**Hochschule Esslingen**
University of Applied Sciences

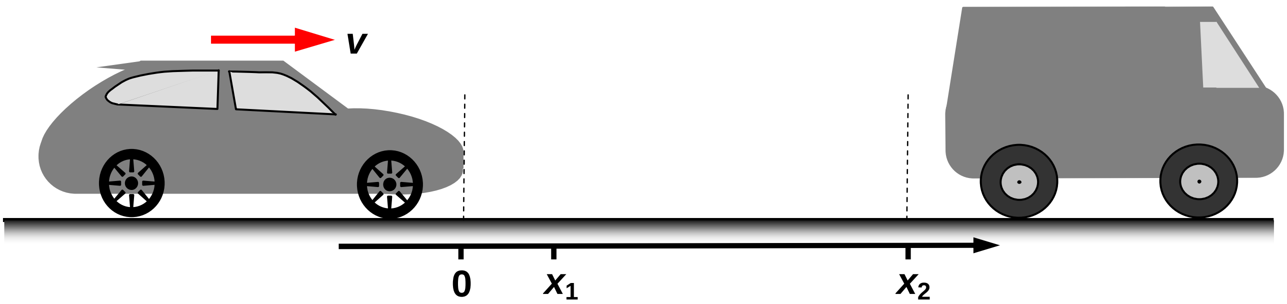
**Fakultät Grundlagen**

| | | |
|---|---|---|
| Wintersemester | 2013/2014 | Blatt 1 (von 6) |
| Studiengang: | BTB2 / CIB2 | Semester 2 |
| Prüfungsfach: | Physik 2 | Fachnummer: 2012 |
| Hilfsmittel: | Manuskript, Literatur, Taschenrechner | Zeit: 120 Minuten |

**Gesamtpunktzahl: 120**

## Aufgabe 1: Vollbremsung (22 Punkte)

Ein mäßig aufmerksamer Autofahrer ist auf der Autobahn unterwegs. Plötzlich bemerkt er vor sich das Ende eines Staus in Form eines auf der Fahrbahn stehenden Transporters. Um einen Auffahrunfall möglichst zu vermeiden, leitet der Fahrer eine Vollbremsung ein.




Nachfolgend wird angenommen, dass das Auto vor der Bremsung mit der Geschwindigkeit $v$ = 130 km/h fährt. Die Zeitspanne zwischen Erkennen der Situation durch den Fahrer bei Position $x = 0$ und Einsetzen der Bremswirkung (Reaktionszeit) bei $x = x_1$ beträgt $t_R$= 1,1 s.

a) Welche Strecke $x_1$ legt das Fahrzeug in der Reaktionszeit $t_R$ zurück ?

Zuerst wird die Situation für die bestmögliche Bedingung – trockene Straße - untersucht.

b) Welchen Anhalteweg $x_2$ würde das Auto unter der Annahme konstanter Bremsverzögerung bei blockierten Rädern insgesamt benötigen ?

Nun wird der Bremsvorgang bei Regen betrachtet, die Fahrbahndecke sei durchweg nass.

c) Mit welcher Geschwindigkeit prallt das Auto auf den Transporter auf, wenn der Abstand zum Transporter bei Erkennen der Situation 120 m beträgt ?

d) Nach dem Aufprall in Teil c) bleiben die Fahrzeuge aneinander hängen und rutschen beide mit blockierten Rädern weiter. Wie weit bewegen sie sich bis zum Stillstand ?

*Angaben*

*Reibungszahlen zwischen Reifengummi und Fahrbahnoberfläche* :
*Gleitreibungszahl (trocken)* $\mu_{tr}$ = 0,8
*Gleitreibungszahl (nass)* $\mu_{na}$ = 0,4

*Fahrzeuge:*
*Masse Auto* $m_A$ = 2200 kg
*Masse Transporter* $m_T$ = 3500 kg

***Lösungsvorschlag*** ***Vollbremsung*** ***Autor H Käß***

a) Strecke während Reaktionszeit $x_1 = v \cdot t_R =$ 1,1 s ·130000 m / 3600 s

$= 36{,}11$ m/s · 1,1 s = **39,72 m**

b) Blockierte Räder => Gleitreibung $F_{tr} = \mu_{tr}\, m \cdot g \cdot = m \cdot a_{tr}$

Bremsverzögerung (ist negativ) $a_{tr} = \mu_{tr} \cdot g \cdot = 0{,}8 \cdot 9{,}81\ \mathrm{m/s^2} = 7{,}848\ \mathrm{m/s^2}$

*(A) Direkte Berechnung Bremsweg* $x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + ½\,(-a_{tr})\, t^2$

*(über kinematische Gleichungen)* $v(t) = v_0 + (-a_{tr})\, t$

Bremsdauer $t_B$ folgt aus $v(t_B) = 0$ : $t_B = (v_0 - v(t_B)) / a_{tr} = v_0 / a_{tr}$

Bremsweg $s_B$ damit ($x_0 = 0$ !) $s_B = x(t_B) = x_0 + v_0 \cdot t_B + ½\,(-a_{tr})\, t_B^2$

$= v_0^2 / a_{tr} - ½\, a_{tr}\, (v_0 / a_{tr})^2 = ½\, v_0^2 / a_{tr}$

$= 83{,}074$ m

*(B) Alternative Berechnung* $E_{kin} = ½\, m \cdot v_0^2 = \mu_{tr} \cdot m \cdot g \cdot s_B = F_{tr} \cdot s_B = W_{reib}$

*($s_B$ über Energieerhaltung)* $s_B = v_0^2 / (2\, \mu_{tr} \cdot g) = 83{,}074$ m

Gesamter Anhalteweg damit $x_2 = x_1 + x(t_B) = 39{,}72$ m + 83,07 m = **122,8 m**

c) Bremsverzögerung ist nun $a_{na} = \mu_{na} \cdot g \cdot = 0.4 \cdot 9{,}81\ \mathrm{m/s^2} = 3{,}924\ \mathrm{m/s^2}$

Zur Verfügung stehender Bremsweg $x_{na} = 120\ \mathrm{m} - x_1 = 120\ \mathrm{m} - 39{,}72\ \mathrm{m} = 80{,}28\ \mathrm{m}$

*(A) Kinematische Berechnung über Bremsweg*

Restgeschwindigkeit $v(t_R)$ zur Zeit $t_R$ ? $t_R = (v_0 - v(t_R)) / a_{na}$

Bremsweg damit ($x_0 = 0$ !) $x_{na} = x_0 + v_0 \cdot t_R + ½\,(-a_{na})\, t_R^2 =$

$= (v_0^2 - v_0 \cdot v(t_R)) / a_{na} - ½\,(v_0^2 - 2\, v_0 \cdot v(t_R) + v(t_R)^2) / a_{na}$

$= (v_0^2 - v(t_R)^2) / (2 \cdot a_{na})$

*(B) Alternativ über Energiesatz* $E_{kin}(0) = ½\, m \cdot v_0^2$ (Anfangsenergie= 1,434 MJ)

Reibungsarbeit $W_{reib} = \mu_{na} \cdot m \cdot g \cdot x_{na} = m \cdot a_{na} \cdot x_{na}$

Restenergie beim Aufprall $E_{kin}(t_R) = ½\, m \cdot v(t_R)^2 = E_{kin}(0) - W_{reib}$

$= ½\, m \cdot (v_0^2 - 2 \cdot a_{na} \cdot x_{na})$

Aufprallgeschwindigkeit somit $v(t_R) = \sqrt{v_0^2 - 2 \cdot a_{na} \cdot x_{na}}$ = **25,96 m/s** = 93 km/h

d) Vollkommen unelastischer Stoß $u = (m_A \cdot v_A + m_T \cdot v_T) / (m_A + m_T)$

mit $v_A = 25{,}96$ m/s und $v_T = 0$ $= (2200\ \mathrm{kg} / 5700\ \mathrm{kg})\ 25{,}96\ \mathrm{m/s} = 10{,}02\ \mathrm{m/s}$

Strecke $s_R$ folgt aus Energieerhalt. $E_{kin} = ½\,(m_A + m_T)\, u^2 = F_{reib} \cdot s_R = W_{reib}$

Somit $s_R = E_{kin} / F_{reib} = (m_A + m_T)\, u^2 / ((m_A + m_T) 2 \cdot g \cdot \mu_{na})$

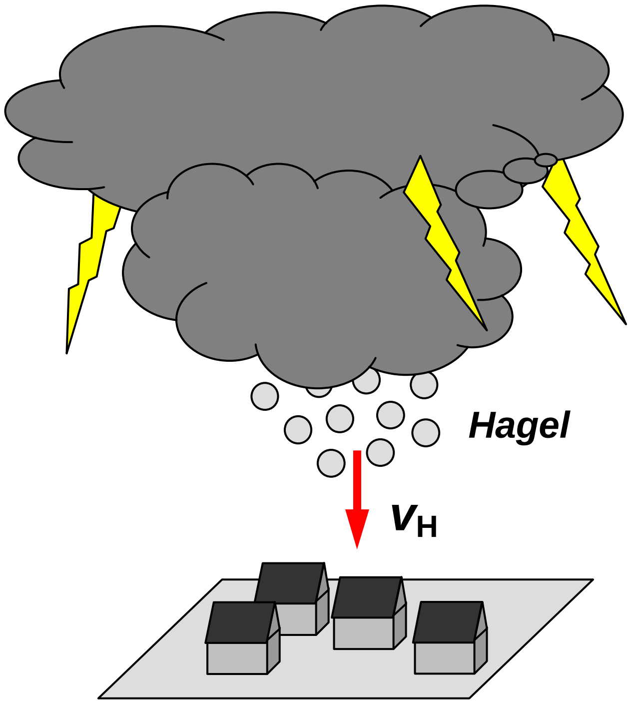
$= u^2 / (2 \cdot g \cdot \mu_{na})$ = **12,79 m**

| Wintersemester | 2013/2014 | Blatt 2 (von 6) |
|---|---|---|
| Studiengang: | BTB2 / CIB2 | Semester 2 |
| Prüfungsfach: | Physik 2 | Fachnummer: 2012 |

**Aufgabe 2: Hagelsturm** **(18 Punkte)**

Am 29. Juli 2013 gab es im Bereich Reutlingen / Eningen ein sehr heftiges Gewitter mit hohen Hagelschäden. Dabei fiel Großhagel, also Eiskörner mit Durchmessern bis zur Größe eines Tennisballs (65 mm).

Hagel bildet sich in Gewitterwolken. Die kugelförmigen Eiskörner werden darin durch Aufwinde in der Luft gehalten und wachsen, bis sie so schwer sind, dass sie unten aus der Wolke austreten und zu Boden fallen. Die Umströmung ist dabei immer turbulent.




Nachfolgend sollen einige physikalische Aspekte dieser Vorgänge betrachtet werden.

a) Nach genügend langer Fallstrecke bewegen sich die Hagelkörner mit konstanter Geschwindigkeit $v_H$. Warum ist das so ? *(bitte kurz in Stichworten erklären !)*

b) Welche konstante Fallgeschwindigkeit $v_H$ hat ein tennisballgroßes Hagelkorn kurz vor dem Auftreffen auf dem Erdboden ?

Die Temperatur am Boden und in der Wolke wird vereinfachend als gleich angenommen.

c) Welcher Luftdruck herrscht in der Wolke 2000 m über dem Erdboden ?

d) Der Aufwind in der Wolke hält ein tennisballgroßes Hagelkorn 2000 m über dem Boden in der Schwebe. Ist die Windgeschwindigkeit größer oder kleiner als $v_H$ aus Teil b) ? *(keine Rechnung, aber Antwort bitte begründen !)*

*Angaben*

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\rho_{L0}$ | = | *1,25 g/ l* | *Dichte der Luft am Erdboden* |
| $p_0$ | = | *1000 hPa* | *Luftdruck am Erdboden* |
| $c_W$ | = | *0,4* | *Widerstandsbeiwert Kugel* |
| $d$ | = | *65 mm* | *Durchmesser Hagelkorn* |
| $\rho_{Eis}$ | = | *0,917 g/cm$^3$* | *Dichte von Eis* |

***Lösungsvorschlag*** ***Hagelsturm*** ***Autor H Käß***

a) Hagelkörner **anfangs** beim Fallen durch Schwerkraft $F_G$ **beschleunigt** (freier Fall)

Luftwiderstand $\boldsymbol{F_W}$ **steigt quadratisch mit** wachsender **Geschwindigkeit** (turbulent)

Geschwindigkeit steigt bis zum Erreichen des **Kräftegleichgewichts** $\boldsymbol{F_W = F_G}$

Dann wird die resultierende Kraft - und damit die Beschleunigung – Null => $\boldsymbol{v}$ **= const**

b) Kräftegleichgewicht

$$F_W = ½\, \rho_{L0} \cdot v_H^2 c_w \cdot A = ½\, \rho_{L0} \cdot v^2 c_w \cdot \pi \cdot (d/2)^2 =$$

$$= \rho_{Eis} \cdot V \cdot g = (4/3)\, \pi \cdot (d/2)^3\, \rho_{Eis} \cdot g = F_G$$

$$v_H^2 = 2\, (4/3) \cdot (d/2)\, \rho_{Eis} \cdot g \,/\, (\rho_{L0} \cdot c_w)$$

$$= (4/3) \cdot (0{,}065 \text{ m } 917\ 9{,}81 \text{ m/s}^2) \,/\, (1{,}25\ 0{,}4)$$

$$v_H \boldsymbol{= 39{,}487 \text{m/s}} = 142{,}16 \text{ km/h}$$

*Hinweis: Die Auftriebskraft ist vergleichsweise klein und kann vernachlässigt werden !*

c) Barometrische Höhenformel

$$p(h) = p_0 \cdot \exp(-\rho_0 \cdot g \cdot h \,/\, p_0)$$

mit Skalenhöhe

$$h_0 = p_0 \,/\, (\rho_0 \cdot g) = 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 / (1{,}25 \text{ kg / m}^3\ 9{,}81 \text{ m/s}^2)$$

$$= 8154{,}94 \text{ m}$$

$$p(2000) = p_0 \cdot \exp(-h \,/\, h_0) = p_0 \cdot \exp(-0{,}2452) = p_0\ 0{,}7825$$

$$\boldsymbol{= 782{,}5 \text{ hPa}}$$

e) In 2000 m Höhe ist der **Luftdruck deutlich geringer**.

Somit ist auch die **Dichte** $\boldsymbol{\rho_L}$ der Luft deutlich **geringer** als am Erdboden.

Da die Dichte $\rho_L$ im Nenner des Ausdrucks für die konstante Geschwindigkeit in Teilaufgabe b) steht, muss somit die **Anströmgeschwindigkeit** zum Erreichen des Kräftegleichgewichts und somit des Schwebezustands **höher** sein.

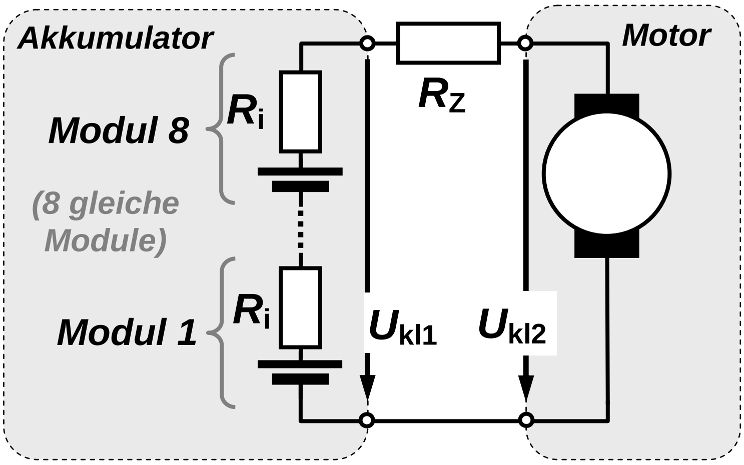
Diese Anströmgeschwindigkeit **ist gerade die Aufwindgeschwindigkeit**, sie ist also auf jeden Fall größer als 142 km/h

| | | |
|---|---|---|
| Wintersemester | 2013/2014 | Blatt 3 (von 6) |
| Studiengang: | BTB2 / CIB2 | Semester 2 |
| Prüfungsfach: | Physik 2 | Fachnummer: 2012 |

**Aufgabe 3: Elektromobil** **(20 Punkte)**

Der wiederaufladbare Akkumulator eines Elektroautos besteht aus acht baugleichen, in Serie geschalteten Einzelmodulen mit jeweils gleicher Quellenspannung $U_q$ und gleichem Innenwiderstand $R_i$. Die Anschlussleitungen zum Motor sind insgesamt 5 m lang. Sie bestehen aus Kupfer, ihr Querschnitt ist kreisförmig.

Ohne Belastung beträgt die Klemmenspannung $U_{kl1}$ am Akkumulator 360 V. Bei voller Motorleistung fließt ein Strom von 210 A im Stromkreis.




a) Die Stromdichte in den Zuleitungen soll maximal 10 A/mm$^2$ betragen. Welchen Durchmesser müssen sie dann haben und welchen Wert hat ihr Gesamtwiderstand $R_Z$ ?

b) Welche Spannung $U_{kl2}$ liegt bei voller Leistung am Motor an und welche elektrische Leistung nimmt er dann auf ?

Um die Gefahren einer hohen Betriebsspannung zu umgehen, schlägt ein Sicherheitsexperte vor, einfach alle acht Einzelmodule im Akkumulator parallel zu schalten und für die daraus resultierende niedrigere Spannung $U_{kl2}$ eben einen anderen Motor zu verwenden.

c) Welchen maximalen Strom könnte der Akkumulator nun abgeben ?

d) Welche Spannung $U_{kl2}$ läge dann bei Maximalstrom am Motor an, wenn die gleichen Zuleitungen wie in Teil a) verwendet würden (ohne Vergrößerung des Querschnitts)?

e) Welche elektrische Leistung würde dem Motor dann zur Verfügung stehen ?

*Angaben*

*Akkumulator:*

| | | |
|---|---|---|
| $R_i$ : | 0,02 Ω | *Innenwiderstand eines Einzelmoduls* |
| $I_q$ : | *210 A* | *Maximaler Strom, den ein Einzelmodul abgeben kann* |

*Zuleitungen:*

| | | |
|---|---|---|
| $\rho_{Cu}$ : | $1{,}78 \cdot 10^{-8}$ Ωm | *spezifischer Widerstand von Kupfer* |
| *L:* | *5 m* | *Gesamtlänge beider Zuleitungen (hin und zurück)* |

***Lösungsvorschlag*** ***Elektromobil*** ***Autor H Käß***

a) Stromdichte $j = I / A = I / (\pi r^2)$

Radius ist also $r = \sqrt{I / (j \pi)} = \sqrt{210\ \mathrm{A}\ 10^{-6}\ \mathrm{m}^2 / (10\ \mathrm{A}\ \pi)}$

$= 2{,}585 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m} = 2{,}585\ \mathrm{mm}$

Durchmesser $d = 2\, r =$ **5,1709 mm**

Gesamtwiderstand auf 5 m $R_Z = \rho_{Cu} \cdot L / A = 1{,}78 \cdot 10^{-8}\ \Omega\mathrm{m}\ 5\ \mathrm{m} / (\pi\ 2{,}585^2 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}^2)$

$= 8{,}9 \cdot 10^{-8}\ \Omega\mathrm{m}^2 /\ 20{,}993 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m}^2 = \mathbf{4{,}2395 \cdot 10^{-3}\ \Omega}$

b) Gesamtinnenwiderstand Akku $R_{i8} = 8\, R_i = 8 \cdot 0{,}02\ \Omega = 0{,}16\ \Omega$

Spannungsabfall an $R_{i8}$ $\Delta U_{i8} = R_{i8} \cdot I = 0{,}16\ \Omega \cdot 210\ \mathrm{A} = 33{,}6\ \mathrm{V}$

Spannungsabfall an $R_Z$ $\Delta U_Z = R_Z \cdot I = 0{,}00424\ \Omega \cdot 210\ \mathrm{A} = 0{,}8904\ \mathrm{V}$

Damit wird $U_{kl2}$ am Motor $U_{kl2} = 8 \cdot U_q - \Delta U_{i8} - \Delta U_Z = 360\ \mathrm{V} – 34{,}49\ \mathrm{V} =$ **325,51 V**

Leistungsaufnahme damit $P_{mot} = U_{kl2} \cdot I = 325{,}51 \cdot 210\ \mathrm{VA} =$ **68,357 kW**

c) Maximalstrom bei Parallelschaltung $I_{par} = 8 \cdot 210\ \mathrm{A} =$ **1680 A**

d) Spannungsabfall an $R_i$ (Zelle) $\Delta U_i = R_i \cdot I = 0{,}02\ \Omega \cdot 210\ \mathrm{A} = 4{,}2\ \mathrm{V}$

Spannungsabfall an $R_Z$ nun $\Delta U_Z = R_Z \cdot I_{par} = 0{,}00424\ \Omega \cdot 1680\ \mathrm{A} = 7{,}123\ \mathrm{V}$

Damit wird $U_{kl2}$ am Motor nun $U_{kl2} = U_q - \Delta U_{i8} - \Delta U_Z = 360\ \mathrm{V} / 8 – 11{,}323\ \mathrm{V}$

$= 45\ \mathrm{V} – 11{,}323\ \mathrm{V} =$ **33,677 V**

e) Leistungsaufnahme damit $P_{mot} = U_{kl2} \cdot I = 33{,}677 \cdot 1680\ \mathrm{VA} =$ **56,577 kW**

| | | |
|---|---|---|
| Wintersemester | 2013/2014 | Blatt 4 (von 6) |
| Studiengang: | BTB2 / CIB2 | Semester 2 |
| Prüfungsfach: | Physik 2 | Fachnummer: 2012 |

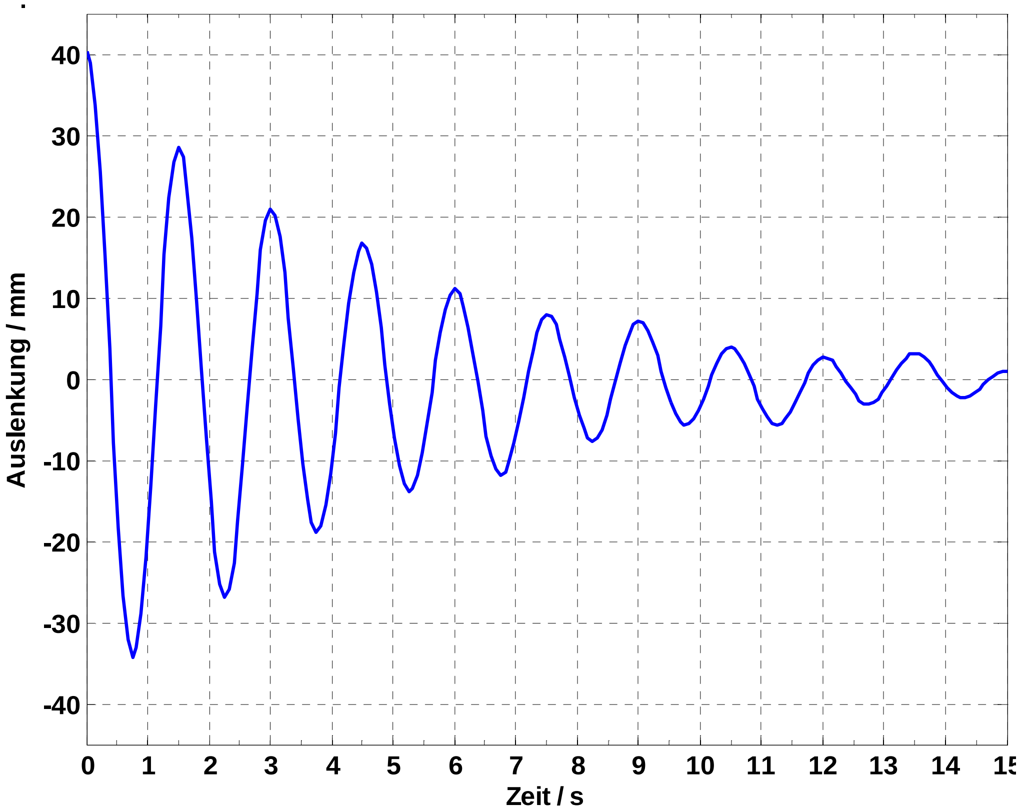
**Aufgabe 4: Swinging 70-ties** **(30 Punkte)**

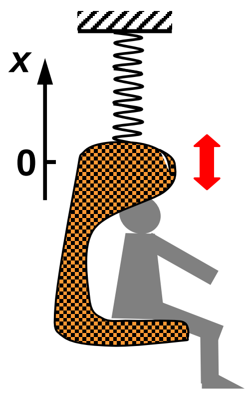
Ein Schaukelsessel im Retro-Stil hängt an einer Feder von der Decke. Eine Person setzt sich hinein und schwingt damit vertikal auf und ab. Die Schwingungsbewegung ist in guter Näherung harmonisch und viskos gedämpft. Im Idealfall gilt daher für die Auslenkung $x(t)$:

$$x(t) = \hat{x}_0 \, e^{-\delta t} \cos(\omega_d t + \varphi_0)$$

Die nachstehende Messung der Auslenkung $x$ als Funktion der Zeit $t$ ist auszuwerten.

.




*Masseangaben*

$m_P$ = 75 kg *Person*
$m_S$ = 7 kg *Sessel*

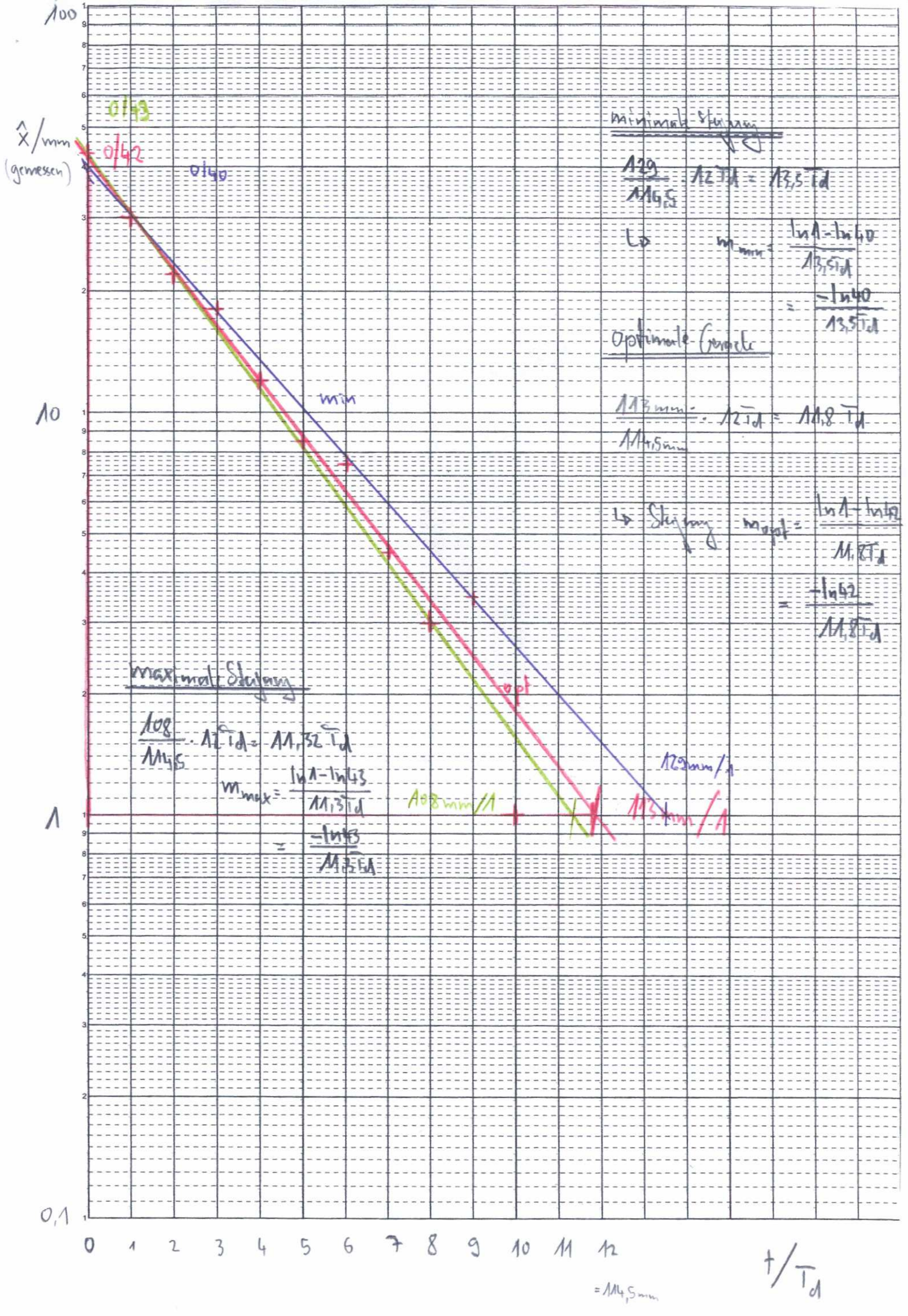
a) Ermitteln Sie aus dem Diagramm möglichst genau Periodendauer $T_d$ und Kreisfrequenz $\omega_d$ der gedämpften Schwingung. Die erhaltenen Werte werden als exakt angenommen.

b) Bestimmen Sie Mittelwert sowie absoluten und relativen Messfehler für die Abklingkonstante $\delta$ *(grafische Bestimmung, Millimeterpapier im Anhang, Angaben auf eine signifikante Stelle im Fehler).*

c) Ist die häufig verwendete Näherung $\omega_d \approx \omega_0$ hier gerechtfertigt *(bitte begründen !)* ?

d) Ermitteln Sie den Mittelwert des Dämpfungsgrads $\vartheta$ (ohne Fehlergrenzen).

e) Welchen Mittelwert hat die Federkonstante ?


100
x̂/mm (gemessen)
0/43
0/42
0/40
minimale Steigung
129/114,5 · 12 Td = 13,5 Td
m_min = (ln1 − ln40)/13,5Td
= −ln40/13,5Td
optimale Gerade
113mm/114,5mm · 12Td = 11,8 Td
Steigung m_opt = (ln1 − ln42)/11,8Td
= −ln42/11,8Td
min
10
opt
maximale Steigung
108/114,5 · 12 Td = 11,32 Td
m_max = (ln1 − ln43)/11,3Td
= −ln43/11,3Td
129mm/1
108mm/1
113mm/1
1
0,1
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
t/Td
=114,5mm

***Lösungsvorschlag*** ***Swinging 70-ties*** ***Autor H Käß***

a) Periodendauer *(von Hand im Diagramm ausgewertet)*

Zeitachse insgesamt $15\ \text{s} = 123\ \text{mm}$

abgemessene Strecke $9\ T_\text{d} = 111\ \text{mm}$

$T_d = 15\ \text{s} \cdot 111 / (123 \cdot 9) =$ $\mathbf{1{,}504\ s}$

Kreisfrequenz $\omega_d = 2\ \pi / T_\text{d} =$ $\mathbf{4{,}177\ rad/s}$

b) *Amplitudenwerte ablesen und im einfach logarithmischen Diagramm auftragen, Ausgleichsgerade sowie Fehlergeraden einzeichnen, Steigungen m ermitteln ...*

*Da* $\ln \hat{x} = \ln \hat{x}_0 - \delta \cdot t$ *folgt das jeweilige δ aus den Steigungswerten ...*

Optimale Gerade $m_\text{opt}$ $m_\text{opt} = -\ln 42 / (11{,}8 \cdot T_\text{d}) = -0{,}2106\ 1/\text{s}$

(graphischer) Mittelwert also $\boldsymbol{\delta_\text{opt} = 0{,}2106\ 1/\text{s}}$

Gerade maximaler Steigung $m_\text{max}$ $m_\text{max} = -\ln 43 / (11{,}3 \cdot T_\text{d}) = -0{,}2213\ 1/\text{s}$

obere Grenze für $\delta$ also $\delta_\text{max} = 0{,}2213\ 1/\text{s}$

Gerade minimaler Steigung $m_\text{min}$ $m_\text{min} = -\ln 40 / (13{,}5 \cdot T_\text{d}) = -0{,}1817\ 1/\text{s}$

untere Grenze für $\delta$ also $\delta_\text{min} = 0{,}1817\ 1/\text{s}$

absoluter Messfehler demnach $\Delta\delta = ½\ |\ \delta_\text{max} - \delta_\text{min}\ | = 0{,}0198\ 1/\text{s}$ $\mathbf{\approx 0{,}02\ 1/s}$

relativer Messfehler demnach $\Delta\delta / \delta_\text{opt} = 0{,}0198\ 1/\text{s} / 0{,}2106\ 1/\text{s} = 0{,}09406$ $\mathbf{\approx 9\ \%}$

Ergebnis der Auswertung demnach $\delta =$ $\mathbf{(0{,}21 \pm 0{,}02)\ 1/s = 0{,}21(1 \pm 9\%)\ 1/s}$

c) Zusammenhang : $\omega_\text{d} = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ => $\omega_0 = \sqrt{\omega_\text{d}^2 + \delta^2}$

$\omega_\text{d} = 4{,}177\ \text{rad/s}$ $\omega_0 = \sqrt{4{,}177^2 + 0{,}21^2}\ \text{rad/s} = 4{,}182\ \text{rad/s}$

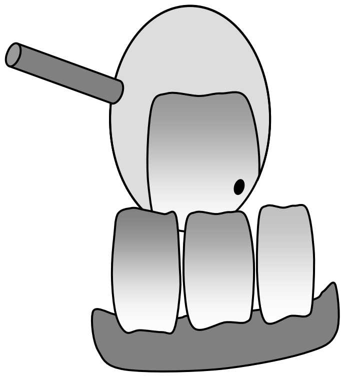
Die Werte sind fast gleich groß, die Näherung ist also wirklich gerechtfertigt

d) Dämpfungsgrad: $\vartheta = \delta / \omega_0 \cdot = 0{,}21\ \text{s}^{-1} / 4{,}182\ \text{s}^{-1} =$ $\mathbf{0{,}0502}$

e) Federkonstante $k = m \cdot \omega_0^2 = (m_\text{P} + m_\text{s})\ \omega_0^2 =$ $\mathbf{1434\ kg/s^2}$ $= 1434\ \text{N/m}$

| Wintersemester 2013/2014 | Blatt 5 (von 6) |
|---|---|
| Studiengang: BTB2 / CIB2 | Semester 2 |
| Prüfungsfach: Physik 2 | Fachnummer: 2012 |

**<u>Aufgabe 5:</u> Zahnarztspiegel** **(15 Punkte)**



Zahnärzte verwenden bei der Untersuchung oft kleine Hohlspiegel. Sie sehen darin ein aufrechtes, vergrößertes Bild des zu beurteilenden Zahns.

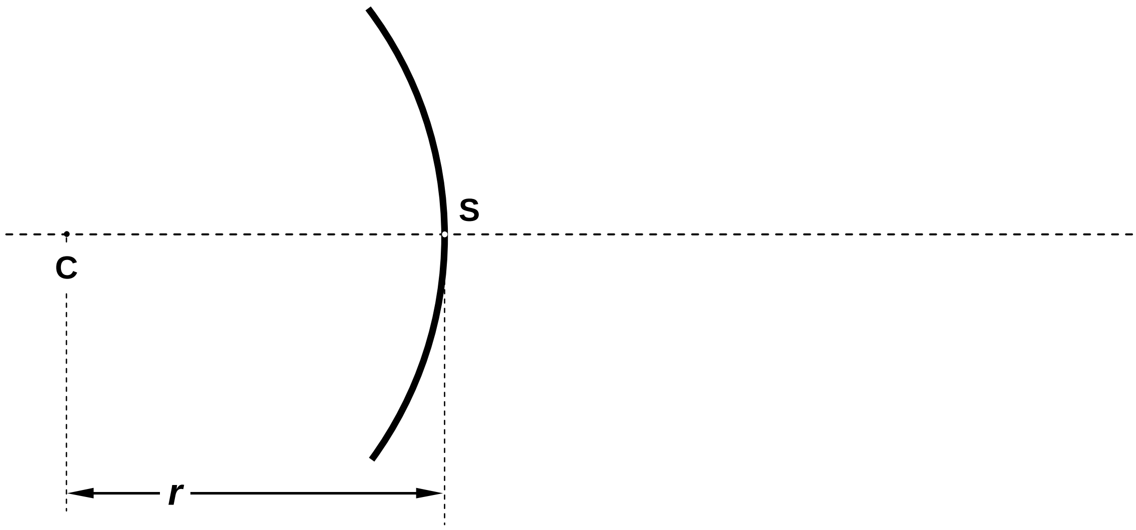
a) Welche Art von Bild wird demnach im Zahnarztspiegel betrachtet ?

b) Wird der sphärisch gekrümmte Hohlspiegel in einem Abstand von 2,5 cm zur untersuchten Stelle gehalten, dann soll dieser Bereich des Zahns darin mit zweifacher Vergrößerung zu sehen sein, Welchen Krümmungsradius muss der Spiegel dafür haben ?

c) Zeichnen Sie in nachstehender Skizze, die bereits Krümmungsmittelpunkt C und Scheitelpunkt S des Hohlspiegels enthält, maßstabsgerecht die folgenden Punkte auf der optischen Achse ein:

1. Brennpunkt des Hohlspiegels
2. Position des Zahns
3. Position des betrachteten Bilds

d) Ergänzen Sie zur Kontrolle des Resultats aus c) die Skizze um einen Objektpunkt an der Position des Zahns (aber oberhalb der optischen Achse) und konstruieren Sie unter Verwendung geeigneter ausgezeichneter Lichtstrahlen seinen Bildpunkt.



***Lösungsvorschlag*** ***Zahnarztspiegel*** ***Autor H Käß***

a) Im Hohlspiegel wird ein **virtuelles** Bild betrachtet.

b) Abbildungsmaßstab $\beta = B / G = - b / g$

Gegenstandsweite $g$ = 2,5 cm $b = - \beta \cdot g = -2 \cdot 2{,}5\ \text{cm} = -5\ \text{cm}$

Abbildungsgleichung $1 / f = 1 / b + 1 / g = -1 / 5\ \text{cm} + 1 / 2{,}5\ \text{cm}$

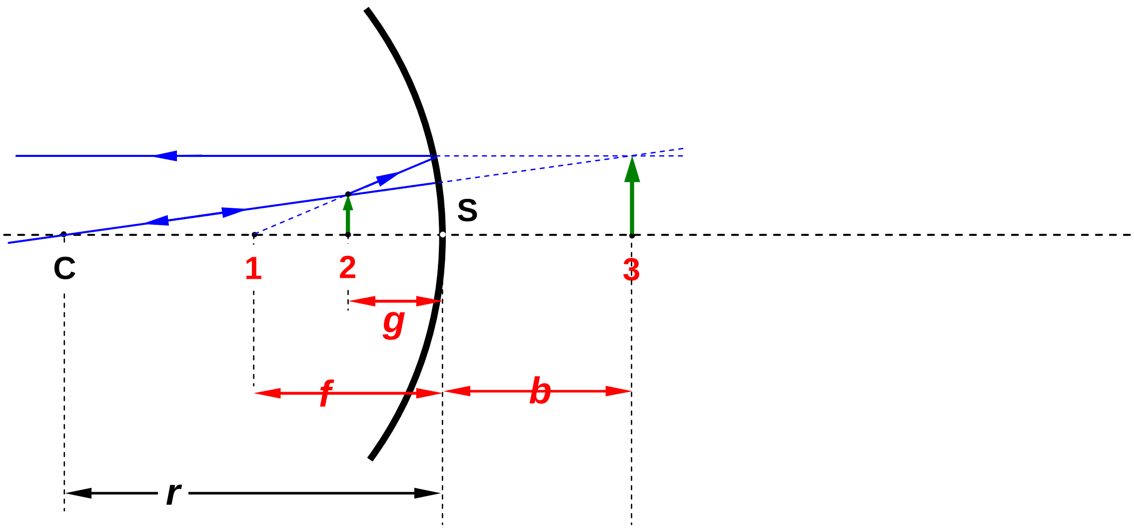
$= 1 / 5\ \text{cm} = 0{,}2\ \text{cm}^{-1}$

Brennweite f = 5 cm

Krümmungsradius $r$ aus $f = r / 2$ $r = 2 \cdot f =$ **10 cm**

c) **Brennpunkt (1), Position des Zahns (2) und Position des Bilds (3)** in Skizze

d) Konstruktion des **Bilds** zum **Gegenstand** (repräsentiert durch die Pfeile)

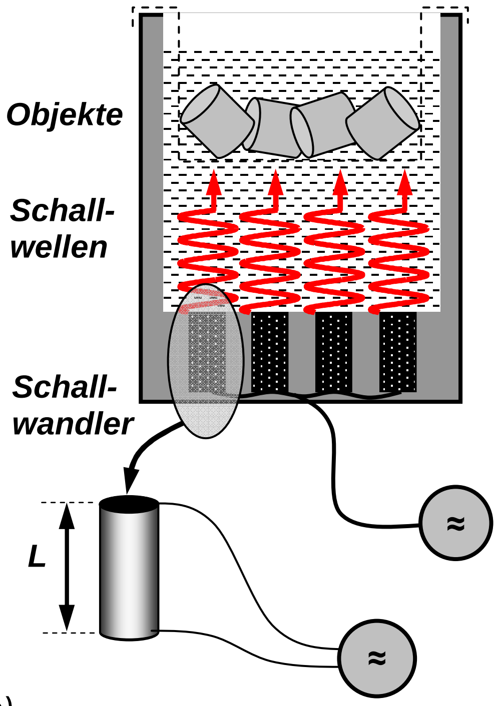


| | | |
|---|---|---|
| Wintersemester | 2013/2014 | Blatt 6 (von 6) |
| Studiengang: | BTB2 / CIB2 | Semester 2 |
| Prüfungsfach: | Physik 2 | Fachnummer: 2012 *(2011)* |

**<u>Aufgabe 6:</u> Ultraschallreinigung** **(15 Punkte)**

Ein Ultraschallbad enthält ein mit Flüssigkeit gefülltes Becken. Die zu reinigenden Objekte werden in einen Drahtkorb gelegt und darin eingetaucht. Wandler am Boden des Beckens erzeugen Ultraschallwellen. Diese verursachen periodische Druckschwankungen, die zu dem gewünschten Reinigungseffekt führen.

Die Schallwandler sind zylindrische Stäbe aus PZT-Keramik, in denen mit einer Wechselspannung stehende Longitudinalwellen erzeugt werden. Die Stirnflächen der Stäbe wirken dabei als offene Enden.




*<u>Angaben</u>*

$c_{PZT}$: *4600 m/s* *Schallgeschwindigkeit in PZT*
$c_{liq}$: *1400 m/s* *Schallgeschindigkeit in Flüssigkeit*
$f_{us}$ : *40 kHz* *Frequenz des Ultraschalls*
$\rho_{liq}$: *1 g/cm³* *Dichte Reinigungsflüssigkeit*
$P_{us}$: *150 W* *Gesamtleistung Ultraschall*
$V_{bad}$ = *15 cm x 25 cm x 20 cm* *Abmessungen des Beckens (Länge x Breite x Höhe)*

a) Welche Wellenlänge und Wellenzahl haben die Ultraschallwellen in der Flüssigkeit ?

b) Die Schallwandler erzeugen ein senkrecht von der Bodenfläche des Beckens nach oben laufendes Schallfeld überall gleicher Intensität. Wie groß ist diese Intensität ?

c) Mit welcher Amplitude schwingen die Teilchen in der Flüssigkeit ?

d) Welche Länge *L* haben die Schallwandler, wenn sie bei ihrer tiefstmöglichen Schwingungsfrequenz betrieben werden ?

***Lösungsvorschlag*** ***Ultraschallreinigung*** ***Autor H Käß***

a) Wellenlänge folgt aus $c = \lambda \cdot f$ $\lambda = c_{liq} / f = 1400$ m s / 40000 s $=$ **$3{,}5 \cdot 10^{-2}$ m**

Wellenzahl $k = 2\pi / \lambda =$ **$1{,}7952 \cdot 10^{2}$ 1/m**

b) Intensität = Leistung / Fläche $S = P_{us}$ / (Länge x Breite)

$= 150$ W / (0,15 · 0,25 m²) = **4000 W/m²**

c) Zusammenhang : $S = \frac{1}{2}\, \rho \cdot c_{liq} \cdot \hat{a}^2 \cdot \omega^2$

Amplitude $\hat{a}$ demnach $\hat{a} = \sqrt{2 \cdot S / (\rho \cdot c_{liq} \cdot \omega^2)}$

$= \sqrt{2 \cdot S / (\rho \cdot c_{liq} \cdot 4\,\pi^2 \cdot f^{\,2})}$

$= \sqrt{8000 \text{ W m}^3 \text{ s}^3 / (\text{m}^3 \text{ kg } 8{,}8432 \cdot 10^{16})}$

$= 3{,}0077 \cdot 10^{-7}$ m = **0,3 µm**

d) Stehende Longitudinalwelle im Stab, niedrigste Eigenfrequenz, Länge $L = \lambda / 2$ ...

Demnach $\lambda = c_{PZT} / f = 4600$ m s / (s 40000) = 0,115 m

Und somit $L = \lambda / 2 = 5{,}75 \cdot 10^{-2}$ m **= 5,75 cm**