

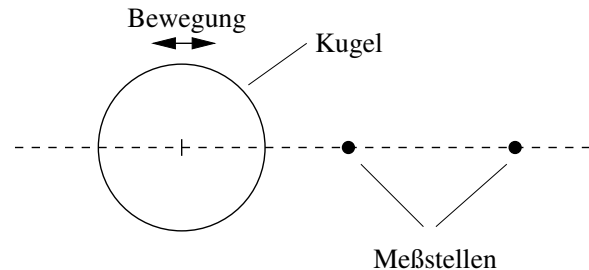
Strömungsakustik I WS 06/07, Übungsaufgaben Blatt 3

Abgabetermin: 09. Feb. 2007

Aufgabe 1: Vibrierende Kugel

(4 Punkte)

Eine starre Kugel mit Radius 5 cm oszilliert sinusförmig mit einer festen Frequenz in einer Richtung hin und her. Die maximale Auslenkung der Kugel ist im Verhältnis zum Radius klein. Die Kugel befindet sich in Luft unter Normalbedingungen ($\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $c = 340 \text{ m/s}$), und erzeugt durch die Bewegung ein Schallfeld. Auf einer Geraden durch den Kugelmittelpunkt in Bewegungsrichtung werden Druckmessungen mit einem Mikrophon durchgeführt, und daraus wird der maximale Schalldruck bestimmt. Es ergibt sich in einer Entfernung von 10 cm vom Kugelmittelpunkt ein maximaler Schalldruck von 31.46 Pa und in einer Entfernung von 20 cm ein Wert von 12.81 Pa.



Frage a) Wie groß ist die Frequenz der Bewegung ?

Frage b) Wie groß ist die maximale Auslenkung der Kugel ?

Aufgabe 2: Leistung der atmenden Kugel

(4 Punkte)

Ein kugelförmiger Lautsprecher (atmende Kugel) pulsiert mit einer einfachen harmonischen Bewegung, d.h. der Radius der Kugel ändert sich sinusförmig mit der Zeit. Der mittlere Radius beträgt 30 cm, und die Amplitude der Bewegung ist 1 mm.

Frage a) Wie hängt die mittlere abgestrahlte Leistung von der Frequenz ab ? Leite einen Ausdruck für die in das Fernfeld abgestrahlte mittlere Leistung als Funktion der Frequenz (oder Kreisfrequenz) her.

Frage b) Wieviel Leistung (in Watt) wird bei den Frequenzen 10 Hz, 100 Hz und 1000 Hz im zeitlichen Mittel abgestrahlt ?

Hinweise: Die Kugel befindet sich in Luft unter Normalbedingungen ($\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $c = 340 \text{ m/s}$).

Aufgabe 3: Kolbenbewegung

(4 Punkte)

Ein mit Luft gefülltes Rohr ist auf einer Seite mit einem beweglichen Kolben abgeschlossen. Der Druck in dem Rohr beträgt $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$. Die Dichte und die Temperatur der Luft sind zunächst nicht bekannt. Zur Beschreibung von eindimensionaler Wellenausbreitung wird eine x -Achse entlang des Rohrs eingeführt. Bis zur Zeit $t = 0 \text{ s}$ ruht der Kolben an der Position $x = 0 \text{ m}$. Dann beschleunigt der Kolben ruckartig und erzeugt eine ebene Welle. An der Position $x = 1 \text{ m}$ befindet sich ein Drucksensor. Dieser registriert bei $t = 0.0025 \text{ s}$ ein sprunghaftes Ansteigen des Schalldrucks p' von Null auf 175 Pa. Dieser Wert wird für die Dauer von $\Delta t = 0.005 \text{ s}$ gehalten. Danach geht der Schalldruck wieder sprunghaft auf Null zurück. Nach einigen Sekunden erreichen auch reflektierte Wellen vom anderen Ende des Rohres den Drucksensor.

Frage a) Wie groß sind die Schallgeschwindigkeit c und die Dichte ρ_0 im Rohr ?

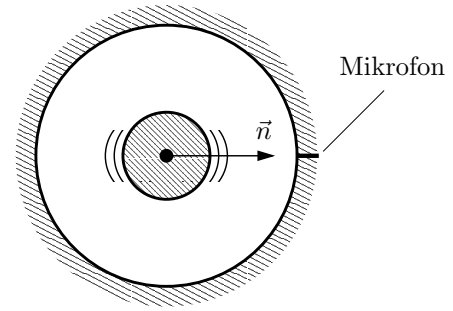
Frage b) Welche Bewegung führte der Kolben aus ? Zeichne seine Bewegungskurve in der (x, t) -Ebene mit Einheiten an den Achsen.

Hinweise: Da die reflektierten Wellen viel später als der erste Puls eintreffen und für die Beantwortung der Fragen keine Rolle spielen, kann das Rohr als halbbunendlich betrachtet werden. Für Luft ist der Adiabatenexponent $\kappa = 1.4$.

Aufgabe 4: Schallfeld im Kugelspalt

(4 Punkte)

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 Mikrofon 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 ($\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $c = 340 \text{ m/s}$).



Frage 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.

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