

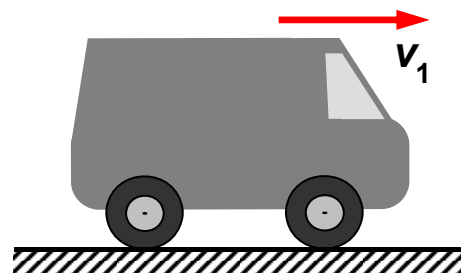
Sommersemester 2016	Blatt 1 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1011005 / 1072
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 60 Minuten

**Gesamtpunktzahl: 60**

**Aufgabe 1: Transporter**

**(25 Punkte)**

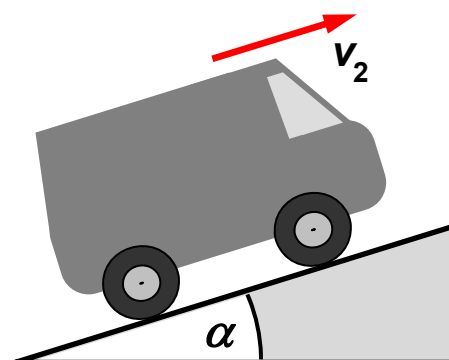
Ein unbeladener Transporter fährt mit konstanter Geschwindigkeit  $v_1 = 80 \text{ km/h}$  bei Windstille auf horizontaler Straße. Der Motor gibt dabei die mechanische Leistung  $P = 25 \text{ kW}$  an den Antriebsstrang ab, der den Wirkungsgrad  $\eta$  hat. An den Rädern stehen somit 80% der Motorleistung zur Antrieb des Transporters bereit.



- Welchen Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$  hat der Transporter ?
- Angenommen, die Rollreibung könnte völlig vernachlässigt werden und die vom Motor maximal abgegebene Leistung  $P_{\max}$  hinge nicht vom Drehmoment ab – welche Geschwindigkeit könnte der Transporter damit auf ebener Strecke höchstens erreichen ?
- Der Transporter fährt mit  $100 \text{ km/h}$  auf der Straße. Wegen eines plötzlich auftauchenden Hindernisses muss er so schnell wie möglich abgebremst werden. Welcher Bremsweg ist dafür mindestens erforderlich (die Reaktionszeit werde vernachlässigt) ?

Der jetzt voll beladene Transporter befährt nun ein Straßenstück mit 15% Steigung.

- Welchen Neigungswinkel  $\alpha$  hat die Straße ?
- Welches Gesamtdrehmoment muss der Motor dabei mindestens an die Räder abgeben ?
- Angenommen, außer der notwendigen Haftreibung der Reifen auf der Straße existierten keine anderen Reibungseffekte und die gesamte Leistung an den Rädern stünde zur Bewegung des Transporters zur Verfügung – gibt es eine prinzipielle Obergrenze der erreichbaren Fahrgeschwindigkeit  $v_2$  (bitte begründen) ? Wenn ja, welchen Wert hätte sie ?



**Angaben**

**Transporter:**

Leermasse (mit Fahrer)	$m_{\text{leer}} = 2100 \text{ kg}$
Zuladung	$m_{\text{lad}} = 1400 \text{ kg}$
Querschnittsfläche	$A = 4,2 \text{ m}^2$
Motorleistung maximal	$P_{\text{max}} = 80 \text{ kW}$
Wirkungsgrad Antrieb	$\eta = 0,8$
Reifendurchmesser	$d = 74 \text{ cm}$

**Umgebung:**

Dichte Luft	$\rho = 1,25 \text{ g/dm}^3$
Reibungszahlen Reifen-Straßenbelag:	
Rollreibungszahl	$\mu_R = 0,015$
Haftreibungszahl	$\mu_H = 0,8$

**Lösungsvorschlag**

**Transporter**

**Autor H Käß**

- a) Mechanische Antriebsleistung  $P_1 = F \cdot v_1 = (F_W + F_R) v_1$   
 Dabei sind Antriebsleistung  $P_1 = \eta \cdot P$  ( $= 0,8 \cdot 25 \text{ kW} = 20 \text{ kW}$ )  
 Widerstandskraft Umströmung  $F_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 \cdot A \cdot c_w$  ( $= c_w \cdot 1296,3 \text{ N}$ )  
 Widerstandskraft Rollreibung  $F_R = \mu_R \cdot F_N = \mu_R \cdot m_{\text{leer}} \cdot g$  ( $= 309,01 \text{ N}$ )  
 Damit wird  $\eta \cdot P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^3 \cdot A \cdot c_w + \mu_R \cdot m_{\text{leer}} \cdot g \cdot v_1$   
 und somit schließlich  $c_w = 2(\eta \cdot P - \mu_R \cdot m_{\text{leer}} \cdot g \cdot v_1) / (\rho \cdot v_1^3 \cdot A) = \mathbf{0,456}$
- b) Maximale Antriebsleistung  $P_2 = \eta \cdot P_{\text{max}}$  ( $= 0,8 \cdot 80 \text{ kW} = 64 \text{ kW}$ )  
 Nur Luftwiderstand relevant, also  $P_2 = F \cdot v_{\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{\text{max}}^3 \cdot A \cdot c_w$   
 Daraus folgt  $v_{\text{max}}^3 = 2 \cdot \eta \cdot P_{\text{max}} / (\rho \cdot A \cdot c_w)$   
 und daraus  $v_{\text{max}} = \mathbf{37,67 \text{ m/s}} = 135,6 \text{ km/h}$
- c) Der Transporter fährt mit  $v_3 = 100000 \text{ m} / (3600 \text{ s}) = 27,77 \text{ m/s}$ . Seine kinetische Energie  $W_{\text{kin}}$  wird entlang des Bremswegs  $s_B$  komplett in Reibungsarbeit  $W_H$  umgewandelt:  
 Es ist  $W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{ges}} \cdot v_3^2$  sowie  $W_H = F_H \cdot s_B = \mu_H \cdot m_{\text{ges}} \cdot g \cdot s_B$   
 Daraus folgt  $s_B = v_3^2 / (2 \cdot \mu_H \cdot g) = \mathbf{49,16 \text{ m}}$
- d) 15% Steigung bedeutet 15 m Höhendifferenz auf 100 m in der Horizontalen  
 Damit  $\tan \alpha = 15 \text{ m} / 100 \text{ m} = 0,15$   $\alpha = \arctan(0,15) = \mathbf{8,53^\circ}$
- e) Der voll beladene Transporter hat die Gesamtmasse  $m_{\text{ges}} := m_{\text{leer}} + m_{\text{lad}} = 3500 \text{ kg}$ . Das Drehmoment  $M = F_{\text{ges}} \cdot r$  an den Rädern muss der Summe aus Hangabtriebskraft  $F_H$  und Rollreibungskraft  $F_R$  mindestens das Gleichgewicht halten:  
 Hangabtrieb  $F_H = m_{\text{ges}} \cdot g \cdot \sin(\alpha) = 3500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 5093,3 \text{ N}$   
 Rollreibungskraft  $F_R = \mu_R \cdot F_N = \mu_R \cdot m_{\text{ges}} \cdot g \cdot \cos(\alpha) = 509,3 \text{ N}$   
 Gesamtkraft  $F_{\text{ges}} = F_H + F_R = m_{\text{ges}} \cdot g \cdot (\sin(\alpha) + \mu_R \cdot \cos(\alpha)) = 5602,6 \text{ N}$   
 Somit  $M = F_{\text{ges}} \cdot r = 5602,6 \text{ N} \cdot 0,74 \text{ m} / 2 = \mathbf{2073,0 \text{ Nm}}$
- f) Im Idealfall Fall (ohne Roll- und Luftreibung) geht die gesamte mechanische Leistung an den Rädern in Hubleistung  $P_{\text{hub}}$  über. Somit steht zur Verfügung:  

$$P_{\text{hub}} = m_{\text{ges}} \cdot g \cdot \Delta h / \Delta t = m_{\text{ges}} \cdot g \cdot v_{\text{hub}} = \eta \cdot P_{\text{max}} = 64 \text{ kW}$$
 Darin ist  $v_{\text{hub}}$  die damit maximal mögliche vertikale Hubgeschwindigkeit:  

$$v_{\text{hub}} = \eta \cdot P_{\text{max}} / (m_{\text{ges}} \cdot g) = 1,864 \text{ m/s}$$
 Wegen der **beschränkten Motorleistung**  $P_{\text{max}}$  ist  $v_{\text{hub}}$  (und damit  $v_2$ ) begrenzt.  
 Die vertikale Hubgeschwindigkeit  $v_{\text{hub}}$  und die Fahrtgeschwindigkeit  $v_2$  hängen über den Winkel  $\alpha$  zusammen  $\sin(\alpha) = v_{\text{hub}} / v_2$   
 Somit:  $v_2 = v_{\text{hub}} / \sin(\alpha) = \mathbf{12,57 \text{ m/s}} = 45,2 \text{ km/h}$

Sommersemester 2016	Blatt 2 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1011005 / 1072

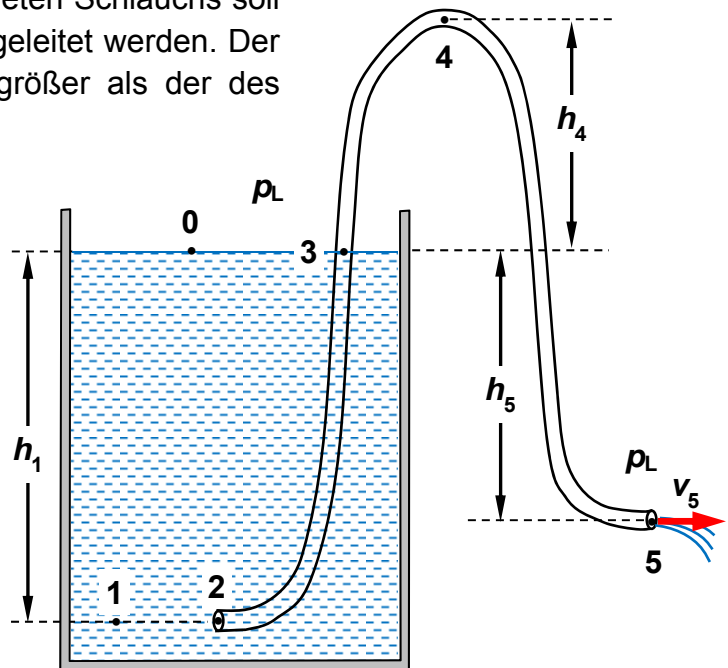
**Aufgabe 2: Wassertank**

**(20 Punkte)**

Mit Hilfe eines als Saugheber verwendeten Schlauchs soll Wasser aus einem Tank nach außen geleitet werden. Der Querschnitt des Tanks ist sehr viel größer als der des Schlauchs.

Zuerst werde das strömende Wasser wie eine ideale Flüssigkeit behandelt.

- Von welchen Größen hängt die Ausströmgeschwindigkeit  $v_5$  ab und welchen Wert hat sie?
- Berechnen Sie den Volumenstrom  $dV/dT$  durch den Schlauch in Liter pro Sekunde, wenn sein Durchmesser  $d = 5$  cm beträgt.
- Wie groß sind die Drücke an den Stellen 1 und 4? Der äußere Luftdruck beträgt  $p_L = 1$  bar.
- Wie weit unterhalb des zu Beginn vorliegenden Wasserstands kann der Tank mit dem Heber entleert werden?



Angaben:

Höhen:  $h_1 = 2,5$  m,  $h_4 = 60$  cm,  $h_5 = 90$  cm

Luftdruck:  $p_L = 1$  bar

Wasser:  $\eta = 0,001$  Pa s

In Wirklichkeit verhält sich Wasser natürlich wie eine reale Flüssigkeit.

- In welchem Intervall muss die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Schlauch liegen, damit die Strömung laminar ist?
- Welche Art von Strömung wird demnach im Schlauch vorliegen?

**Lösungsvorschlag**

**Wassertank**

**Autor H Käß**

- a) Reibungsfreie Strömung, wegen des großen Tankdurchmessers bleibt die Position des Wasserspiegels beim Ausfließen praktisch konstant. Es gilt die Bernoulligleichung mit ihren Spezialfällen, in dieser Teilaufgabe also die Ausflussformel nach Torricelli.

Die Ausströmgeschwindigkeit hängt von  $h_5$  ab

Sie hängt außerdem noch von  $h_4$  ab, denn der statische Druck im Schlauch darf nicht unter 0 Pa fallen. Anders gesagt: es darf kein Vakuum im Schlauch entstehen.

Punkt 5 liegt um  $h_5$  unterhalb des Wasserspiegels in Punkt 0

$$\text{Nach Torricelli} \quad v_5 = \sqrt{2 \cdot h_5 \cdot g} = \sqrt{2 \cdot 0,9 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = \mathbf{4,202 \text{ m/s}}$$

- b) Kontinuitätsgleichung  $\Delta V / \Delta t = A \cdot v_5 = \pi \cdot (d / 2)^2 \cdot v_5$

$$\begin{aligned} \text{Somit:} \quad &= \pi \cdot 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 4,202 \text{ m/s} = \mathbf{8,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}} \\ &= \mathbf{8,25 \text{ Liter / s}} \end{aligned}$$

- c) Bernoulligleichung für einen Stromfaden von Punkt 0 über Punkt 1 zu Punkt 4:

$$p_{\text{ges}} = p_L = p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 = p_4 + \rho \cdot g \cdot h_4 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_4^2 = \text{const}$$

Dabei gilt für die Strömungsgeschwindigkeit im Schlauch:  $v_4 = v_5$

Das Nullniveau für die Höhen  $h_i$  wird am besten in Höhe von Punkt 0 angenommen.

$$\begin{aligned} \text{P1:} \quad p_1 &= p_L - \rho \cdot g \cdot h_1 = 1 \text{ bar} - 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot (-2,5 \text{ m}) = \\ &= 100000 \text{ Pa} + 24525 \text{ Pa} = 124525 \text{ Pa} = \mathbf{1,245 \text{ bar}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{P4:} \quad p_4 &= p_L - \rho \cdot g \cdot h_4 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_5^2 \\ &= 1 \text{ bar} - 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} - 500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot (4,202 \text{ m/s})^2 \\ &= 100000 \text{ Pa} - 5886 \text{ Pa} - 8828 \text{ Pa} = 85286 \text{ Pa} = \mathbf{0,85 \text{ bar}} \end{aligned}$$

- d) Die Grenze ist erreicht, wenn der Wasserspiegel auf die Höhe der Schlauchmündung gefallen ist, also bei einem Abfall um  $h_5 = \mathbf{0,9 \text{ m}}$  unter die Anfangshöhe.

- e) Reynoldszahl muss unter dem kritischen Wert bleiben  $Re = \rho \cdot d \cdot v / \eta \leq 2300 = Re_{\text{krit}}$

$$\text{Also:} \quad v \leq 2300 \cdot \eta / (\rho \cdot d) = 2300 \cdot 0,001 \text{ Pa} \cdot \text{s} / (1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}) = 4,6 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

Die Geschwindigkeit muss im folgenden Intervall liegen  $\mathbf{0 \text{ m/s} \leq v \leq 4,6 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}}$

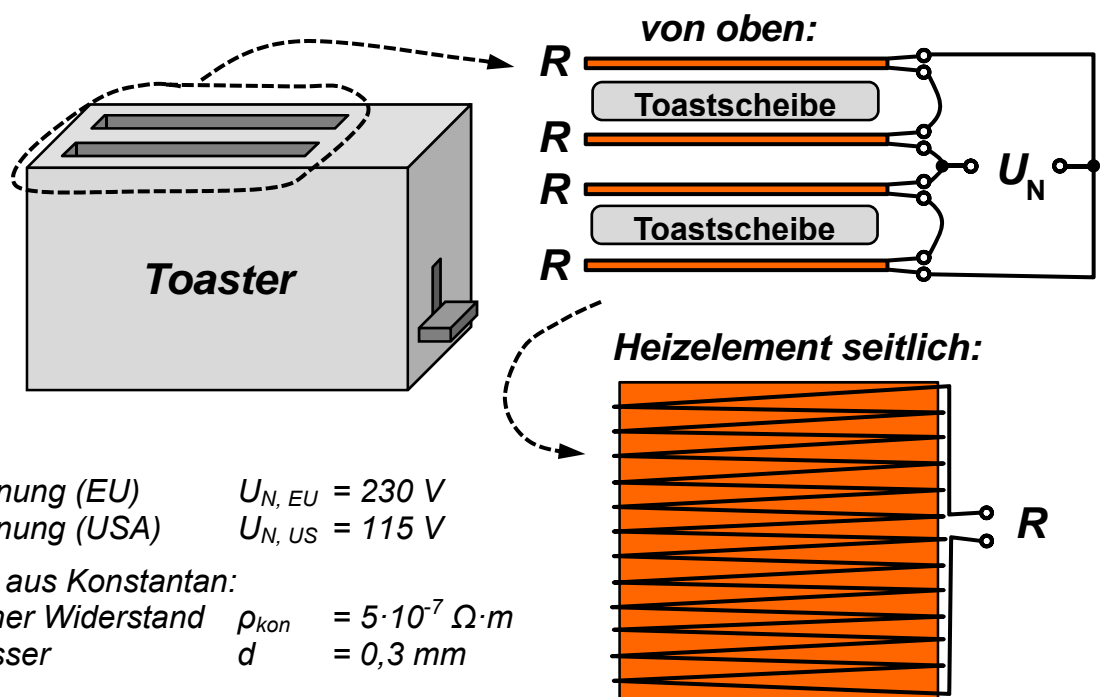
- f) Die Strömung ist demnach **turbulent**.

Sommersemester 2016	Blatt 3 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1011005 / 1072

**Aufgabe 3: Toaster**

**(15 Punkte)**

Nachstehend ist ein Toaster zum gleichzeitigen Rösten von zwei Brotscheiben skizziert. Jede Scheibe wird von beiden Seiten durch elektrische Heizelemente erwärmt. Die vier baugleichen Heizelemente haben den Widerstand  $R$  und bestehen aus einer temperaturfesten, isolierenden Trägerplatte, über die ein Heizdraht gewickelt ist. Jeweils zwei davon sind in Serie geschaltet. Sie liegen während des Toastvorgangs an der Netzspannung  $U_N$ .



**Angaben**

Netzspannung (EU)  $U_{N, EU} = 230 \text{ V}$   
 Netzspannung (USA)  $U_{N, US} = 115 \text{ V}$

Heizdraht aus Konstantan:  
 Spezifischer Widerstand  $\rho_{kon} = 5 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$   
 Durchmesser  $d = 0,3 \text{ mm}$

Der Toaster in der skizzierten Form wird in Europa bei der Netzspannung 230 V betrieben.

- Beim Rösten von zwei Brotscheiben nimmt er eine elektrische Leistung von 800 W auf. Welchen Gesamtwiderstand hat er und welchen Widerstand  $R$  hat jedes Heizelement ?
- Der Heizdraht besteht aus Konstantan. Wie viele Meter Draht werden zur Fertigung eines einzelnen Heizelements benötigt ?
- Bei Herausziehen einer verklemmten Brotscheibe wird der Draht eines Heizelements durchtrennt und so der Stromfluss unterbrochen. Welche elektrische Leistung wird der Toaster nun maximal aufnehmen ?

Es wird überlegt, ob der Toaster – eventuell nach technischer Modifikation - auch in den Vereinigten Staaten verkauft werden kann. Dort beträgt die Netzspannung jedoch 115 V.

- Können die vier Heizelemente so verschaltet werden, dass bei gleicher Gesamtleistungsaufnahme ein Betrieb in den USA möglich ist ? Skizzieren Sie die Schaltung !
- Welche Leistung nimmt das Gerät nun auf, wenn der Draht eines Heizelements bricht ?

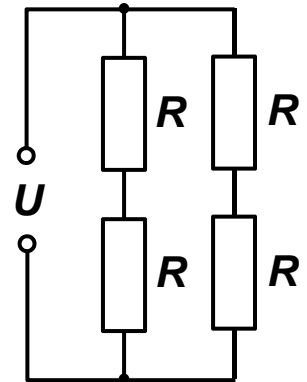
**Lösungsvorschlag Toaster**

*Autor H Käß*

a) Das Gesamtschaltbild des Toasters ist in der Skizze zu sehen

Gesamtleistung  $P_{\text{ges}} = U \cdot I = U^2 / R_{\text{ges}}$   
 Daraus folgt  $R_{\text{ges}} = U^2 / P_{\text{ges}} = \mathbf{66,125 \Omega}$

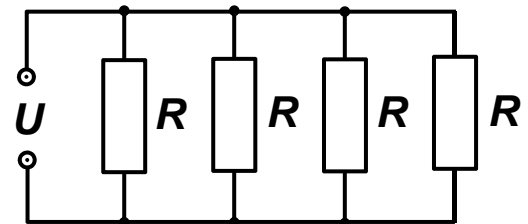
Der Ersatzwiderstand  $R_{\text{ges}}$  der Schaltung folgt aus  
 $1 / R_{\text{ges}} = 1 / (2 \cdot R) + 1 / (2 \cdot R) = 2 / (2 \cdot R) = 1 / R$   
 Somit folgt  $R = R_{\text{ges}} = \mathbf{66,125 \Omega}$



b) Es gilt  $R = \rho_{\text{kon}} \cdot L / A = 4 \cdot \rho_{\text{kon}} \cdot L / (\pi \cdot d^2)$   
 Somit:  $L = \pi \cdot d^2 R / (4 \cdot \rho_{\text{kon}}) = \mathbf{9,348 \text{ m}}$

c) Der Strom kann nur noch durch einen der beiden parallelen Zweige der Schaltung fließen. Die Leistungsaufnahme ist daher nur noch halb so groß und beträgt **400 W**.

d) Die beiden Zweige der Schaltung in der europäischen Version bilden Spannungsteiler aus zwei gleichen Widerständen. Bei 230 V Netzspannung fallen an jedem Element 115 V ab. Das entspricht gerade der Netzspannung in den USA – dort kann also jedes Einzelement direkt an die Netzspannung von 115 V angelegt werden.



**Alle Elemente sind parallel zu verschalten**

Leistungsaufnahme pro Einzelement  $P = U^2 / R = 115^2 \text{ V}^2 / 66,125 \Omega = 200 \text{ W}$

Somit beträgt die aufgenommene Gesamtleistung nach wie vor 800 W

e) Wenn der Draht eines Heizelements bricht, liegen die drei restlichen nach wie vor am Netz, die Leistungsaufnahme des Toasters beträgt dann noch  $P_{\text{rest}} = 3 \cdot 200 \text{ W} = \mathbf{600 \text{ W}}$ .