



# HSB

Hochschule Bremen  
City University of Applied Sciences

## Labor für Technische Akustik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus

### Versuch 3:

### Bestimmung der Wellenlänge von Schallwellen mit einer Quincke Röhre



**Abbildung 1:** Experimenteller Aufbau zur Bestimmung der Wellenlänge von Schallwellen mit einer Quincke Röhre.

## 1. Versuchsziel

Wenn sich eine Schallwelle durch Teilung auf zwei getrennten Wegen zum Messpunkt hin ausbreitet und die Weglänge der einen Welle verändert werden kann, so ist es möglich, die Wellenlänge der Schallwelle zu vermessen und deren Schallgeschwindigkeit bei gegebener Frequenz zu berechnen.

## 2. Theoretische Grundlagen

Bei der Überlagerung zweier harmonischer linearer Wellen gleicher Frequenz aber entgegengesetzter Ausbreitungsrichtung ergibt sich die resultierende Welle zu

$$p(x,t) = p_1(x,t) + p_2(x,t) \quad (1)$$

mit

$$p_1(x,t) = A_1 e^{j(\omega t - kx)} \quad (2)$$

und

$$p_2(x,t) = A_2 e^{j(\omega t + kx - \varphi)} \quad (3)$$

wobei

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4)$$

die Wellenzahl,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (5)$$

die Kreisfrequenz und  $\varphi$  die Phasenverschiebung bezeichnet. Die resultierende Welle

$$\begin{aligned} p(x,t) &= \left( A_1 e^{-jkx} + A_2 e^{j(kx - \varphi)} \right) e^{j\omega t} \\ &= \left( A_1 e^{-j(kx - \varphi/2)} + A_2 e^{j(kx - \varphi/2)} \right) e^{j(\omega t - \varphi/2)} \\ &= \left( (A_1 - A_2) e^{-j(kx - \varphi/2)} + A_2 \left( e^{j(kx - \varphi/2)} + e^{-j(kx - \varphi/2)} \right) \right) e^{j(\omega t - \varphi/2)} \\ &= A_{r1} e^{j(\omega t - kx)} + A_{r2} \cos(kx - \varphi/2) e^{j(\omega t - \varphi/2)} \end{aligned} \quad (6)$$

ist ebenfalls harmonisch, wobei

$$A_{r1} = A_1 - A_2 \quad (7)$$

die Amplitude der fortschreitenden und

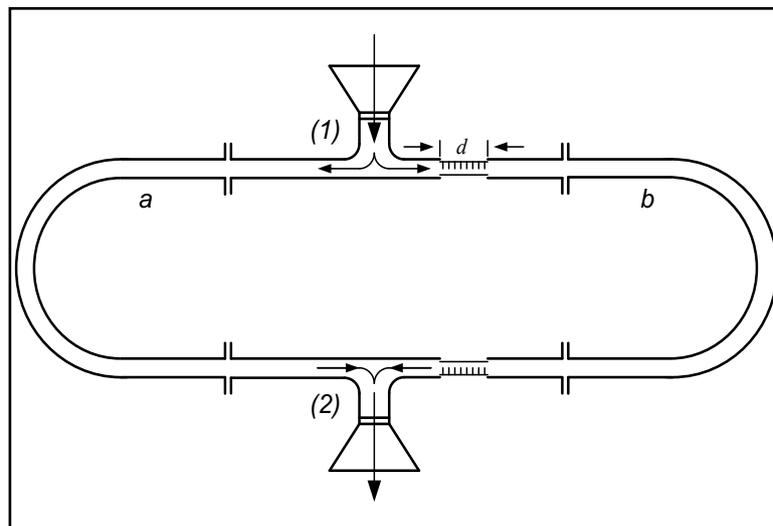
$$A_{r2} = 2A_2 \quad (8)$$

die der stehenden Welle bezeichnet. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit wurde dabei  $A_2 \leq A_1$  angenommen.

In einer Quincke Röhre wird eine Schallwelle durch die Verzweigung der Röhre in zwei kohärente Wellen aufgeteilt, welche nach durchlaufen der Röhre wieder aufeinander treffen und sich überlagern (Abb. 2).

Wenn die geradlinigen Abschnitte der Röhre  $a$  und  $b$  die gleiche Länge besitzen, werden die Intensitäten der Schallwellen, deren Überlagerung am Messpunkt (2) gemessen wird, aufgrund gleicher Ausbreitungsverluste auf den Strecken gleich groß sein ( $A_1 = A_2$ ). In diesem Fall ist  $A_{r_1} = 0$ , so dass nur eine stehende Welle im Bereich des Messpunktes beobachtet werden kann.

Mit zunehmender Erhöhung des Längenunterschiedes  $d$  der geraden Abschnitte steigt auch der Intensitätsunterschied am Messpunkt ( $A_2 < A_1$ ). In diesem Falle nimmt die Amplitude der stehenden Welle  $A_{r_2}$  ab und die der fortschreitenden Welle steigt an.



**Abbildung 2:** Geometrischer Aufbau der Quincke Röhre.

Wenn der Messpunkt mit  $x = 0$  festgelegt wird, ergibt sich der Schalldruck zu

$$\begin{aligned} \tilde{p}(0,t) &= \text{Re}\{p(0,t)\} = \text{Re}\left\{A_{r_1} e^{j\omega t} + A_{r_2} \cos(\varphi/2) e^{j(\omega t - \varphi/2)}\right\} \\ &= A_{r_1} \cos(\omega t) + A_{r_2} \cos(\varphi/2) \cos(\omega t - \varphi/2). \end{aligned} \quad (9)$$

Für einen kleinen Wert von  $A_{r_1}$  ist die Amplitude des Schalldruckes bestimmt über  $A_{r_2} \cos(\varphi/2)$ . Der Schalldruck nimmt immer ein Minimum an, wenn

$$\varphi = (2n+1)\pi = \omega\tau = \omega \frac{2d}{c} = 2\pi \frac{2d}{\lambda}, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (10)$$

Die Druckminima ergeben sich demzufolge bei

$$d = d_n = (2n+1) \frac{\lambda}{4}, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (11)$$

und es gilt

$$\Delta d = d_n - d_{n-1} = \frac{\lambda}{2}. \quad (12)$$

Die Schallausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  hängt von der Temperatur und dem Luftdruck ab. Sie kann bei einem Luftdruck von 1013 hPa im Raumtemperaturbereich näherungsweise durch

$$c_{\text{Raum}} = (331,5 + 0,6 \vartheta / ^\circ\text{C}) \cdot \text{m/s} \quad (14)$$

berechnet werden, wobei  $\vartheta$  in  $^\circ\text{C}$  anzugeben ist.

### 3. Versuchsaufbau

Der Versuch wird wie in Abbildung 1 dargestellt aufgebaut.

Zusätzlich zum digitalen Multimeter kann zur besseren Darstellung der Messungswerte ein Oszilloskop verwendet werden.

Zum Schutz Ihres Gehörs sind die dafür vorgesehenen Ohrstöpsel zu benutzen.

Der Tonkopf wird an dem 4  $\Omega$  Ausgang des Leistungsfrequenzgenerators angeschlossen (gelbe und weiße Buchse).

Zum Start der Messung ist der Frequenzgenerator mithilfe des Stellknopfes zur Einstellung der Frequenz auf 2000 Hz einzustellen.

Der Drehschalter zum Einstellen der verschiedenen Betriebsarten wird auf 1 W/~ gestellt.

Um die Messergebnisse nicht zu beeinträchtigen, wird mit dem Stellknopf zum stufenlosen Einstellen des Pegels am Ausgang eine Amplitude von 0,6  $V_{\text{SS}}$  eingestellt. Diese wird während der Versuchsdurchführung nicht verändert.

Das Messmikrofon wird über den ON Taster eingeschaltet. Der Wahlschalter für den Ausgangsmodus ist auf Gleichspannung, " --- " zu stellen. Für eine einwandfreie Messung wird die Verstärkung auf Minimum gedreht.

**Hinweis:** Ein kurzer Druck schaltet bei Batteriebetrieb das Messmikrofon für etwa 45 Minuten ein. Wann immer die Taste gedrückt wird, auch während des Betriebs, verlängert sich die verbleibende Restzeit wieder auf etwa 45 Minuten. Nach Ablauf der Zeit erfolgt eine automatische Abschaltung.

**Geräteliste:**

1	Interferenzrohr, Typ Quincke	03482.00
1	Tonkopf	03524.00
1	Messmikrofon	03542.00
1	Leistungsfrequenzgenerator 1 MHz	13650.93
1	Digitales Multimeter	07134.00
1	Messschieber	03010.00
2	Verbindungskabel, $l = 1500$ mm, blau	07364.04
1	Adapter, BNC-Buchse, 4 mm Steckerpaar	07542.27
1	Unterstützender Fuß / Grund (Kontext)	02005.55
2	Eisenstab (zur Befestigung), $l = 630$ mm	02027.55
5	Doppelmuffe -PASS-	02040.55
1	Oszilloskop, 20 MHz	11454.93
2	BNC-Kabel	
1	BNC-T-Stück	
1	Thermometer	

#### 4. Versuchsdurchführung

- Messen Sie vor und nach dem Versuch die Raumtemperatur.
- Die Messwerte sollen beginnend mit 2000 Hz in 200 Hz Schritten bis 6000 Hz aufgenommen werden.
- Ziehen Sie die Quincke Röhre bis zum ersten Minimum oder Maximum aus und messen Sie die Längenänderung  $d$  mit dem Messschieber.
- Nehmen Sie die Messwerte für jedes Minimum oder Maximum bis zur vollen Länge der Quincke Röhre auf. Nutzen Sie ein Maßband wenn der Messschieber nicht mehr ausreicht.

**Hinweis:** Durch Ausziehen der Quincke Röhre findet eine Amplitudenschwankung statt. Bei minimaler Amplitude wird das Minimum erreicht bzw. bei maximaler Amplitude ein Maximum.

#### 5. Auswertung

- Berechnen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  der Schallwelle in Luft bei Raumtemperatur. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Schallgeschwindigkeit in Luft und der Temperatur?
- Berechnen Sie über die Auszuglänge  $d$  der Quincke Röhre die Wellenlänge  $\lambda$  bei den unterschiedlichen Frequenzen und stellen Sie die Wellenlänge  $\lambda$  als Funktion der Frequenz dar.
- Berechnen Sie mittels der eingestellten Frequenzen und der gemessenen Wellenlänge  $\lambda$  die Schallgeschwindigkeit  $c$  und stellen Sie diese als Funktion der eingestellten Frequenzen dar.
- Diskutieren Sie die Messergebnisse und vergleichen Sie diese mit der Literatur.