

# **Physikalisches Praktikum**

MI2AB  
Prof. Ruckelshausen

## **Versuch 1.7: Stehende Wellen**

Gruppe 2, Mittwoch: Patrick Lipinski, Sebastian Schneider

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Theorie</b>	<b>Seite 1</b>
<b>2. Versuchsdurchführung</b>	<b>Seite 2</b>
2.1 Messung der Mikrofonspannung	Seite 2
2.2 Messung des Schallpegels	Seite 3
<b>3. Messergebnisse</b>	<b>Seite 3</b>
<b>4. Auswertung</b>	<b>Seite 6</b>
4.1 Schallgeschwindigkeit	Seite 6
4.2 Schallpegel	Seite 7
<b>5. Mögliche Fehlerquellen</b>	<b>Seite 8</b>

## 1. Theorie

In diesem Versuch soll die Abhängigkeit zwischen der Mikrofonspannung und dem Schallpegel innerhalb und außerhalb des Kundtschen Rohrs ermittelt werden. Im Kundtschen Rohr kann man eine stehende, ebene Schallwelle erzeugen. Zur Durchführung des Versuchs befindet sich an einem Ende des Rohrs ein Lautsprecher, der einen Ton produziert, am anderen ein Mikrofon, das an ein Digitalvoltmeter angeschlossen ist.

Folgende drei Größen beschreiben eine Schallwelle:

- *Schallgeschwindigkeit* ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle.
- *Schallschnelle* charakterisiert die Geschwindigkeit in der die bewegten Teilchen schwingen.
- *Schallwechseldruck* gibt den Druck im Trägermedium an.

Die Schallschnelle und der Schallwechseldruck sind immer um  $\pi/2$  phasenverschoben, weil der Druck an den Stellen, an denen sich die Teilchen schnell bewegen, minimal ist. So mit können die Teilchen mit hoher Geschwindigkeit dem Druck ausweichen.

Schallwellen entstehen durch Dichteschwankungen, breiten sich also als Longitudinalwellen aus. Durch eine Wand werden diese sinusförmigen Schwingungen reflektiert, überlagern sich und bilden stehende Wellen. Somit kann man auch stehende Wellen in einer geschlossenen Röhre erzeugen, wenn Frequenz und Rohrlänge im richtigen Verhältnis stehen. Genauer gesagt muss die Rohrlänge hierfür einem Vielfachen der halben Wellenlänge (Abstand zwischen zwei Knoten) entsprechen. Eine Röhre, die man dann als Kundtsches Rohr bezeichnet, wird verwendet, um die Schallausbreitung hauptsächlich in eine bestimmte Richtung zu leiten (kanalisiieren) und störende Einflüsse auszuschalten.

Laufen durch ein solches Rohr gleichzeitig mehrere Wellen, so überlagern sie sich zu einer resultierenden Welle. Um diese zu konstruieren, werden an jedem Ort zu jedem Zeitpunkt die Auslenkungen der Einzelwellen addiert.

Da es sich um ein offenes Rohr handelt, gibt es stets einen Wellenknoten am Ende. Für das offene Rohr gilt die Formel:  $I = n * \frac{\lambda}{2}$

Dabei bezeichnet I die Länge des Rohres,  $\lambda$  die Wellenlänge des Schallfeldes und n eine ganze Zahl größer Null (Anzahl der Wellenbäuche).

Die einzelnen Massenelemente schwingen nicht wie bei einer laufenden Welle gleicher Amplitude, sondern die Amplituden sind durch zwei einhüllende Sinusfunktionen moduliert. Zwischen je zwei benachbarten Knoten schwingen alle Massenelemente mit gleicher Phase.

Das Kundtsche Rohr wird heute in der Ingenieurtechnik z. B. dazu benutzt, den Schallabsorptionsgrad und den Schallreflexionsfaktor des Rohrabschlusses bei senkrechtem Schalleinfall zu bestimmen. Dies ist ein genormtes Verfahren zur Messung

der akustischen Absorptions- und Reflexionseigenschaften von in der Bauakustik verwendeten Materialstrukturen.

## 2. Versuchsdurchführung

Zunächst muss eine geeignete Frequenz in Abhängigkeit von der Raumtemperatur eingestellt werden.

Dafür haben wir einige schon bekannte Größen:

$$k = 1,4 \quad (\text{Adiabatenexponent})$$

$$R_{Luft} = 287 \frac{J}{kg/K} \quad (\text{Spezifische Gaskonstante für Luft})$$

$$T = 22^\circ C = 295K \quad (\text{Raumtemperatur})$$

$$l = 0,5m \quad (\text{Rohrlänge})$$

$$n = 1,2,3,4,\dots \quad (\text{Anzahl der Bäuche der Welle im Rohr, frei wählbar})$$

### Berechnung:

$$c_{Luft} = \sqrt{k * R_{Luft} * T} = \sqrt{1,4 * 287 \frac{J}{kg/K} * 295K} = \sqrt{1,4 * 287 \frac{m}{s^2} * 295} = 344,28 \frac{m}{s}$$

Festlegen:  $n = 10$

$$l = n * \frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2 * l}{n} = \frac{2 * 0,5m}{10} = 0,1m$$

$$f = \frac{c_{Luft}}{\lambda} = \frac{344,28 \frac{m}{s}}{0,1m} = 3442,8 \frac{1}{s} = 3442,8 Hz$$

### 2.1 Messung der Mikrofonspannung

Nach dem Einstellen der geeigneten Frequenz wird nun mit dem Stabmikrofon, beginnend bei 475mm im Rohr bis 200mm außerhalb des Rohres, alle 5mm die Mikrofonspannung in axialer Richtung gemessen.

Die Messergebnisse können der unten folgenden Tabelle oder dem Vortestat entnommen werden.



Abb. 1: Aufbau des Versuchs

## 2.2 Messung des Schallpegels

Im zweiten Versuch wird nun der Schallpegel im Rohr an den gleichen Orten wie die Mikrofonspannung gemessen. Dies wurde durch Zeitmangel geändert. Es wurden nun nur noch die ungefähren Hoch- und Tiefpunkte gemessen und die Werte für die Entfernung und den Schalldruck in der Tabelle eingetragen. Ferner wird mit dem Schallpegelmesser auch nur von 260mm im Rohr bis 200mm außerhalb des Rohres die Mikrofonspannung alle 5mm in axialer Richtung gemessen, da der Schallpegelmesser nicht lang genug ist.



Abb. 2: Schallpegelmesser

Die Messergebnisse können der unten folgenden Tabelle oder dem Vortestat entnommen werden.

## 3. Messergebnisse

Distanz zum Rohrende	Mikrofonspannung (in V)	Schallpegel (in dB) (linear)
-475	0,140	
	0,175	
	0,194	
	0,197	
	0,188	
-450	0,162	
	0,127	
	0,094	
	0,082	
	0,102	
-425	0,133	
	0,162	
	0,180	
	0,183	
	0,176	
-400	0,154	
	0,119	
	0,094	
	0,086	
	0,107	
-375	0,137	
	0,164	
	0,181	
	0,182	
	0,172	
-350	0,150	
	0,121	

Physikalisches Praktikum - MI2AB - Prof. Ruckelshausen  
 Gruppe 2, Mittwoch: Patrick Lipinski, Sebastian Schneider

	0,094	
	0,089	
	0,112	
-325	0,146	
	0,174	
	0,184	
	0,182	
	0,170	
-300	0,147	
	0,118	
	0,094	
	0,090	
	0,115	
-275	0,155	
	0,186	
	0,198	
	0,196	
	0,184	
-250	0,157	
	0,125	
	0,097	
	0,087	
	0,106	
-225	0,141	
	0,172	
	0,191	8
	0,194	
	0,183	
-200	0,159	
	0,124	
	0,093	
	0,089	0,5
	0,119	
-175	0,148	
	0,175	
	0,191	8,5
	0,196	
	0,185	
-150	0,162	
	0,128	
	0,098	
	0,082	0,2
	0,099	
-125	0,131	
	0,161	
	0,181	
	0,186	8
	0,170	
-100	0,151	
	0,123	
	0,096	

Physikalisches Praktikum - MI2AB - Prof. Ruckelshausen  
 Gruppe 2, Mittwoch: Patrick Lipinski, Sebastian Schneider

	0,086	0,5
	0,110	
-75	0,143	
	0,182	
	0,197	
	0,199	9
	0,192	
-50	0,169	
	0,134	
	0,102	
	0,082	0,2
	0,099	
-25	0,135	
	0,170	
	0,191	
	0,196	7,5
	0,192	
0	0,176	7,6
	0,154	
	0,132	
	0,114	
	0,097	
25	0,080	0
	0,066	
	0,060	
	0,054	
	0,049	
50	0,046	-6
	0,041	
	0,038	
	0,036	
	0,034	
75	0,034	
	0,032	
	0,031	
	0,030	
	0,030	
100	0,028	-10
	0,026	
	0,025	
	0,023	
	0,020	
125	0,018	
	0,013	
	0,012	
	0,011	
	0,010	
150	0,010	
	0,008	
	0,006	
	0,006	

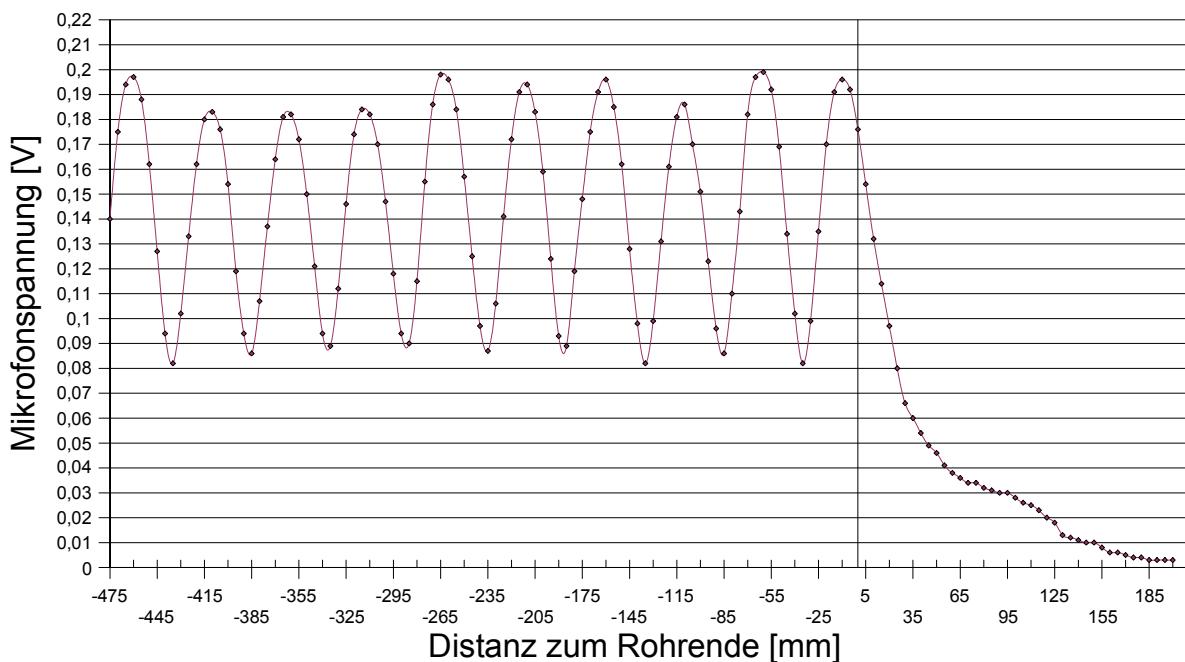
		0,005
175		0,004
		0,004
		0,003
		0,003
		0,003
200		0,003
		-15

Die Werte innerhalb des Rohres sind mit einem Minus gekennzeichnet.

## 4. Auswertung

### 4.1 Berechnung der Schallgeschwindigkeit

Spannungs-Weg-Diagramm



Am Spannung-Weg-Diagramm lässt sich z.B. von -435mm bis -334mm im Rohr eine Wellenlänge  $\lambda$  von 0,101m ablesen.

$$\lambda = -435\text{mm} - (-334\text{mm}) = -101\text{mm}$$

Die Wellenlänge umfasst drei Knoten, im Diagramm sind dies die Minima. Aus der gemessenen Wellenlänge lässt sich somit auch die Schallgeschwindigkeit berechnen.

Theoretischer Wert:

$$c_{Luft} = \sqrt{k * R_{Luft} * T} = \sqrt{1,4 * 287 \frac{J}{kg/K} * 295K} = \sqrt{1,4 * 287 \frac{m}{s^2} * 295} = 344,28 \frac{m}{s}$$

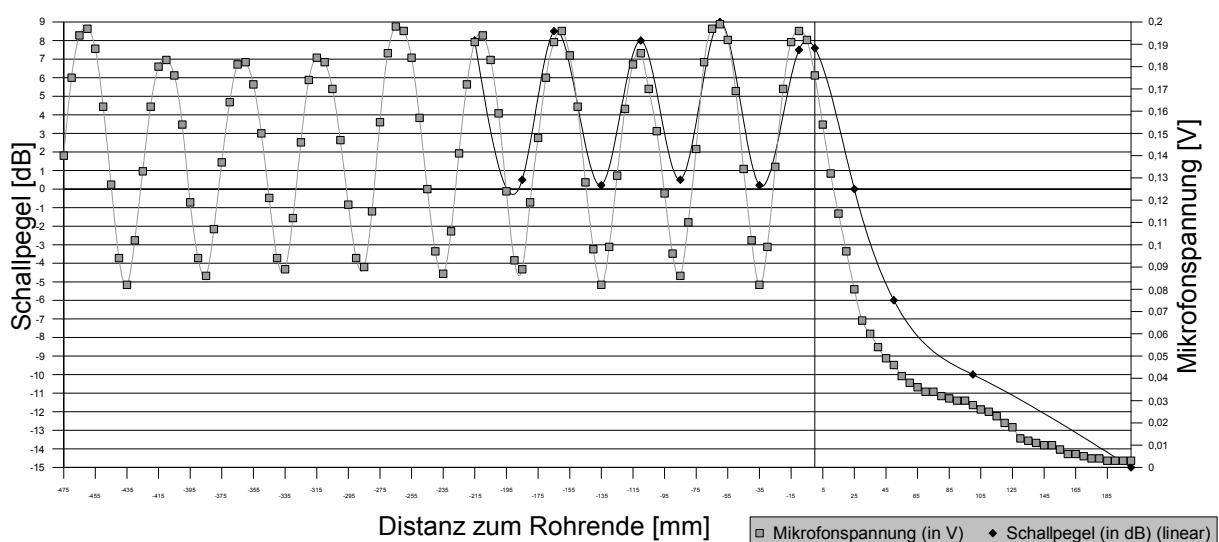
Gemessener Wert:

$$c = f * \lambda = 3442,8 \text{ Hz} * 0,101 \text{ m} = 347,72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Der Wert stimmt ziemlich genau mit dem theoretischen Wert überein. Die Differenz, welche durch Messgenauigkeit entstanden ist, ist dabei zu vernachlässigen.

#### 4.2 Zusammenhang zwischen Schallpegel und Mikrofonspannung

Spannung-Weg-/Schallpegel-Weg-Diagramm



Wie wir schon während der Versuche gemerkt haben, besteht ein Zusammenhang zwischen dem Schallpegel und der Mikrofonspannung. Aufgrund dieser Erkenntnis konnten wir auch die Messungen des Schallpegels auf die jeweiligen Minima und Maxima reduzieren. Die Knotenpunkte zwischen Wellental und Wellenberg ergeben denselben Verlauf bei beiden sinusförmigen Kurven, wobei die Kurve der Schallpegelmessung eine größere Amplitude besitzt. Dies ist auch selbstverständlich, denn das Mikrofon wandelt den auftreffenden Schall an der Membran, entsprechend dem Schallpegel, durch eine induktive Spule in Spannung um. Steigt der Schallpegel, erhöht sich auch die induzierte Spannung am Mikrofon.

Man hört einen gleichmäßigen Ton, jedoch sehen wir am Diagramm eine Sinusform. Dies lässt sich anhand der Eigenschaften einer stehenden Welle leicht erklären. Wird eine Sinusförmige Schwingung von einer Wand senkrecht reflektiert, kommt es zu einer Überlagerung von diesen zwei Wellen.

Bei Schwingungen zwischen zwei Parallel stehenden Wänden, wird ab einer halben Wellenlänge oder mehr, der reflektierte Schall phasengleich überlagert. Nur die Ausbreitungsrichtung kann unterschiedlich sein. Die stehenden Wellen setzen sich somit aus Schwingungsbäuchen in denen der Schalldruck maximal ist, und Schwingungsknoten in denen er fast Null ist zusammen. Diese markanten Punkte sind ortsfest und verändern ihre Position über die Zeit nicht.

Man kann bei beiden Kurven das Ende des Rohres erkennen, da ab diesem Punkt sowohl die Werte des Schallpegels als auch der Mikrofonspannung abnehmen und sich 0 annähern, ohne wieder zu steigen. Dies erklärt sich durch die Streuung der Welle, da sie nicht mehr durch die Rohrwand reflektiert wird.

## 5. Mögliche Fehlerquellen

- Die Messung der Mikrofonspannung und des Schallpegels kann (hauptsächlich außerhalb des Rohres) Ungenauigkeiten durch Nebengeräusche von im Raum befindlichen Personen aufweisen
- Aus technischen Gründen mussten die Mikrofonspannung und der Schallpegel in zwei unterschiedlichen Messreihen ermittelt werden. Dadurch konnten auch Abstandsabweichungen auftreten
- Vernachlässigt wurden ebenso Temperaturschwankungen
- Ebenso haben Geräte nur eine bestimmte Messgenauigkeit