 (g + a_3)$$

Mit $m_1 = 1\,kg$ und $m_2 = 2\,kg$ und $a_3 = \frac{1}{17} g$:

$$F_{Z2} = \left(1 - \frac{2-1}{1+2}\right) \cdot 2\,kg \cdot \left(g + \frac{1}{17} g\right)$$

$$F_{Z2} = \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot \frac{18}{17} \cdot 10\,N = 14{,}12\, N$$

Kontrolle: Die Summe der Seilkräfte F_{Z2} und F_{Z2} ist gleich der Kraft F_{Z4}.

3a. Masse der überhängenden Kette: $$m(x) = \frac{x}{l} m_{ges}$$

Gewichtskraft für dieses Stück: $$F_G(x) = m(x) g$$

Haftreibungskraft, die durch die Normalkraft des auf dem Tisch liegenden Teils der Kette mit der Masse $m_{ges} - m(x)$ erzeugt wird: $F_R(x) = \mu_{H,\max} F_N(x) = \mu_{H,\max} \left(m_{ges} - m(x)\right) g$

Bedingung für Gleitbewegung: $F_G(x_0) \geq F_R(x_0)$

Bedingung für den hier betrachteten Grenzfall:

$$F_G(x_0) = F_R(x_0)$$

$$\frac{x_0}{l} m_{ges}\, g = \mu_{H,\max}\left(m_{ges} - \frac{x_0}{l} m_{ges}\right) g$$

$$\frac{x_0}{l} = \mu_{H,\max}\left(1 - \frac{x_0}{l}\right)$$

Lösung für $\mu_{H,\max}$: $\mu_{H,\max} = \frac{x_0}{l - x_0} = \frac{0,3}{0,7} = 0,4286$

3b. Gleitreibungszahl: $\mu_G = \mu_{H,\max} - 0,1 \cdot \mu_{H,\max} = 0,3857 \approx 0,39$

D'Alembertsches Prinzip: $\left(F_G(x) + F_R(x)\right) - m\, a(x) = 0$ für $x > x_0$

$$a(x) = \frac{F_G(x) + F_R(x)}{m_{ges}} = \left(\frac{x}{l} - \mu_G\left(1 - \frac{x}{l}\right)\right) g$$

$$a(x) = \frac{x - \mu_G\, l + \mu_G\, x}{l}\, g$$

Beschleunigung für $x_0 \leq x \leq l$: $a(x) = \left(\frac{x}{l}(1 + \mu_G) - \mu_G\right) g = \left(1,39\frac{x}{l} - 0,39\right) g$

Beschleunigung für $x > l$: $a(x) = g = konst.$

3c. Verschiedene Lösungsansätze sind möglich. Das folgende Lösungsbeispiel verwendet den Energieerhaltungssatz: $E_{ges}(x = x_0) = E_{ges}(x = l) + W_R$

mit Gesamtenergie im Punkt $x = x_0$: $E_{ges}(x = x_0) = E_{pot}(x = x_0) + E_{kin}(x = x_0)$

und Gesamtenergie im Punkt $x = l$: $E_{ges}(x = l) = E_{pot}(x = l) + E_{kin}(x = l)$

und Reibungsarbeit von x_0 bis l: $W_R = \int_{x_0}^{l} F_R(x)\, dx = \mu_G \int_{x_0}^{l} F_N(x)\, dx$

Zur Vereinfachung kann z. B. die potentielle Energie gleich Null gesetzt werden, wenn die Kette vollständig vom Tisch geglitten ist, also für $x = l$.

Es soll gelten: $E_{ges}(x = l) = 0$

Zu Beginn des Abgleitvorgangs, also für $x = x_0$ besitzt die Kette eine positive potentielle Energie. Man betrachtet zur Berechnung der gesamten potentiellen Energie des Anfangszustandes zweckmäßigerweise die verschiedenen Kettenstücke getrennt:.

1. Vertikal hängendes Kettenstück der Länge x_0: $E_{pot}^1 = \left(\frac{m_{ges}}{l} x_0\right) \cdot g \cdot (l - x_0)$

2. Horizontal liegendes Kettenstück der Länge $l - x_0$: $E_{pot}^2 = \left(\frac{m_{ges}}{l}(l - x_0)\right) \cdot g \cdot \left(\frac{l - x_0}{2}\right)$

Gesamte potentielle Energie: $E_{pot} = E_{pot}^1 + E_{pot}^2 = m_{ges} \cdot g \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(l - \frac{x_0^2}{l}\right)$

$$E_{pot} = 1 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{0,3^3}{1}\right) J = 4,5500\, J$$

Reibungsarbeit: $W_R = \int_{x_0}^{l} F_R(x)\, dx = \mu_G \cdot g \cdot \int_{x_0}^{l} \left(m_{ges} - \frac{m_{ges}}{l} \cdot x\right) dx$

$$W_R = \mu_G\, g\, m_{ges} \int_{x_0}^{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) dx = \mu_G\, g\, m_{ges} \left(\int_{x_0}^{l} dx - \frac{1}{l} \int_{x_0}^{l} x\, dx \right)$$

$$W_R = \mu_G\, g\, m_{ges} \left[\left(l - x_0\right) - \frac{1}{2l}\left(l^2 - x_0^2\right) \right]$$

$$W_R = 0{,}39 \cdot 10 \cdot 1 \left[0{,}7 - \frac{1}{2 \cdot 1}\left(1^2 - 0{,}3^2\right) \right] J = 0{,}9555\, J$$

Da die potentielle Energie im Endzustand ($x = l$) und die kinetische Energie im Anfangszustand ($x = x_0$) gleich Null sind, gilt: $E_{kin}\left(x = l\right) = E_{pot}\left(x = x_0\right) - W_R$

Kinetische Energie für $x = l$ $\quad E_{kin}\left(x = l\right) = \left(4{,}500 - 0{,}9555\right) J = 3{,}5445 J$

Lösung für v: $\quad v = \sqrt{\dfrac{2 \cdot E_{kin}\left(x = l\right)}{m_{ges}}} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 3{,}5445}{1 kg}} = 2{,}663 \dfrac{m}{s}$

4a. Bei einem “vollkommen unelastischen Schlag” besitzen der Hammer (H), das Werkstück (W) und der Amboss (A) nach dem Schlag die gleiche Geschwindigkeit. Der Hammerschlag überträgt Impuls auf die gemeinsame Masse, die aus Werkstück, Hammer und Amboss gebildet wird.

Impulserhaltungssatz: $\quad m_H v_H = \left(m_H + m_A + m_W\right) \cdot u$

Energieerhaltungssatz: $\quad E_{kin}^0 = \dfrac{1}{2} m_H v_H^2 = \dfrac{1}{2}\left(m_H + m_A + m_W\right) \cdot u^2 + Q$

Es folgt: $\quad \dfrac{Q}{E_{kin}^0} = 1 - \dfrac{m_H}{m_H + m_A + m_W}$

$$\frac{Q}{E_{kin}^0} = 1 - \frac{6}{6 + 200 + 3} = 97{,}13\%$$

4b. Die <u>Restenergie</u>: $\quad \Delta E = \left(100 - 97{,}13\right)\% = 2{,}87\%$

wird als <u>kinetische Energie</u> vom Gesamtsystem Werkstück + Hammer + Amboss aufgenommen und muss durch eine geeignete Unterlage (Holzbock eventuell mit Gummimatte) bedämpft werden.