



# HSB

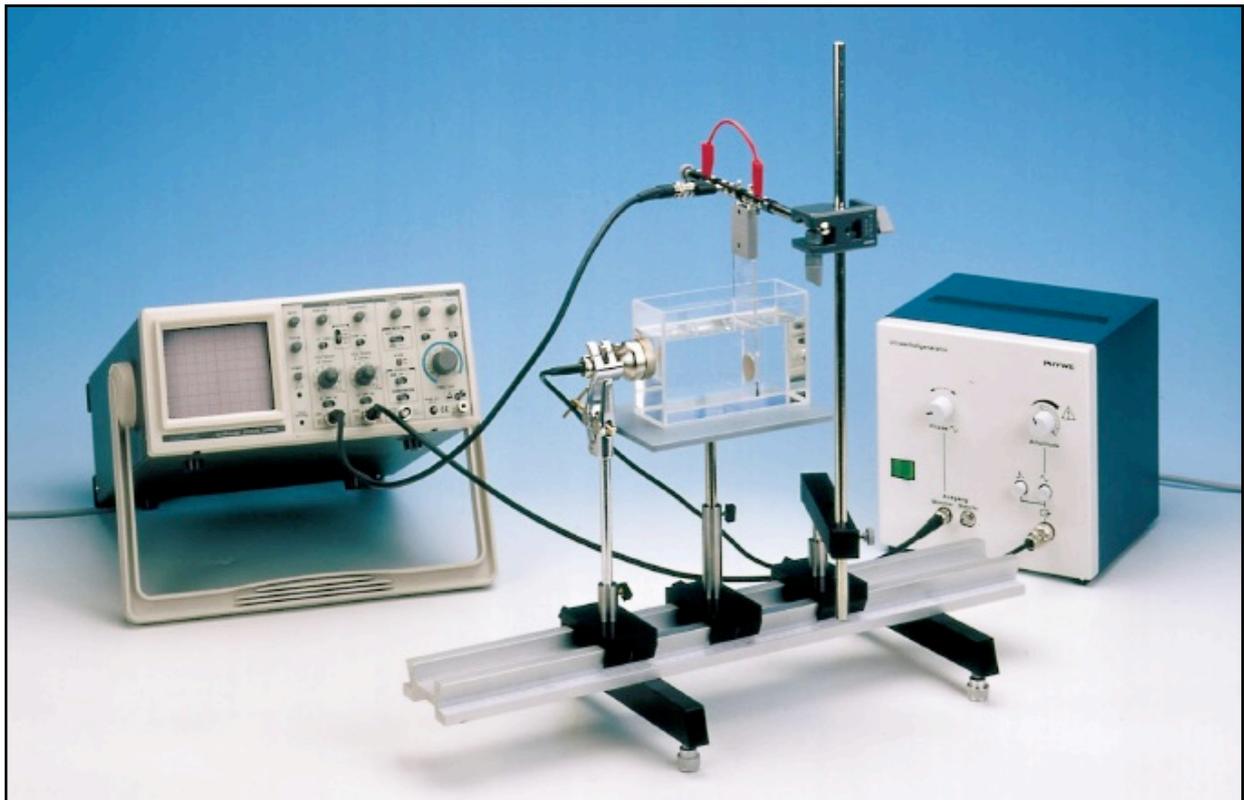
Hochschule Bremen  
City University of Applied Sciences

## Labor für Technische Akustik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus

### Versuch 5b:

### Phasen- und Gruppengeschwindigkeit von Ultraschall in Flüssigkeiten



**Abbildung 1:** Experimentaler Aufbau zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschallwellen in Flüssigkeiten.

## 1. Versuchsziel

Die Schallwellen werden mittels eines Schallkopfes über die Außenwand einer Küvette in deren Flüssigkeitsinhalt eingekoppelt und dort mit einem Schallaufnehmer empfangen. Die vom Schallkopf abgestrahlten und vom Schallaufnehmer registrierten Signale werden mittels eines Oszilloskops verglichen. Die Wellenlänge und Phasengeschwindigkeit wird über die relative Phasenverschiebung zwischen an verschiedenen Orten gemessenen Signalen berechnet. In einer zweiten Messung wird die Gruppengeschwindigkeit aus der Laufzeit eines Schallimpulses bestimmt.

## 2. Theoretische Grundlagen

Die Ausgangsposition des Ultraschallaufnehmers sei so gewählt, dass sich zwischen dem Schallkopf- und Ultraschallaufnehmersignal eine Phasenverschiebung  $\Delta\phi = 0$  einstellt. Mit der Änderung des Abstandes  $\Delta l$  zwischen Schallkopf und Ultraschallaufnehmer ändert sich die Phase des Empfängersignals relativ zum Schallkopfsignal um

$$\Delta\phi = \frac{\Delta l}{\lambda} \cdot 2\pi. \quad (1)$$

Bei weiterer Änderung des Abstandes erfolgt eine erneute Synchronisation der Signale für

$$\Delta\phi = n \cdot 2\pi \quad n = 1, 2, \dots \quad (2)$$

Somit kann die Wellenlänge  $\lambda$  aus den Gleichungen (1) und (2) wie folgt gewonnen werden.

$$\lambda = \frac{\Delta l}{\Delta\phi} \cdot 2\pi = \frac{\Delta l}{n} \quad (3)$$

Bei bekannter Frequenz  $f$  des Schalls ergibt sich die Phasengeschwindigkeit dann zu

$$c_p = \lambda \cdot f \quad (4)$$

Man erhält die Wellenlänge  $\lambda$  aus Gleichung (3) als Steigung der Regressionsgeraden

$$\Delta l = \lambda \cdot n. \quad (5)$$

Die Gruppengeschwindigkeit  $c_{gr}$  erhält man über die Veränderungen des Schallweges  $\Delta l$  und der korrespondierenden Verzögerungszeit  $\Delta t$  durch

$$c_{gr} = \frac{\Delta l}{\Delta t}. \quad (6)$$

Die Gruppen- und Phasengeschwindigkeit sind über die Beziehung

$$c_{gr} = c_p - \lambda \cdot \frac{dc_p}{d\lambda} \quad (7)$$

miteinander verknüpft. Unter Berücksichtigung der Messungenauigkeiten kann aus den Messergebnissen  $c_{gr} \approx c_p$  nur

$$\frac{dc_p}{d\lambda} \approx 0 \quad (8)$$

gefolgert und damit keine Dispersion nachgewiesen werden.

**Anmerkung:**

1. Da Glycerol hygroskopisch ist (wasseranziehend), wird oft bei zu langem stehen des Glycerols eine langsamere Schallgeschwindigkeit gemessen.
2. Oszilloskop: relativer Zeitablenkungsfehler +/- 5 %  
Ultraschallgenerator: relativer Fehler bei 800 kHz +/- 0,6 %

### 3. Versuchsaufbau

Das Experiment wird wie in Abbildung 1 dargestellt aufgebaut. Eine Verbesserung des Aufbaues wird durch die Verwendung eines Kreuztisches mit Spindelantrieb erreicht. Die schallabgebende Fläche des Schallkopfes wird mit Glycerin oder Wasser befeuchtet, um die akustische Ankopplung an die Wand der Küvette zu verbessern. Ein unbeabsichtigtes Lösen des Schallkopfes kann durch ein zusätzliches Gummiband verhindert werden.

Um stehende Wellen und multiple Echos durch Schallreflektion zu vermeiden, wird die dem Schallkopf gegenüberliegende Wand mit schallabsorbierendem Material, wie z.B. Schaum oder zerknülltem Papier bedeckt.

1. Das Oszilloskop wird intern über Kanal 1 durch das Monitor-Signal des Ultraschallgenerators getriggert. Durch Bewegen des Schallaufnehmers und Einstellen der Phase des Generators werden Schallaufnehmer und Monitor Signal auf dem Bildschirm in Phase gebracht. Die dargestellte Sinuswelle wird durch Änderung des Abstandes  $\Delta l$  zwischen Schallaufnehmer und Schallkopf verschoben.
2. Das Oszilloskop wird extern über das synchrone Signal des Generators, welcher auf Impulsbetrieb gestellt ist, getriggert. Der Schallaufnehmer wird von seiner Anfangsposition weg, auf den Ultraschallgenerator zu bewegt und die Änderung in der Verzögerung des Impulses wird über die Verschiebung auf dem Oszilloskop bestimmt. Die Temperatur der Flüssigkeit wird für Wasser, Glycerin und Natriumchlorid Lösung gemessen.

**Achtung:** Bei hohen Leistungen muss der Schallkopf in gutem Kontakt zur Küvette stehen, da die Erhitzung des Schallkopfes in Luft oder bei schlechtem Kontakt schon innerhalb kurzer Zeit zu Schäden führt. Deshalb darf die Marke des Stellknopfes nicht in den schraffierten Bereich gedreht werden (nur Sinusbetrieb)! Das Ausgangssignal darf  $1V_{ss}$  nicht überschreiten!

Nach Beendigung der Messung ist der Stellknopf für die Amplitude des Ausgangssignals auf Linksanschlag zu drehen.

**Geräteliste:**

1	Ultraschallaufnehmer	11744.00
1	Ultraschallgenerator	11744.93
1	Küvette, 150 x 55 x 100 mm	03504.00
1	Verteilerstütze	07924.00
1	Optische Profilbank, $l = 1$ m	08282.00
2	Fuß für optische Profilbank, justierbar	08284.00
2	Reiter für optische Profilbank, $h = 30$ mm	08286.01
1	Reiter für optische Profilbank, $h = 80$ mm	08286.02
1	Schwenkarm	08256.00
1	Tischchen auf Stiel, 18,5 x 11 cm	08060.00
1	Gummiband	
1	Doppelmuffe -PASS-	02040.55
1	Stativstange Edelstahl 18/8, $l = 500$ mm	02032.00
1	Universalklemme	37715.00
1	Oszilloskop, 20 MHz, 2 Kanäle	11454.93
1	Verbindungsleitung, 100 mm, 32 A, rot	07359.01
2	Abgeschirmtes Kabel, BNC, $l = 750$ mm	07542.11
1	Adapter, BNC-Buchse, 4 mm Steckerpaar	07542.27
1	Thermometer, $-10^{\circ}\text{C} \dots +30^{\circ}\text{C}$	05949.00
3	Glycerin, 250 ml	30084.25
1	Natriumchlorid, ( $\text{NaCl} \rightarrow$ Kochsalz), 500 g	30155.50
1	Destilliertes Wasser, 5l	31246.81
1	Verschiebeeinheit mit Feingewinde	
1	Messschieber	

#### 4. Versuchsdurchführung

Der Versuch wird mit drei unterschiedlichen Medien durchgeführt.

- destilliertes Wasser
- Salzlösung (200 ppt)
- Glycerin

Phasengeschwindigkeit:

- Durch Bewegen des Schallaufnehmers und Einstellen der Phasen des Generators werden Schallaufnehmer und Monitor-Signal auf dem Bildschirm in Phase gebracht.

- Messen Sie die Temperatur im ausgeschalteten Zustand des Schallkopfes bei dem jeweiligen Medium.
- Die Entfernung zwischen Schallkopf und Schallaufnehmer ist zu ändern und dabei die Anzahl  $n$  der sich verschiebenden Wellenlängen zu zählen ( $\Delta l$  bis 50 mm).
- Nach den Temperaturmessungen sind Ultraschallaufnehmer sowie Thermometer zu reinigen.

**Hinweis:** Auf dem Oszilloskop haben Sie Generator- und Schallaufnehmersignal dargestellt. Wenn Sie jetzt den Schallaufnehmer langsam verschieben, wandert das Signal auf dem Bildschirm mit, so dass Sie die Phasendifferenz zwischen Generator- und Schallaufnehmer beobachten können. Wenn die Phasendifferenz wieder die Gleiche ist, haben Sie den Empfänger um  $n$  Wellenlängen verschoben.

Gruppengeschwindigkeit:

- Stellen Sie den Ultraschallgenerator auf Impulsbetrieb.
- Messen Sie die Temperatur im ausgeschalteten Zustand des Schallkopfes bei dem jeweiligen Medium.
- Verschieben Sie den Ultraschallaufnehmer in 10 mm - Schritten und nehmen Sie die Verzugszeit auf (ganze Küvettenlänge nutzen).
- Nach den Temperaturmessungen sind Ultraschallaufnehmer sowie Thermometer zu reinigen.

**Hinweis:** Stellen Sie zunächst die Impulse von Generator und Schallaufnehmer auf dem Bildschirm dar. Wählen Sie anschließend die Zeitachse so ( $\mu\text{s}$ -Bereich), dass Sie die gesamte Küvettenlänge nutzen können ohne während der Messung umschalten zu müssen. Triggern Sie bei Bedarf nach, bis Sie ein stehendes Bild erhalten. Verschieben Sie dann den Empfänger in 10 mm - Schritten und notieren Sie die Zeit, die der Puls bis zu dieser Position benötigt.

## 5. Auswertung

Phasengeschwindigkeit:

- Stellen Sie die gemessenen Punkte  $\Delta l(n)$  der verschiedenen Medien in einem Diagramm dar.
- Bestimmen Sie aus der Steigung die Wellenlänge  $\lambda$  des jeweiligen Mediums.
- Berechnen Sie aus der Wellenlänge  $\lambda$  und der Frequenz  $f$  die Phasengeschwindigkeit  $c_p$  der unterschiedlichen Medien.

Gruppengeschwindigkeit:

- Stellen Sie die gemessenen Punkte  $\Delta l(\Delta f)$  der verschiedenen Medien in einem Diagramm dar.
- Bestimmen Sie aus der Steigung die Gruppengeschwindigkeit  $c_{gr}$  in dem jeweiligen Medium.
- Diskutieren Sie die Messergebnisse und vergleichen Sie diese mit der Literatur.