

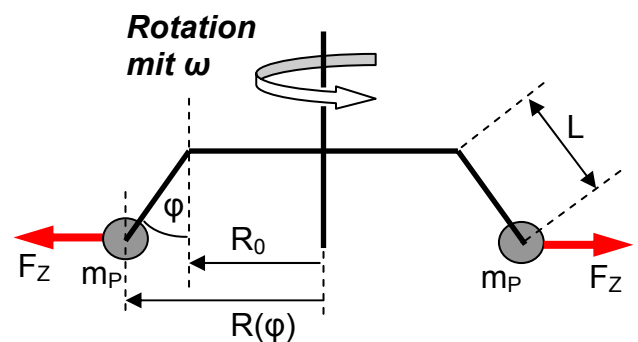
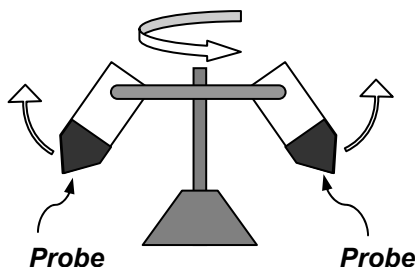
# FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

|  |  |
|--|--|
| Sommersemester 2006                                | Blatt 1 (von 6)                          |
| Studiengang: CI(B) / BT(B)                         | Semester BT(B)2 / CI(B)2                 |
| Prüfungsfach: Physik (Physik 2)                    | Fachnummer: 2011 / 2040 /<br>2043 / 2044 |
| Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner | Zeit: 120 min.                           |

## Aufgabe 1: Handzentrifuge

(24 Punkte)

Ein bekanntes Laborgerät ist die handbetriebene Zentrifuge mit zwei Probengefäßen, die in Abhängigkeit von der Drehzahl um den Winkel  $\varphi$  ausschwenken. Die Gefäße werden nachfolgend als gleich große Punktmassen  $m_P$  aufgefasst, die an drehbar und reibungsfrei gelagerten Armen hängen. Abgesehen von den Massen  $m_P$  sei die Zentrifuge masselos.



- Wie hängt der Radius  $R(\varphi)$  der Kreisbahn eines Massepunkts  $m_P$  vom Drehwinkel  $\varphi$  des drehbar gelagerten Arms mit der Länge  $L$  ab ?
- Wie hängt die Bahngeschwindigkeit dieses Massepunkts  $m_P$  auf seiner Kreisbahn von der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  der Rotation der Zentrifuge ab ?
- Wie hängt die radial nach außen gerichtete Kraft  $F_Z$  auf den Massepunkt  $m_P$  von  $\omega$  ab ?
- Zeichnen Sie eine Skizze aller bei Rotation am Massepunkt  $m_P$  angreifenden Kräfte !
- Kann der Drehwinkel  $\varphi$  gleich  $90^\circ$  werden (qualitative Antwort, bitte mit Begründung) ?
- Wie groß ist die Drehzahl der Zentrifuge unter den folgenden Bedingungen:

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| Drehwinkel des Dreharms         | $89^\circ$ |
| Länge $L$ des Dreharms          | 8 cm       |
| Radius $R_0$ bis zum Drehgelenk | 10 cm      |

## Lösungsvorschlag „Zentrifuge“

a) Zusammenhang Radius  $R(\varphi)$  – Drehwinkel  $\varphi$  :  $R(\varphi) = R_0 + L \sin \varphi$

(3 Punkte)

b) Winkelgeschwindigkeit  $\rightarrow$  Bahngeschwindigkeit :  $v(\omega) = \omega R(\varphi)$

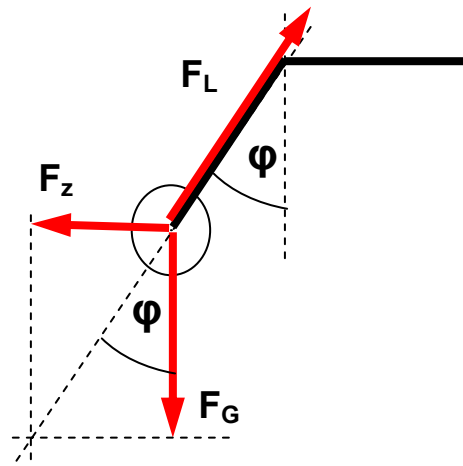
(2 Punkte)

c) Zentrifugalkraft nach außen :  $F_z(\omega) = m_P \omega^2 R(\varphi)$

(3 Punkte)

d) Skizze :

Zentrifugalkraft  $F_z(\omega)$  nach außen  
 Gewichtskraft  $F_G = m_P g$  nach unten  
 Kraft  $F_L$  in Richtung des Arms  
 $\Rightarrow$  resultierende Kraft ist Null !!



(4 Punkte)

e) Der Drehwinkel  $\varphi$  kann **nie gleich  $90^\circ$**  werden, weil dann  $F_z$  **unendlich** groß würde

(2 Punkte)

f) Der Drehwinkel  $\varphi$  hängt mit Zentrifugalkraft  $F_z$  und Gewichtskraft  $F_G$  zusammen

$$\begin{aligned} \tan \varphi &= F_z / F_G = m_P \omega^2 R(\varphi) / (m_P g) = \omega^2 R(\varphi) / g \\ &= \omega^2 (R_0 + L \sin \varphi) / g \end{aligned}$$

Einsetzen der Werte ergibt :

$$\begin{aligned} \tan 89^\circ &= \omega^2 (0,1 \text{ m} + 0,08 \text{ m} \sin 89^\circ) / (9,81 \text{ m/s}^2) \\ 57,29 &= \omega^2 0,01835 \text{ s}^2 \\ \omega^2 &= 3122,5 \text{ rad}^2/\text{s}^2 \\ \omega &= 55,88 \text{ rad/s} = 2 \pi n \end{aligned}$$

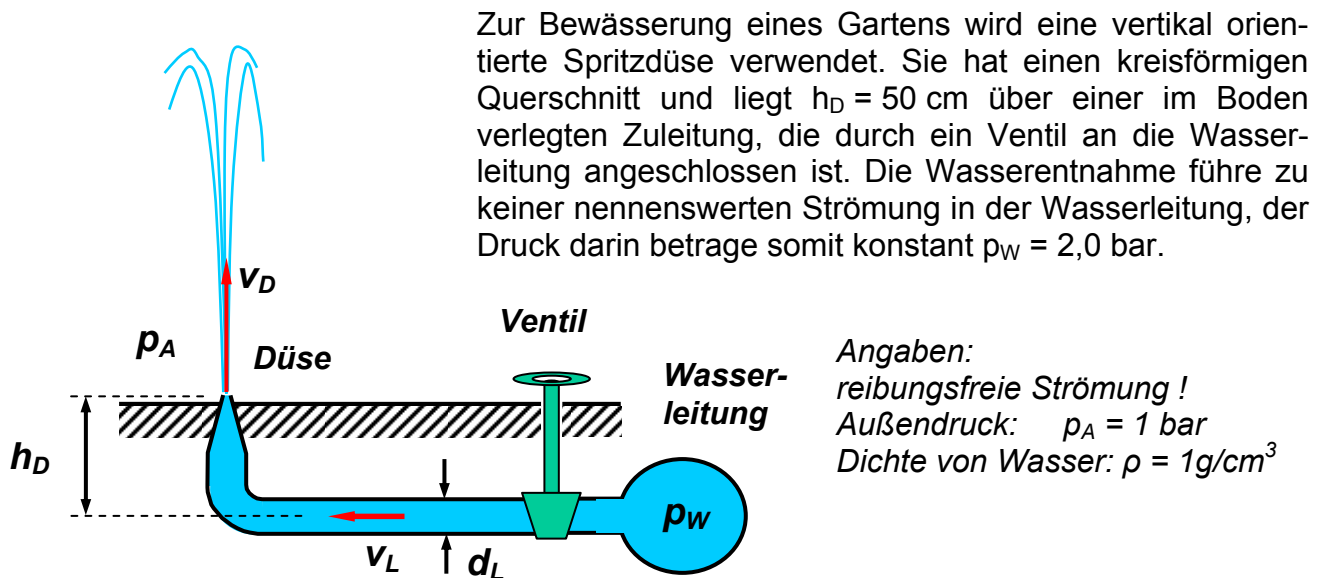
damit ist die Drehzahl  $n = 8,89 \text{ 1/s} = 8,9 \text{ Hz} = 533 \text{ min}^{-1}$

(10 Punkte)

# FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Sommersemester 2006             | Blatt 2 (von 6)                          |
| Studiengang: CI(B) / BT(B)      | Semester BT(B)2 / CI(B)2                 |
| Prüfungsfach: Physik (Physik 2) | Fachnummer: 2011 / 2040 /<br>2043 / 2044 |

## Aufgabe 2 : Spritzdüse (20 Punkte)



- Mit welcher Geschwindigkeit  $v_D$  tritt das Wasser aus der Düse aus ?
- Die Düse hat einen Durchmesser von  $0,6 \text{ cm}$ . Wie groß ist der Volumenfluß pro Zeit ?
- Das Zuleitungsrohr hat den Durchmesser  $d_L = 1,5 \text{ cm}$ . Mit welcher Geschwindigkeit  $v_L$  fließt das Wasser in der Zuleitung ?
- Welche mechanische Pumpleistung ist zur Aufrechterhaltung der Strömung nötig ?

### Lösungsvorschlag „Spritzdüse“

- a) Bernoulligleichung, reibungsfreie Strömung : Druck  $p_W$  in Wasserleitung gleich Druck in Düse :

$$\begin{aligned} p_W &= p_A + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h_D \\ v_D^2 &= 2 ( p_W - p_A - \rho g h_D ) / \rho \\ &= 2 ( 10^5 \text{ N/m}^2 - 1000 \cdot 9,81 \text{ N/m}^2 ) \text{ m}^3 / 1000 \text{ kg} = 190,2 \text{ m}^2 / \text{s}^2 \\ v_D &= \mathbf{13,79 \text{ m/s}} = 49,6 \text{ km/h} \end{aligned}$$

**(7 Punkte)**

- b) Düsenquerschnitt :  $A_D = \pi r^2 = \pi ( 3 \cdot 10^{-3} \text{ m} )^2 = 0,283 \text{ cm}^2$   
Volumfluß  $\Delta V / \Delta t = A_D v_D = 0,283 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 13,79 \text{ m/s} = \mathbf{0,00039 \text{ m}^3/\text{s}}$   
 $= 0,390 \text{ l/s} = 23,4 \text{ l/min} = 1,40 \text{ m}^3/\text{h}$

**(5 Punkte)**

- c) Kontinuitätsgleichung :  $A_D v_D = A_L v_L = \text{const}$   
 $\rightarrow v_L = v_D A_D / A_L = v_D d_D^2 / d_L^2 = v_D 0,6^2 / 1,5^2 = \mathbf{2,21 \text{ m/s}}$

**(4 Punkte)**

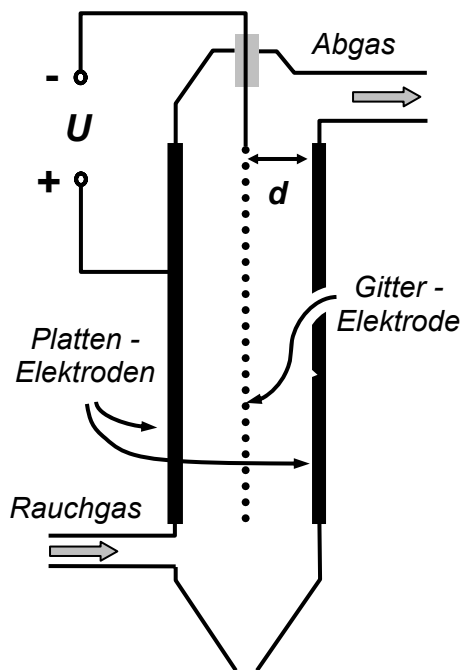
- d) Mechanische Leistung  $P_{\text{mech}} = p \Delta V / \Delta t = (p_W - p_A) \Delta V / \Delta t$   
 $= 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \cdot 0,00039 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{39,0 \text{ W}}$

**(4 Punkte)**

# FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Sommersemester 2006             | Blatt 3 (von 6)                          |
| Studiengang: CI(B) / BT(B)      | Semester BT(B)2 / CI(B)2                 |
| Prüfungsfach: Physik (Physik 2) | Fachnummer: 2011 / 2040 /<br>2043 / 2044 |

## Aufgabe 3 : Elektrofilter (20 Punkte)



Zur Rauchgasreinigung dienen oft Elektrofilter. Sie bestehen aus ebenen Elektroden in Form von Gittern und Platten im Abstand  $d$ , zwischen denen eine hohe Gleichspannung  $U$  anliegt. Staubpartikel werden im Bereich der Gitterelektrode bevorzugt negativ geladen und dann durch das elektrische Feld abgeschieden.

Angaben: *Betriebsspannung*  $U = 30 \text{ kV}$   
*Elektrodenabstand*  $d = 5 \text{ cm}$   
*Elementarladung*  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   
*Ladung eines Partikels*  $q_p = -1 \cdot 10^5 e$   
*Viskosität Rauchgas*  $\eta = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$

- Skizzieren Sie das elektrische Feld im Filter und markieren Sie den Ort der Partikelabscheidung.
- Welche Kraft wirkt auf ein Partikel der Ladung  $q_p$  ?
- Die Durchbruchfeldstärke in Luft bei Normaldruck beträgt  $3 \text{ MV/m}$ . Welcher Grenzwert folgt bei dem Elektrodenabstand  $d = 5 \text{ cm}$  für die Spannung  $U$  ?

Die „Feinstaubrichtlinie“ der EU definiert Partikel der Klasse  $\text{PM}_{10}$  als kugelförmige Teilchen der Dichte  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  mit dem effektiven Durchmesser  $d = 10 \text{ }\mu\text{m}$ .

- Mit welcher konstanten Geschwindigkeit bewegen sich  $\text{PM}_{10}$  Partikel nach kurzer Beschleunigung zwischen den Platten des Elektrofilters ? Die Umströmung sei laminar !
- Ein kleines Kraftwerk gibt  $1000 \text{ m}^3$  Rauchgas pro Stunde ab, das  $9000 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  dieser  $\text{PM}_{10}$  Partikel enthält. Ihre Konzentration im Abgas soll auf den zulässigen Grenzwert von  $40 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  reduziert werden. Welcher Strom fließt dafür durch das Elektrofilter ?

### Lösungsvorschlag „Elektrofilter“

- a) Homogenes elektrisches Feld zwischen Außenplatten und zentralem Gitter  
Partikel werden auf Platten (positiv) abgeschieden

**(3 Punkte)**

- b) Kraft  $F_{el}$  auf die Partikel

$$\begin{aligned} F_{el} &= q_P E = q_P U / d \\ &= 10^5 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 3 \cdot 10^4 \text{ V} / 0,05 \text{ m} \\ &= \mathbf{9,61 \cdot 10^{-9} \text{ N}} \end{aligned}$$

**(4 Punkte)**

- c)  $E_{max} = 3 \cdot 10^6 \text{ V/m} = U_{max} / d$

$$U_{max} = 0,05 \text{ m} \cdot 3 \cdot 10^6 \text{ V/m} = \mathbf{150 \text{ kV}}$$

**(2 Punkte)**

- d) Stokes-Reibung  $F_R$  hält  $F_{el}$  das Gleichgewicht

$$F_R = 6 \pi \eta r v = q_P E = F_{el}$$

$$v = F_{el} / (6 \pi \eta r) = 9,61 \cdot 10^{-9} \text{ N} / (6 \pi \cdot 5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 2 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2) = \mathbf{5,10 \text{ m/s}}$$

**(5 Punkte)**

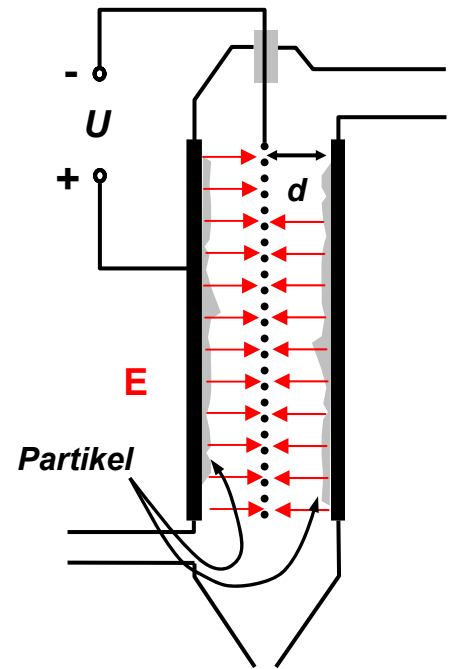
- e) Pro Stunde fließen  $1000 \text{ m}^3$  Rauchgas mit  $9000 \mu\text{g} / \text{m}^3$  Partikeln. Reduktion der Partikelkonzentration auf  $40 \mu\text{g} / \text{m}^3$  bedeutet, daß  $8960 \mu\text{g} / \text{m}^3$  auszufiltern sind. Bei  $1000 \text{ m}^3$  beträgt die Gesamtmasse der auszufilternden Partikel also  $8,96 \text{ g/h}$ .

Die Masse eines Partikels ist  $m_P = \rho V_P = \rho r^3 4 \pi / 3 = 5,236 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$

auszufilternde Partikel pro h  $n_P = 8,96 \cdot 10^{-3} \text{ kg} / 5,236 \cdot 10^{-13} \text{ kg} = 1,71 \cdot 10^{10}$

Damit beträgt der Strom  $I = n_P q_P / t = 1,71 \cdot 10^{10} \cdot 10^5 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} / 3600 \text{ s} = \mathbf{7,61 \cdot 10^{-8} \text{ A}}$

**(6 Punkte)**



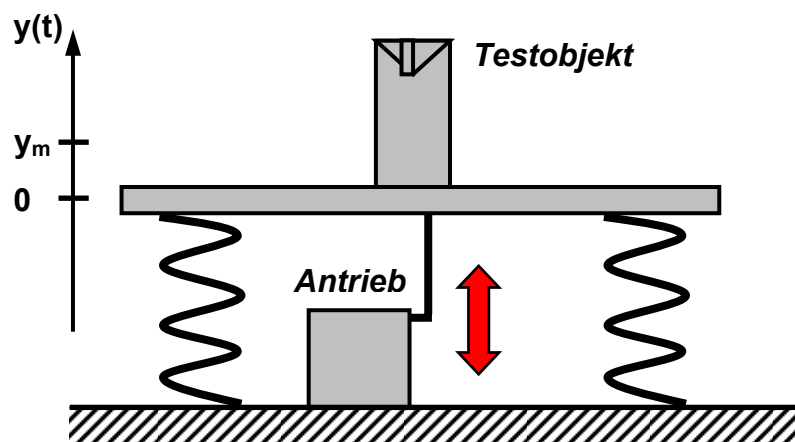
# FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Sommersemester 2006             | Blatt 4 (von 6)                          |
| Studiengang: CI(B) / BT(B)      | Semester BT(B)2 / CI(B)2                 |
| Prüfungsfach: Physik (Physik 2) | Fachnummer: 2011 / 2040 /<br>2043 / 2044 |

## Aufgabe 4 : Verpackungstest

(18 Punkte)

Ein Rütteltisch besitzt eine horizontale Platte, die von einem Antrieb in periodischer Weise vertikal bewegt wird. Die Auslenkung  $y(t)$  der Platte folgt einem harmonischen Zeitgesetz.



- Die Platte durchläuft 20 vollständige Bewegungszyklen in 5 Sekunden. Welchen Werten von Periodendauer  $T_0$ , Frequenz  $f_0$  und Kreisfrequenz  $\omega_0$  entspricht dies ?
- Zum Zeitpunkt  $t = 0$  befindet sich die Platte bei  $y = 0$ . Nach der Zeit  $t = T_0/4$  erreicht sie den oberen Umkehrpunkt ihrer Bewegung, der bei  $y(T_0/4) = y_m = 2 \text{ cm}$  liegt. Geben sie die Zeitfunktion  $y(t)$  ihrer Auslenkung an.
- Welche maximale Geschwindigkeit  $v_0$  erreicht die Platte im Verlauf ihrer Bewegung ?
- Welche maximale Beschleunigung  $a_0$  erreicht die Platte im Verlauf ihrer Bewegung ?
- Ein Testobjekt wird auf die sich bewegende Platte gestellt. Berührt es die Platte während des gesamten Bewegungszyklus (Antwort mit Begründung) ?

### Lösungsvorschlag „Rütteltisch“

- a) 20 Zyklen in 5 Sekunden  $\rightarrow$  Periodendauer  $T_0 = 5 \text{ s} / 20 = \mathbf{0,25 \text{ s}}$   
Frequenz  $f_0 = 1 / T_0 = \mathbf{4 \text{ Hz}}$   
Kreisfrequenz  $\omega_0 = 2 \pi f_0 = \mathbf{25,13 \text{ rad/s}}$

**(3 Punkte)**

- b) Zeitgesetz einer solchen Auslenkung allgemein  $y(t) = y_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$   
Anfangsbedingungen :  $y(0) = 0 \rightarrow 0 = y_m \cos(\varphi_0) \quad \varphi_0 = \pi/2 + n\pi$   
 $y(T_0/4) = y_m \rightarrow y_m = y_m \cos(\pi/2 + \varphi_0) \quad \varphi_0 = -\pi/2 + n2\pi$   
Also bleibt als Lösung  $\varphi_0 = -\pi/2 \quad (+ n2\pi, \text{ aber das ist nichts Neues})$   
und damit  $\mathbf{y(t) = 0,02 \text{ m} \cos(25,13 \text{ t/s} - \pi/2) = 0,02 \text{ m} \sin(25,13 \text{ t/s})}$

**(6 Punkte)**

- c) Maximalgeschwindigkeit  $v_m$  folgt aus erster Zeitableitung der Weg-Zeit-Funktion :  
 $dy(t) / dt = -y_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -v_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \rightarrow v_m = y_m \omega_0 = \mathbf{0,503 \text{ m/s}}$

**(3 Punkte)**

- d) Maximalbeschleunigung  $a_m$  folgt aus zweiter Zeitableitung der Weg-Zeit-Funktion :  
 $d^2y(t) / dt^2 = -y_m \omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = -a_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \rightarrow a_m = y_m \omega_0^2 = \mathbf{12,6 \text{ m/s}^2}$

**(3 Punkte)**

- e) **Nein**, das Objekt verliert periodisch den Kontakt mit der Platte, weil deren maximale Beschleunigung  $a_m$  **größer als die Erdbeschleunigung**  $g = 9,81 \text{ m/s}$  ist.

**(3 Punkte)**



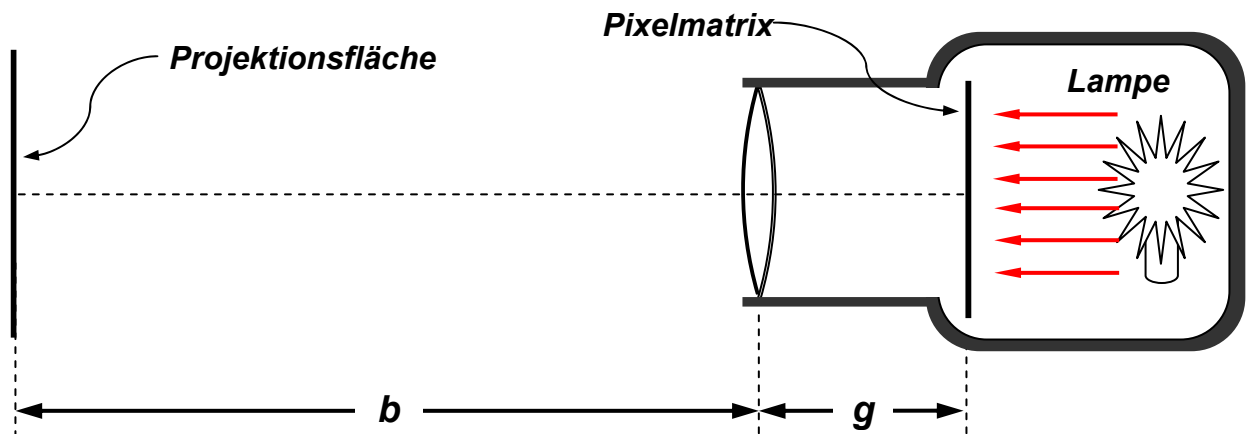
# FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Sommersemester 2006             | Blatt 5 (von 6)                          |
| Studiengang: CI(B) / BT(B)      | Semester BT(B)2 / CI(B)2                 |
| Prüfungsfach: Physik (Physik 2) | Fachnummer: 2011 / 2040 /<br>2043 / 2044 |

## Aufgabe 5: Videoprojektor („Beamer“)

(14 Punkte)

Im großen Physikhörsaal wird ein Videoprojektor installiert. Dieser enthält eine Pixelmatrix von rechteckiger Form, mit der Breite 33,0 mm und der Höhe 17,8 mm. Sie wird wie das Dia in einem klassischen Diaprojektor von einer starken Lampe durchstrahlt. Das Objektiv des Projektors erzeugt ein Bild der Pixelmatrix auf der Projektionsfläche. Dieses Objektiv soll vereinfachend als dünne Linse aufgefaßt werden.



- Das projizierte Bild soll 1,5 m breit sein. Welchen Wert hat der Abbildungsmaßstab?
- Die Entfernung zwischen Projektionsfläche und Objektiv beträgt  $b = 8$  m. Welchen Abstand  $g$  muss demnach die Pixelmatrix zur Objektivenebene haben?
- Welche Brennweite  $f$  ist für das Objektiv zu wählen?
- Dieser Videoprojektor wird nun auf eine zweite Projektionsfläche in 5 m Entfernung gerichtet. In welche Richtung relativ zur Pixelmatrix muss das Objektiv bewegt werden, um darauf wieder ein scharfes Bild zu erhalten (Antwort mit Begründung)?

### Lösungsvorschlag „Beamer“

- a) Die Pixelmatrix ist  $G = 33$  mm breit, das projizierte Bild soll  $B = 1,5$  m breit sein

Abbildungsmaßstab :  $V = \frac{B}{G}$

damit wird  $V = - 1500 \text{ mm} / 33 \text{ mm} = - \mathbf{45,455}$

Das negative Vorzeichen bedeutet, dass sich ein umgekehrt stehendes Bild ergibt.

**(4 Punkte)**

b) Abbildungsmaßstab :  $V = \frac{B}{G} = -\frac{b}{g}$  damit  $g = -\frac{b}{V}$

und schließlich  $g = 8000 / 45,455 = \mathbf{176 \text{ mm}}$

**(3 Punkte)**

c) Es gilt die Linsengleichung :  $\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$

damit wird  $\frac{1}{f} = \frac{1}{0,176 \text{ m}} + \frac{1}{8 \text{ m}} = 5,807 \frac{1}{\text{m}}$

und die erforderliche Brennweite  $\mathbf{f = 0,172 \text{ m} = 172 \text{ mm}}$

**(4 Punkte)**

- d) Die Bildweite wird verkleinert, daher muß die Gegenstandsweite erhöht werden.  
Das Objektiv ist also in **Richtung weg von der Pixelmatrix** zu bewegen.

(in Zahlen:  $b = 5 \text{ m}$  ergibt  $1/g = 5,807/\text{m} - 0,2/\text{m} = 5,607/\text{m}$ ,

also  $g = 0,178 \text{ m} = \mathbf{178 \text{ mm}}$ )

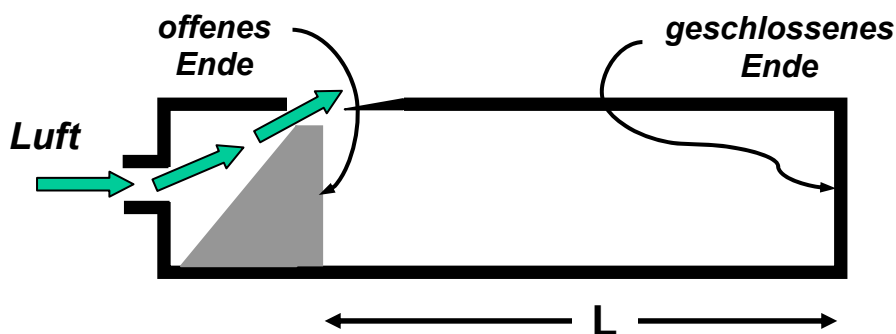
**(3 Punkte)**

# FACHHOCHSCHULE ESSLINGEN - HOCHSCHULE FÜR TECHNIK

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Sommersemester 2006             | Blatt 6 (von 6)                          |
| Studiengang: CI(B) / BT(B)      | Semester BT(B)2 / CI(B)2                 |
| Prüfungsfach: Physik (Physik 2) | Fachnummer: 2011 / 2040 /<br>2043 / 2044 |

## Aufgabe 6 :      **Orgelpfeife**      **(24 Punkte)**

Die in einer gedackten Orgelpfeife auftretenden stehenden Schallwellen lassen sich in guter Näherung mit dem Modell der einseitig geschlossenen Röhre beschreiben.



- a) Skizzieren Sie die Grundschwingung und die ersten beiden Oberschwingungen.
- b) Geben Sie eine Beziehung zur Berechnung der Frequenzen der stehenden Wellen an.  
Für Grundschwingung und die beiden ersten Oberschwingungen einer solchen gedackten Orgelpfeife der Länge  $L = ( 70,0 \pm 0,5 )$  cm ergaben sich die nachfolgenden Messreihen :

|            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $f_0$ [Hz] | 121 | 122 | 121 | 120 | 124 | 123 | 121 | 121 | 122 | 121 |
| $f_1$ [Hz] | 368 | 361 | 360 | 362 | 363 | 364 | 365 | 366 | 365 | 361 |
| $f_2$ [Hz] | 605 | 600 | 608 | 612 | 610 | 600 | 609 | 608 | 607 | 606 |

- c) Berechnen Sie die Mittelwerte der gemessenen Frequenzen  $f_0$ ,  $f_1$  und  $f_2$ .
- d) Berechnen Sie jeweils Standardabweichung und mittleren Fehler des Mittelwerts.
- e) Berechnen Sie für die drei Fälle jeweils die Schallgeschwindigkeit und ermitteln Sie daraus ein sinnvoll gerundetes gemeinsames Ergebnis (mit Fehlerangabe auf eine signifikante Stelle).

Nach der Theorie beträgt die Schallgeschwindigkeit  $c$  in Luft :

Messparameter      Isentropenexponent       $\kappa = 1,4$   
 Luftdruck                       $p = (1,031 \pm 0,002)$  bar  
 Dichte von Luft                 $\rho = (1,28 \pm 0,01)$  kg/m<sup>3</sup>

$$c = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}}$$

- f) Berechnen Sie den theoretisch zu erwartenden Wert  $c$  und den Größtfehler  $\Delta c$ .
- g) Sind Messergebnis und Theorie konsistent (bitte mit Begründung) ?

## Lösungsvorschlag „Orgelpfeife“

a) siehe Skizze

**(3 Punkte)**

b) Die Pfeife enthält auf die Länge  $L$   
ungeradzahlige Vielfache von  $\lambda/4$  ...

$$L = (2n + 1) \lambda/4 \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\text{also} \quad \lambda = 4 L / (2n + 1)$$

$$\text{wobei} \quad c = \lambda f$$

$$\text{und damit} \quad f = c / \lambda = (2n + 1) c / 4 L$$

**(4 Punkte)**

c) Mittelwerte:  $f_0 = 121,6 \text{ Hz}$ ,  
 $f_1 = 363,5 \text{ Hz}$   
 $f_2 = 606,5 \text{ Hz}$

**(2 Punkte)**

d) Standardabweichungen:  $s_0 = 1,17 \text{ Hz}$        $s_1 = 2,54 \text{ Hz}$        $s_2 = 3,95 \text{ Hz}$

Mittlerer Fehler des Mittelwerts  $\Delta f = s / \sqrt{n}$      $n = \text{Anzahl der Einzelwerte}$

$$\Delta f_1 = 0,37 \text{ Hz} \quad \Delta f_2 = 0,80 \text{ Hz} \quad \Delta f_3 = 1,24 \text{ Hz}$$

**(4 Punkte)**

e) Schallgeschwindigkeit  $c = \lambda f$   
also  $c_0 = f_0 4 L = 340,5 \text{ m/s}$   
 $c_1 = f_1 4 L / 3 = 339,3 \text{ m/s}$   
 $c_2 = f_2 4 L / 5 = 339,6 \text{ m/s}$

Fehlerrechnung für  $c$  ist einfach, da jeweils reines Potenzgesetz :

$$\Delta c / c = \Delta f / f + \Delta L / L = 0,003 + 0,007 = 0,010 = 1\% \quad (\text{im schlechtesten Fall, für } f_0)$$

$$\text{Damit ist} \quad \Delta c = 0,01 c = 3,4 \text{ m/s}$$

$$\text{Gemeinsames Endergebnis} \quad c = (340 \pm 3) \text{ m/s}$$

**(6 Punkte)**

f) Theoriewert  $c = \sqrt{(1,4 \cdot 1,031 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2) / (1,28 \text{ kg/m}^3)} = 335,8 \text{ m/s}$

Größtfehler wieder einfach, da reines Potenzgesetz

$$\Delta c / c = \frac{1}{2} \Delta p / p + \frac{1}{2} \Delta \rho / \rho = 0,00097 + 0,0039 = 0,0049$$

$$\text{damit} \quad \Delta c = c 0,0049 = 1,64 \text{ m/s}$$

$$\text{Ergebnis} \quad c = (336 \pm 2) \text{ m/s}$$

**(4 Punkte)**

g) Ergebnisse konsistent, da Toleranzintervalle überlappen

**(1 Punkt)**

