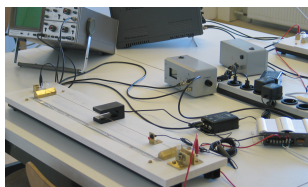


Stehende Wellen, Klanganalyse Experimente mit Saite und akustischem Rohr

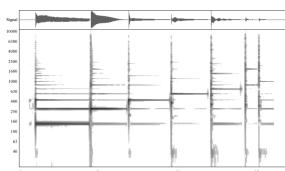
Schwingende Saite

Fließt durch eine Saite aus Metall ein Wechselstrom, so läßt sie sich zum Schwingen anregen, wenn sie sich in einem zu ihr senkrechten Magnetfeld befindet. Der U-förmige Magnet ist verschiebbar und dient nicht nur zur Anregung sondern auch als Sonde für die Form von stehenden Wellen. Denn die Schwingung einer Oberwelle läßt sich gezielt unterdrücken, wenn der Magnet auf einer Knotenposition steht. Die Beobachtung der Schwingung ist bei der Grund- und der ersten Oberschwingung noch mit dem Auge möglich. Für die höheren Oberschwingungen dient ein Mikrophon und ein Zweistrahl-Oszillograf. Der zweite Kanal ist direkt mit dem Generator verbunden, so dass Amplitude und Phase der erzwungenen Schwingung zu sehen sind. Mit diesem Werkzeug lassen sich die lokalen Amplituden gut bis zur zehnten Oberwelle abtasten und auch Phasenwechsel an den Knotenpunkten detektieren.

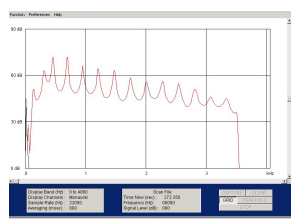
Als Ergänzung dazu ist in Verbindung mit einem PC mit Soundkarte das Frequenzspektrum einer gezupften Saite entstanden.



Schwingende Saite mit Wechselstrom erregt, in der Mitte der verschiebbare U-förmige Permanentmagnet zur Erzeugung der Lorentzkraft. Zum Antrieb dient ein NF-Generator, ein Audio-Verstärker für Kraftfahrzeuge und eine Auto-Glühhirne als Vorwiderstand und zur Stromanzeige. Das kleine Mikrophon am rechten Ende der Saite hört die Schwingungen einer kleinen Klebefolie auf der Saite.



Beruhigt man eine Knotenposition kurzzeitig, so lassen sie die ersten Obertöne einer Saite selektiv durch Zupfen anregen: Frequenzachse nach oben, die Lautstärke ist als Schwärzung dargestellt, von links nach rechts: zeitlich nacheinander folgen Grundton und erster bis sechster Oberton. Gut zu erkennen ist, dass die Saite nie mit nur einer einzelnen Frequenz schwingt. (R. Horne, Spectrogram)



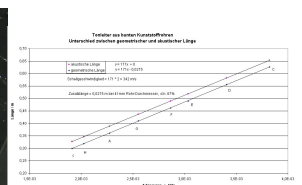
Die nur wenig aufwendigere Bestimmung der akustischen Impedanz zeigt die Aufeinanderfolge der Obertöne in einem bunten Kunststoffrohr. Hierzu wurden bei akustisch sehr loser Ankopplung die Maximalwerte des Mikrophonsignals aufgezeichnet, während die Frequenz in einer Rampe hochgefahren wurde. (R. Horne, Spectrogram)

Akustisches Rohr

Einfache zylindrische Rohre aus Pappe, Kunststoff oder Metall eignen sich hervorragend für Experimente mit stehenden Wellen und Obertönen. Es müssen nicht unbedingt die bunten „musiktauglichen“ sein.

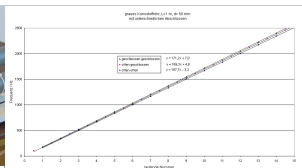
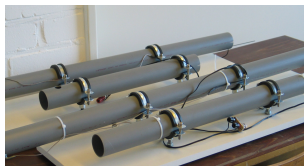
Die Töne lassen sich durch Klopfen oder auch durch einen kleinen Lautsprecher (Ohrhörer) anregen und mit einem Mikrophon an einem Stab im Innenraum abtasten.

Es sind sowohl symmetrische Anordnungen (offen-offen oder geschlossen-geschlossen) als auch unsymmetrische möglich. Bekannterweise hat eine gedackte Orgelpfeife die halbe Frequenz von der einer offenen. Wenn es jedoch um die exakte Intonation geht, dann spielt der Unterschied zwischen akustischer und geometrischer Länge eine starke Rolle. Die beiden roten Rohre haben musikalisch den Abstand einer Oktave (Frequenz 1 : 2), deren Längen sind jedoch im Verhältnis (1 : 2,09)



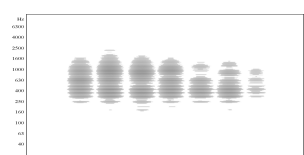
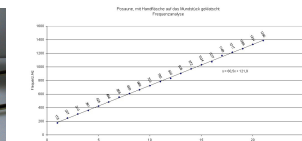
Diese Rohre sind im Musikgeschäft erhältlich. Trägt man die geometrische Länge gegen die reziproke Frequenz auf, so ergibt sich eine Gerade, die zu der rechnerisch erwarteten nach unten verschoben ist.

Der Unterschied ist 2,7 cm, das sind 2/3 des Durchmessers. Daraus folgt, dass die Knoten am Rohrende etwas ausserhalb des Rohres liegen. Aus der Steigung folgt die Schallgeschwindigkeit mit 342 m/s.



Auch für diese Sanitäröbekte gilt, dass die Knoten bei offenen Enden etwas außerhalb der Rohre zu finden sind. Für drei Abschluß-Varianten (offen, geschlossen) sind die Frequenzen der Grund- und Obertonreihe aufgetragen. Wie auch die Steigungen (167,7; 169,3 und 171,2 Hz, Grundton) zeigen, hat die Anzahl der offe-

nen Enden einen direkten Einfluß auf die Intonation. Damit die Geraden zusammenpassen, sind bei den beiden symmetrischen Varianten die Töne ganzzahlig und bei der gemischten halbzahlzig beziffert. Die Frequenz der letzteren ist natürlich etwa die Hälfte der anderen.



Zur Frequenzbestimmung dient das Programm Spectrogram von R. Horne, wie hier bei der Posaune, die durch Klatschen mit der flachen Hand auf das Mundstück angeregt wurde. Die Frequenzen lassen sich mit dem Cursor auf dem Bildschirm ablesen. Der tiefste (erlaubte) Ton hat nach der Steigung der Geraden die Frequenz von 60 Hz. Profis schaffen aber auch noch einen physikalisch verbotenen mit etwa 32 Hz.