

5.12.08

Gruppe C

Karsten Hinselmann (karsten.hinselmann@gmx.de)

Marc Strafela (strafela14@gmx.de)

Uwe Popp (gurr.popp@t-online.de)

## ZfP-Praktikum

### Protokoll zur Akustik: Schallausbreitung

Versuchsdatum: 7.11.2008

#### Aufgabenstellung

Bei diesem Versuch geht es um die Erlernung von messtechnischen Grundlagen sowie um die Messung von Geschwindigkeiten des hörbaren Schalls, Ultraschalls und von Wellengruppen unter Ausnutzung der Eigenschaften von Wellen. Sowie die Interpretation der gewonnenen Ergebnisse.

#### Beantwortung der Fragen zur Versuchsvorbereitung

- 1. Wie sind Phasen- und Gruppengeschwindigkeiten definiert? Wann sind beide verschieden?**

Die Geschwindigkeiten sind über die Kreisfrequenz und die Wellenzahl definiert.

Im Falle der Phasengeschwindigkeit:  $v_{\text{Ph}} = \omega/k$

Und für die Gruppengeschwindigkeit:  $v_{\text{G}} = d\omega/dk$

Bei Dispersion sind Phasen- und Gruppengeschwindigkeit verschieden.

- 2. Wie misst man mit dem Zweikanaloszilloskop Phasenverschiebungen?**

Über die Darstellung von Lissajous lässt sich die Phasengleichheit bestimmen.

Verschiebt man die Phase um mehrere Wellenlängen, so kann man die Phasenverschiebung ermitteln.

- 3. Wie ist die Geschwindigkeit aus Frequenz und Phasenänderung entlang einer bestimmten Wegstrecke bestimmbar? Wie wird der Fehler des Messergebnisses berechnet und wie sieht die korrekte Ergebnisform aus?**

Durch Bestimmen der Wellenlänge  $\lambda$  kann man die Geschwindigkeit nach der Formel für die Phasengeschwindigkeit errechnen:  $v_{\text{Ph}} = \lambda \cdot f$

Dabei wird der Fehler folgendermaßen berechnet:  $\Delta v/v = \Delta \lambda/\lambda + \Delta f/f$

Und dargestellt wird in der Form: (Ergebnis  $\pm$  Fehler) \* Einheit, wobei nachfolgende Ergebnisse in der selben Genauigkeit angegeben werden.

- 4. Welche Folgerungen lassen sich aus Messungen der Wellengeschwindigkeit bei unterschiedlichen Frequenzen ziehen?**

Aufschluss über das Vorliegen von Dispersion.

- 5. Warum nimmt die Signalhöhe des Empfängers drastisch ab, wenn eine Platte in den Schallgang eingebracht wird? Warum ändert sich die Phase des Empfängersignals? Wie kann man daraus die Schallgeschwindigkeit in der Platte bestimmen?**

Zum einen findet eine teilweise Reflektion der Welle an der Plattenoberfläche statt und zum anderen wird die Geschwindigkeit des Schalls abhängig vom Plattenmaterial

verändert. Über die Messung der Phasenverschiebung kann man die Schallgeschwindigkeit bestimmen.

- 6. Warum führt der tieffrequente Rechteckverlauf der an den Sender angelegten Spannung zu der Struktur des Spannungsverlaufs am Detektorausgang?**  
Einschwingen und Ausschwingen
- 7. Wie berechnet man den Fehler (absoluter und relativer...) von Messergebnissen?**  
Ein Beispiel dafür wird in Aufgabe 3. gegeben in diesen Fall für die Geschwindigkeit.  
Ein relativer Fehler ist  $\Delta v/v$   
Und ein absoluter Fehler  $\Delta v$  ist das Messergebnis multipliziert mit dem relativen Fehler.
- 8. Warum eignen sich für Entfernungsmessungen Pulse besser als Sinuswellen? Wie wird das Problem beim GPS gelöst?**  
Der Vorteil der Pulse ist die eindeutige Definition wann das Signal beginnt. Bei Sinuswellen hat man hingegen einen kontinuierlichen Verlauf. Beim GPS werden drei Signale ausgesandt und ein viertes Signal dient zusätzlich zur Zeitmessung.

### Experimentalteil

Die für den Versuch und Geschwindigkeitsmessung essentiellen Geräte sind ein Funktionsgenerator und ein Zweikanaloszilloskop. Zuerst macht man sich mit diesen Geräten und deren Funktionsweise vertraut.

Hierzu wird die Obergrenze des hörbaren Bereiches eines jeden Versuchsteilnehmers herausgefunden:

Marc:	17,9 kHz
Karsten:	17,8 kHz
Uwe:	17,0 kHz

(Auch der, für das Ohr unangenehm empfundene kHz-Bereich bei 3,7 kHz wird bestätigt.)

Der Generator wird nun so eingestellt, dass die Schwingungsform der Spannung sinusförmig ist.

Für die Geschwindigkeitsmessung von Schallwellen dienen zwei Lautsprecher, der eine Empfänger, der andere Sender. Der Frequenzbereich wird so gewählt, dass das Empfängersignal eine maximale Auslenkung erfährt.

Nun wird per Lissajous-Figur die Phasengleichheit eingestellt und der Abstand zwischen den beiden Lautsprechern gemessen. Hierbei muss man beim verwendeten Oszilloskop die Funktion „X via  $Y_A$ “ einstellen. Durch Überlagerung der Spannung aus Generator und Sender entsteht auf dem Bildschirm eine Ellipse. Bei  $0^\circ$  bzw.  $360^\circ$  sieht man auf dem Oszilloskop einen Strich, d.h., dass man Phasengleichheit eingestellt hat und bei  $180^\circ$  ist die Lissajous-Figur ebenfalls nur ein Strich, der senkrecht zu dem bei  $0^\circ$  bzw.  $360^\circ$  steht.

Nun wird ein Lautsprecher so lange verschoben, bis sich wieder Phasengleichheit ergibt und der Abstand der beiden Lautsprecher erneut gemessen wird.

Die Differenz ergibt die Wellenlänge  $\lambda$ . Nun gilt für die Geschwindigkeit einer Phase entlang einer Ausbreitungsrichtung (z.B. einer definierten x-Achse) in Abhängigkeit der Zeit  $t$ :

$$v_{Ph} = \omega/k = \lambda * f \quad ; f = \text{Frequenz} \quad (1)$$

Für die Messung der Schallgeschwindigkeit im Ultraschallbereich (38 kHz) erfolgt über das gleiche Prinzip.

Allerdings wird über 20 Wellenlängen, erneut mit Hilfe der Lissajous-Figur gemessen, um einen Fehler möglichst gering zu halten.

Sender und Empfänger werden auf einer Schiene montiert und gegen austretende Wärme der Messgeräte abgeschirmt.

Vor dem Versuch muss die Arbeitsfrequenz eingestellt werden, die man beim Einbruch der Spannung findet.

Im letzten Versuchsteil wird die Gruppengeschwindigkeit gemessen, die einen ähnlichen Geschwindigkeitswert haben müsste wie die vorangegangenen Messungen.

Dazu wird am Generator ein Rechteckstrom eingestellt ( $f = 30 \text{ Hz}$ ), damit der Piezo einschwingen kann und das Empfängersignal dem Impulsbeginn zugeordnet werden kann. Hierbei wird der komplette Bildschirm des Oszillators ausgenutzt.

Die Gruppengeschwindigkeit errechnet sich aus dem Abstand zwischen Sender und Empfänger  $\Delta x$  und der Laufzeit des Signals  $\Delta t$ .

$$v_G = \Delta x / \Delta t \quad (2)$$

Abschließend wird das Prinzip einer Einparkhilfe, also der Abstandsmessung mittels Wellen, nachgestellt. Hier wird aus Laufzeit und Gruppengeschwindigkeit des zugeworfenen Signals auf eine MDF Platte der Abstand ermittelt und mit einer Messhilfe der Wert verifiziert.

### **Ergebnisteil/ Auswertung**

#### 1. Versuchsteil - Schallwelle

$$f = (3,53 \pm 0,01) \text{ kHz}$$

$$\Delta x = [(262 - 163) \pm 2] \text{ mm} = \lambda = (99 \pm 2) \text{ mm}$$

$$v_{Ph} = \lambda * f = 99 \text{ mm} * 3,53 \text{ kHz} = 349,5 \text{ m/s}$$

Fehler:

$$\Delta v/v = \Delta f/f + \Delta \lambda/\lambda = (2/99) + (0,01/3,53) = 0,2 + 0,3 = 0,023$$

Was einem Fehler von 2,3 % entspricht (Einheiten kürzen sich).

$$\Delta v_{Ph} = 8 \text{ m/s (gerundet)}$$

$$v_{Ph} = (349 \pm 8) \text{ m/s}$$

#### 2. Versuchsteil – Ultraschall

Arbeitsfrequenz:

$$f = (38 \pm 0,05) \text{ kHz}$$

Anzahl der Wellenlängen  $n$ :

$$n = 20$$

Mit Hilfe Lissajous ergibt sich für die Wellenlänge:

$$\lambda = \Delta x/n = [(205 - 25) \pm 2 \text{ mm}] / 20 = (9 \pm 2) \text{ mm}$$

Für die Geschwindigkeit nach Formel (1) ergibt sich dann:

$$v_{Ph} = 342 \text{ m/s}$$

Fehler:

$$\Delta v/v = \Delta f/f + \Delta \lambda/\lambda = 1,11\%$$

$$\Delta v_{Ph} = 342 \text{ m/s} * 0,0111 \approx 4 \text{ m/s}$$

$$v_{Ph} = (342 \pm 4) \text{ m/s}$$

Man erkennt, dass die Geschwindigkeiten im Rahmen der Messgenauigkeiten (Vergleich von minimalen und maximalen Fehlern) übereinstimmen und somit keine Dispersion auftritt.

### 3. Versuchsteil – Wellengruppen

Bei einer Frequenz von  $f = 30 \text{ Hz}$  wird die Laufzeit und der Laufweg gemessen:

$$\text{Laufzeit } \Delta t = t_1 - t_2 = [(1 - 0,2) \pm 0,024] \text{ ms} = (0,8 \pm 0,024) \text{ ms}$$

$$\text{Damit ergibt sich für die Laufzeit ein relativer Fehler von } \Delta t/t = 24/800 = 3\%$$

$$\text{Laufweg } \Delta x = x_2 - x_1 = [(275,5 + 1,5) \pm 2] \text{ mm} = (277 \pm 2) \text{ mm}$$

$$\text{Relativer Fehler der Laufzeit } \Delta x/x = 0,7\%$$

$$\Delta v_G/v_G = 3,7\%$$

Nach (2):

$$v_G = 346 \text{ m/s}$$

$$\text{Absoluter Fehler } \Delta x = 346 \text{ m/s} * 0,037 = 13 \text{ m/s}$$

$$v_G = (346 \pm 13) \text{ m/s}$$

Wie man sieht, stimmen die Werte im Rahmen der Messgenauigkeit überein. Dies führt dazu, dass man dasselbe Verfahren bei Abstandsmessgeräten in Einparkhilfen für Autos anwendet. Hierbei sind Piezos als Ultraschall- Sender/Empfänger in PKW eingebaut. Als Hindernis dient im Versuch eine MDF Platte auf einem Stuhl.

Dieser Fall wird nun nachgestellt.

$$t = (10 \pm 0,2) \text{ ms}$$

$$v_G = 346 \text{ m/s}$$

Nun gilt für den Abstand:

$$s = v_G * t = 3,46 \text{ m}$$

Somit ist der Abstand zur Platte:

$$s/2 = 1,73 \text{ m}$$

Fehler:

$$\Delta s/s = \Delta t/t + \Delta v_G/v_G = 5,7\%$$

$$s = (1,73 \pm 0,1) \text{ m}$$

Nachmessen bestätigt die Richtigkeit dieses Wertes im Rahmen der Fehlergrenzen.

## Ergebnis

Da Phasen- und Gruppengeschwindigkeit nicht verschieden voneinander sind (im Rahmen der Messgenauigkeit) liegt in Luft keine Dispersion vor. Die Abstandsmessung mittels Wellen ist genau genug um damit ein praxistaugliches Verfahren zu erhalten.

## Literatur

[1] ZfP Skript WS 08/09 G. Busse