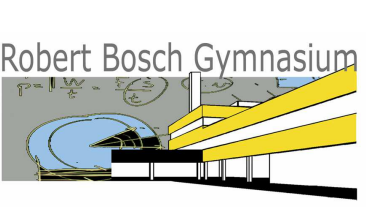


	<p style="text-align: center;"><i>Robert-Bosch-Gymnasium</i></p> <p style="text-align: center;">Physik (4-stündig), NGO</p>	
<p>Praktikum Versuch Nr.: 2.5</p>	<p style="text-align: center;">Block 2 / Schwingungen und Wellen, Doppler-Effekt</p>	<p style="text-align: right;">21.4.2014</p>

Ermittlung eines Zusammenhanges zwischen Geschwindigkeit und Frequenzänderung beim Doppler-Effekt; Bestimmung der Schallgeschwindigkeit

1. Theoretische Grundlagen

Aus dem Alltag ist bekannt, dass die Tonhöhe einer sich bewegenden Schallquelle sich für einen ruhenden Beobachter (scheinbar) verändert: bei der Vorbeifahrt eines Motorrads oder PKWs oder eines Einsatzfahrzeuges mit Martinshorn kann man dies besonders leicht erkennen. Dabei ist die Tonhöhe (Frequenz) höher, wenn sich die Quelle auf den Beobachter zubewegt und sie sinkt, wenn sich die Quelle wegbewegt.

Für die vom ruhenden Beobachter registrierte Frequenz bei auf diesen **zufahrender** Quelle gilt:

$$f_z = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c}} \quad \text{dabei ist } f_0 \text{ die Frequenz der ruhenden Schallquelle, } v \text{ die Relativgeschwindigkeit von Quelle und Beobachter und } c \text{ die Schallgeschwindigkeit (in Luft)}$$

Für die vom ruhenden Beobachter registrierte Frequenz bei von diesem **wegfahrender** Quelle gilt:

$$f_w = \frac{f_0}{1 + \frac{v}{c}}$$

Analysiert man diese Terme, so erkennt man, dass $f_z > f_0$ und $f_w < f_0$ ist.

Man kann die Frequenzdifferenz errechnen zwischen der Frequenz der zu- und der wegfahrenden Quelle; das entspricht dann dem wahrgenommenen Frequenzsprung bei Vorbeifahrt:

$$\Delta f = f_z - f_w = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c}} - \frac{f_0}{1 + \frac{v}{c}} = f \left\{ \frac{1}{1 - \frac{v}{c}} - \frac{1}{1 + \frac{v}{c}} \right\} = f \cdot \frac{1 + \frac{v}{c} - (1 - \frac{v}{c})}{(1 - \frac{v}{c})(1 + \frac{v}{c})} = f \cdot \frac{2\frac{v}{c}}{1 - (\frac{v}{c})^2} \approx f \cdot 2\frac{v}{c}$$

Begründung für die Näherung: da $v \ll c$ bzw. $v \ll c$, kann man annehmen, dass $(\frac{v}{c})^2$ gegenüber 1 vernachlässigt werden kann.

In Näherung ist also die Frequenzänderung zwischen Hin- und Wegfahrt einerseits zur Geschwindigkeit der Quelle proportional, zu c andererseits umgekehrt proportional.

Oder: Aus dieser Gleichung lässt sich bei bekannter Frequenzdifferenz und bekannter Frequenz der ruhenden Quelle die Schallgeschwindigkeit in Luft ermitteln.

Bei diesem Experiment sollen die genannten Proportionalitäten bestätigt und die Schallgeschwindigkeit ermittelt werden.

	<p><i>Robert-Bosch-Gymnasium</i></p> <p>Physik (4-stündig), NGO</p>	<p>Robert Bosch Gymnasium</p> 
<p>Praktikum Versuch Nr.: 2.5</p>	<p>Block 2 / Schwingungen und Wellen, Doppler-Effekt</p>	<p>21.4.2014</p>

2. Messverfahren, Durchführung

Da die Frequenzänderung zur Frequenz der Quelle proportional ist, kann man mit wachsender Frequenz die Frequenzänderung immer besser wahrnehmen bzw. messen. Bei allen Versuchen ist die gefahrene Geschwindigkeit der Quell gegenüber c sehr klein. Der Wert von v trägt also nicht zu einer messbaren Frequenzdifferenz bei; dieser Beitrag muss allein von der Frequenz kommen.

Daher benutzen wir in unserem Versuch Ultraschall. Ein piezoelektrischer Schallwandler (siehe Bild rechts) dient einerseits als Ultraschall-„Lautsprecher“, andererseits auch als Ultraschall-„Mikrofon“.

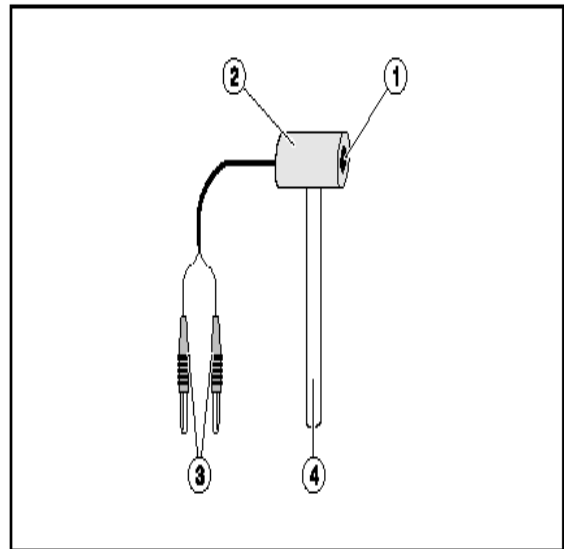
Das Problem bei der Speisung der Ultraschallquelle ist die zu geringe Frequenz-Konstanz herkömmlicher Funktionsgeneratoren. Durch Erwärmung und sonstige Schwankungen in den Betriebsdaten „läuft“ die Frequenz bei analogen Geräten „weg“.


Im vorliegenden Experiment wird daher ein Funktionsgenerator mit digitaler Frequenzsynthese verwendet, dessen Ausgangsfrequenz hertz-genau genau eingestellt werden kann.

Die piezoelektrischen Schallwandler haben eine Resonanzfrequenz (sie liegt bei ca. 37 kHz). Um möglichst große Amplituden der abgestrahlten oder registrierten Signale zu erhalten, sollten sie mit dieser Resonanzfrequenz betrieben werden. Die Amplitude der angelegten Wechselspannung darf 15 V nicht überschreiten (mit Oszilloskop ggf. kontrollieren!). Es kann mit sinus- und (bevorzugt) mit rechteckiger Signalform gearbeitet werden. Zum Anschließen des Ultraschall-Lautsprechers wird der Leistungsausgang des Funktionsgenerators benutzt.

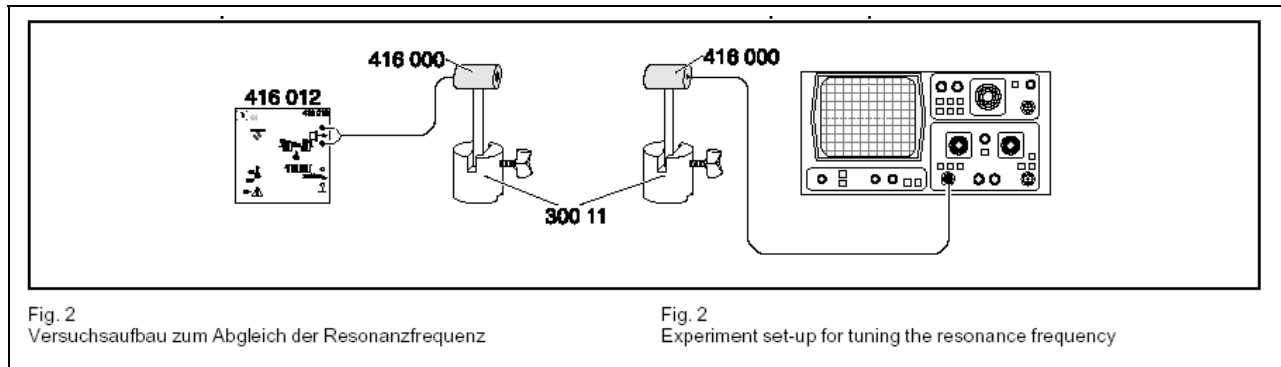
Der Ultraschallwandler, der als Mikrofon arbeitet, wird auf Stativmaterial fest arretiert. In seiner Umgebung sollten keine schallreflektierenden Flächen stehen. Die Ultraschallquelle wird auf einem Phywe-Fahrwagen mit Hilfe eines Tonnenfußes aufgestellt. Das Verbindungskabel ist genügend lang zu wählen, um die uneingeschränkte Bewegung des Fahrzeuges zu garantieren.

Das vom Mikrofon empfangene Signal wird einerseits einem hochauflösenden Frequenzzähler zugeführt, andererseits (zur Amplitudenkontrolle) einem Oszilloskop.



	<p style="text-align: center;"><i>Robert-Bosch-Gymnasium</i></p> <p style="text-align: center;">Physik (4-stündig), NGO</p>	
<p>Praktikum Versuch Nr.: 2.5</p>	<p style="text-align: center;">Block 2 / Schwingungen und Wellen, Doppler-Effekt</p>	<p style="text-align: right;">21.4.2014</p>

Unten: aus der Bedienungsanleitung des Herstellers:



3. Versuchsaufbau

Der Leistungs-Ausgang des Funktionsgenerators wird mit dem Ultraschall-Lautsprecher (Ultraschallwandler) verbunden, der auf dem Phywegagen platziert wird.


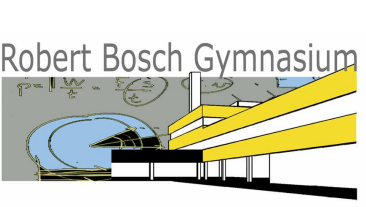
Am Eingang des Frequenzzählers wird das Signalkabel vom Ultraschallmikrofon angeschlossen; über eine BNC-Verzweigung geht ein weiteres (abgeschirmtes) Kabel zum Eingang des Oszilloskops.

Die Geschwindigkeit des Phywe-Fahrwagens ist sehr konstant; der Antriebsmotor läuft mit konstanter Drehzahl; die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit wird über eine mechanische Untersetzung eingestellt. Dazu dient eine Schieberegler auf dem Fahrzeug. Durch Umpolung des Anschlusses der Batterie kann die Motordrehrichtung und damit die Fahrtrichtung gewechselt werden.

Der Schieberegler für die Geschwindigkeit ist zunächst auf die kleinste Geschwindigkeit einzustellen und so zu belasten. Auf einer z. B. 2 m langen Strecke wird nun die benötigte Zeit gestoppt und daraus die Geschwindigkeit errechnet. Dann wird der Ultraschallsender auf den Wagen gestellt und die Frequenzmessung im Stand und bei beiden Fahrtrichtungen durchgeführt.

Dieses Vorgehen wiederholt man für weitere Geschwindigkeiten.



	<p><i>Robert-Bosch-Gymnasium</i></p> <p>Physik (4-stündig), NGO</p>	
<p>Praktikum Versuch Nr.: 2.5</p>	<p>Block 2 / Schwingungen und Wellen, Doppler-Effekt</p>	<p>21.4.2014</p>

4. Aufgabenstellung, Auswertung und Fehlerbetrachtungen

Die für die Auswertung des Experimentes benötigten Gleichungen sind herzuleiten.

Bei mindestens vier unterschiedlichen Geschwindigkeiten (ausgehend von der Minimalgeschwindigkeit) des Phywe-Wagens, welcher die Schallquelle transportiert, wird die Frequenz des empfangenen Signals bei Zu- und bei Wegfahrt gemessen. Bei jeder Geschwindigkeit wird diese aus einem abgemessenen Wegstück und der für die Fahrt längs dieses Wegstückes benötigten Zeit ermittelt.

Die Geschwindigkeiten sowie die Frequenzen und die Frequenzänderungen (zwischen Hin- und Wegfahrt) werden in eine Tabelle eingetragen. Die Frequenzänderung Δf wird dann über der Geschwindigkeit der Quelle aufgetragen und die Steigung der sich ergebenden Gerade errechnet. Daraus ist die Schallgeschwindigkeit zu bestimmen. Erstelle eine ausführliche Größtfehlerbetrachtung!

Mache Verbesserungsvorschläge für die Durchführung des Experiments.

Fasse alle Ergebnisse im Protokoll sauber zusammen; interpretiere die gemachten Fehler.