

Sommersemester 2011	Blatt 1 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1072
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 60 Minuten

Gesamtpunktzahl: 60

Aufgabe 1: Reifentest (25 Punkte)

In einem Vergleichstest wurde im Frühjahr 2011 das für die Fahrsicherheit wichtige Bremsverhalten verschiedener Sommerreifen untersucht. Der Test bestand aus einer Vollbremsung auf gerader Strecke mit $v_0 = 100$ km/h Anfangsgeschwindigkeit. Dabei wurden Fahrzeuge mit Antiblockiersystem (ABS) verwendet, um die Reifen während des gesamten Bremsvorgangs ohne Schlupf auf der Straße abrollen zu lassen.

Zwischen den Reifenmarken zeigten sich erhebliche Unterschiede. Die schlechtesten Reifen ergaben einen Bremsweg von $s_{\max} = 78$ m, mit den besten betrug er $s_{\max} = 58$ m.

Im folgenden wird die Bremsverzögerung im jeweiligen Testlauf konstant angenommen.

- Warum sollen die Reifen beim Bremsen abrollen (*bitte in kurzen Worten begründen*) ?
- Wie groß ist die Bremsverzögerung $a_{B,\max}$ und $a_{B,\min}$ im besten und schlechtesten Fall ?
- Welche Haftreibungszahlen $\mu_{H,\max}$ und $\mu_{H,\min}$ zwischen Reifen und Straßenbelag folgen daraus für die beiden Fälle ?

Dies erlaubt einige Aussagen für die schlechtesten Reifen mit dem längsten Bremsweg :

- Welche Restgeschwindigkeit hatte das Fahrzeug damit nach 58 m Bremsweg ?
- Auf welchen relativen Anteil im Vergleich zum Anfangswert bei Beginn des Bremsvorgangs hat die kinetische Energie des Fahrzeugs nach 58 m Bremsweg abgenommen ?
- Mit welcher maximalen Geschwindigkeit darf ein mit den schlechten Reifen ausgerüstetes Fahrzeug auf horizontaler Straße eine Kurve von 20 m Radius durchfahren, ohne mangels Bodenhaftung ins Schleudern zu kommen ?

Lösungsvorschlag

Reifentest

Autor H Käß

- a) Die Reifen sollen abrollen und nicht über den Straßenbelag rutschen, damit die Reibungskraft zwischen Reifen und Untergrund maximal wird. Diese Kraft ist gleich der auf das Fahrzeug wirkenden Brems- oder Beschleunigungskraft.

Bei Rollen wirkt die Haftreibungskraft $F_H = \mu_H \cdot F_N$
 Bei Rutschen wirkt die Gleitreibungskraft $F_{GI} = \mu_{GI} \cdot F_N$
 Normalerweise ist $\mu_H > \mu_{GI}$

- b) Mit der Anfangsgeschwindigkeit v_0 gilt für Geschwindigkeit $v(t)$ und Bremsweg $s(t)$
 $v(t) = v_0 + a_B \cdot t$ sowie $s(t) = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a_B \cdot t^2$

Die Bremsdauer sei t_B , dann folgt aus

$$v(t_B) = 0 = v_0 + a_B \cdot t_B \quad \text{für } t_B \quad t_B = -v_0 / a_B$$

Der Bremsweg beträgt damit

$$s(t_B) = s_B = -v_0 \cdot v_0 / a_B + \frac{1}{2} a_B \cdot (v_0 / a_B)^2 = -v_0^2 / (2a_B) \quad \text{also } a_B = -v_0^2 / (2s_B)$$

Mit der Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 100000 \text{ m} / 3600 \text{ s} = 27,78 \text{ m/s}$ folgt

Schlechtester Fall $a_{B,\min} = -v_0^2 / (2s_B) = -771,6 \text{ m}^2 / (2 \cdot 78 \text{ m}) = \mathbf{-4,946 \text{ m/s}^2}$

Bester Fall $a_{B,\max} = -v_0^2 / (2s_B) = -771,6 \text{ m}^2 / (2 \cdot 58 \text{ m}) = \mathbf{-6,652 \text{ m/s}^2}$

- c) Der Betrag der Bremskraft $F_B = m \cdot |a_B|$
 ist gleich dem Betrag der Haftreibungskraft $F_{\text{reib}} = \mu_H \cdot F_N = \mu_H \cdot m \cdot g$

Also $F_{\text{reib}} = \mu_H \cdot F_N = \mu_H \cdot m \cdot g = m \cdot |a_B| = F_B \quad \mu_H = |a_B| / m$

Schlechtester Fall $\mu_{H,\min} = 4,946 \text{ m/s}^2 / (9,81 \text{ m/s}^2) = \mathbf{0,504}$

Bester Fall $\mu_{H,\max} = 6,652 \text{ m/s}^2 / (9,81 \text{ m/s}^2) = \mathbf{0,678}$

- d) In der Zeit t_x legt das Fahrzeug mit den schlechtesten Reifen den Weg s_x zurück

$$s(t_x) = s_x = v_0 \cdot t_x + \frac{1}{2} a_{B,\min} \cdot t_x^2$$

Da s_x bekannt ist, folgt daraus sofort eine quadratische Gleichung für t_x :

$$\frac{1}{2} a_{B,\min} \cdot t_x^2 + v_0 \cdot t_x - s_x = 0 \quad \text{also } -2,482 t_x^2 \text{ m/s}^2 + 27,78 \cdot t_x \text{ m/s} - 58 \text{ m} = 0$$

Sie hat die Lösungen $t_{x1} = 2,787 \text{ s}$ und $t_{x2} = 8,445 \text{ s}$

Technisch sinnvoll ist t_{x1} also $v(t_{x1}) = v_0 + a_{B,\min} \cdot t_{x1} = \mathbf{13,99 \text{ m/s}} = 50,4 \text{ km/h}$

- e) Kinetische Energie $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

also $E_{\text{kin}}(t_x) / E_{\text{kin}}(0) = v(t_x)^2 / v_0^2 = (13,99 / 27,77)^2 = 0,254 = \mathbf{25,4\%}$

- f) Im Grenzfall maximaler Geschwindigkeit ist die Haftreibung gleich der Zentrifugalkraft

Also $F_Z = m \cdot v_{\max}^2 / r = \mu_{H,\min} \cdot m \cdot g = F_H$

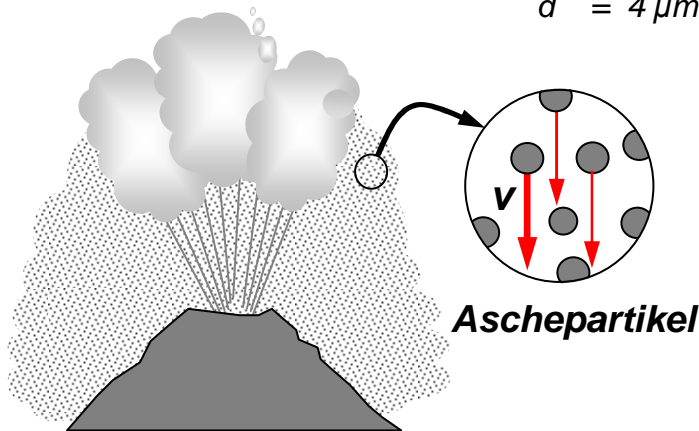
damit $v_{\max}^2 = \mu_{H,\min} \cdot g \cdot r = 0,504 \cdot 9,81 \cdot 20 \text{ m}^2/\text{s}^2 \quad v_{\max} = \mathbf{9,94 \text{ m/s}} = 35,8 \text{ km/h}$

Sommersemester 2011	Blatt 2 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1071 / 1072

Aufgabe 2: Vulkanausbruch (20 Punkte)

Bei dem Ausbruch des Vulkans Eyjafjallajökull im April 2010 in Island wurden Aschepartikel 9000 m hoch in die Atmosphäre geschleudert.

Angaben : $\rho_A = 2,5 \text{ g/cm}^3$ Dichte der Aschepartikel
 $d = 4 \text{ }\mu\text{m}$ Durchmesser der Aschepartikel



- Wie groß ist die Fallgeschwindigkeit v von kugelförmigen Aschepartikeln in 9000 m Höhe? Dort herrscht ein Luftdruck von 0,3 bar, die Dichte der Luft ist $0,476 \text{ g/dm}^3$ und ihre Viskosität beträgt $\eta = 0,015 \text{ mPas}$.
- Einige Tage nach dem Ausbruch wurde der Luftraum in Deutschland wieder geöffnet, allerdings durfte eine Flughöhe von 6000 m nicht überschritten werden. Berechnen Sie den Luftdruck in dieser maximal erlaubten Flughöhe unter der Annahme, dass die Lufttemperatur zwischen 6000 m und 9000 m Höhe durchweg konstant ist.
- Ein Flugzeug soll nun in 6000 m Höhe mit der gleichen konstanten Geschwindigkeit fliegen wie vor dem Vulkanausbruch in 9000 m Höhe. Die Dichte der Luft in 6000 m Höhe beträgt $0,672 \text{ g/dm}^3$. Wieviel Prozent zusätzlicher Antriebsleistung wird benötigt ?

Lösungsvorschlag

Vulkanausbruch

Autor H Käß

- a) Kugelförmige Partikel mit Durchmesser d , laminare Umströmung, Stokes-Kraft F_R ...
Bei konstanter Fallgeschwindigkeit v sind Reibungskraft F_R , Auftriebskraft F_A und Gewichtskraft F_G im Gleichgewicht :

$$F_G = F_A + F_R \quad \text{mit Kugelvolumen } V_K = (4/3) \pi (d/2)^3 = \pi \cdot d^3 / 6$$

$$\rho_A \cdot V_K \cdot g = \rho_{9000} \cdot V_K \cdot g + 6 \pi \cdot \eta \cdot v \cdot (d/2)$$

$$v \cdot 6 \pi \cdot \eta \cdot (d/2) = V_K \cdot g (\rho_A - \rho_{9000}) = (4/3) \pi (d/2)^3 \cdot g (\rho_A - \rho_{9000})$$

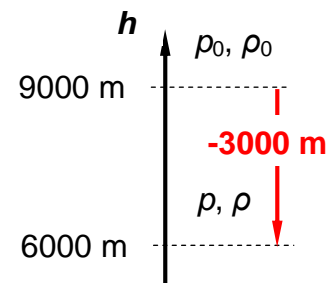
$$\begin{aligned} v &= d^2 \cdot g (\rho_A - \rho_{9000}) / (18 \cdot \eta) \\ &= 16 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 (2500 - 0,476) \text{ kg/m}^3 / (s^2 \text{ m}^3 \cdot 18 \cdot 0,015 \cdot 10^{-3} \text{ Ns}) \\ &= \mathbf{1,453 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}} = 1,453 \text{ mm/s} = 5,231 \text{ m/h} = 125,5 \text{ m/d} \end{aligned}$$

- b) Konstante Temperatur, barometrische Höhenformel

$$\rho(h) = \rho_0 \cdot \exp(-h/H_0)$$

Dabei ist die Skalenhöhe H_0 zum Bezugsdruck ρ_0

$$\begin{aligned} H_0 &= \rho_0 / (\rho_0 \cdot g) \\ &= 0,3 \cdot 10^5 \text{ N m}^3 \text{ s}^2 / (\text{m}^2 \cdot 0,476 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2) \\ &= 6424,6 \text{ m} \end{aligned}$$



Druck in 6000 m Höhe:

$$\rho(6000\text{m}) = 0,3 \text{ bar} \cdot \exp(+3000 \text{ m} / 6424,6 \text{ m}) = 0,3 \text{ bar} \cdot 1,5951 = \mathbf{0,4785 \text{ bar}}$$

- c) Antriebsleistung $P = F_{\text{Reib}} \cdot v$

Turbulente Umströmung $F_{\text{Reib}} = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot c_w \cdot A$

Also ist $P(h) = \frac{1}{2} \rho(h) \cdot v^3 \cdot c_w \cdot A$

Damit wird $P(6000 \text{ m}) / P(9000 \text{ m}) = \rho(6000 \text{ m}) / \rho(9000 \text{ m})$

$$= (0,672 / 0,476) = 1,412 = 141,2 \%$$

Es wird also **41,2 %** mehr Antriebsleistung benötigt

Sommersemester 2011	Blatt 3 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1071 / 1072

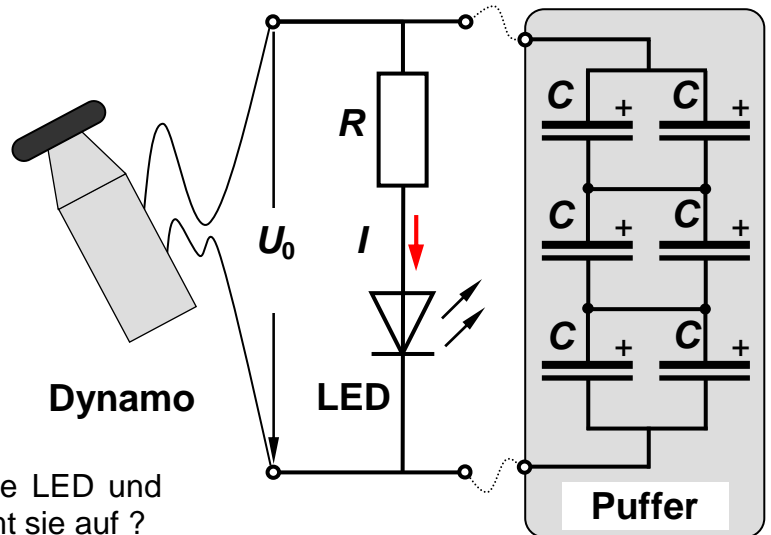
Aufgabe 3: Fahrradbeleuchtung

(15 Punkte)

In der Beleuchtungsanlage eines Fahrrads soll die Glühlampe durch eine weiss strahlende Leuchtdiode (LED) ersetzt werden.

Bei normaler Fahrgeschwindigkeit gibt der (mit einem Gleichrichter versehene) Dynamo eine Gleichspannung von $U_0 = 6\text{ V}$ ab.

Der Betrieb der LED erfordert eine Spannung von $3,6\text{ V}$ und einen Strom von $I = 30\text{ mA}$.



- Welchen Innenwiderstand hat die LED und welche elektrische Leistung nimmt sie auf ?
- Welcher Vorwiderstand R ist vor die LED zu schalten ?

Um die Anlage auf Standlicht zu erweitern, wird mit Kondensatoren großer Kapazität C ein parallel geschalteter Pufferspeicher realisiert. Beim Fahren wird er aufgeladen, während kurzer Fahrpausen übernimmt er anstelle des Dynamos die Stromversorgung (Skizze).

- Welche Gesamtkapazität hat der Puffer, wenn die Einzelkapazität $C = 4,7\text{ F}$ beträgt ?
- Welche elektrische Energie ist nach Aufladen bei normaler Fahrgeschwindigkeit im Puffer enthalten und welche Spannung liegt dann an den einzelnen Kondensatoren ?
- Welcher Anteil der elektrischen Leistung geht bei Versorgung aus dem Pufferspeicher in den Betrieb der LED ? Könnte das verbessert werden oder nicht (*bitte begründen*) ?

Lösungsvorschlag

Fahrradbeleuchtung

Autor H Käß

- a) Innenwiderstand der LED $R_{LED} = U_{LED} / I = 3,6 \text{ V} / 0,03 \text{ A} = \mathbf{120 \Omega}$
 Leistungsaufnahme $P_{LED} = U_{LED} \cdot I = 3,6 \text{ V} \cdot 0,03 \text{ A} = \mathbf{0,108 \text{ W}} = 108 \text{ mW}$
- b) Am Vorwiderstand muss die Spannung $U_R = U_0 - U = 6 \text{ V} - 3,6 \text{ V} = 2,4 \text{ V}$ abfallen
 Der Strom im Normalbetrieb beträgt $I = 30 \text{ mA}$, damit wird $R = U_R / I = \mathbf{80 \Omega}$
- c) Jeweils zwei Kondensatoren liegen parallel, ihre gemeinsame Kapazität beträgt:
 $C_p = C + C = 2 C = 9,4 \text{ F}$
 Drei dieser Ersatzkapazitäten C_p liegen in Reihe, die Gesamtkapazität C_{ges} folgt aus

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_p} = \frac{3}{C_p}$$

$$C_{ges} = C_p / 3 = 9,4 \text{ F} / 3 = \mathbf{3,13 \text{ F}}$$
- d) Elektrische Energie im Puffer, Spannung U_0 $E_{el} = \frac{1}{2} C_{ges} \cdot U_0^2 = \mathbf{56,4 \text{ J}}$
 Alle Kondensatoren haben die gleiche Kapazität C , jeweils drei davon sind in Serie geschaltet. An diesen Dreierketten liegt die Spannung U_0 an. An jedem einzelnen der Kondensatoren liegt somit die gleiche Spannung
 $U_C = \frac{1}{3} U_0 = \mathbf{2 \text{ V}}$
- e) Der vollständig aufgeladene Pufferspeicher versorgt die Schaltung mit der Spannung $U_0 = 6 \text{ V}$. Die Stromaufnahme beträgt 30 mA .
 Am Vorwiderstand R fällt die Spannung U_R ab $U_R = 2,4 \text{ V}$
 seine Leistungsaufnahme beträgt $P_R = U_R \cdot I = 2,4 \cdot 0,03 \text{ V A} = 72 \text{ mW}$
 Die Leistungsaufnahme der LED beträgt $P_{LED} = 108 \text{ mW}$
 Die gesamte Leistungsabgabe des Puffers ist $P_{ges} = P_{LED} + P_R = 180 \text{ mW}$
 In den Betrieb der LED geht davon der Anteil $108 \text{ mW} / 180 \text{ mW} = 0,60 = \mathbf{60 \%}$

Der Verlustanteil von 40% der elektrischen Leistung lässt sich nur durch Verwendung anderer Bauteile oder Veränderungen im Aufbau der Schaltung reduzieren. Die Betriebsspannung der aktuellen LED und die Ausgangsspannung des Dynamos liegen zu weit auseinander.

- LED mit höherer Betriebsspannung (braucht aber immer Schutzwiderstand)
- Dynamo geringerer Ausgangsspannung (kaum möglich, da standardisiert)
- Transformation der Ausgangsspannung des Dynamos vor der Gleichrichtung auf niedrigeren Wert (gibt sowieso Wechselspannung ab)