

Übungsaufgaben WS 2006-2007, Blatt 2

Abgabe: 12. Januar 2007

Aufgabe 1: Zugeknallte Tür

(2 Punkte)

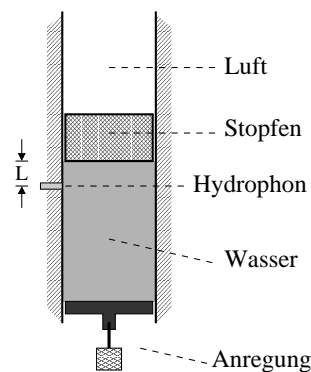
Eine (stabile, starre) Tür wird mit Wucht zugeknallt. Die Geschwindigkeit der äußeren Türkante soll 10 m/s betragen, bevor die Tür schlagartig stoppt. Hinter der Tür entsteht eine Schallwelle durch das plötzliche Abbremsen der mitbewegten Luft.

Frage: Wie groß ist der maximale Druck in der Schallwelle?

Aufgabe 2: Reflexion und Transmission

(8 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).



Die x -Koordinate soll von unten nach oben verlaufen, und der Ursprung $x = 0$ befindet sich am Ort des Stopfens bzw. der Trennfläche. Für das Druckfeld im Wasser ($x \leq 0$) kann

$$p'(x, t) = \Re\{A e^{i(\omega t - kx)} + B e^{i(\omega t + kx)}\}$$

geschrieben werden.

Teil a) Berechne den Reflexionsfaktor $R = B/A$ an der Wasseroberfläche mit und ohne den Stopfen. Hinweis: R kann komplex sein.

Teil b) Zunächst soll angenommen werden, dass die Amplitude der im Wasser nach oben (also in Richtung des Stopfens bzw. der Oberfläche) laufenden Welle gleich ein Pascal ist. Also: $|A| = 1 \text{ Pa}$. Trage für diesen Wert die maximale Amplitude der Druckschwankungen im Wasser über dem Ort auf. Das

heißt, es ist

$$p'_{\max}(x) = \max_t |p'(x, t)|$$

jeweils für den Fall mit und ohne Stopfen darzustellen. Es sind die Kurven für den Abschnitt $-0.5 \text{ m} \leq x \leq 0 \text{ m}$ zu zeichnen. Hinweise: Der Abstand zwischen Anregung und Stopfen ist wie die konkrete Phase der nach oben laufenden Welle nicht wichtig. Die Amplitude der reflektierten Welle ergibt sich mit dem berechneten Reflexionsfaktor R . Die relative Phase zwischen den Wellen ist wichtig.

Teil c) Welche Amplitude muss die nach oben laufende Welle besitzen, damit sich der angegebene RMS-Wert von 1 Pa an der Stelle des Hydrophons einstellt? Die Werte sind wieder für beide Fälle mit und ohne Stopfen anzugeben.

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

Aufgabe 3: 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.

Teil a) Wie groß ist die maximale Temperaturschwankung $(T')_{\max}$ an dieser Stelle?

Teil 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 4: Wellenausbreitung im ebenen Kanal (4 Punkte)

In einem ebenen (zweidimensionalen) Kanal mit schallharten Wänden befindet sich ein Lautsprecher in der Kanalwand. Der Lautsprecher schwingt sinusförmig und regt Schallwellen einer bestimmten Frequenz an. Eine Kanalwand ist mit Drucksensoren ausgerüstet, mit denen der Druckverlauf in Kanalrichtung ausgemessen werden kann. Der Kanal ist mit Luft gefüllt ($\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $c = 340 \text{ m/s}$). Die Breite des Kanals beträgt 40 cm. Ohne Strömung ergeben die Druckmessungen bei 1 kHz Anregung eine sinusförmige Verteilung entlang der Kanalwand. Der Abstand zwischen den Wellenmaxima beträgt etwa 65 cm. Die maximale Druckschwankung an der Kanalwand beträgt 0.001 Pa.

Teil a) Welche Mode m breitet sich im Kanal aus?

Teil b) Wie groß ist die Phasengeschwindigkeit der vorliegenden Mode?

Teil c) Wie groß ist die maximal auftretende Schnelle in der Richtung quer zum Kanal?