Hochschule Esslingen
University of Applied Sciences

Fakultät Grundlagen

Sommersemester 2017	Blatt 1 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 120 Minuten

Gesamtpunktzahl: 120

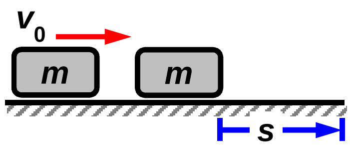
<u>Aufgabe 1:</u> Kurzfragen Mechanik **(22 Punkte)**

Die Teilaufgaben a) … d) können völlig unabhängig voneinander bearbeitet werden.

a) Für das Materialpaar Straßenoberfläche - Reifengummi eines Autos gelten folgende Reibungskoeffizienten: Haftreibungszahl μ_H = 0,85 sowie Gleitreibungszahl μ_G = 0,65.

- Welche Maximalbeschleunigung könnte das Auto mit diesen Reifen theoretisch erreichen und welche Mindestzeit dauerte seine Beschleunigung von 0 auf 100 km/h ?
- Das Auto fährt mit 50 km/h. Wie lange wäre sein Bremsweg bis zum Stillstand bei einer Bremsung mit blockierten Rädern ?
- Mit welcher Maximalgeschwindigkeit könnte es eine Kurve mit 35 m Radius fahren ?

b) In einem Kinderspiel gleiten Spielsteine gleicher Masse *m* über ein Brett (Gleitreibungszahl $\mu_G = 0{,}2$). Im Fall eines Zusammenstoßes bleiben sie aneinander haften und gleiten gemeinsam weiter.



- Ein Stein mit der Geschwindigkeit v_0 stößt auf einen ruhenden Stein. Sie gleiten gemeinsam die Strecke s = 0,5 m weiter, bis sie zur Ruhe kommen. Wie groß war v_0 ?

c) Quito, die Hauptstadt von Ecuador, liegt auf dem 40080 km langen Erdäquator.

- Mit welcher Bahngeschwindigkeit dreht sich Quito auf einem Kreis um die Erdachse?
- Wird in Quito die Masse 1,000 kg auf eine Waage gestellt, zeigt sie ein kleineres Gewicht an als bei Messung der Masse mit der gleichen Waage am Nordpol. Warum ?
- Wie groß ist der relative Unterschied $\Delta F / F_N$ der Gewichtskraft zwischen Quito (F_Q) und Nordpol (F_N), wobei $\Delta F = F_Q - F_N$?

d) In welchen Einheiten kann das Drehmoment angegeben werden ?

kg m / s^2	kg m^2 / s	kg s^2 / m^2	kg m^2 / s^3	N m	N / s	N m s
kg s / m^2	kg s^2 / m	kg m^2 / s^2	kg m^2	N s	N / m	N / (m s)

a) Maximale Beschleunigungskraft F_B = maximale (Haft!) Reibungskraft F_R

Demnach gilt $F_B = m \cdot a = \mu_H \cdot F_N = \mu_H \cdot F_G = \mu_H \cdot m \cdot g$
Maximalbeschleunigung $a = \mu_H \cdot g = 0{,}85 \cdot 9{,}81\ \text{m/s}^2 = \mathbf{8{,}338\ m/s^2}$

Aus $a = \Delta v / \Delta t$ folgt $\Delta t = \Delta v / a = 100000\ \text{m} / (3600\ \text{s}\ 8{,}338\ \text{m/s}^2)$
$= \mathbf{3{,}331\ s}$

Bremsung mit blockierten Rädern bedeutet Bremskraft = Gleitreibungskraft
Demnach gilt $a_B = \mu_G \cdot g = 0{,}65 \cdot 9{,}81\ \text{m/s}^2 = 6{,}376\ \text{m/s}^2$
Bremszeit von 50 auf 0 km/h $t_B = \Delta v / a_B = 50000\ \text{m} / (3600\ \text{s}\ 6{,}376\ \text{m/s}^2)$
$= 2{,}178\ \text{s}$
Bremsweg von 50 auf 0 km/h $s(t_B) = v_0 \cdot t_B - ½\, a_B \cdot t_B^2 = v_0^2 / (2 \cdot a_B) = \mathbf{15{,}13\ m}$

Bedingung für stabile Kurvenfahrt: Zentrifugalkraft ≤ Haftreibungskraft
Demnach gilt $m \cdot v^2 / r \le \mu_H \cdot m \cdot g$
Also $v \le \sqrt{\mu_H \cdot r \cdot g} = \mathbf{17{,}08\ m/s} = 61{,}5\ \text{km/h}$

b) Vollkommen inelastischer Stoßvorgang der beiden gleichen Massen m
Es gilt $m \cdot v_0 = (m + m)\, u_0$ also $u_0 = ½\, v_0$
Entlang des Bremswegs s wird kinetische Energie in Reibungsarbeit verwandelt
Also $E_{kin} = ½\, 2 \cdot m\, u_0^2 = ½\, 2 \cdot m\, (v_0 / 2)^2 = W_R = F_R \cdot s = \mu_G \cdot 2\, m \cdot g \cdot s$
und es folgt $v_0 = \sqrt{8\, \mu_G \cdot g \cdot s} = \sqrt{7{,}848}\ \text{m/s} = \mathbf{2{,}801\ m/s}$

c) Die Drehung erfolgt in 24 h auf einem Kreis mit Umfang Δs = 40080 km
Bahngeschwindigkeit $v_B = \Delta s / \Delta t$ = 40080 km / 24 h = 1670 km/h = **463,9 m/s**

Am Nordpol wirkt die Gewichtskraft $F_N = F_G$ auf die Masse in Richtung Erdmittelpunkt. Am Äquator wirkt neben der – vom Betrag her gleichen - Gewichtskraft F_G in Richtung Erdmittelpunkt noch zusätzlich die Zentrifugalkraft F_Z in radialer Richtung weg vom Erdmittelpunkt, also nach oben. Die von der Waage gemessene Kraft beträgt also in Quito $F_Q = F_G - F_Z$ und ist somit geringer als die Gewichtskraft selbst. Daher scheint die Masse hier kleiner zu sein.

Für die Differenz gilt $\Delta F = F_N - F_Q = F_G - F_G + F_Z = F_Z = m \cdot v_B^2 / r$
Also wird $\Delta F / F_N = F_Z / F_G = v_B^2 / (g \cdot r)$
Der Erdradius beträgt $r = \Delta s / (2\pi)$ = 6378,9 km
Somit $\Delta F / F_N = 3{,}439 \cdot 10^{-3}$ = **0,344%**

d) Das Drehmoment hat die Einheit $[M] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$

kg m / s^2	kg m^2 / s	kg s^2 / m^2	kg m^2 / s^3	**N m**	N / s	N m s
kg s / m^2	kg s^2 / m	**kg m^2 / s^2**	kg m^2	N s	N / m	N / (m s)

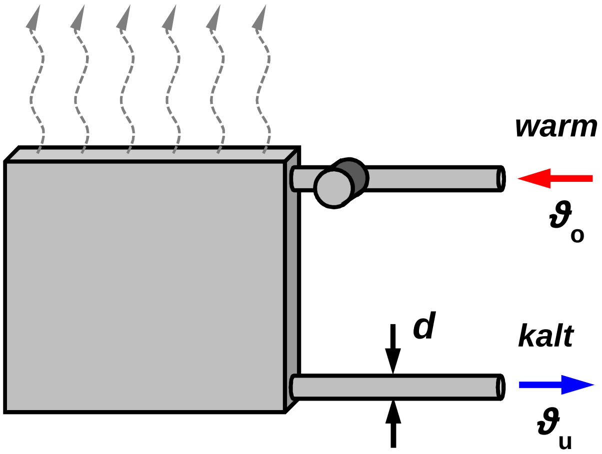
Sommersemester 2017	Blatt 2 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012

<u>Aufgabe 2:</u> Heizkörper **(20 Punkte)**

Ein Heizkörper wird von Wasser durchströmt und gibt dessen Wärme an die Umgebung ab. Das warme Wasser der Temperatur ϑ_o wird oben über ein Rohr in den Heizkörper geleitet und fließt nach Abkühlung auf die Temperatur ϑ_u durch ein weiteres Rohr unten daraus ab (siehe Skizze). Dabei gilt für Wasser ebenso wie für jeden anderen Körper der bekannte Zusammenhang zwischen abgegebener Wärmemenge ΔQ und daraus folgender Temperaturänderung $\Delta\vartheta$:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

ΔQ :	abgegebene Wärmemenge
c :	spezifische Wärmekapazität
m :	Masse des Körpers
$\Delta\vartheta = \vartheta_o - \vartheta_u$:	Temperaturänderung



<u>*Wasser:*</u>

c = 4,19 J/(g·K) *spez. Wärmekapazität*
ρ = 1,00 g/cm^3 *Dichte von Wasser*
η = 1,0·10^{-3} Pa·s *Viskosität von Wasser*

<u>*Heizkörper:*</u>

P = 2000 W *maximale Heizleistung*
ϑ_o = 55°C *Temperatur warmes Wasser*
ϑ_u = 30°C *Temperatur kaltes Wasser*

a) Der Heizkörper wird bei maximaler Heizleistung von 2000 W betrieben. Welche Wärmemenge ΔQ gibt er dabei in einer Stunde ab *(bitte in kWh und J angeben)* ?

b) Welche Masse Wasser fließt in Teilaufgabe a) pro Stunde durch den Heizkörper ?

c) Welchen Wert hat in Teilaufgabe a) demnach der Volumenstrom an Warmwasser?

d) Soll die Strömung des Wassers im Zuleitungs- und Ableitungsrohr bei maximalem Durchfluss laminar oder turbulent sein *(qualitative Antwort, bitte begründen)* ?

e) Der Durchmesser d von Zuleitungs- und Ableitungsrohr ist gleich. Welchen Wert muss er haben, damit auf jeden Fall eine wirbelfreie Strömung vorliegt ?

f) Zu- und Ableitungsrohr haben eine Gesamtlänge von 12 m. Welcher Druckabfall stellt sich aufgrund der inneren Reibung im Wasser über diese Länge ein ?

Lösungsvorschlag ***Heizkörper*** ***Autor H Käß***

a) Heizleistung $P_{heiz} = \Delta Q / \Delta t$ also $\Delta Q = P_{heiz} \cdot \Delta t$

In einer Stunde $\Delta Q = P_{heiz} \cdot \Delta t$ = 2000 W · 3600 s = **2 kWh** = $\mathbf{7{,}2 \cdot 10^6\ J}$

b) Heizleistung bedeutet, dass das Wasser Wärme ΔQ abgibt und dabei um $\Delta \vartheta$ abkühlt.

Dafür gilt $\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta$

und somit $\Delta Q / \Delta t = P_{heiz} = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta / \Delta t$

Daraus folgt $m / \Delta t = P_{heiz} / (\Delta \vartheta \cdot c) = 2000\ \text{W} / (25\ \text{K} \cdot 4190\ \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1})$

$= 1{,}909 \cdot 10^{-2}$ kg/s = **68,735 kg/h**

c) Volumenstrom und Massenstrom hängen über die Dichte ρ zusammen

Da $\rho = \Delta m / \Delta V$ ist $\Delta V = \Delta m / \rho$

und daher $\Delta V / \Delta t = (1 / \rho) \cdot (\Delta m / \Delta t)$

Dies ergibt $\Delta V / \Delta t = (1 / 1000\ \text{kg m}^{-3}) \cdot (68{,}735\ \text{kg / h}) = 68{,}735 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3/\text{h}$

= 68,735·Liter/h

d) Die Strömung sollte laminar sein, damit in den Rohren möglichst keine Verwirbelung / Turbulenzen auftreten. Dann liefert der Heizkörper wenig Strömungsgeräusche

e) Die Reynoldszahl Re = $d \cdot v \cdot \rho / \eta$ in den Rohren muss unter R_{krit} = 2320 bleiben.

Mit der Kontinuitätsgleichung $\Delta V / \Delta t = v \cdot A$

folgt für die Strömungsgeschwindigkeit $v = (1 / A) \cdot (\Delta V / \Delta t)$

Der Rohrquerschnitt ist dabei $A = ¼\ \pi\ d^2$

Aus der Bedingung für Re folgt $R_{krit} > d \cdot v \cdot \rho / \eta$

Zusammengenommen $d < R_{krit}\ \eta / (v \cdot \rho)$

$d < (R_{krit}\ \eta \cdot A / \cdot(\rho \cdot \Delta V / \Delta t))$

$d < (R_{krit}\ \eta \cdot ¼\ \pi\ d^2 / (\rho \cdot \Delta V / \Delta t))$

$d > \cdot(\Delta V / \Delta t) (4\ \rho \cdot / (R_{krit}\ \eta\ \pi))$

$d > 1{,}909 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3/\text{s} \cdot 4 \cdot 1000\ \text{kg/m}^3 / (2320 \cdot \pi \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{Pa} \cdot \text{s}) = 1{,}048 \cdot 10^{-2}\ \text{m}$

$d >$ **1,048 cm**

f) Hagen- Poiseuille: $\Delta V / \Delta t = \pi \cdot R^4 \cdot \Delta p / (8 \cdot \eta \cdot l)$

liefert den Druckabfall $\Delta p = (\Delta V / \Delta t) \cdot (8 \cdot \eta \cdot l / (\pi \cdot R^4))$

Mit $R = d/2 = 5{,}34$ mm $\Delta p = 1{,}909 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3/\text{s}\ 8 \cdot 10^{-3}\ \text{Pa} \cdot \text{s}\ 12\ \text{m} / (\pi \cdot 7{,}539 \cdot 10^{-10}\ \text{m}^4)$

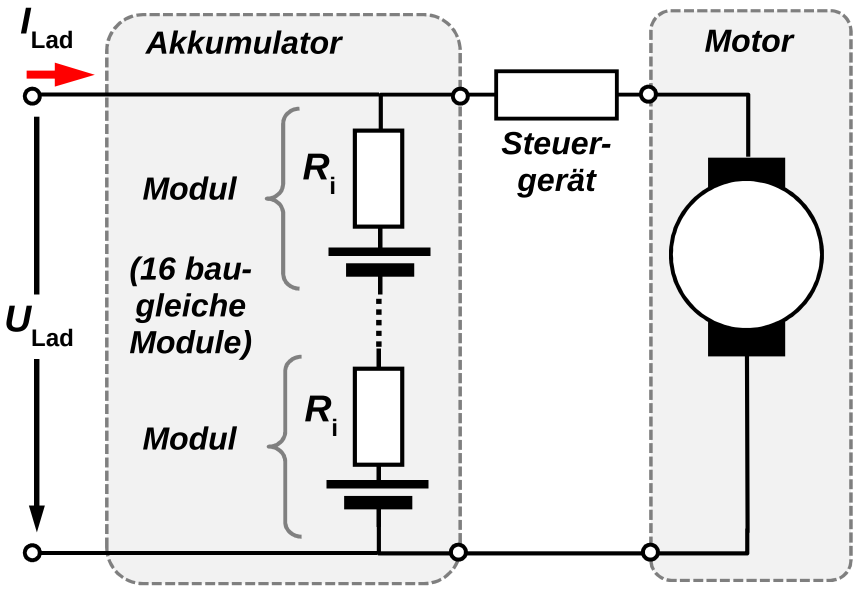
$= \mathbf{7{,}7375 \cdot 10^2\ Pa}$ = 7,74 hPa = $7{,}738 \cdot 10^{-3}$ bar

Sommersemester 2017	Blatt 3 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012

<u>Aufgabe 3:</u> Elektrofahrzeug **(18 Punkte)**

Der Akkumulator eines rein elektrisch betriebenen Autos besteht aus mehreren baugleichen, in Serie geschalteten Modulen. Mit einem sogenannten *supercharger* – einer sehr hohen Strom liefernden Spannungsquelle - kann er schnell aufgeladen werden.

Die nebenstehende Skizze zeigt schematisch die elektrische Schaltung des Autos.



Kapazität Akkumulator	E_{el}	=	85 kWh
Ladespannung 390 V	U_{Lad}	=	390 V
Ladeleistung supercharger	P_{Lad}	=	120 kW
Masse Fahrzeug	m	=	2200 kg
Motorleistung maximal	P	=	270 kW
(im Drehzahlbereich 6000 – 9000 min^{-1}*)*			
Wirkungsgrad Antrieb	η_{El}	=	0,5

a) Der *supercharger* hat laut Spezifikation eine Ladeleistung von 120 kW. Welcher Ladestrom I_{Lad} fließt bei der Aufladung in den Akkumulator und jeweils in die Einzelmodule ?

b) Die maximale Stromdichte in Kupferkabeln soll 10 A/mm^2 betragen. Welchen Durchmesser müssten demnach die Adern des Ladekabels haben, wenn die Aufladung über ein einfaches zweiadriges Kabel erfolgte ? Wäre dies technisch machbar oder gibt es sinnvollere Lösungen *(bitte Antwort mit Begründung)* ?

c) Wie lange dauert es, den anfangs leeren Akkumulator auf 50% Energieinhalt aufzuladen ? Welche Ladungsmenge fließt dabei in den Akkumulator ?

d) Der Motor kann über einen breiten Drehzahlbereich hinweg seine maximale Leistung abgeben. Wie ändert sich über diesen Bereich das abgegebene Drehmoment ?

e) Das Auto beschleunigt aus der Ruhe auf 120 km/h. Welche elektrische Arbeit wird dabei dem Akkumulator entnommen *(Reibungseffekte sind zu vernachlässigen)* ?

Lösungsvorschlag ***Elektrofahrzeug*** ***Autor H Käß***

a) Serienschaltung, durch **alle Module** fließt der **gleiche Strom** I_{Lad}

Ladeleistung $P_{Lad} = U_{Lad} \cdot I_{Lad}$

also $\cdot\ I_{Lad} = P_{Lad} \cdot / U_{Lad}$ = 120000 VA / 390 V = **307,7 A**

b) Stromdichte $j_{max} = I_{Lad} / A$ wobei $A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot d^2 / 4$

Demnach $A = I_{Lad} / j_{max}$ = 307,7 A / 10 A mm^{-2} = 30,77 mm^2

und $d = \sqrt{} 4\ A / \pi$ = 6,259 mm

Ein solches zweiadriges Kabel wäre recht **steif und inflexibel**, da schwer zu biegen. Daher sollte es **besser mehrere dünnere** und parallel verlaufende **Adern** aufweisen.

c) Energieinhalt bei 50% Aufladung: $E_{50} = ½\ E_{el}$ = 42,5 kWh

Da $\cdot\ P_{Lad} = E_{50} \cdot / t_{50}$ ist $t_{50} = E_{50} \cdot / P_{Lad}$ = 0,354 h

= 21,25 min = **1275 s**

Die Ladungsmenge ist $\Delta Q = I_{Lad}$ t50 = 307,7 A 1275 s = **392318 C**

d) Zusammenhang Motorleistung - Drehmoment $P = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi\ n$

Aus $M = P / (2\ \pi\ n)$ M_{6000} = 270000 W / (2 π 100 s^{-1}) = **429,7 Nm**

Aus $M = P / (2\ \pi\ n)$ M_{9000} = 270000 W / (2 π 150 s^{-1}) = **286,5 Nm**

Mit steigender Drehzahl nimmt das Drehmoment also ab

e) Mechanische Arbeit $W_B = ½\ m \cdot v^2$ = ½ 2200 kg (120000m / 3600s)^2

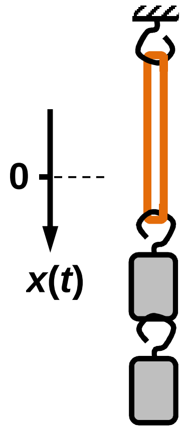
= 1100 kg 33,33^2 m^2/s^2 = 1,222·10^6 J

Mit Wirkungsgrad $W_B = \eta \cdot W_{el}$

und somit $W_{el} = W_B / \eta \cdot$ = = **2,444·10^6 J** = 0,679 kWh

Aufgabe 4: Gummifaden **(32 Punkte)**

Im Physiklabor wurde experimentell das elastische Verhalten von Gummifaden untersucht. Dazu wurde eine immer größere Zahl von Gewichtstücken mit je 50 g Masse an einen haushaltsüblichen Gummiring angehängt und die jeweils zugehörige Verlängerung bezüglich der entspannten Position gemessen (Skizze nebenstehend). Maximal konnten 14 Gewichtsstücke angehängt werden. Bei weiterer Erhöhung ihrer Anzahl riss der Ring. Die Messdaten sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt.



Anzahl Gewichte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
x / mm	40	80	125	170	220	270	320	350	370	380	390	395	400	404

a) Erstellen Sie ein Diagramm für die Auslenkung x des Gummifadens in Abhängigkeit von der angehängten Masse m (*Millimeterpapier auf der letzten Seite der Klausur !)*

b) Für welchen Bereich der Auslenkung x liegt in guter Näherung ein lineares Gesetz für die Rückstellkraft F_R des Gummirings vor ? (Gesetz von Hooke: $F_R(x) = -k \cdot x$)

c) Ermitteln Sie aus dem Diagramm einen Wert für diese lineare Federkonstante k.

d) Schätzen Sie grafisch mit Hilfe von Fehlergeraden aus dem Diagramm die Unsicherheit Δk für die Federkonstante ab.

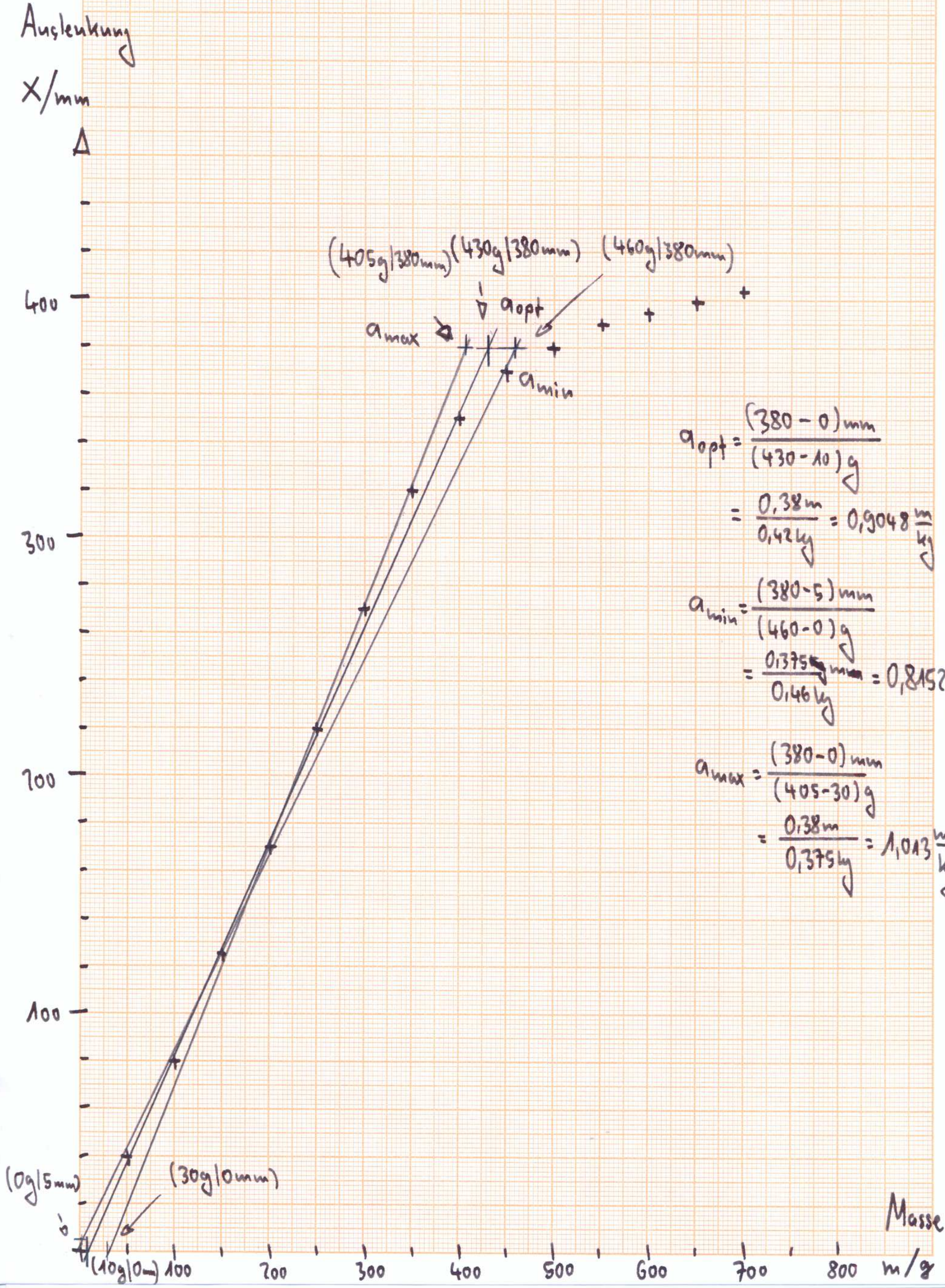
e) Geben Sie das Endresultat für k sowohl mit der absoluten als auch mit der relativen Messunsicherheit an. Runden Sie die Unsicherheit jeweils auf eine signifikante Stelle.

An den Gummiring wird nun eine Masse von insgesamt 200 g angehängt. Danach wird die Anordnung in vertikale Schwingungen von 5 cm Amplitude versetzt.

f) Mit welcher Frequenz erfolgt diese vertikale Schwingung ?

g) Welchen Höchstwert darf die Amplitude der vertikalen Schwingung annehmen, ohne dass sich die Frequenz gegenüber dem in Teilaufgabe f) berechneten Wert verändert ?

Auslenkung in Abhängigkeit von der angehängten Masse



$$a_{opt} = \frac{(380-0)\,mm}{(430-10)\,g} = \frac{0{,}38\,m}{0{,}42\,kg} = 0{,}9048\,\frac{m}{kg}$$

$$a_{min} = \frac{(380-5)\,mm}{(460-0)\,g} = \frac{0{,}375\,m}{0{,}46\,kg} = 0{,}8152\,\frac{m}{kg}$$

$$a_{max} = \frac{(380-0)\,mm}{(405-30)\,g} = \frac{0{,}38\,m}{0{,}375\,kg} = 1{,}013\,\frac{m}{kg}$$

Lösungsvorschlag Gummifaden ***Autor H Käß***

a) … die unabhängige Größe ist die Masse, davon hängt die Auslenkung ab

b) Lineare Abhängigkeit für Auslenkungen x von **0 bis 350 mm** (Masse 0… 400 g)

c) Diagramm liefert Steigungswerte $a = \Delta x / \Delta m$

Die Federkonstante k folgt aus $k = \Delta F / \Delta x = g \cdot \Delta m / \Delta x = g / a$

Für die optimale Gerade also $k = g / a_{opt} = 9{,}81\ \mathrm{m \cdot s^{-2}} / 0{,}9048\ \mathrm{m \cdot kg^{-1}} = 10{,}843\ \mathrm{kg / s^2}$

d) Die Fehlergeraden liefern $a_{min} = 0{,}8152\ \mathrm{m \cdot kg^{-1}}$
$a_{max} = 1{,}013\ \mathrm{m \cdot kg^{-1}}$

Damit wird $k_{max} = g / a_{min} = 12{,}034\ \mathrm{kg / s^2}$
$k_{min} = g / a_{max} = 9{,}684\ \mathrm{kg / s^2}$

Die Unsicherheit ist $\Delta k = ½\ | k_{max} - k_{min} | =$ **$1{,}175\ \mathrm{kg / s^2}$**

e) Endergebnis (absolute Angabe) $k =$ **$(11 \pm 1)\ \mathrm{kg / s^2}$**
Endergebnis (relative Angabe) $k =$ **$11\ (1 \pm 10\%)\ \mathrm{kg / s^2}$**

f) Alles im linearen Bereich, harmonische Schwingung
Kreisfrequenz $\omega = \sqrt{k / m} = 2\pi f$
$= \sqrt{10{,}843\ \mathrm{kg} / 0{,}2\ \mathrm{kg\ s^2}} = 7{,}363\ 1/\mathrm{s}$
Frequenz $f =$ **1,172 Hz**

g) Bei 200 g Masse liegt die Auslenkung im Ruhezustand etwa bei 170 mm.
Bis 350 mm Auslenkung linearer Bereich mit konstanter Schwingungsfrequenz.
Negative Auslenkungswerte (unter 0 mm) sind am Gummifaden nicht sinnvoll.
Die Amplitude darf daher **maximal bis zu 170 mm** betragen.

Sommersemester 2017	Blatt 5 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012

<u>Aufgabe 5:</u> Aquarium **(12 Punkte)**

Blickt man schräg auf ein Aquarium, scheinen die sich darin im Wasser befindenen Objekte wie Pflanmzen und Fische auf anderen Positionen zu befinden, als es ihrem jeweiligen tatsächlichen Ort im Raum entspricht.

Die Situation ist in der Skizze schematisch wiedergegeben, die Blickrichtung wird durch den Pfeil markiert.

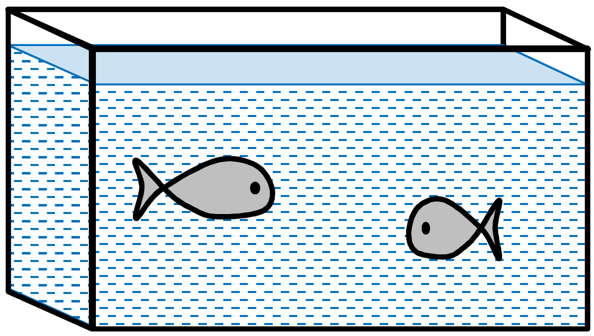
a) Woher kommt dieser Effekt *(bitte um Erklärung in kurzen Worten)* ?

b) Die Blickrichtung hat einen Winkel von $\alpha = 30°$ zur Frontscheibe, der in dieser Richtung sichtbare Fisch schwimmt $y = 60$ cm hinter dieser Scheibe. Welche tatsächliche Position x hat der Fisch (Definition der Angaben entsprechend der nebenstehenden Skizze) ?

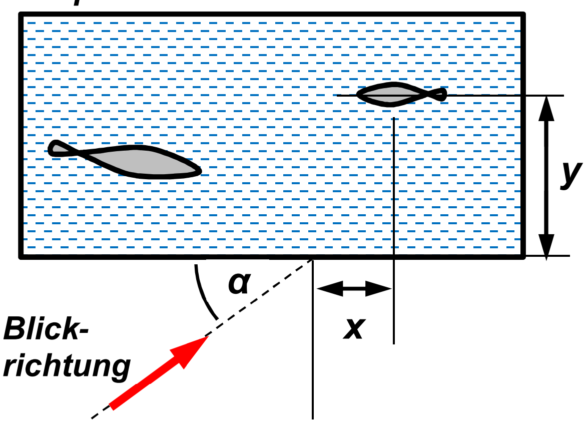
c) Angenommen, ein Fisch könnte aus dem Aquarium nach außen schauen: unter welchem Blickwinkel δ erschiene ihm dann der Raum vor dem Aquarium, also die gesamte Umgebung vor der Frontscheibe ?

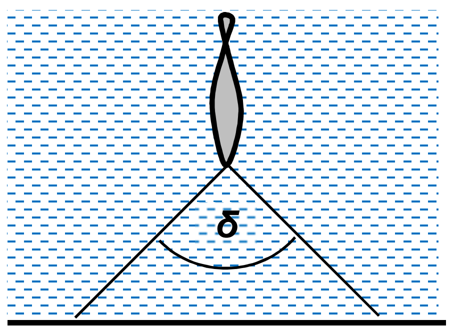
<u>Angaben</u>
Brechzahl von Wasser $n = 1{,}33$

Aquarium perspektivisch



Aquarium von oben

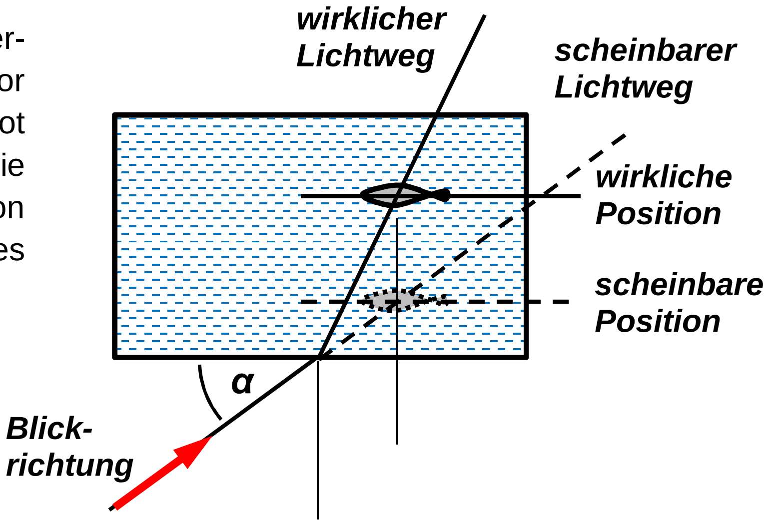




Raum vor Aquarium

Lösungsvorschlag ***Aquarium*** ***Autor H Käß***

a) Lichtstrahlen werden bei Übergang von Wasser in die Luft vor dem Aquarium vom Einfallslot weggebrochen. Daher sind die Objekte in Wirklichkeit weiter von der Frontscheibe entfernt, als es dem Beobachter erscheint.



b) Brechungsgesetz $n' \sin(\beta') = n \sin(\beta)$

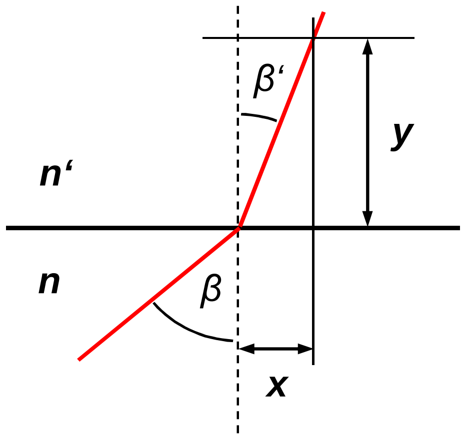
Da Winkel $\alpha = 30°$ ist $\beta = 60°$

Die Brechzahl von Luft ist $n = 1$

$\sin(\beta') = n \sin(\beta) / n' = \sin(60°) / 1{,}33$

$\beta' = 40{,}63°$

Es ist $\tan(\beta') = x / y$
und damit $x = y \tan(\beta') =$ **0,515 m**



c) Grenzwinkel der Totalreflexion am Übergang $\beta_G = ½\,\delta$

Er wird berechnet aus $n' \sin(½\,\delta) = n \sin(90°)$

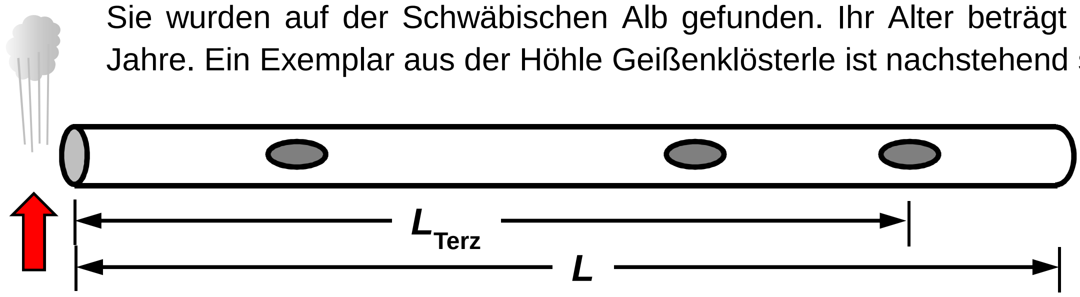
Somit $\sin(½\,\delta) = 1 / n' = 1 / 1{,}33$ $½\,\delta = \text{arc sin}\,(0{,}752) = 48{,}75°$

Gesamter Blickwinkel $\delta =$ **97,51°**

Sommersemester 2017		Blatt 6 (von 6)
Studiengang:	BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

Aufgabe 6: Steinzeitflöten **(16 Punkte)**

Die ältesten bekannten Musikinstrumente der Menschheit sind Knochenflöten. Sie wurden auf der Schwäbischen Alb gefunden. Ihr Alter beträgt über 30.000 Jahre. Ein Exemplar aus der Höhle Geißenklösterle ist nachstehend skizziert:



Experimenten zufolge erfolgte das Anblasen dieser Flöten senkrecht zur Achsrichtung, wie in der Skizze mit dem Pfeil angedeutet. Technisch gesehen waren sie damit beidseitig offene Röhren. Durch Öffnen und Schließen der seitlichen Löcher mit den Fingern konnte der Flötenspieler die akustisch wirksame Länge L der Röhre verändern.

Angaben

Länge der Flöte aus der Höhle Geißenklösterle	L_G	=	12,6 cm
Länge der Flöte aus der Höhle Hohler Stein	L_H	=	22 cm
Temperaturabhängige Schallgeschwindigkeit in Luft	c	=	$(331{,}5 + 0{,}6\,\vartheta\,/\,°C)$ m/s

a) Welche Frequenz hatte demnach der tiefste Ton (Grundton), den die Flöte aus dem Geißenklösterle im Sommer vor der Höhle bei der Temperatur $\vartheta = 25°C$ beim Spielen vor der Höhle abgeben konnte ?

b) Um einen weiteren Ton im Abstand einer großen Terz (Frequenzverhältnis 5 : 4) zum tieferen Grundton zu erzeugen, konnte der Flötenspieler eines der Fingerlöcher öffnen. Welche akustisch wirksame Länge L_{Terz} musste die Flöte dadurch erhalten ?

c) Bei scharfem Anblasen konnten der Flöte - bei Verschluss aller Fingerlöcher – höhere Töne entlockt werden. Welche Frequenz hat der am nächsten zum Grundton liegende Ton, den die Flöte hierbei abgeben kann ?

d) Im Winter fand das Flötenspiel vermutlich innerhalb der Höhle bei einer Lufttemperatur von $\vartheta = 10°C$ statt. Bei welcher Frequenz liegt dann der Grundton ? Wie groß sind Wellenzahl k_0 und Kreisfrequenz ω_0 der zugehörigen Schallwelle ?

e) Der jüngste Fund einer - längeren - Steinzeitflöte erfolgte im Jahr 2009 im benachbarten Hohlen Stein. Welche Frequenz hatte ihr Grundton im Sommer bei $\vartheta = 25°C$?

Lösungsvorschlag ***Steinzeitflöten*** ***Autor H Käß***

a) Schallgeschwindigkeit bei 25°C c_{25} = (331,5 + 0,6 25 °C/ °C) m/s = 346,5 m/s

Grundschwingung mit f_0 und λ_0, $L_G = \lambda_0 / 2$

Frequenz Grundton $f_0 = c_{25} / \lambda_0 = c_{25} / (2 \cdot L_G)$

= 346,5 m / 0,252 m·s = **1375 Hz**

b) Frequenzverhältnis $f_{Terz} / f_0 = 5 / 4$

Also $f_{Terz} = 5 \cdot f_0 / 4 = c_{25} / \lambda_{Terz} = c_{25} / (2 \cdot L_{Terz})$

Mit Ausdruck für f_0 $5 \cdot f_0 / 4 = 5 \cdot c_{25} / (4 \cdot 2 \cdot L_G) = c_{25} / (2 \cdot L_{Terz})$

Und somit $5 \cdot / (4 \cdot L_G) = 1 / L_{Terz}$

oder $L_{Terz} = 4 \cdot L_G / 5 = 0{,}8\, L_G$ = **10,08 cm**

c) Für die Frequenzen f_n der möglichen stehenden Wellen gilt allgemein:

$f_n = (n + 1)\, c / (2 \cdot L_G) = (n + 1)\, f_0$

also $f_1 = 2 \cdot f_0$ = **2750 Hz**

d) Schallgeschwindigkeit bei 10°C c_{10} = (331,5 + 0,6 10 °C/ °C) m/s = 337,5 m/s

Frequenz Grundton $f_0 = c_{10} / (2 \cdot L_G)$ = **1339,3 Hz**

Wellenzahl $k_0 = 2\pi / \lambda_0 = 2\pi / 0{,}252$ m = **24,93 m^{-1}**

Kreisfrequenz $\omega_0 = 2\pi f_0 = 2\pi\, 1339{,}3$ = **8415,1 s^{-1}**

e) Frequenz Grundton $f_0 = c_{25} / \lambda_0 = c_{25} / (2 \cdot L_H)$

= 346,5 m / 0,44 m·s = **787,5 Hz**