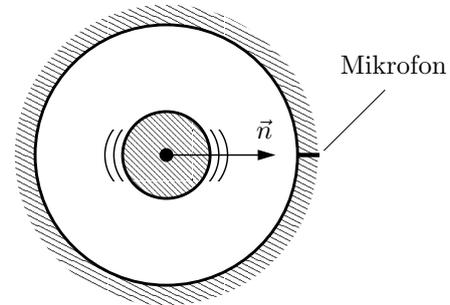


Strömungsakustik I WS 03/04, Übungsaufgaben Blatt 3

Abgabetermin: 9. Feb. 04

Aufgabe 1: Schallfeld im Kugelspalt

Im Inneren einer Hohlkugel befindet sich konzentrisch eine kleinere Kugel. Die innere Kugel schwingt harmonisch hin und her, während die äußere Hohlkugel still steht. Für die Position des Mittelpunkts \vec{x}_m der kleinen Kugel gilt $\vec{x}_m(t) = \vec{x}_o + \vec{n} \varepsilon \cos(\omega t)$. Dabei ist \vec{x}_o der Mittelpunkt der äußeren Hohlkugel, \vec{n} der Einheitsvektor in Bewegungsrichtung ($|\vec{n}| \equiv 1$), ε die maximale Auslenkung und $\omega = 2\pi f$ die Kreisfrequenz. In der Wand der Hohlkugel ist ein Mikrophon eingebaut. Es befindet sich wie in der Skizze angedeutet genau auf der Geraden, die in Bewegungsrichtung durch den Mittelpunkt \vec{x}_o verläuft. Die Oberflächen der inneren Kugel und der Hohlkugel sind undurchlässig. Die innere Kugel hat einen Durchmesser von 0.1 m und die Hohlkugel einen von 0.3 m. Die Frequenz der Schwingung liegt bei $f = 1420$ Hz. Die maximale Auslenkung beträgt $\varepsilon = 10^{-3}$ m. Der Kugelspalt ist mit Luft gefüllt ($\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $c = 340 \text{ m/s}$).



(4 Punkte)

a) In dem Kugelspalt entsteht durch die Bewegung der inneren Kugel ein Schallfeld. Zeige, dass dieses mit dem Ansatz

$$\phi(\vec{x}, t) = \Re \left\{ \vec{n} \cdot \text{grad} \left(A \frac{e^{i\omega(t-r/c)}}{r} + B \frac{e^{i\omega(t+r/c)}}{r} \right) \right\}$$

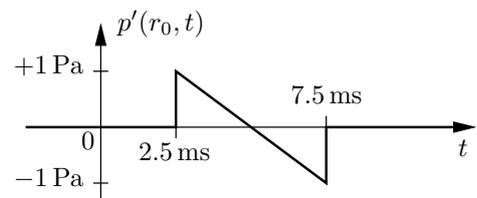
für das akustische Potential beschrieben werden kann. Dabei ist $r = |\vec{x} - \vec{x}_o|$ der Abstand zum Mittelpunkt der Hohlkugel. Bestimme die komplexen Faktoren A und B , so dass die Randbedingungen an den beiden Kugeloberflächen erfüllt sind.

b) Wie groß ist der RMS-Wert (Effektivwert) des Schalldrucks an der Mikrophonposition?

Aufgabe 2: Energie in kugelsymmetrischer N-Welle

(4 Punkte)

Eine kleine atmende Kugel erzeugt durch kurzzeitiges Pulsieren eine kugelsymmetrische Druckstörung im luftgefüllten Raum ($\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $c = 340 \text{ m/s}$). Im Abstand von $r_0 = 0.85 \text{ m}$ besitzt das Drucksignal den in der Abbildung gezeigten Verlauf. Der Schalldruck steigt bei $t = 2.5 \text{ ms}$ sprunghaft von Null auf 1 Pa an. Zwischen $t = 2.5 \text{ ms}$ und $t = 7.5 \text{ ms}$ fällt der Schalldruck linear auf -1 Pa ab, um anschließend wieder unstetig auf Null zurückzugehen. Außerhalb dieser N-Welle ist der Schalldruck immer gleich Null.



a) Aus dem Druckverlauf in einem Punkt und der Kenntnis über die Kugelsymmetrie soll das erzeugte Schallfeld ermittelt werden. Zeige, dass dieses mit dem Ansatz

$$\phi(\vec{x}, t) = \begin{cases} \frac{1}{r} \left[A \left(t - \frac{r}{c} - D \right)^2 - B \right] & \text{bei } -2.5 \text{ ms} \leq \left(t - \frac{r}{c} - D \right) \leq 2.5 \text{ ms} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

für das akustische Potential beschrieben werden kann. Dabei ist r der Abstand vom Kugelmittelpunkt. Überprüfe, ob das gegebene $\phi(\vec{x}, t)$ die Wellengleichung erfüllt. Bestimme die reellen Koeffizienten A , B und D , so dass sich der gezeigte Druckverlauf bei $r = r_0$ ergibt.

b) Berechne die radiale Intensität $I_R = p' u'_R$ in der N-Welle als Funktion der Zeit und stelle deren Verlauf graphisch dar (mit Einheiten an den Achsen).

c) Wie groß ist die gesamte akustische Energie (Joule) in der abgestrahlten N-Welle?

Aufgabe 3: 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.

- a) Welche Mode m breitet sich im Kanal aus?
- b) Wie groß ist die Phasengeschwindigkeit der vorliegenden Mode?
- c) Wie groß ist die maximal auftretende Schnelle in der Richtung quer zum Kanal?