

# Stehende Wellen

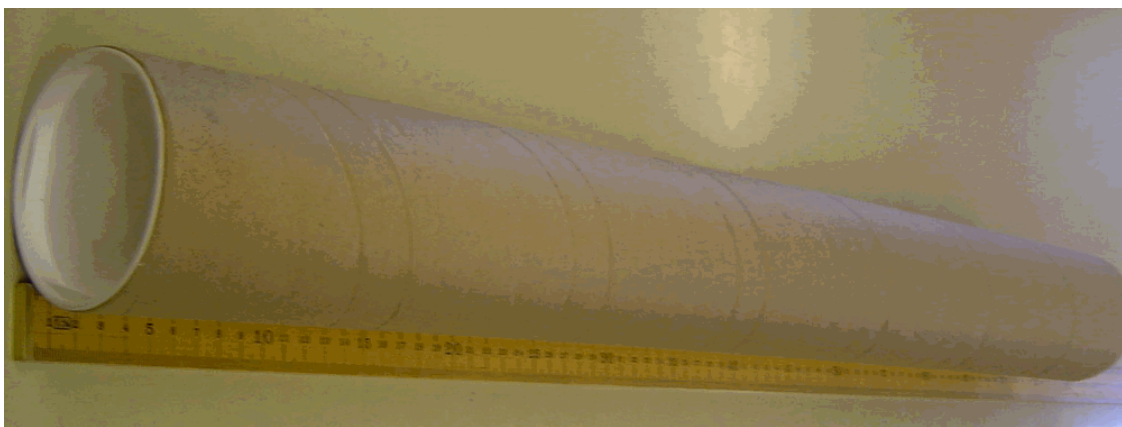


## Zielsetzung:

In diesem Experiment ist es unser Ziel, die Schallwellen zu untersuchen, die entstehen, wenn der Deckel einer Pappröhre mit dem Finger angeschlagen wird. Das Geräusch wird mit einem Mikrofon aufgenommen, das mit einem CBL oder LabPro verbunden ist. Die gesammelten Daten werden im Grafikrechner gespeichert und können mit dem PC oder Rechner analysiert werden.

## Materialien

Pappröhre, die an einem Ende offen und am anderen mit einem Plastikdeckel verschlossen ist. Vernier Mikrofon-Sonde, CBL oder LabPro und TI-83.



## Vorgehen

Bevor Sie das Experiment aufbauen, stellen Sie sicher, dass sie das Programm MIC in Ihrem TI-83 Rechner haben.

Verbinden Sie die Mikrofone mit dem CBL (CH1) und den CBL mit dem Rechner.

Arrangieren Sie Ihren Versuchsaufbau so, dass das offene Ende der Röhre dicht am Mikrofon und darauf ausgerichtet ist.

Starten Sie das Programm MIC. Schlagen Sie mit dem Zeigefinger auf den Deckel der Röhre. Das Programm startet die Datenerfassung, sobald ein Signal ankommt.

Wenn das Experiment beendet ist, erscheint auf dem Bildschirm ein Graph. Die Y-Achse zeigt die Geräuschintensität der Signalwerte in Volt. Die X-Achse die Zeit in Sekunden. Die Spannungen werden in Liste L2 und die Zeitdaten in Liste L1 gespeichert.

Wenn es Ihnen nicht möglich ist, das Experiment selbst durchzuführen, können Sie das Experiment anhand der für Sie bereits gespeicherten Dateien untersuchen und analysieren. Auf der Website finden Sie einen kurzen Video darüber.

## Stehende Wellen - Analyse mit dem TI83

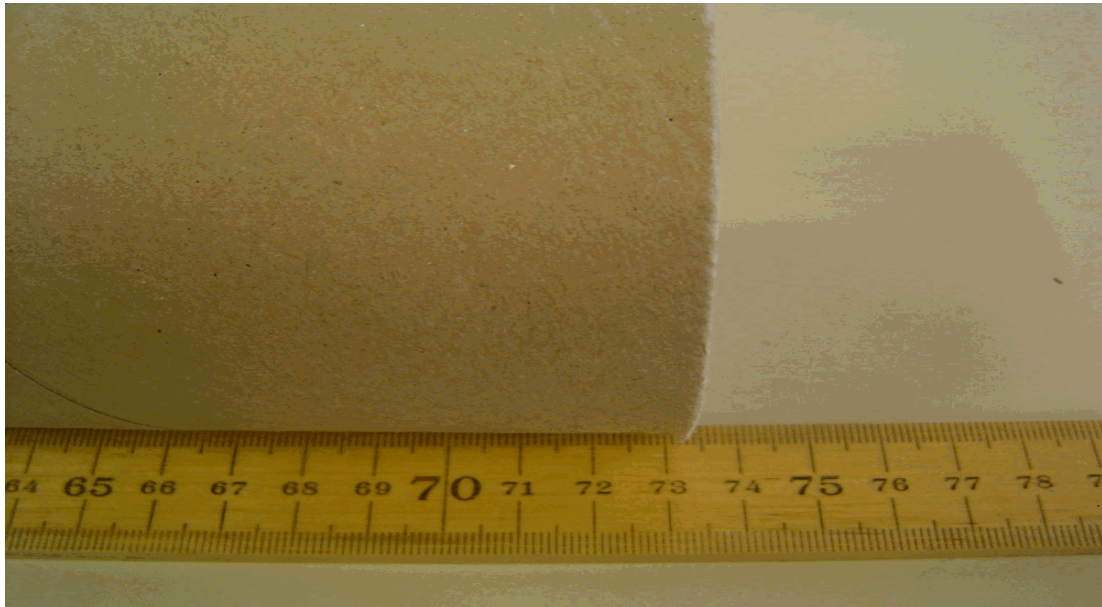
Wenn Sie Ihre eigenen experimentellen Daten analysieren, lassen sie den folgenden Abschnitt außer Acht.

Laden Sie die Datei TUBE auf Ihren Rechner.

Zeitdaten (Einheit s) sind in Liste L1 und Spannungsdaten (Geräuschsintensitätsdaten) in Liste L2.

Zeichnen Sie das Spannungs-Zeit-Diagramm .

Wenn Sie die Theorie für stehende Wellen in einer halb geöffneten Röhre beweisen wollen, müssen Sie die Länge der Röhre in diesem Experiment kennen. Die Länge können Sie der Abbildung entnehmen.



Untersuchen Sie das Diagramm. Sieht es aus, wie erwartet? Versuchen Sie den Verlauf des Graphen insgesamt zu erklären.

Identifizieren Sie Maxima und benutzen Sie sie, um die Dauer der Grundswingungen in der Röhre zu berechnen.

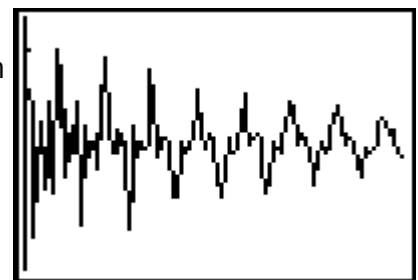
Berechnen Sie die Wellenlänge des Grundtons. Benutzen Sie diesen Wert und die Länge der Röhre, um einen Wert für die Schallgeschwindigkeit zu ermitteln.

Stimmt dieser Wert mit dem theoretischen Wert überein, d.h. beweist das Experiment die Theorie für stehende Wellen?

Wenn Sie Ihre Arbeit beendet haben können Sie Ihre Schlussfolgerungen mit der vollständigen (Muster-)Analyse vergleichen.

## Stehende Wellen - vollständige Analyse mit dem TI83

Wenn Sie das Experiment nicht gemacht sondern die herunter geladenen Daten benutzt haben, sehen Sie folgendes Diagramm auf Ihrem Rechner-Display. Mit Ihren eigenen Daten können kleine Unterschiede auftreten.



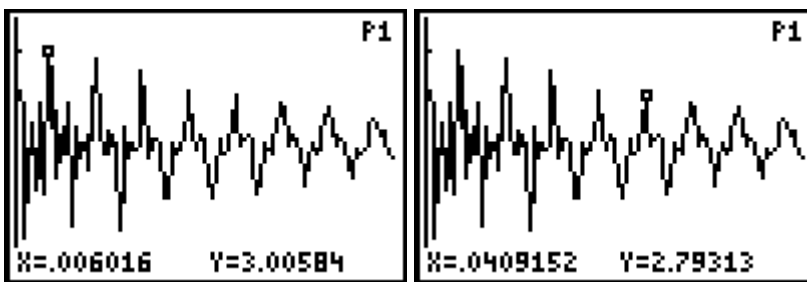
Wenn der Zeigefinger auf den Deckel schlägt, startet eine fortlaufende Druckwelle von diesem Ende der Röhre zu ihrer Öffnung. Dort wird sie teilweise in Richtung des Deckels reflektiert. Es wird eine Überlagerung

der ausgehenden und reflektierten Wellen geben, die zu einer stehenden Welle in der Luftsäule der Röhre führt. Die Amplitude wird gedämpft. Das ist das Resultat des Energieverlustes der Luftsäule, aufgrund des Teils der Schallwelle, der bei jeder Reflexion gegen den Deckel oder die Öffnung absorbiert wird.

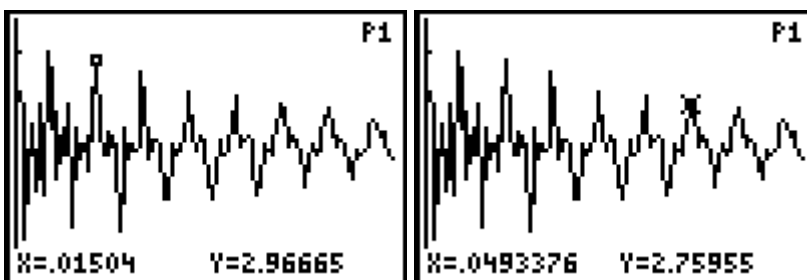
Die Überlagerung der eingehenden und reflektierten Wellen ergibt eine stehende Welle. Die stehende Welle wird einen Knoten an dem einen Ende und einen Gegenknoten am anderen Ende der Säule haben. Das ist die erste harmonische oder Grundschiwingung der Luftsäule in der Röhre. Diese Art der Schwingung hat die längste Wellenlänge. Andere Arten sind möglich, z.B. mit mehreren Knoten in der Luftsäule, aber dabei sind nur bestimmte Frequenzen möglich. Diese Frequenzen sind hauptsächlich von der Länge der Luftsäule, d.h. der Länge der Röhre, abhängig. Sie können die Störungen von anderen Arten sehen, insbesondere von der zweiten Oberwelle. Das ist das Resultat des "Nicht-Sinus"-Verhalten des Signals. Teilweise überschneiden sich die Oberwellen in der Kurve.

Wenn wir das prinzipielle Maxima benutzen, das zu der ersten Oberwelle gehört, können wir die Periode dieser Schwingung finden. Bewegen Sie den Cursor entlang des Graphen, um die X-Koordinaten für das Maxima zu finden.

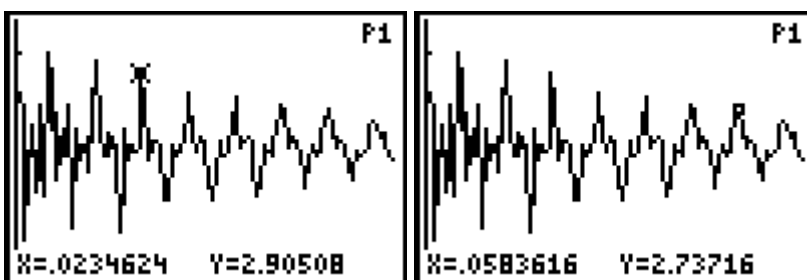
Wir haben zwei Punkte mit vier verschiedenen Perioden ausgewählt, beginnend mit dem Paar 0,0060 s und 0,0409 s.



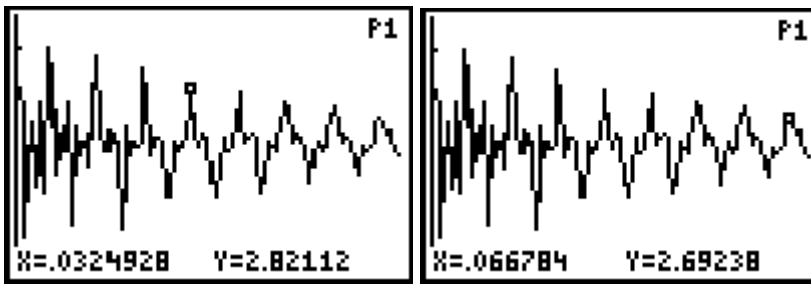
Dieser Vorgang wird entlang des Graphen mit 0,0150 s und 0,0493 s wiederholt,



dann 0,0235 s und 0,0584 s



und schließlich 0,325 s und 0,0668 s.



Diese Werte geben uns die Zeit für vier Perioden von jeweils 0,0349 s, 0,0343 s, 0,0349 s und 0,0343 s. Der Durchschnitt dieser Werte ist 0,0346 s. Damit finden wir die Periodendauer  $T = 0,0346/4 \text{ s} = 0,00865 \text{ s}$ .

Die Frequenz für die ersten Oberwellen beträgt  $f = 1/T = 116 \text{ Hz}$ .

Aus dem Foto der Röhre erhalten wir den Wert der Luftsäule: 0,732 m.

Die Länge der Welle kann aus der Länge der Luftsäule der Röhre berechnet werden. Die stehende Welle hat einen Knoten an dem einen und einen Gegenknoten an dem anderen Ende der Luftsäule. Daher entspricht die Länge der Röhre  $1/4$  der Wellenlänge, oder, in anderen Worten, die Wellenlänge beträgt das Vierfache der Röhrenlänge.  $\lambda = 4 \cdot 0,732 \text{ m} = 2,93 \text{ m}$ .

Damit erhalten wir die Geschwindigkeit der Welle  $v = f \cdot \lambda = 116 \cdot 2,93 \text{ m/s} = 340 \text{ m/s}$

Dieser Wert liegt in guter Übereinstimmung mit dem theoretischen Wert des Schalls bei Raumtemperatur. Es beweist unsere Erklärung der stehenden Wellen in in der Luftsäule der Röhre.

## Stehende Wellen- Analyse mit Excel

Öffnen Sie die Datei `standing_wave.xls`. aus Excel. Sie finden die Zeitdaten in Spalte A. Die Spannung und Schallwellen-Intensitätsdaten sind in Spalte B.

Zeichnen Sie den Spannungs-Zeit-Graphen. Wenn Sie Hilfe benötigen, nutzen Sie den Diagrammassistenten in Excel.

Die Länge der Röhre muss bekannt sein, wenn Sie die Theorie für stehende Wellen in einer halb geöffneten Röhre, mit diesem Experiment beweisen wollen. Die Länge können Sie dem Bild entnehmen.



Untersuchen Sie das Diagramm. Sieht es aus, wie erwartet? Versuchen Sie den Verlauf des Graphen insgesamt zu erklären.

Identifizieren Sie Maxima. Damit können Sie die Dauer der Grundschwungung in der Röhre berechnen.

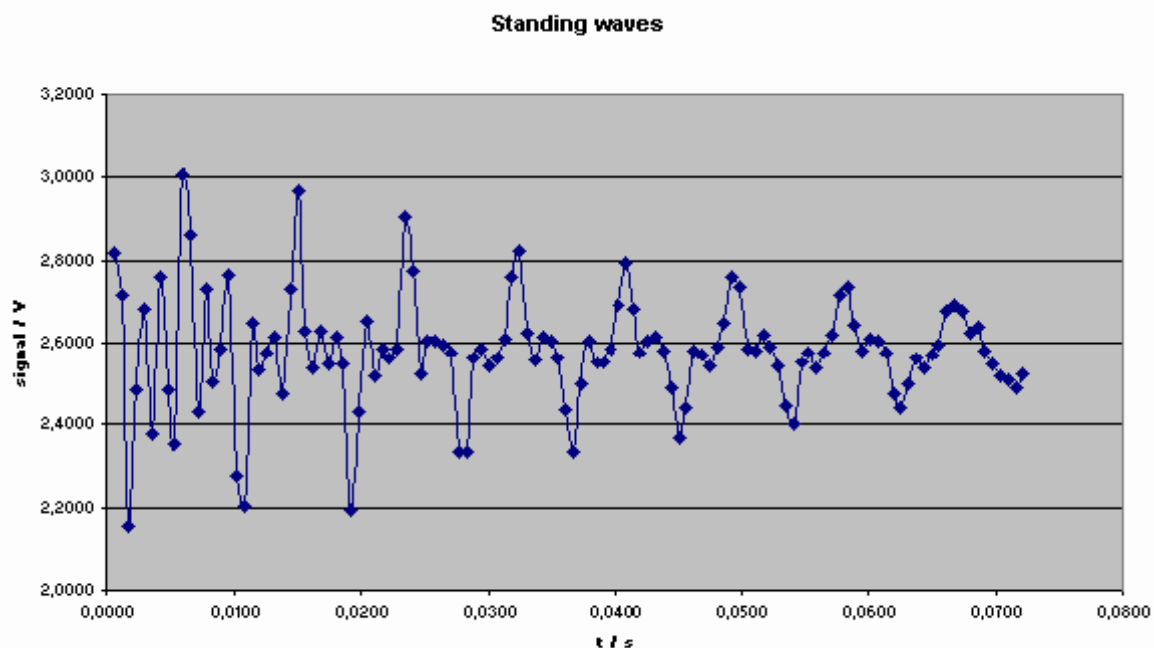
Berechnen Sie die Wellenlänge der Grundschwungung. Benutzen Sie diesen Wert und die Länge der Röhre, um einen Wert für die Schallgeschwindigkeit zu ermitteln.

Stimmt dieser Wert mit dem theoretischen Wert überein, d.h. beweist das Experiment die Theorie für stehende Wellen?

Wenn Sie Ihre Arbeit beendet haben können Sie Ihre Schlussfolgerungen mit der vollständigen (Muster-)Analyse vergleichen.

## Stehende Wellen - vollständige Analyse mit Excel

Zeichnen Sie die Schallintensität (Volt) als eine Funktion der Zeit, indem Sie den Diagramm-Assistenten benutzen. Wenn Sie das mit den heruntergeladenen Daten gemacht haben, erhalten Sie die folgende Grafik. Die Skala der X-Achse ist angepasst worden, um den Graphen besser darstellen zu können.



Wenn der Zeigefinger auf den Deckel schlägt, startet eine fortschreitende Druckwelle von diesem Ende der Röhre zu ihrer Öffnung. Dort wird sie teilweise in Richtung des Deckels reflektiert. Es wird eine Überlagerung der ausgehenden und reflektierten Wellen geben, die zu einer stehenden Welle in der Luftsäule der Röhre werden. Die Amplitude wird gedämpft. Das ist das Resultat des Energieverlustes der Luftsäule, aufgrund des Teils der Schallwelle, der bei jeder Reflexion gegen den Deckel und die Öffnung absorbiert wird.

Die Überlagerung der eingehenden und reflektierten Wellen ergibt eine stehende Welle. Die stehende Welle wird einen Knoten an dem einen Ende und einen Gegenknoten am anderen

Ende der Säule haben. Das ist die erste harmonische oder grundlegende Schwingung der Luftsäule in der Röhre. Diese Art der Schwingung hat die längste Wellenlänge. Andere Arten sind möglich, z.B. mit mehreren Knoten in der Luftsäule, aber dabei sind nur bestimmte Frequenzen möglich. Diese Frequenzen sind hauptsächlich von der Länge der Luftsäule, d.h. der Länge der Röhre, abhängig. Sie können die Störungen der Oberwellen sehen, insbesondere von der zweiten Oberwelle. Das ist das Resultat des "Nicht-Sinus"-Verhalten des Signals. Es gibt eine Überschneidung durch höhere Oberwellen in der Kurve.

Wenn wir das prinzipielle Maxima benutzen, das zu der ersten Oberwelle gehört, können wir die Periode dieser Schwingung finden. Bewegen Sie den Cursor entlang des Graphen, um die X-Koordinaten für das Maxima zu finden.

Wir haben zwei Punkte mit vier verschiedenen Perioden ausgewählt, beginnend mit dem Paar 0,0060 s und 0,0409 s.

Das haben wir entlang des Graphen mit 0,0150 s und 0,0493 s, 0,0235 s und 0,0584 s und schließlich 0,325 s und 0,0668 s wiederholt. Mit diesen Werten erhalten wir die Zeit für vier Perioden von jeweils 0,0349 s, 0,0343 s, 0,0349 s und 0,0343 s. Das Mittel dieser Werte ist 0,0346 s. Die Periodendauer ist  $T = 0,0346/4 \text{ s} = 0,00865 \text{ s}$ .

Die Frequenz für die ersten Oberwellen ist  $f = 1/T = 116 \text{ Hz}$ .

Aus dem Foto der Röhre erhalten wir den Wert der Luftsäule: 0,732 m.

Die Länge der Welle kann aus der Länge der Luftsäule der Röhre berechnet werden. Die stehende Welle hat einen Knoten an dem einen und einen Gegenknoten an dem anderen Ende der Luftsäule. Daher entspricht die Länge der Röhre 1/4 der Wellenlänge, oder, in anderen Worten, die Wellenlänge beträgt das Vierfache der Röhrenlänge.  $\lambda = 4 \cdot 0,732 \text{ m} = 2,93 \text{ m}$ .

Damit erhalten wir die Geschwindigkeit der Welle  $v = f \cdot \lambda = 116 \cdot 2,93 \text{ m/s} = 340 \text{ m/s}$

Dieser Wert liegt in guter Übereinstimmung mit dem theoretischen Wert des Schalls bei Raumtemperatur. Es beweist unsere Erklärung der stehenden Wellen in in der Luftsäule der Röhre.