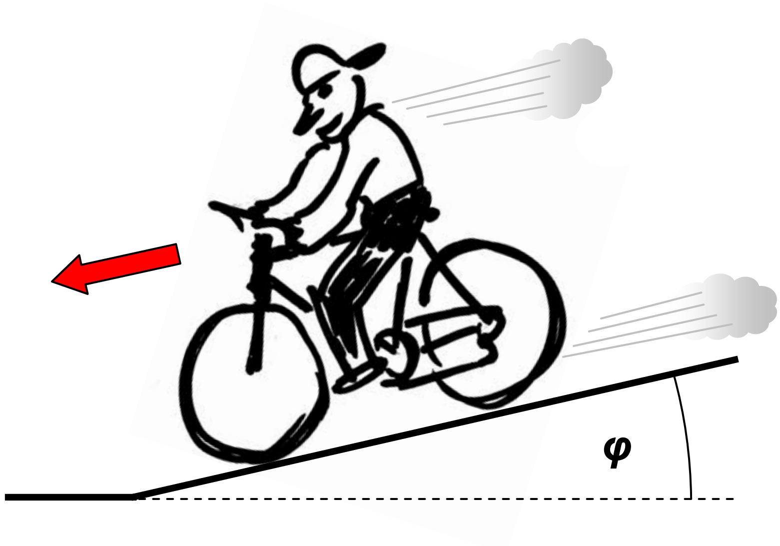
Sommersemester 2009	Blatt 1 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1071 / 1072
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 60 Minuten

Gesamtpunktzahl: 60

Aufgabe 1: Radfahrer **(20 Punkte)**

Ein Fahrradfahrer rollt aus dem Stand und ohne dabei in die Pedale zu treten eine lange Gefällstrecke hinunter. Die Steigung beträgt durchweg 5%. Bei der Berechnung von Luftreibungseffekten ist turbulente Umströmung anzunehmen.



Angaben :

m_P	$= 70\ kg$	*Masse Fahrer*
m_F	$= 12\ kg$	*Masse Fahrrad*
r	$= 36\ cm$	*Radius der Räder*
μ_R	$= 0{,}015$	*Rollreibungszahl*
c_W	$= 0{,}6$	*Widerstandsbeiwert*
A	$= 0{,}45\ m^2$	*Querschnittsfläche*
ρ_L	$= 1{,}25\ kg/m^3$	*Dichte von Luft*

a) Welchen Neigungswinkel φ hat die Gefällstrecke ?

b) Welche Maximalbeschleunigung a_{max} tritt bei dem Vorgang auf und wann liegt sie vor ?

c) Mit welcher Winkelbeschleunigung α_{max} versetzen sich die Räder in Rotation ?

Nach einiger Zeit rollt der Radfahrer mit konstanter Geschwindigkeit den Hang hinab.

d) Woher kommt dieser Effekt (bitte kurz erklären) ?

e) Welchen Wert hat diese konstante Geschwindigkeit v_C und mit welcher Winkelgeschwindigkeit ω_c drehen sich dann die Räder ?

f) Welche Reibungsleistung gibt das System „Fahrer + Rad" während der Bewegung mit der konstanten Geschwindigkeit v_C insgesamt ab ?

Lösungsvorschlag ***Radfahrer*** ***Autor H Käß***

a) Eine Steigung von 5% bedeutet 5 m Höhendifferenz auf 100 m horizontaler Distanz

Demnach ist $\tan\varphi = 5\text{ m} / 100\text{ m} = 0{,}05$

und somit $\varphi = \text{arc tan } 0{,}05 = \mathbf{2{,}86°} = 4{,}99 \cdot 10^{-2}\text{ rad}$

b) Die maximale Beschleunigung a_{max} tritt **beim Start** des Bewegungsvorgangs auf, da in diesem Moment die Luftreibung praktisch gleich Null ist. Als bremsende Kraft wirkt dann nur die Rollreibungskraft F_R, als beschleunigende Kraft die Hangabtriebskraft F_H

Hangabtriebskraft $F_H = (m_p + m_F)\, g \sin\varphi$
$= 82\text{ kg } 9{,}81\text{ m/s}^2\ 0{,}0499 = \mathbf{40{,}1\ N}$

Normalkraft $F_N = (m_p + m_F)\, g \cos\varphi$
$= 82\text{ kg } 9{,}81\text{ m/s}^2\ 0{,}999 = \mathbf{803{,}4\ N}$

Rollreibungskraft $F_R = \mu_R F_N = 0{,}015 \cdot 803{,}4\text{ N} =$
$= 82\text{ kg } 9{,}81\text{ m/s}^2\ 0{,}999 = \mathbf{12{,}05\ N}$

Resultierende Beschleunigung $a_{max} = (F_H - F_R) / (m_P + m_F)$
$= 28{,}09\text{ N} / 82\text{ kg} = \mathbf{0{,}3425\ m/s^2}$

c) Aus $a_{max} = r\, \alpha_{max}$ folgt $\alpha_{max} = 0{,}3425\text{ m} / (0{,}36\text{ m s}^2) = \mathbf{0{,}9515\ (rad)/s^2}$

d) Die **Luftreibungskraft wächst** (quadratisch) mit zunehmender Fahrtgeschwindigkeit v an, bis Rollreibungskraft F_R und Luftreibungskraft F_L im **Gleichgewicht** mit F_H stehen. Dann herrscht Kräftegleichgewicht, der Radfahrer **wird nicht mehr beschleunigt** und fährt mit $v_C = const$ weiter den Hang hinab.

e) Aus der Gleichgewichtsbedingung $F_R + F_L = F_H$ folgt $F_L = F_H - F_R = 28{,}05\text{ N}$

Bei turbulenter Strömung ist $F_L = ½\, \rho\, v^2 A\, c_w$

Daraus ergibt sich $v_c^2 = 2\, F_L / (\rho\, A\, c_w) = 166{,}4\text{ m}^2/\text{s}^2$

und somit $v_c = \mathbf{12{,}9\ m/s} = 46{,}4\text{ km/h}$

Aus $v_c = r\, \omega_c$ folgt $\omega_c = 12{,}9\text{ m} / (0{,}36\text{ m s}) = \mathbf{35{,}8\ (rad)/s}$

f) Leistung = Kraft x Geschwindigkeit $P = v_c\, (F_L + F_R)$
$= 12{,}9\text{ m/s } (28{,}05\text{ N} + 12{,}05\text{ N})$
$= \mathbf{517{,}3\ W} = 0{,}52\text{ kW}$

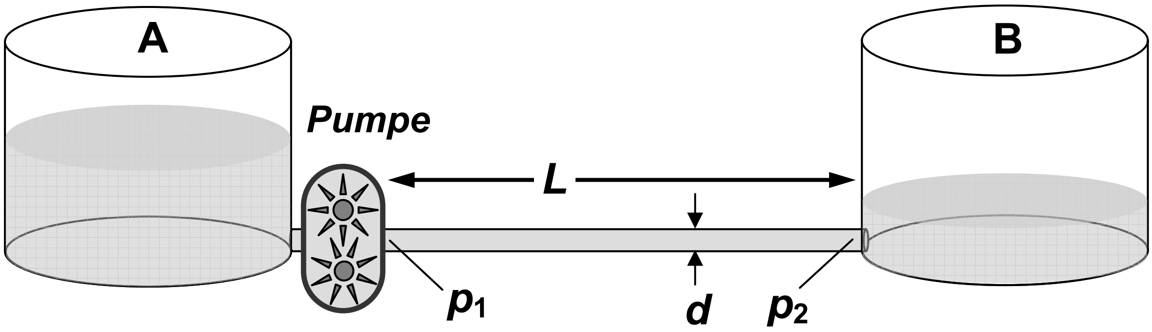
Sommersemester 2009		Blatt 2 (von 3)
Studiengang:	BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach:	Physik 1	Fachnummer: 1071 / 1072

Aufgabe 2: **Ölförderung** **(20 Punkte)**

In einer Produktionsanlage im Außenbereich wird Öl aus Tank A durch ein horizontales Rohr der Länge L in Tank B gepumpt. Hinter der Pumpe herrscht der Druck p_1. Am Rohrende tritt das Öl mit dem Druck p_2 aus. Der Volumenstrom soll 1 Liter pro Sekunde sein.

Angaben :

p_2 = 1,0 bar	*(Luftdruck)*	$\rho_{Öl}$ = 0,8 g/cm^3	*Dichte Öl*
L = 10 m	*Rohrlänge*	η_5 = 0,6 kg/(ms)	*Viskosität bei 5°C*
d = 16 mm	*Durchmesser*	η_{25} = 0,2 kg/(ms)	*Viskosität bei 25°C*



Die Anlage wird im Sommer bei einer Temperatur von 25°C betrieben.

a) Mit welcher mittleren Geschwindigkeit v_m strömt das Öl durch das Rohr ?

b) Welchen Wert hat der Druck p_1 direkt hinter der Pumpe ?

c) Welche mechanische Pumpleistung ist erforderlich ?

d) Bis zu welchem Volumenstrom bleibt die Strömung laminar ?

Im Winter beträgt die Temperatur der Anlage 5°C.

e) Welche Pumpleistung wird nun für den gewünschten Volumenstrom benötigt ?

Lösungsvorschlag ***Ölförderung*** ***Autor H Käß***

a) Für den Volumenstrom $\Delta V/\Delta t$ gilt $A \cdot v_m = const = \Delta V/\Delta t$

Hierbei ist der Rohrquerschnitt $A = \pi \cdot (d/2)^2 = 201{,}1\ \text{mm}^2 = 2{,}011 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2$

und somit wird $v_m = (1/A)\ \Delta V/\Delta t = 10^{-3}\ \text{m}^3 / (2{,}011 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2\text{s})$
$= \mathbf{4{,}974\ m/s}$

b) Das Gesetz von Hagen - Poiseuille für laminare Rohrströmung ergibt mit $R = d/2$ für den Volumenstrom $\Delta V/\Delta t = \pi R^4\ \Delta p / (8\ \eta_{25}\ L)$

Daraus folgt $\Delta p_{25} = p_1 - p_2 = (\Delta V/\Delta t) \cdot 8\ \eta_{25}\ L / (\pi R^4)$
$= 10^{-3}\ \text{m}^3\ 8\ 0{,}2\ \text{kg}\ 10\ \text{m} / (\pi\ 4{,}096 \cdot 10^{-8}\ \text{m}^4\ \text{m s}^2)$
$= 12{,}434 \cdot 10^5\ \text{N/m}^2$

und somit $p_1 = \Delta p_{25} + p_2 = \mathbf{13{,}434\ bar}$

c) Die Pumpe baut den Druck $\Delta p_{25} = 12{,}434$ bar auf und presst das Öl damit in das Rohr. Ihre mechanische Pumpleistung beträgt daher

$P = \Delta W/\Delta t = \Delta p_{25}\ \Delta V/\Delta t = 12{,}434 \cdot 10^5\ \text{N/m}^2\ 10^{-3}\ \text{m}^3/\text{s}$
$= \mathbf{1243{,}4\ W} = 1{,}24\ \text{kW}$

d) Damit laminare Strömung in einem Rohr mit Durchmesser d vorliegt, muss die Reynoldszahl Re unter ihrem kritischen Wert von 2320 für eine Rohrströmung bleiben, wobei $Re = v\ \rho\ d / \eta$

Also $v_{krit} < 2320\ \eta_{25} / (\rho\ d) = 2320 \cdot 0{,}2\ \text{kg m}^3 / (\text{m s}\ 16 \cdot 10^{-3}\ \text{m}\ 800\ \text{kg})$
$= \mathbf{36{,}25\ m/s}$

Damit folgt $\Delta V/\Delta t = A \cdot v_{krit} = 2{,}011 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2\ 36{,}25\ \text{m/s} = 0{,}00729\ \text{m}^3/\text{s} = \mathbf{7{,}29\ l/s}$

e) Im Winter ist die Viskosität höher, $\eta_5 > \eta_{25}$ und damit ergibt sich ein höherer Wert für den Druckunterschied Δp_5, den die Pumpe aufbauen muss

$\Delta p_5 = p_1 - p_2 = (\Delta V/\Delta t) \cdot 8\ \eta_5\ L / (\pi R^4)$
$= 10^{-3}\ \text{m}^3\ 8\ 0{,}6\ \text{kg}\ 10\ \text{m} / (\pi\ 4{,}096 \cdot 10^{-8}\ \text{m}^4)$
$= 37{,}302 \cdot 10^5\ \text{N/m}^2$

Die im Winter erforderliche mechanische Pumpleistung beträgt daher

$P = \Delta W/\Delta t = \Delta p_5\ \Delta V/\Delta t = 37{,}302 \cdot 10^5\ \text{N/m}^2\ 10^{-3}\ \text{m}^3/\text{s}$
$= \mathbf{3730{,}2\ W} = 3{,}73\ \text{kW}$

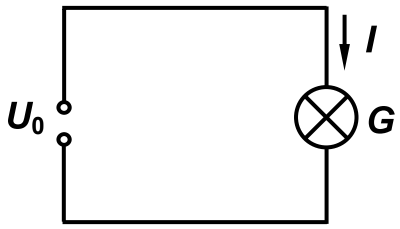
Hochschule Esslingen
University of Applied Sciences

Fakultät Grundlagen

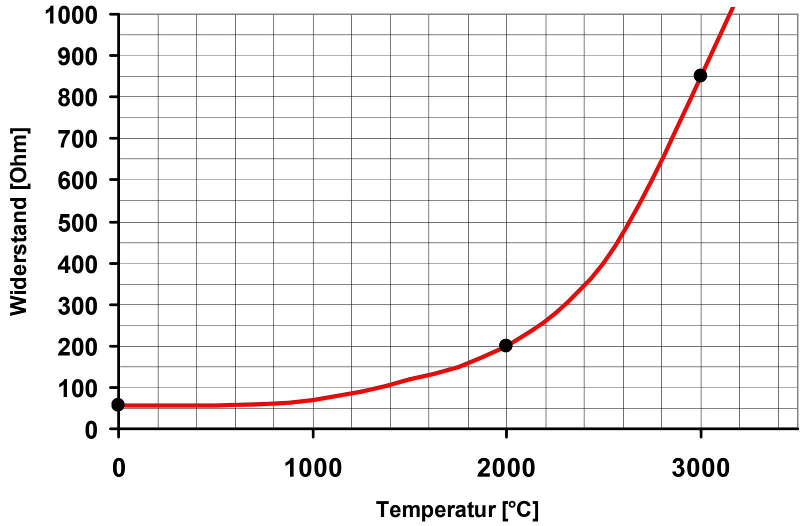
Sommersemester 2009	Blatt 3 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1071 / 1072

Aufgabe 3: Glühlampe **(20 Punkte)**

Eine klassische Glühlampe G ist für den Betrieb an der Netzspannung $U_0 = 230$ V ausgelegt. Unmittelbar nach dem Einschalten steigt der Widerstand ihres aus Wolfram bestehenden Glühfadens stark an, bis die Betriebstemperatur von 3000 °C erreicht ist. Die Abhängigkeit seines Widerstands von der Temperatur zeigt das folgende Diagramm.



Angabe :
ρ_W = 0,055 Ω mm² /m (0°C)
spezifischer Widerstand Wolfram

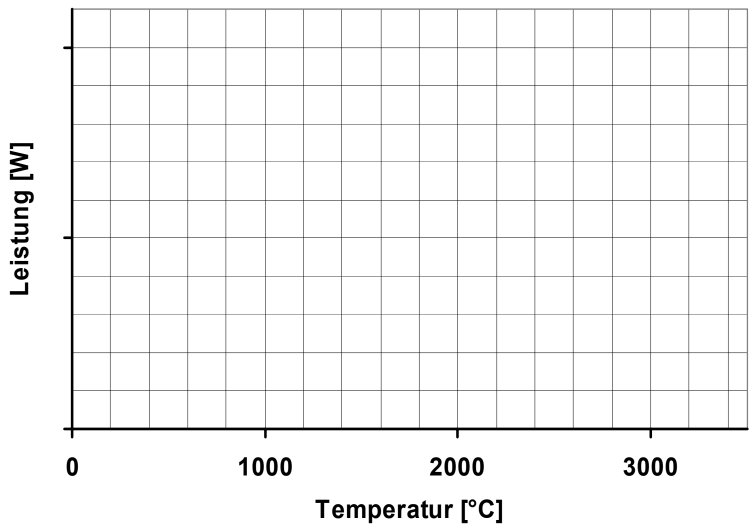


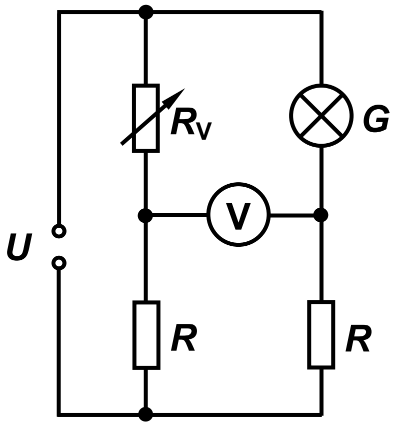
a) Welcher Strom I fließt bei den drei im Diagramm markierten Temperaturwerten ?

b) Der Glühfaden hat eine Gesamtlänge von 75 cm. Wie groß ist sein Durchmesser ?

c) Welche elektrische Leistung nimmt die Lampe bei den drei Temperaturwerten auf ?

d) Skizzieren Sie im Diagramm rechts die Abhängigkeit der Leistung von der Temperatur.





e) Der Widerstand des Glühfadens soll mit nebenstehender Brückenschaltung gemessen werden (die dafür mit einer regelbaren Spannung U betrieben wird). Über welchen Wertebereich hinweg muss der variable Widerstand R_V mindestens veränderbar sein ?

Lösungsvorschlag ***Glühlampe*** ***Autor H Käß***

a) Die Temperaturen ϑ_i mit den abgelesenen Widerständen R_i und den Strömen I_i sind

ϑ_i / °C	0	2000	3000
R_i / Ω	55	200	850
I_i / A	**4,18**	**1,15**	**0,271**
P_i / W	**961,8**	**264,5**	**62,24**

Dabei folgen die Ströme aus $I_i = U_0 / R_i$ mit $U_0 = 230\ \text{V} = const$

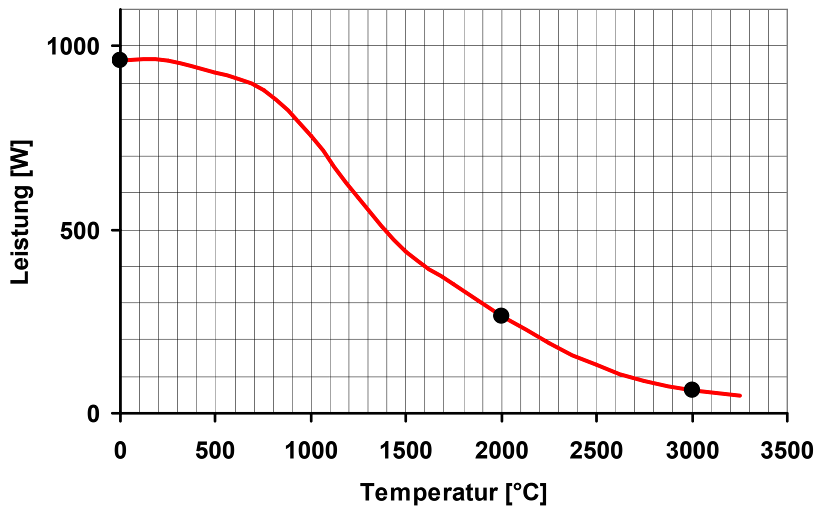
b) Der Zusammenhang zwischen Widerstand R und spezifischem Widerstand ρ lautet für einen Leiter der Länge L und Querschnittsfläche A : $R = \rho\, L / A$
wobei wegen des Radius $r = d/2$ gilt : $A = \pi\, r^2$

Daraus folgt $r^2 = \rho\, L / \pi\, R = 0{,}055\ \Omega\ \text{mm}^2\ 0{,}75\ \text{m} / (\pi\ \text{m}\ 55\ \Omega) = 2{,}387 \cdot 10^{-4}\ \text{mm}^2$

und somit $d = 2\, r = 2 \cdot 1{,}541 \cdot 10^{-2}\ \text{mm} = \mathbf{30{,}9\ \mu m}$

c) Die elektrische Leistung folgt aus $P = U\, I$ und $R = U/I$ zu $P = U^2/R$
Die resultierenden Werte P_i sind in die **Tabelle unter a)** eingetragen.

d) Qualitative Skizze, die drei berechneten Werte sind aufgenommen.



e) Die Brücke ist abgeglichen, wenn in beiden Zweigen gilt $R_G / R = R_v / R$

Dabei ist R_G der zu bestimmende Widerstand der Glühlampe und R_V der für den Nullabgleich zu verändernde variable Widerstand. Hier ist der Fall besonders einfach, denn es wird $R_G = R_v$

Somit folgen die Grenzen zu $\mathbf{55\ \Omega \le R_V \le 850\ \Omega}$

Im Experiment wird man etwa mit einem von 0 bis 1000 Ω veränderlichen Widerstand arbeiten. Dabei wird man die Versorgungsspannung U in einem weiten Bereich zwischen einigen V und einigen 100 V ändern müssen, um Glühfadentemperaturen zwischen Raumtemperatur und 3000°C zu erhalten.