Hochschule Esslingen
University of Applied Sciences

Fakultät Grundlagen

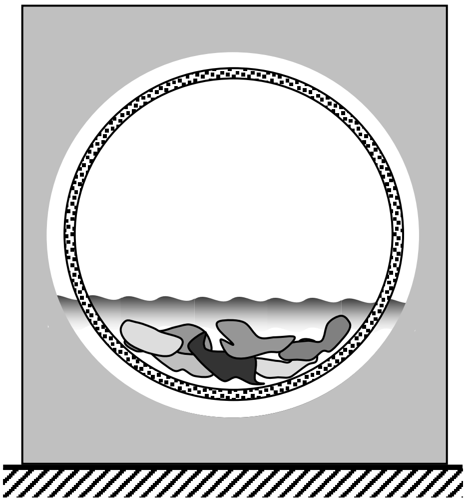
Wintersemester	2008/2009	Blatt 1 (von 6)
Studiengang:	BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*
Hilfsmittel:	Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 120 Minuten

Gesamtpunktzahl: 120

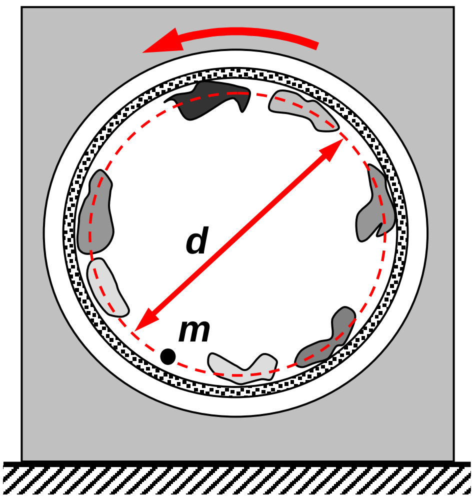
<u>Aufgabe 1:</u> Schleudergang **(20 Punkte)**

Die Waschtrommel einer Haushaltswaschmaschine dreht sich um eine horizontale Achse. Beim Schleudern wird die Trommel in schnelle Rotation um diese Achse versetzt (Skizze).

Waschen



Schleudern



a) Die Wäsche bewegt sich während des Schleuderns auf einer Kreisbahn mit Durchmesser $d = 42$ cm. Welche Drehzahl n_{min} muss die Trommel dann mindestens haben ?

b) Die typische Drehzahl ist $n_{typ} = 1400\ \text{min}^{-1}$. Wie groß sind dann Umlaufdauer T_{typ}, Kreisfrequenz ω_{typ} und Bahngeschwindigkeit v_{bahn} der Wäschestücke ?

c) Welche Beschleunigung wirkt aufgrund der Rotation mit ω_{typ} auf die Wäschestücke ?

d) Die Wäsche ist ungleichmäßig in der Trommel verteilt. Die resultierende Unwucht wird durch die Punktmasse $m = 100$ g auf der Kreisbahn beschrieben. Welchen Betrag und welche Richtung hat die aufgrund der Rotation mit n_{typ} entstehende Kraft auf diese Masse ?

Lösungsvorschlag ***Schleudergang*** ***Autor H Käß***

a) Ein Wäschestück der Masse m bleibt im höchsten Punkt auf der Kreisbahn, also ist die darauf einwirkende Zentrifugalkraft F_Z mindestens gleich seiner Gewichtskraft F_G

Grenzbedingung $F_Z = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot g = F_G$ mit $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n_{min}$

$4 \cdot \pi^2 \cdot n^2_{min} = g / r$ mit $r = d / 2 = 0{,}21$ m

$n^2_{min} = g / (4 \cdot \pi^2 \cdot r)$

$n_{min} = \mathbf{1{,}088\ 1/s} = 65{,}3$ 1/min

b) Typische Drehzahl $n_{typ} = 1400$ 1/min $= 23{,}33$ 1/s

Umlaufdauer $T_{typ} = 1 / n_{typ} = \mathbf{0{,}04286\ s} = 42{,}9$ ms

Kreisfrequenz $\omega_{typ} = 2 \cdot \pi \cdot n_{typ} = \mathbf{146{,}61\ rad/s}$

Bahngeschwindigkeit $v_{typ} = r \cdot \omega_{typ} = 0{,}21$ m $146{,}61$ rad / s $= \mathbf{30{,}788\ m/s} = 110{,}8$ km/h

c) Die gesamte auf die Wäsche wirkende Beschleunigung besteht aus zwei Anteilen

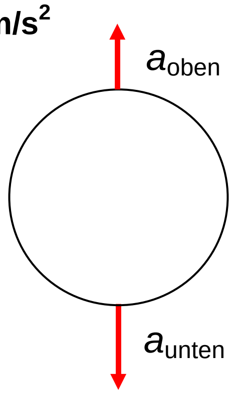
1. Zentrifugalbeschleunigung (radial nach außen) $a_Z = v^2 / r = \mathbf{4513{,}7\ m/s^2}$

2. Erdbeschleunigung (immer nach unten) $g = \mathbf{9{,}81\ \ m/s^2}$

Extremwerte der Gesamtbeschleunigung liegen im höchsten und tiefsten Punkt der Kreisbahn vor:

Minimaler Betrag $a_{oben} = a_Z - g = 4503{,}4$ m/s^2

Maximaler Betrag $a_{unten} = a_Z + g = 4523{,}5$ m/s^2



d) Die Unwucht der Masse m erzeugt die Zentrifugalkraft F_Z mit

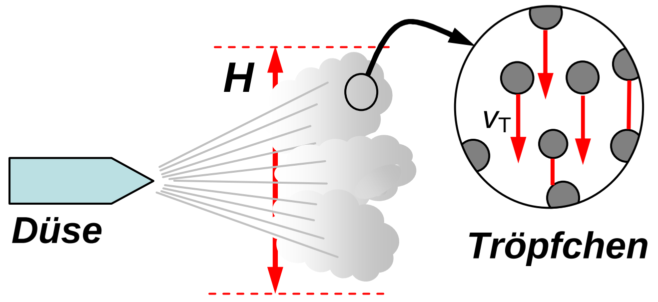
$F_Z = m \cdot a_Z = 0{,}1$ kg $4513{,}7$ m/s^2 $= \mathbf{451{,}4\ \ N}$

Dieser Wert ist die Amplitude der periodisch auf die Maschine einwirkenden Kraft

Wintersemester 2008/2009	Blatt 2 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

Aufgabe 2: Sprühnebel **(20 Punkte)**

Durch Versprühen von Öltröpfchen aus einer Düse soll ein Nebel erzeugt werden, der sich einige Minuten in der Luft hält. Dazu müssen die Tröpfchen so klein sein, dass sie nicht aufgrund der Schwerkraft sofort zu Boden fallen. Ein Experiment zeigt, dass sie kugelförmig sind und sich nach Versprühen mit einer konstanten, von ihrem Durchmesser abhängigen Geschwindigkeit v_T nach unten bewegen (siehe vergrößerten Teil der Skizze).



Angaben:

$\rho_L = 1{,}29\ g / dm^3$ *Dichte von Luft*
$\eta_L = 18 \cdot 10^{-6}\ kg/(s\ m)$ *Viskosität von Luft*
$\rho_{Öl} = 1{,}05\ g / cm^3$ *Dichte des Öls*
$H = 1\ m$ *Höhe der Wolke*

a) Welche Kräfte wirken auf ein Tröpfchen, wenn es sich mit $v_T = const.$ bewegt ?

b) Wie groß ist v_T, wenn das Tröpfchen die Strecke H = 1 m in 10 Minuten durchfällt ?

Nachfolgend werde von einer laminaren Umströmung des Tröpfchens ausgegangen.

c) Welchen Durchmesser hat es, wenn es mit dieser Geschwindigkeit v_T fällt ?

Lösungsvorschlag ***Sprühnebel*** ***Autor H Käß***

a) Auf ein fallendes Tröpfchen wirken folgende Kräfte ein

Gewichtskraft	$F_G = m \cdot g = (4/3)\ \pi\ (d/2)^3 \cdot \rho_{Öl} \cdot g$	(nach unten)
Reibungskraft nach Stokes	$F_R = 6\ \pi\ \eta_L \cdot v_T \cdot (d/2)$	(nach oben)
Hydrostatische **Auftriebskraft**	$F_A = \rho \cdot V \cdot g = (4/3)\ \pi\ (d/2)^3 \cdot \rho_{Luft} \cdot g$	(nach oben)

Im Grenzfall konstanter Geschwindigkeit herrscht Kräftegleichgewicht, die resultierende Kraft F_{res} ist also gleich Null

b) Die Höhe H = 1 m wird in der Zeit t = 10 min mit $v_T = const$ durchfallen

Demnach ist $v_T = H\ /\ t = 1\ \text{m}\ /\ 600\ \text{s} = \mathbf{1{,}667 \cdot 10^{-3}\ m/s}$

c) Aus der Bedingung für das Kräftegleichgewicht folgt (unter Berücksichtigung der Orientierung der jeweiligen Kräfte!) :

$F_{res} = F_G + F_A + F_R = (4/3)\ \pi\ (d/2)^3 \cdot \rho_{Öl} \cdot g - (4/3)\ \pi\ (d/2)^3 \cdot \rho_{Luft} \cdot g - 6\ \pi\ \eta_L \cdot v_T \cdot (d/2) = 0$

$(4/3)\ \pi\ (d/2)^2 \cdot (\rho_{Öl} - \rho_{Luft})\ g - 6\ \pi\ \eta_L \cdot v_T = 0$

$d^2 = 18\ \eta_L \cdot v_T\ /\ ((\rho_{Öl} - \rho_{Luft})\ g\ ) = 5{,}2487 \cdot 10^{-11}\ \text{m}^2$

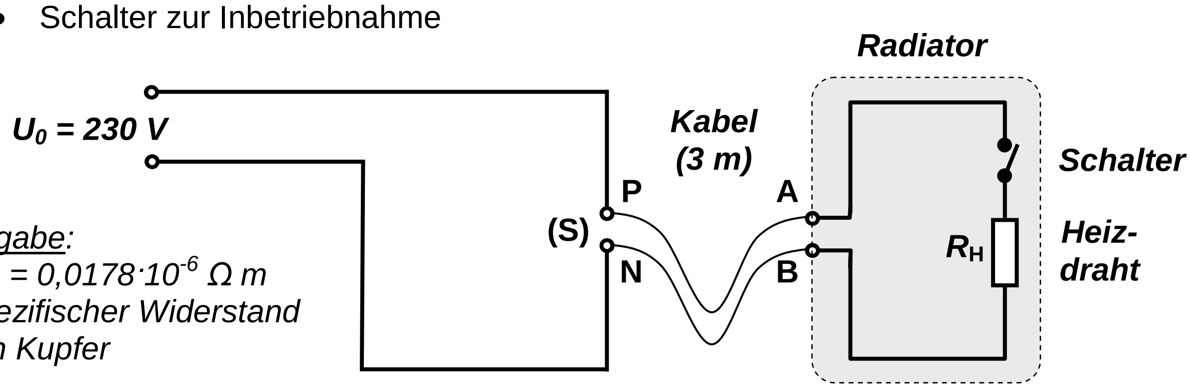
$d = \mathbf{7{,}2448\ \mu m}$

Wintersemester 2008/2009	Blatt 3 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

<u>Aufgabe 3:</u> Radiator **(20 Punkte)**

Ein elektrischer Radiator zur Raumheizung ist für den Betrieb an der Netzspannung U_0 = 230 V ausgelegt. Er ist über ein Kabel der Länge 3 m an der Steckdose (S) mit dem Stromnetz verbunden und besteht im Wesentlichen aus zwei Bauteilen :

- Heizdraht, er erwärmt bei Stromfluss den Radiator und hat den Widerstand R_H
- Schalter zur Inbetriebnahme



<u>Angabe</u>:
$\rho_{Cu} = 0{,}0178 \cdot 10^{-6}\ \Omega$ m
Spezifischer Widerstand von Kupfer

Abgesehen vom Widerstand des Kabels zwischen den Punkten P und A sowie N und B sind alle Leitungswiderstände zu vernachlässigen.

a) Laut Hersteller beträgt die Leistungsaufnahme 2 kW. Welchen Gesamtwiderstand haben Radiator und Kabel zusammen (also zwischen den Punkten P und N) ?

b) Die beiden stromführenden Adern des Kabels bestehen aus Kupfer und haben jeweils einen Querschnitt von 1,5 mm^2. Wie groß ist demnach der Widerstand R_H ?

c) Welche Spannung liegt im eingeschalteten Zustand zwischen A und B ?

d) Im Betrieb erwärmt sich das Kabel. Wie groß ist die zugehörige Heizleistung ?

Lösungsvorschlag ***Radiator*** ***Autor H Käß***

a) Leistung P, Spannung U_0, Strom I und Widerstand R_{ges} hängen zusammen:

Leistung $P = U_0 \cdot I$

Widerstand $R_{ges} = U_0 \,/\, I$ also $I = U_0 \,/\, R_{ges}$

und somit $R_{ges} = U_0^2 \,/\, P = \mathbf{26{,}45\ \Omega}$

b) Der Gesamtwiderstand des Kabels mit seinen insgesamt 6 m Kupferadern beträgt :

Kabelwiderstand $R_K = \rho_{Cu} \cdot L \,/\, A = 0{,}0178 \cdot 10^{-6}\ \Omega\text{m}\ 6\ \text{m} \,/\, 1{,}5 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2 = 0{,}0712\ \Omega$

Damit ist $R_H = R_{ges} - R_K = 26{,}45\ \Omega - 0{,}0712\ \Omega = \mathbf{26{,}379\ \Omega}$

c) Im Stromkreis fließt der Strom I mit :

Stromfluss $I = P \,/\, U_0 = 2000\ \text{W} \,/\, 230\ \text{V} = 8{,}696\ \text{A}$

Spannungsabfall am Kabel $U_K = R_K \cdot I = 0{,}6191\ \text{V}$

Damit liegen zwischen A und B $U_{AB} = U_0 - U_K = \mathbf{229{,}38\ V}$

d) Die Heizleistung P_K, die das Kabel erwärmt beträgt :

$$P_K = I \cdot U_K = 8{,}696\ \text{A}\ 0{,}6191\ \text{V} = \mathbf{5{,}384\ W}$$

Wintersemester	2008/2009	Blatt 4 (von 6)
Studiengang:	BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

Aufgabe 4: Kinderspielzeug **(20 Punkte)**

Ein Spielzeug besteht aus einer Figur der Masse m_F = 81 g, die auf einem an einer Feder hängenden Rahmen der Masse m_R sitzt. Ohne Figur liegt die Ruhelage des Systems bei x_0 = -22 cm (siehe Skizze links). Zuerst wird eine ungedämpfte Schwingung angenommen.

a) Welche Federkonstante *c* hat die Feder ?

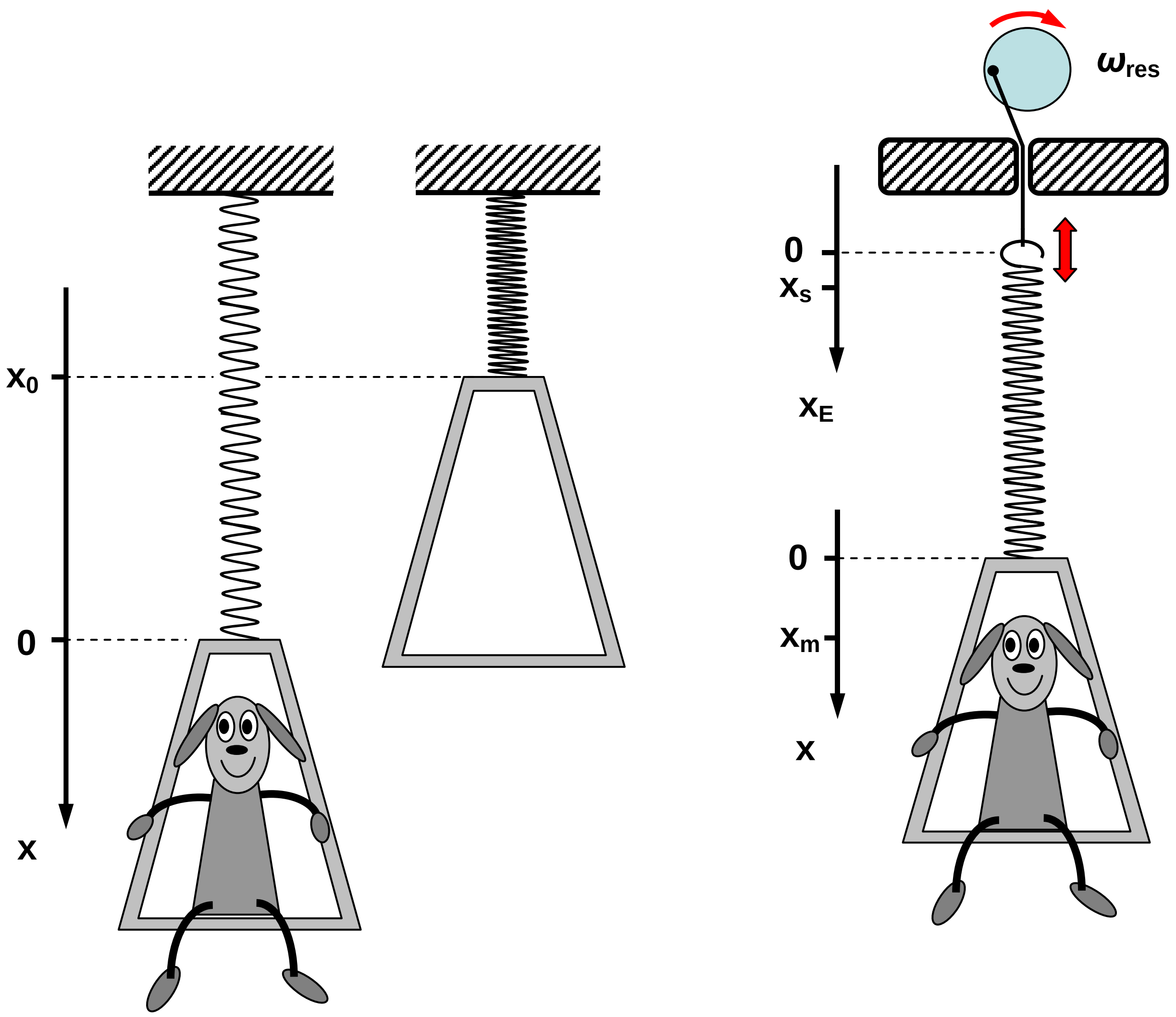
b) Mit Figur beträgt die Schwingungsdauer 1 s. Welche Masse m_R hat der Rahmen ?

Genauere Beobachtung zeigt eine zeitabhängige exponentielle Abnahme der Schwingungsamplitude. In 20 s geht sie auf die Hälfte des Startwerts zurück.

c) Wie groß sind Abklingkonstante δ und Dämpfungsgrad *D* *(Annahme $T_0 = T_d$)* ?

Das System soll nun in Resonanz angeregt werden, wie in der rechten Skizze gezeigt.

d) Mit welcher Amplitude x_s muss die Aufhängung der Feder auf- und abbewegt werden, damit die Figur mit der Amplitude x_m = 10 cm schwingt ?



Lösungsvorschlag ***Kinderspielzeug*** ***Autor H Käß***

a) Federkonstante $c = \Delta F / \Delta x$

mit $\Delta F = m_F \cdot g$ = 0,081 kg 9,81 m/s^2 = 0,7946 N

und Δx = 0 cm – x_0 = 0,22 m

folgt c = **3,612 N/m**

b) Schwingungdauer mit Figur (Annahme einer ungedämpften Schwingung) T_0 = 1 s

Für die Kreisfrequenz gilt $\omega_0 = \sqrt{c / m_{ges}} \cdot = \sqrt{c / (m_F + m_R)} = 2\,\pi / T_0$

also wird $(m_F + m_R) = c / \omega^2_0 \cdot$ = 0,09149 kg

und somit m_R = 0,0915 kg – 0,081 kg = **0,0105 kg** = **10,5 g**

c) In Wirklichkeit ist die Schwingung gedämpft, trotzdem wird angenommen $T_0 = T_d$

Für die Amplitude gilt $x_m(t) = x_m(0) \cdot \exp[-\delta \cdot t]$ mit $x_m(20T_0) = ½\, x_m(0)$

Also folgt $x_m(20T_0) = ½\, x_m(0) = x_m(0) \cdot \exp[-\delta \cdot 20\, T_0]$

$- \ln(2) = - \delta \cdot 20\, T_0$

Abklingkonstante δ = 0,6931 / 20 s = **0,0347 1/s**

Dämpfungsgrad $D = \delta / \omega_0$ = 0,0347 / (2·π s) = **0,00552**

d) Der Zusammenhang zwischen Resonanzamplitude x_{res} und Anregungsamplitude x_s ist

$x_{res} = x_s / (2 \cdot D)$

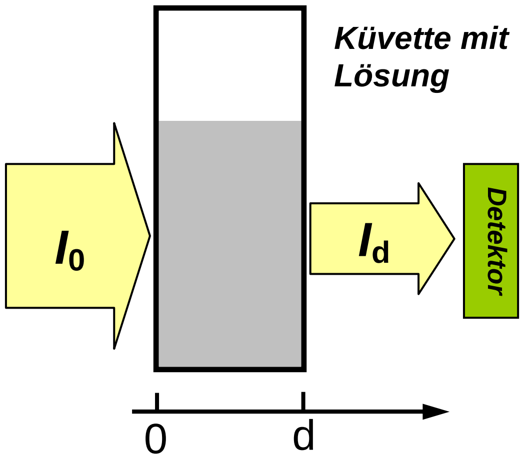
und damit wird $x_s = x_m \cdot 2 \cdot D$ = 0,1·2·0,00552 m = 0,0011 m = **1,1 mm**

Wintersemester 2008/2009	Blatt 5 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

Aufgabe 5: Extinktionskoeffizient **(30 Punkte)**

In einem optischen Spektrometer wird die Absorption von Lösungen eines organischen Pigments in verschiedener Konzentration c vermessen. In Abhängigkeit von c ergibt sich folgende Messreihe für die nach der Küvette registrierte Intensität I_d :

c / µg·cm^{-3}	0	1	3	5	10	15	20	25	30
I_d / relative Einheiten	3800 ***(dies ist I_0 !!)***	3090	2060	1315	503	169	65	21	11



<u>Hinweise</u>: Für die dimensionslose Größe Absorption A gilt nach dem Lambert-Beer Gesetz die folgende Abhängigkeit von der Konzentration c :

$$A = \lg\left(\frac{I_0}{I_d}\right) = \varepsilon\, c\, d$$

ε = Extinktionskoeffizient

c = Konzentration der Lösung

d = Laufweg der Strahlung, hier **d = 1 cm**

Die Funktion „lg" steht für den Logarithmus zur Basis 10. Der Wert I_0 ist gleich der Intensität I_d nach der Küvette für die Konzentration $c = 0$

a) Tragen Sie in einem geeigneten Diagramm die Absorption A gegen die Konzentration c auf und ermitteln Sie daraus den Extinktionskoeffizienten ε.

b) Ermitteln Sie die Fehlergrenzen und geben Sie ein auf eine signifikante Stelle in der Fehlerangabe gerundetes Endresultat für ε an.

c) Welcher prozentuale Anteil der Intensität I_0 wird am Detektor registriert, wenn die Konzentration der Pigmentlösung in der Küvette c = 12 µg·cm^{-3} beträgt ?

Hinweis: Ein Blatt Millimeterpapier ist am Ende dieser Klausur angeheftet.

Lösungsvorschlag ***Extinktionskoeffizient*** ***Autor H Käß***

a) Zuerst wird die Tabelle um die Werte für I_0 / I_d und die daraus jeweils resultierende Absorption A nach dem Lambert-Beer-Gesetz ergänzt

c /µg cm^{-3}	0	1	3	5	10	15	20	25	30
I_d / relative Einheiten	3800	3090	2060	1315	503	169	65	21	11
I_0 / I_d	1	1,2297	1,8446	2,8897	7,5547	22,485	58,461	180,9	345
A	**0**	**0,0898**	**0,2659**	**0,4609**	**0,8782**	**1,3519**	**1,7669**	**2,258**	**2,538**

Dann werden die Werte für A über der Konzentration c aufgetragen. Nach der Theorie sollte sich eine Gerade ergeben, denn es muss gelten

$A = c{\cdot}\varepsilon{\cdot}d$ mit d = 1 cm

Für die Auswertung des Diagramms siehe die Handskizze …

Die Steigung der optimalen Ausgleichsgeraden beträgt

$m_{opt} = \varepsilon_{opt}{\cdot}d$ = 0,0883 cm^3/µg also ε_{opt} = **88.330 cm^2/g**

b) Aus den Steigungen der beiden Fehlergeraden folgen analog die Fehlergrenzen

$m_{max} = \varepsilon_{max}{\cdot}d$ = 0,0907 cm^3/µg also ε_{max} = **90.710 cm^2/g**

$m_{min} = \varepsilon_{min}{\cdot}d$ = 0,0847 cm^3/µg also ε_{min} = **84.660 cm^2/g**

$\Delta\varepsilon = ½\ (\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min})$ = 3025 cm^2/g

Somit wird das auf eine signifikante Stelle im Fehler gerundete Resultat

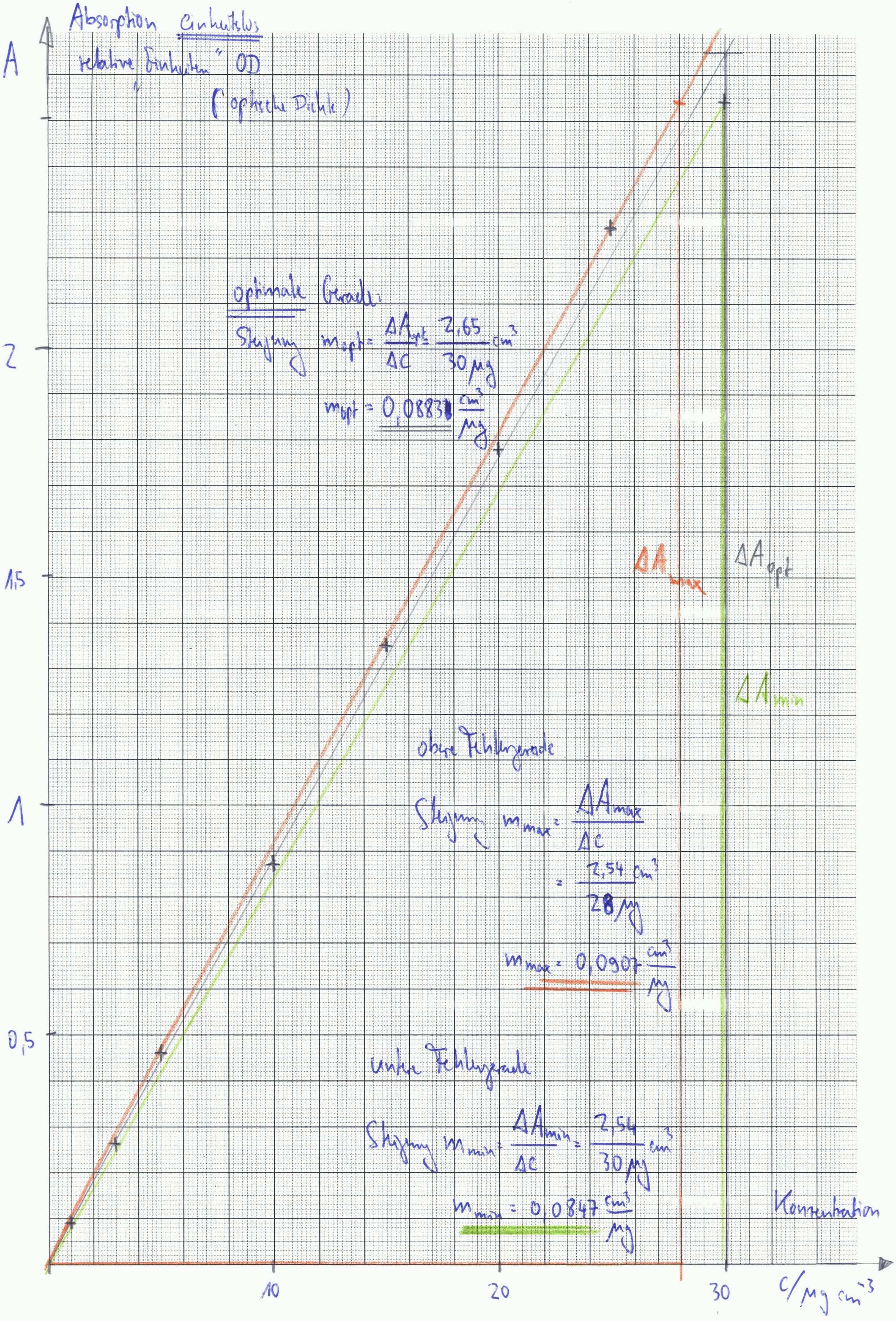
ε = **(88.000 ± 3000) cm^2/g** = 88.000 (1 ± 4 %) cm^2/g

c) Für die Intensität gilt $I_0 / I_d = 10^{\,c\cdot\varepsilon\cdot d}$

somit folgt $I_d = I_0 \cdot 10^{-c\cdot\varepsilon\cdot d}$

also $I_d = I_0 \cdot 10^{-88000\cdot 0{,}000012} = I_0 \cdot 10^{-1{,}056} = 0{,}0879 \cdot I_0$

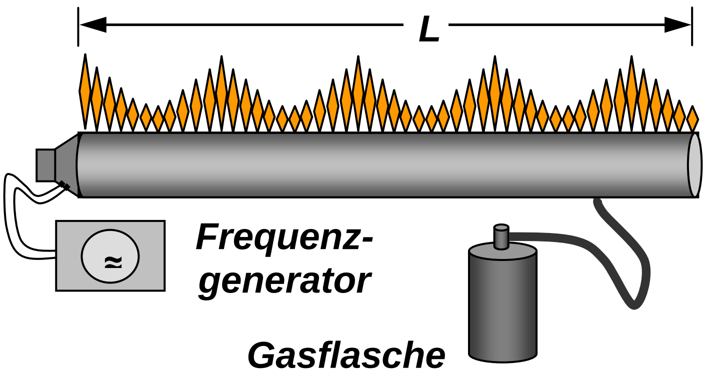
und die prozentuale Abnahme beträgt $I_d / I_0 \approx$ **8,8 %**


Absorption einheitslos
relative Einheiten" OD
(optische Dichte)
A
2
1,5
1
0,5
optimale Gerade:
Steigung m_opt = ΔA_opt / Δc = 2,65 cm³ / 30 µg
m_opt = 0,0883 cm³/µg
ΔA_max
ΔA_opt
ΔA_min
obere Fehlergerade
Steigung m_max = ΔA_max / Δc
= 2,54 cm³ / 28 µg
m_max = 0,0907 cm³/µg
untere Fehlergerade
Steigung m_min = ΔA_min / Δc = 2,54 cm³ / 30 µg
m_min = 0,0847 cm³/µg
Konzentration
10
20
30
c/µg cm⁻³

Wintersemester 2008/2009	Blatt 6 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

<u>Aufgabe 6:</u> Flammenrohr **(6 Punkte)**

Ein Schauexperiment aus der Vorlesung ist die stehende Welle im Flammenrohr. Sie wird durch Einstrahlen einer Tonfrequenz mit Hilfe eines Lautsprechers erzeugt. Das Rohr ist mit Propangas befüllt. Es tritt durch eine Lochreihe an der Oberseite aus und wird entzündet. An den Schwingungsbäuchen haben die Gasflämmchen maximale Höhe.



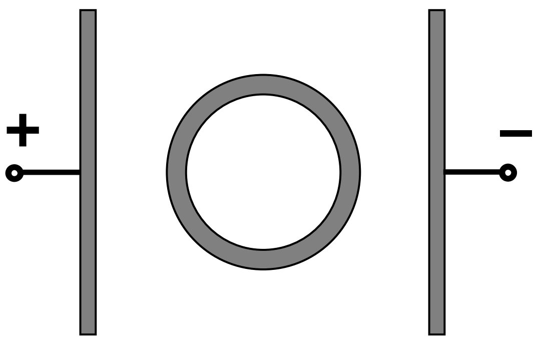
a) Skizzieren Sie die sich im Rohr ausbildende stehende Welle mit der Lage der Schwingungs-knoten und –bäuche.

b) Das Rohr hat die Länge L = 2 m, die Frequenz beträgt f = 265 Hz. Wie groß ist die Schallgeschwin-digkeit in Propangas ?

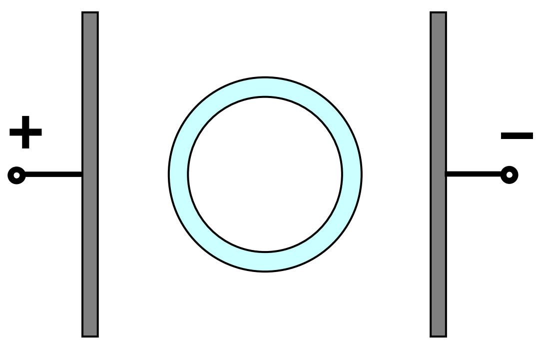
<u>Aufgabe 7:</u> Elektrisches Feld **(4 Punkte)**

Nachstehend sind zwei plattenförmige Elektroden mit einem dazwischen angeordneten Rohrstück im Schnittbild zu sehen. In der linken Teilskizze besteht das Rohr aus Metall, in der rechten aus nicht leitendem Kunststoff. Zeichnen Sie die elektrischen Feldlinien ein !

a) Rohr aus elektrisch leitfähigem Metall



b) Rohr aus nicht leitendem Kunststoff

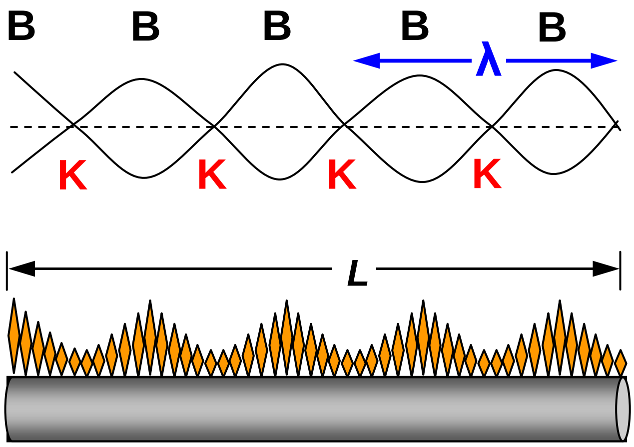


Lösungsvorschlag ***Flammenrohr*** ***Autor H Käß***

a) Skizze des Flammenrohrs

Auf die Rohrlänge L kommen vier Knoten (K) und fünf Bäuche (B), für die Wellenlänge λ der stehenden Welle im Rohr gilt offensichtlich

$L = 9\ (\lambda / 4) = 2{,}25\ \lambda$



b) Wellenlänge der stehenden Welle :

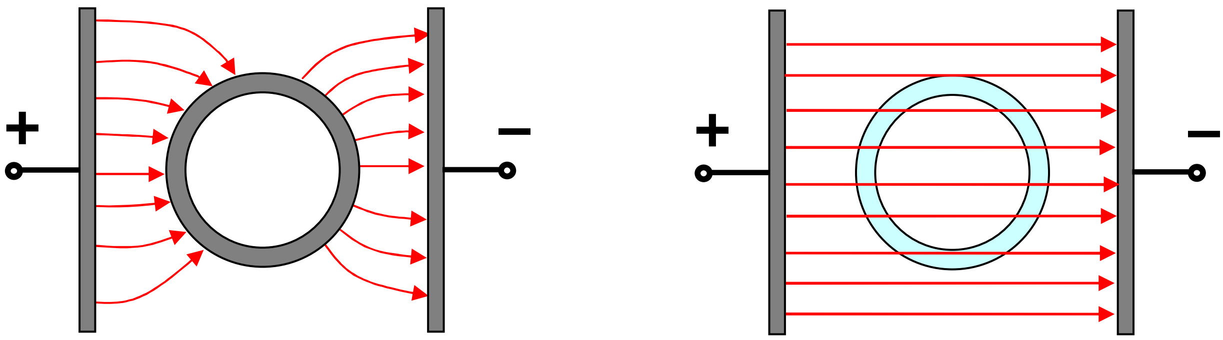
$\lambda = 4\ L / 9 = 0{,}889$ m

mit $c = \lambda \cdot f$

folgt c = 0,889 m 265 1/s

= **235,5 m/s**

Lösungsvorschlag ***Elektrisches Feld*** ***Autor H Käß***



Wichtige Punkte:

- Orientierung der Feldlinien von Plus nach Minus
- Feldlinien stehen senkrecht auf Leiteroberflächen
- Raum im Innern eines Leiters ist feldfrei (Faradaykäfig)
- Isolator hat keine Abschirmwirkung (von dielektrischen Effekten wird abgesehen)