

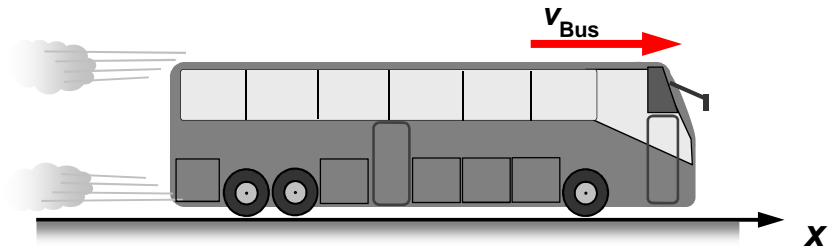
Sommersemester 2017	Blatt 1 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1011005 / 1072
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 60 Minuten

Gesamtpunktzahl: 60

Aufgabe 1: Fernreisebus

(25 Punkte)

Untenstehend sind ausgewählte technische Daten eines typischen modernen Busses für Fernreisen angegeben. Mit ihrer Hilfe sind Fahreigenschaften im Betrieb abzuschätzen.



Vereinfachend wird der Gesamtwirkungsgrad η_{sys} bei Umwandlung vom Motor aufgenommener chemischer Energie in an die Räder abgegebene mechanische Arbeit konstant angenommen. Bei Geschwindigkeiten unter 35 km/h wird der Luftwiderstand vernachlässigt.

- Bei Abfahrt aus dem Depot fährt der leere Bus mit maximaler Beschleunigung aus dem Stand los. Welche mechanische Arbeit ist erforderlich, um ihn auf eine Geschwindigkeit von 30 km/h zu bringen (Angabe bitte in J und kWh) ?
- Der leere Bus fährt auf ebener, horizontaler Straße mit der konstanten Geschwindigkeit 50 km/h zum Einsatzort. Welche mechanische Leistung wird dafür benötigt ?
- Auf der Autobahn dürfen Reisebusse maximal mit 100 km/h fahren. Wieviel Liter Kraftstoff verbraucht der nun voll beladene Bus bei dieser Geschwindigkeit pro Stunde ?
- Welche Strecke könnte der Bus in Teil c) in der Ebene mit einer Tankfüllung fahren ?
- Angenommen, der Motor gebe bei maximalem Drehmoment seine gesamte Leistung ab: welche Drehzahl hätte er dabei ?

Angaben

Antrieb:

Leistung Dieselmotor $P_{\text{mot}} = 315 \text{ kW}$
 Maximaldrehmoment $M_{\text{max}} = 2100 \text{ Nm}$
 Beschleunigung $a_{\text{max}} = 1,5 \text{ m/s}^2$
 Gesamtwirkungsgrad $\eta_{\text{sys}} = 0,35$

Reibung zwischen Reifen und Boden:

Rollreibungszahl $\mu_R = 0,025$

Luft:

Dichte von Luft $\rho_L = 1,25 \text{ g/dm}^3$

Bus:

Zulässige Gesamtmasse $m_{\text{max}} = 24 \text{ t}$
 Leermasse (mit Fahrer) $m_{\text{min}} = 16 \text{ t}$
 Gesamthöhe (effektiv) $h = 3,77 \text{ m}$
 Gesamtbreite (- " -) $b = 2,55 \text{ m}$
 Luftwiderstandsbeiwert $c_w = 0,4$

Kraftstoff (Diesel):

Volumen Tank $V_{\text{tank}} = 480 \text{ Liter}$
 Inhalt chemische Energie $H_i = 41 \text{ MJ/kg}$
 Dichte Diesel $\rho_D = 0,85 \text{ g/cm}^3$

Lösungsvorschlag

Fernreisebus

Autor H Käß

- a) Endgeschwindigkeit $v_{\text{end}} = 30 \text{ km/h} = 30000 \text{ m} / 3600 \text{ s} = 8,33 \text{ m/s}$
 Beschleunigung $W_B = 0,5 \cdot m \cdot v_{\text{end}}^2 = 8000 \text{ kg} \cdot 8,33^2 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 5,55 \cdot 10^5 \text{ J}$
 Beschleunigung auf v_{end} aus dem Stand in der Horizontalen wobei $a_{\text{max}} = 1,5 \text{ m/s}^2$
 Beschleunigungsdauer $t_B = v_{\text{end}}/a_{\text{max}} = 8,33 \text{ s} / 1,5 = 5,553 \text{ s}$
 Beschleunigungsweg $s_B = 0,5 \cdot a_{\text{max}} \cdot t_B^2 = 0,75 \text{ m/s}^2 \cdot 5,553^2 \text{ s}^2 = 23,13 \text{ m}$
 Rollreibungskraft $F_R = \mu_R \cdot F_N = \mu_R \cdot m \cdot g = 3924 \text{ N}$
 Rollreibrungsarbeit $W_R = F_R \cdot s_B = 3924 \text{ N} \cdot 23,13 \text{ m} = 0,908 \cdot 10^5 \text{ J}$
 Gesamte mechanische Arbeit also $W_{\text{ges}} = W_B + W_R = 6,463 \cdot 10^5 \text{ J}$
 Da $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ ist somit $W_{\text{ges}} = 0,179 \text{ kWh}$

- b) Bei der Geschwindigkeit $v_{50} = 50 \text{ km/h} = 13,88 \text{ m/s}$ wirkende Reibungskräfte:
 Rollreibungskraft wie in a) $F_R = 3924 \text{ N}$
 Luftwiderstandskraft $F_{W,50} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{50}^2 \cdot A \cdot c_w = 0,5 \cdot 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 13,88^2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot 3,77 \cdot 2,55 \text{ m}^2 \cdot 0,4 = 463,02 \text{ N}$
 Gesamte Widerstandskraft $F_{\text{ges}} = F_R + F_{W,50} = 4387,02 \text{ N}$
 Mechanische Leistung $P_{50} = F_{\text{ges}} \cdot v_{50} = 60,931 \text{ kW}$

- c) Bei der Geschwindigkeit $v_{100} = 100 \text{ km/h} = 27,77 \text{ m/s}$ wirkende Reibungskräfte:
 Rollreibungskraft nun $F_R = 0,025 \cdot 24000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} = 5886 \text{ N}$
 Luftwiderstandskraft $F_{W,100} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{100}^2 \cdot A \cdot c_w = 4 \cdot F_{W,50} = 1854,46 \text{ N}$
 Gesamte Widerstandskraft $F_{\text{ges}} = F_R + F_{W,100} = 7740,5 \text{ N}$
 Mech. Arbeit pro 1 Stunde $\Delta W_{100} = F_{\text{ges}} \cdot \Delta s = 7740 \text{ N} \cdot 100000 \text{ m} = 7,74 \cdot 10^8 \text{ J}$
 Eingesetzte chem. Energie $W_{\text{chem}} = W_{\text{mech}} / \eta_{\text{sys}} = 2,215 \cdot 10^9 \text{ J} = 2215 \text{ MJ}$
 Da $H_i = 41 \text{ MJ/kg}$ $m_D = W_{\text{chem}} / H_i = 2215 \text{ kg} / 41 = 53,94 \text{ kg}$
 Volumen an Diesel daher $V_D = m_D / \rho_D = 53,94 \text{ kg} / 0,85 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3} = 63,46 \text{ dm}^{-3}$

- d) Der Bus verbraucht offenbar pro 100 km an Diesel: 63,46 Liter
 Der Tank fasst insgesamt an Dieseldieselkraftstoff: 480 Liter
 Maximale Fahrstrecke demnach $s_{\text{max}} = 100 \text{ km} \cdot 480 / 63,46 = 756 \text{ km}$

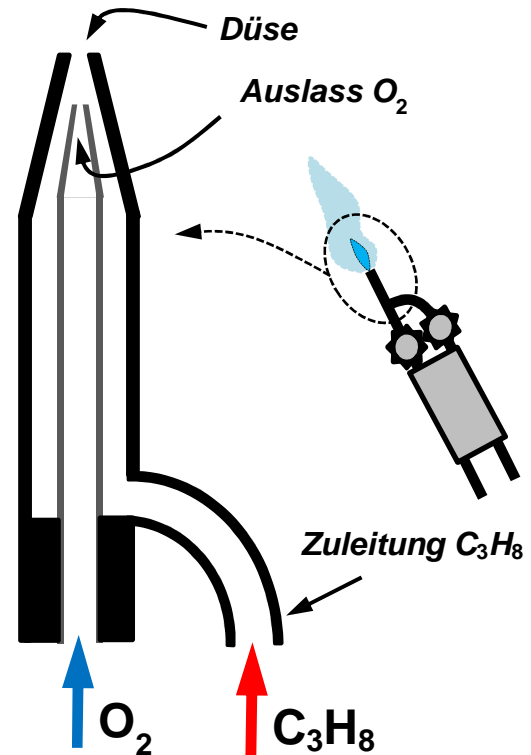
- e) Es ist $P_{\text{max}} = M_{\text{max}} \cdot \omega = M_{\text{max}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$
 Daraus die Drehzahl $n = P_{\text{max}} / (M_{\text{max}} \cdot 2 \cdot \pi) = 315000 \text{ Nm} / (\text{s} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2100 \text{ Nm}) = 23,87 \text{ s}^{-1} = 1432 \text{ min}^{-1}$

Sommersemester 2017	Blatt 2 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1011005 / 1072

Aufgabe 2: Gasbrenner

(20 Punkte)

Nebenstehend ist der Aufbau eines Handbrenners schematisch skizziert. Aus der Düse am vergrößert gezeichneten Brennerkopf tritt das Brenngas Propan (C_3H_8) aus. Die Temperatur der Flamme kann durch zusätzliche Beimischung von Sauerstoff (O_2) über einen unter der Düse sitzenden Auslass verändert werden. Der Brenner wird bei einem umgebenden Luftdruck von 1 bar betrieben.



Zuerst wird kein Sauerstoff zugemischt.

- Mit welcher Geschwindigkeit strömt das Propangas aus der Düse ?
- Welcher Volumenstrom dV/dt an Propangas fließt durch den Brenner ?
- Wie lange kann der Brenner bei diesem Volumenstrom aus einer zu Beginn vollständig mit Propan gefüllten Gasflasche (Gasinhalt: 11 kg) versorgt werden ?

Nun wird Sauerstoff zugemischt, so dass die Flamme mit einer Gasmischung im stöchiometrischen Volumenverhältnis O_2 zu Propan von 5 : 1 versorgt wird.

Angaben:

- Durchmesser Düse: $d = 4,0 \text{ mm}$
 Durchmesser Auslass O_2 : $d_o = 2,0 \text{ mm}$
 Dichte Propangas: $\rho = 2,0 \text{ g / dm}^3$
 Dichte Sauerstoff: $\rho = 1,34 \text{ g / dm}^3$
 Betriebsdruck Propan $p_p = 100 \text{ mbar}$

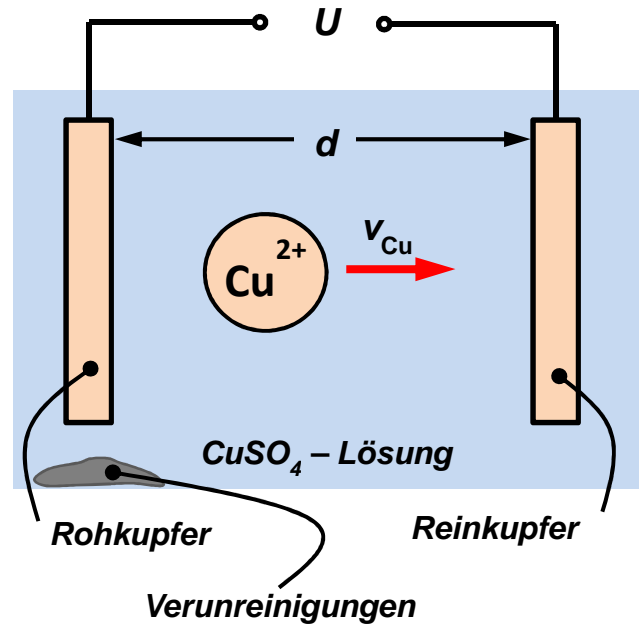
- Welcher Volumenstrom an Sauerstoff ist dafür erforderlich ?
- Mit welcher Geschwindigkeit strömt dann Sauerstoff durch den Auslass in die Düse ?
- Kann der dafür einzustellende Betriebsdruck in der O_2 -Zuleitung über die Bunsengleichung korrekt abgeschätzt werden (*Antwort bitte begründen*) ?

- a) Ausströmgesetz (Bunsen) $\Delta p = \frac{1}{2} \rho_L \cdot v^2$
somit $v_p = \sqrt{2 \cdot \Delta p / \rho_L} = \sqrt{2 \cdot 0,10 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^3 / 2,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^3}$
 $= \sqrt{10^4} \text{ m/s} = \mathbf{100 \text{ m/s}}$
- b) Volumenstrom Propan $\Delta V_P / \Delta t = v_p \cdot A = v_p \cdot \pi \cdot (d/2)^2 = 100 \text{ m/s} \pi (2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2$
 $= 100 \text{ m/s} 1,257 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 1,257 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
 $= \mathbf{1,257 \text{ l/s}}$
- c) Der Volumenstrom ergibt $\Delta m_P / \Delta t = \rho (\Delta V_P / \Delta t) = 2 \text{ kgm}^{-3} (1,257 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{s}^{-1})$
 $= 2,514 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$
Aus dem Massenstrom folgt $\Delta t = m_{\text{gas}} / (\Delta m_P / \Delta t) = 11 \text{ kg} / 2,514 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$
 $= \mathbf{4375,5 \text{ s}} = 1 \text{ h } 12 \text{ min } 55 \text{ s}$
- d) Volumenstrom O₂ damit $\Delta V_O / \Delta t = 5 (\Delta V_P / \Delta t) = 5 \cdot 1,257 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$
 $= 6,285 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{6,285 \text{ l/s}}$
- e) Strömungsgeschwindigkeit $v_o = (\Delta V_O / \Delta t) (1 / A_o) = (\Delta V_O / \Delta t) \cdot (1 / (\pi \cdot d_o^2))$
 $= (6,285 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) \cdot (1 / (\pi \cdot 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2))$
 $= \mathbf{2000,6 \text{ m/s}}$
- f) Das Ausströmgesetz von Bunsen gilt nur für inkompressible Strömungen, in Gasen für Strömungsgeschwindigkeiten **bis zu etwa 1/3 der Schallgeschwindigkeit**. In Sauerstoff und Luft bei etwa 1 bar hat die Schallgeschwindigkeit praktisch den gleichen Wert von etwa **340 m/s**. **Damit kann das Bunsengesetz** in Teilaufgabe e) **nicht gelten**.

Sommersemester 2017	Blatt 3 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1011005 / 1072

Aufgabe 3: Elektrolytische Aufreinigung (15 Punkte)

Die Aufreinigung von aus Erz gewonnenem Rohkupfer erfolgt in der Regel elektrolytisch. Das Rohkupfer bildet dabei eine Elektrode, welche im Verlauf der Elektrolyse zweifach positive Kupferionen (Cu^{2+}) an die Lösung abgibt. Die Verunreinigungen setzen sich als Schlamm ab. Die Cu^{2+} -Ionen wandern zur Gegenelektrode und scheiden sich als Reinkupfer ab. Als Elektrolyt dient eine mit Schwefelsäure angesäuerte CuSO_4 -Lösung.



Angaben

Elektrolysespannung	U	$= 0,4 \text{ V}$
Elektrodenabstand	d	$= 3 \text{ cm}$
Viskosität der Lösung	η	$= 2 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
Elementarladung	e	$= 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Effektiver Ionenradius	r_{ion}	$= 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

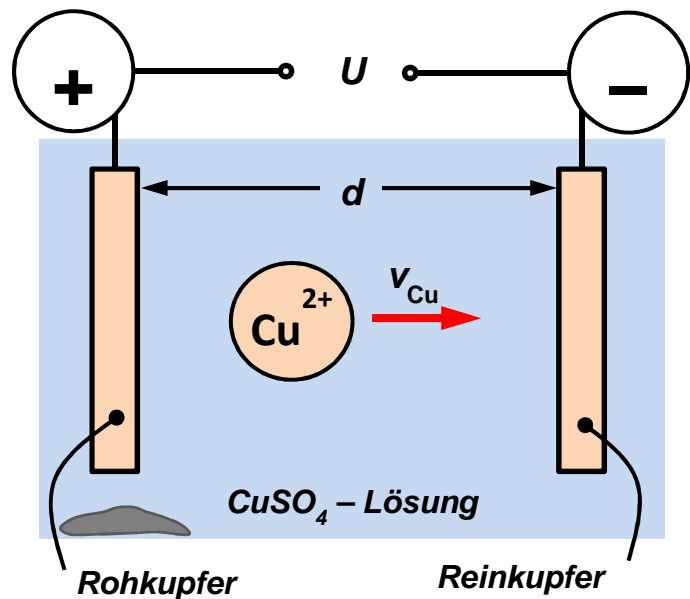
- Wie müssen die Pole der Spannungsquelle mit den jeweiligen Elektroden verbunden sein, damit sich die Cu^{2+} -Ionen in die skizzierte Richtung bewegen ?
- Welche elektrische Feldstärke herrscht im Elektrolyt und welche Kraft wirkt auf ein Cu^{2+} -Ion ?
- Mit welcher konstanten Geschwindigkeit bewegen sich die Cu^{2+} -Ionen im Elektrolyten ?
- Wie wird sich die Geschwindigkeit der Ionen verändern, wenn die Temperatur im Elektrolyt höher wird (*qualitative Antwort der Art „wird größer“ / „bleibt gleich“ / „wird kleiner“, bitte begründen*) ?
- Welche Ionenkonzentration ist erforderlich, wenn bei der Elektrolyse eine Stromdichte von 200 A/m^2 herrschen soll ?

Lösungsvorschlag

Elektrolytische Aufreinigung

Autor H Käß

- a) Polung von U
Reinkupfer : negativ
Rohkufer : positiv



- b) Elektrisches Feld
 Elektrostatische Kraft

$$E = U / d = 0,4 \text{ V} / 3 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 13,33 \text{ V/m}$$

$$F_{\text{El}} = q \cdot E = 2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 13,33 \text{ V/m}$$

$$= 4,272 \cdot 10^{-18} \text{ N}$$

- c) Kräftegleichgewicht
 Die Geschwindigkeit ist

$$F_{\text{El}} = F_{\text{R}}$$

$$q \cdot E = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v \cdot r$$

$$v = q \cdot E / (6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r)$$

$$= 4,272 \cdot 10^{-18} \text{ N m}^2 / (6 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ Ns} \cdot 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ m})$$

$$= 1,03 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \approx 1 \text{ } \mu\text{m/s}$$

- d) Temperatursteigerung

→ **Viskosität η wird kleiner**
 → Stokesreibung wird kleiner
 → **Geschwindigkeit v wird größer** ($v \sim 1/\eta$)

- e) Stromdichte
 => Ionenkonzentration

$$j = I / A = n \cdot q \cdot v$$

$$n = j / (q \cdot v)$$

$$= 200 \text{ A} / (2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 1,03 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$= 6,0604 \cdot 10^{26} \text{ 1/m}^3 = 6,0604 \cdot 10^{20} \text{ 1/cm}^3$$