

# Klangspektrum von Pfeifen

Der Klang eines Musikinstruments ist immer eine Überlagerung von Tönen verschiedener Frequenz. Der Unterschied zwischen verschiedenen Klängen liegt in der Zusammensetzung dieses Obertonspektrums.

## Ziel

- Mit Hilfe eines Computerprogramms führen Sie eine Fourieranalyse des Frequenzspektrums verschiedener Pfeifen durch.
- Sie finden den Zusammenhang zwischen Pfeifenlänge und Tonhöhe.
- Sie kennen den Unterschied zwischen den Begriffen Ton und Klang.

## Grundlagen

Luftsäulen werden in Blasinstrumenten und Orgelpfeifen zum Klingen gebracht. Dabei entstehen stehende Schallwellen im Inneren der Pfeifen. Die Luftsäule in schlanken Pfeifen lässt sich auch resonant zu Schwingungen anregen. Die Grundfrequenz ist unabhängig vom Pfeifenmaterial und unabhängig von der Querschnittsfläche. An einem offenen Ende befindet sich ein Schwingungsbauch der Luftbewegung, an einem geschlossenen Ende ein Schwingungsknoten. Damit kann man die Tonspektren herleiten.

### Stehende Wellen in (beidseits) offenen Pfeifen

Für Pfeifen, die an beiden Enden offen sind, gilt:

$$f_n = \frac{c}{\lambda_n} = n \cdot f_1 = n \cdot \frac{c}{2 \cdot L} \tag{1}$$

mit  $c$  die Wellengeschwindigkeit,  $L$  die Pfeifenlänge,  $f_i$  die Frequenz, und  $n$  ein natürliches Zahl.  $n = 1$  entspricht den Grundton,  $n = 2$  den ersten Oberton, usw.

Für offene Pfeifen ergibt sich ein Frequenzspektrum, in dem den Grundton und alle ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz auftreten. Für die Frequenz des Grundtons ergibt sich  $f_1 = \frac{c}{2 \cdot L}$ .

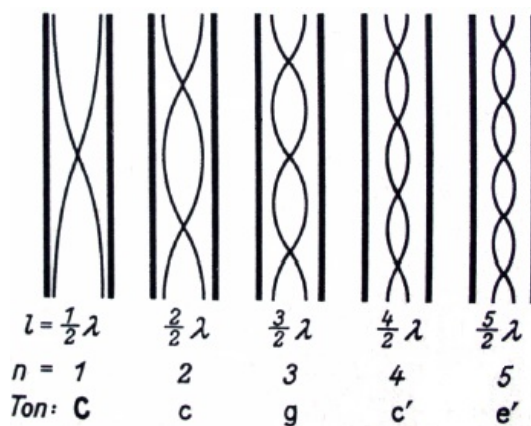


Abbildung 1: Lage von Schwingungsknoten und -bäuchen in offenen Pfeifen (Länge  $L$ ).

### Stehende Wellen in gedeckten Pfeifen (einseitig zu)

Eine gedeckte Pfeife ist an einem Ende offen und am anderen Ende geschlossen. Am offenen Ende tritt ein Schwingungsbauch auf, beim geschlossenen Ende liegt ein Schwingungsknoten. Ein Viertel der Wellenlänge der Grundschwingung entspricht der Pfeifenlänge, sie ist also doppelt so gross wie in einer gleich langen offenen Pfeife. Die

gedeckte Pfeife klingt mit einem Ton, dessen Frequenz halb so gross ist wie der Grundton einer gleich langen offenen Pfeife. Eine gedeckte Pfeife klingt somit eine Oktave tiefer als eine offene Pfeife.

$$f_n = (2n - 1) \cdot f_1 = (2n - 1) \cdot \frac{c}{4 \cdot L} \quad (2)$$

mit  $c$  die Wellengeschwindigkeit,  $L$  die Pfeifenlänge,  $f_n$  die Frequenz, und  $n$  ein natürliches Zahl.  $n = 1$  entspricht den Grundton,  $n = 2$  den ersten Oberton, usw.

Das Frequenzspektrum einer gedeckten Pfeife enthält den Grundton sowie sämtliche ungeraden Harmonischen:  $f_1$ ,  $f_2 = 3 \cdot f_1$ ,  $f_3 = 5 \cdot f_1$ , usw.

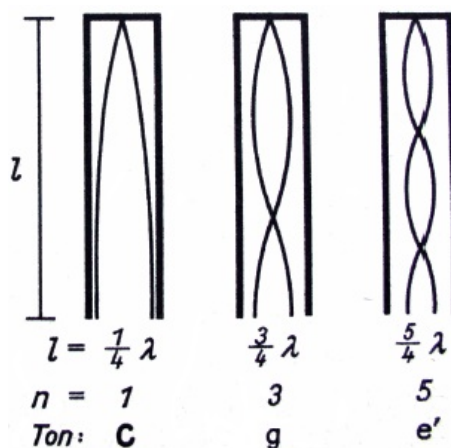


Abbildung 2: Lage von Schwingungsknoten und -bäuchen in einseitig gedackten Pfeifen. Die geradzahigen Obertöne werden ausgelöscht.

## Material

Computer<sup>1</sup> mit Mikrophon und Programm (spectrumanalyser.jar) zur Fourieranalyse, verschieden lange Röhrrchen, diverse Pfeifen, Thermometer.

## Durchführung

Sie sollen das Frequenzspektrum von gedackte Pfeifen (auf einer Seite offen) und offene Pfeifen (auf beiden Seiten offen) untersuchen.

- Halten Sie die momentane Zimmertemperatur im Protokoll fest (wird für die Berechnung der Schallgeschwindigkeit benötigt).
- Verwenden Sie die Röhrrchen als einseitig geschlossene (gedackte) Pfeife, indem Sie das eine Ende mit einem Finger verschliessen und das andere Ende wie bei einer Panflöte anblasen.  
Hinweis: Nicht zu stark blasen (überblasen), sonst wird ein Oberton dominant. Das Messgerät soll auch nicht in die Sättigung getrieben werden; das Signal darf nicht oben oder unten "abgeschnitten" sein.
- Bestimmen Sie für jedes Röhrrchen (mindestens 5 verschiedene) aus dem Frequenzspektrum die Frequenz des Grundtons (tiefste Frequenz) und halten Sie diese zusammen mit der Länge des Röhrrchens in einer Tabelle fest (inkl. Messfehler).
- Lesen Sie aus dem Spektrum eines langen Röhrrchens die Frequenzen aller erkennbaren Obertöne ab. Übertragen Sie das Spektrum ins Protokoll (abzeichnen).
- Wiederholen Sie d) für eine beidseitig offene Pfeife. Für beidseitig offene Pfeife dürfen Sie Pressluft verwenden.

<sup>1</sup>Login: Workstation only checked, User=nb-user, kein Password

## Auswertung der Messungen

- 1) Stellen Sie die Schwingungsdauer als Funktion der Rohrlänge dar. Die Schwingungsdauer ist der Kehrwert der Grundfrequenz. Warum sollten die Messwerte auf einer Geraden liegen? Können Sie den erwarteten Zusammenhang zwischen Pfeifenlänge und Grundfrequenz im Rahmen der Messgenauigkeit bestätigen?  
Zeichnen Sie eine passende Gerade zu den Messwerten und bestimmen Sie die Steigung. Welche Bedeutung hat die Steigung?
- 2) Bestimmen Sie aus Ihren Messdaten die Schallgeschwindigkeit in Luft. Berechnen Sie zum Vergleich die Schallgeschwindigkeit für die gemessene Zimmertemperatur und vergleichen Sie die beiden Werte miteinander.
- 3) Bei einer dünnen Pfeife sollten die Frequenzen der Obertöne ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sein. Stellen Sie zur Kontrolle für die gedackte und die offene Pfeife die Frequenzverhältnisse der Obertonfrequenzen zur Grundfrequenz als Funktion der natürlichen Zahlen graphisch dar (inklusive Fehlerbalken). Der Grundton hat Nummer Eins. Überspringen Sie dabei fehlende Obertöne. Bestimmen Sie die Steigung der Geraden. Welche Bedeutung hat sie? Geben Sie für beide Fälle eine Formel an, mit der man die Frequenzen der Obertöne berechnen kann.

## Literatur zum Thema Akustik

- [http://de.wikipedia.org/wiki/Stehende\\_Welle](http://de.wikipedia.org/wiki/Stehende_Welle)
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Orgelpfeife>

## Bedingungen

Falls Sie einen Bericht schreiben, geben Sie diesen mit der vollständigen Auswertung ab. Für eine Auswertung ohne Bericht bearbeiten Sie mindestens die Aufgaben 1 und 2.

Abgabetermin ist: