

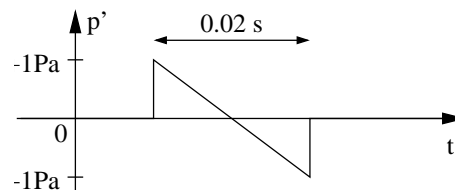
Strömungsakustik I WS 03/04, Übungsaufgaben Blatt 2

Abgabetermin: 12. Jan. 03

Aufgabe 1: Akustische Energie

(4 Punkte)

In einem Rohr mit einer Querschnittsfläche $Q = 1 \text{ m}^2$ breitet sich in einer Richtung (z.B. positive x -Richtung) eine ebene Welle aus. An einer Stelle im Rohr wird der in der Abbildung gezeigte "N-förmige" Druckverlauf gemessen. Das Rohr ist mit Luft unter Normalbedingungen gefüllt ($\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $c = 340 \text{ m/s}$).



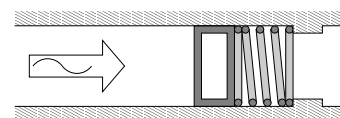
a) Trage den zeitlichen Verlauf der akustischen Intensität an der Messposition auf (mit Einheiten an den Achsen!).

b) Wie groß ist die gesamte akustische Energie, die in der "N-förmigen" Welle steckt?

Aufgabe 2: Nachgiebige Wand

(4 Punkte)

In einem Rohr mit einem Radius von 5 cm ist ein Kolben mit einer Masse von 0.5 Kg installiert. Der Kolben schließt dicht mit der Wand ab. Auf der einen Seite befindet sich Luft unter Normalbedingungen ($p_0 = 1 \text{ bar}$, $\rho_0 = 1.2 \text{ Kg/m}^3$ und $c = 340 \text{ m/s}$). Auf der anderen Seite herrscht Vakuum ($p_0 = 0 \text{ bar}$). Die Druckkraft drückt den Kolben gegen eine Feder, bis sich ein Kräftegleichgewicht einstellt. Die Masse der Feder sowie die Reibung im gesamten System sei zu vernachlässigen. Wird der Kolben aus seiner Gleichgewichtsposition um 1 mm ausgelenkt, so ergibt sich eine Rückstellkraft von 7.9 N. Für eine ankommende ebene und sinusförmige Schallwelle stellt der Kolben eine nachgiebige Wand mit einer Impedanz Z_w dar. Untersucht werden soll das Verhalten des Kolbens für die drei Frequenzen $f_1 = 10 \text{ Hz}$, $f_2 = 20 \text{ Hz}$ und $f_3 = 50 \text{ Hz}$.



Untersucht werden soll das Verhalten des Kolbens für die drei Frequenzen $f_1 = 10 \text{ Hz}$, $f_2 = 20 \text{ Hz}$ und $f_3 = 50 \text{ Hz}$.

a) Wie groß ist die Wandimpedanz Z_w für die genannten Frequenzen?

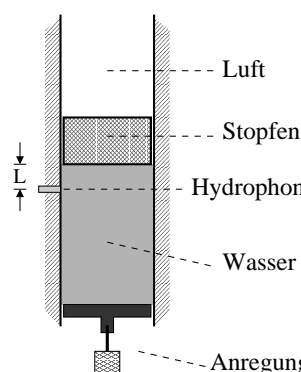
b) Wie groß ist der Reflexionsfaktor R in den drei Fällen?

c) Wie groß ist die maximale Auslenkung des Kolbens in den drei Fällen, wenn die Druckamplitude in der ankommenden Welle 80 Pa beträgt?

Aufgabe 3: Reflexion und Transmission

(4 Punkte)

Ein senkrecht stehendes Rohr mit einem Durchmesser von 0.2 m ist bis zu einer bestimmten Höhe mit Wasser ($\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$, $c = 1450 \text{ m/s}$) gefüllt. Über dem Wasser befindet sich Luft ($\rho_0 = 1.2 \text{ Kg/m}^3$, $c = 340 \text{ m/s}$). Unten im Rohr wird eine sinusförmige ebene Welle mit einer Frequenz von $f = 5000 \text{ Hz}$ angeregt. Die Welle läuft nach oben und wird an der Wasseroberfläche reflektiert. Im Abstand von $L = 0.05 \text{ m}$ unterhalb der Wasseroberfläche wird mit einem Hydrophon der Effektivwert (RMS) des Schalldrucks bestimmt. Die Messung ergibt $p_{\text{rms}} = 1 \text{ Pa}$. Anschließend wird ein Stopfen zwischen das Wasser und die Luft gebracht, wie es in der Abbildung illustriert ist. Der 725 g schwere Stopfen ist frei beweglich (keine Reibung) und schließt im Rohr dicht ab. Durch den Stopfen verändert sich die Reflexion und die Transmission an der Wasseroberfläche. Die Stärke der Anregung wird so verändert, dass sich am Hydrophon wieder ein Effektivwert von $p_{\text{rms}} = 1 \text{ Pa}$ einstellt. Es wird angenommen, dass der Stopfen aus einem festen, inkompressiblen Material besteht. Das bedeutet, der Stopfen verhält sich wie ein starrer Körper. Die Wände des Rohres sind schallhart. Das Rohr ist nach oben hin unendlich ausgedehnt (keine Wellen von oben).



a) Berechne den Reflexionsfaktor R an der Wasseroberfläche mit und ohne den Stopfen.

b) Wie groß ist der Effektivwert des Schalldrucks in der Luft mit und ohne den Stopfen?

Aufgabe 4: Temperaturschwankungen

(4 Punkte)

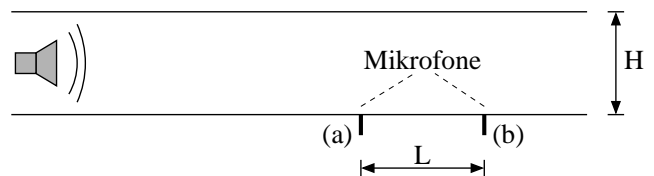
In einem mit Luft gefüllten Raum ($\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $c = 340 \text{ m/s}$) wird an einer Stelle der Schalldruck p' gemessen. Es wird ein maximaler Wert von $(p')_{\max} = 1 \text{ Pa}$ festgestellt.

- a) Wie groß ist die maximale Temperaturschwankung $(T')_{\max}$ an dieser Stelle?
 b) Zeige, dass an einer festen, undurchlässigen Wand des Raumes die Beziehung $\vec{n} \cdot \text{grad } T' = 0$ erfüllt ist, wobei \vec{n} den Normalenvektor senkrecht zur Wand bezeichnet ($\vec{n} \cdot \text{grad } T'$: Skalarprodukt).

Aufgabe 5: Zerlegung in Moden

(4 Punkte)

In einem ebenen Kanal (zweidimensional) mit schallharten Wänden befindet sich eine Lautsprecher, der Schallwellen mit einer Frequenz von $f = 220 \text{ Hz}$ anregt. Die Schallwellen breiten sich im Kanal aus. Der Kanal ist mit Luft unter Normalbedingungen gefüllt ($c = 340 \text{ m/s}$). Die



Breite des Kanals beträgt $H = 1 \text{ m}$. In einiger Entfernung vom Lautsprecher sind in einer Kanalwand zwei Drucksensoren im Abstand von $L = 1.2 \text{ m}$ eingelassen. Die beiden Sensoren messen Signale $p'_a(t)$ und $p'_b(t)$, die sich in der Form $p'(t) = C \cos(2\pi f t + \varphi)$ darstellen lassen. Die Signale besitzen beide die gleiche Frequenz f , jedoch unterscheiden sie sich in der Amplitude C und der Phase φ . Die Druckmessungen ergeben einen Phasenunterschied von $\varphi_b - \varphi_a = -160^\circ$. Die Amplituden werden mit $C_a = 3.02 \text{ Pa}$ und $C_b = 4.16 \text{ Pa}$ bestimmt. Dabei steht der Index (a) für den Sensor, der (wie in der Abbildung skizziert) dichter an der Quelle liegt. Es wird angenommen, dass alle nicht ausbreitungsfähigen Moden an den Sensoren vollständig abgeklungen sind. Das heißt, die Signale $p'_a(t)$ und $p'_b(t)$ werden ausschließlich durch eine Überlagerung von ausbreitungsfähigen Moden erzeugt.

- a) Ab welcher Frequenz f kann sich die erste höhere Mode in dem Kanal ausbreiten?
 b) Welche Moden können sich bei der gegebenen Frequenz im Kanal ausbreiten?
 c) Zerlege das gemessene Schallfeld in seine modalen Anteile. Welche Moden sind beteiligt? Wie groß sind die Amplituden der beteiligten Moden (welche maximale Druckschwankung würden die beteiligten Moden an den Sensoren bewirken, wenn sie isoliert vorliegen würden)?