



HSB

Hochschule Bremen
City University of Applied Sciences

Labor für Technische Akustik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus

Versuch 5c:

Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten

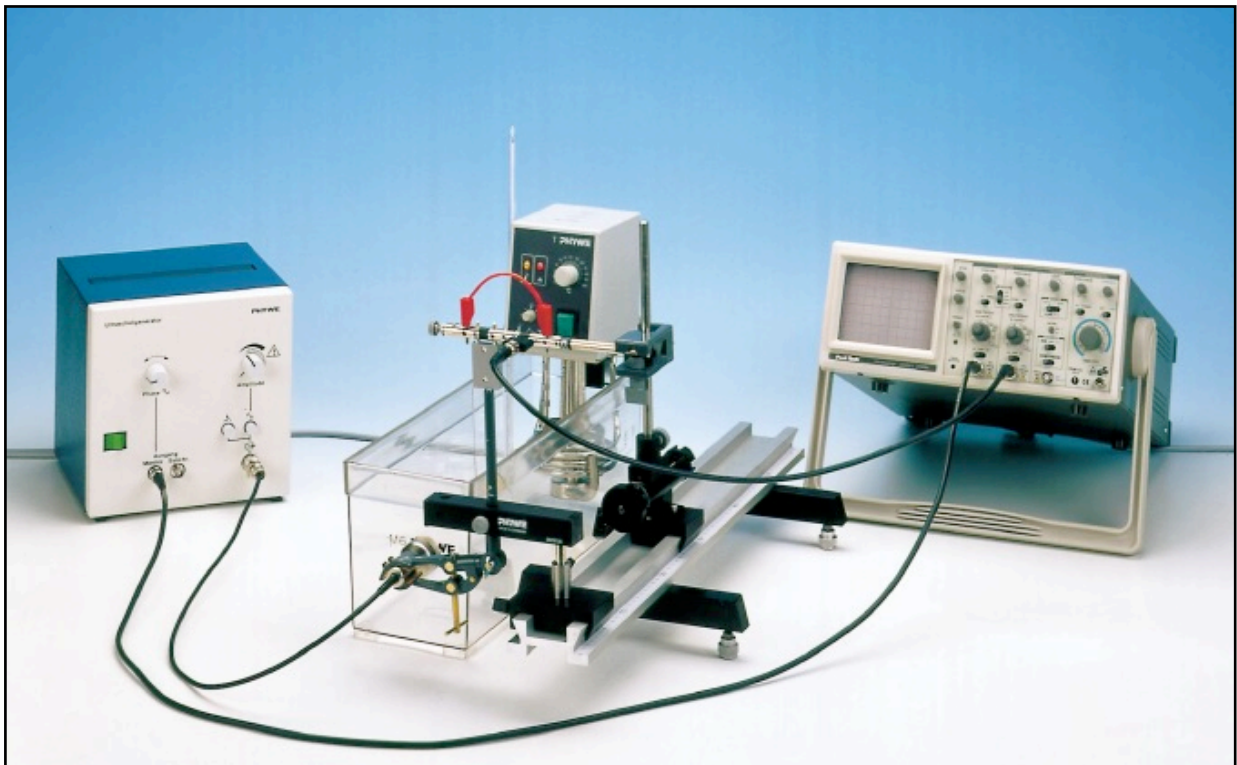


Abbildung 1: Experimenteller Aufbau zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur.

1. Versuchsziel

Die Schallwellen werden mittels eines Schallkopfes in eine Flüssigkeit abgestrahlt und mit einem Schallaufnehmer aufgenommen. Das vom Schallkopf emittierte und vom Schallaufnehmer registrierte Signal wird mittels eines Oszilloskops verglichen. Die Wellenlänge wird bei unterschiedlichen Temperaturen bestimmt und darüber die Schallgeschwindigkeit berechnet.

2. Theoretische Grundlagen

Vorausgesetzt, dass der Prozess ein adiabatischer ist, so ist die Beziehung für die Geschwindigkeit von Schall in Flüssigkeiten folgende:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho \cdot \beta_{ad}}} \quad (1)$$

wobei ρ die Dichte und β_{ad} die adiabatische Kompressibilität ist. Die Änderung der Geschwindigkeit des Schalls in Abhängigkeit von der Temperatur hängt im allgemeinen von der temperaturabhängigen Kompressibilität der Flüssigkeit ab. Die adiabatische Kompressibilität wird gebildet aus dem Kehrwert des Kompressionsmoduls.

In allen Flüssigkeiten, mit Ausnahme von Wasser, steigt die ad. Kompressibilität bei steigender Temperatur, wodurch die Dichte sinkt. Die Geschwindigkeit des Schalls sinkt ungefähr linear bei steigender Temperatur. Das Wasser nimmt eine besondere Stellung bei den Flüssigkeiten ein; hier ist die ad. Kompressibilität anfänglich reduziert bis zu einem Temperaturanstieg auf ca. 60 °C und steigt erst dann an.

Die Geschwindigkeit von Schall in Wasser hat daher anfänglich einen positiven Temperaturkoeffizienten, welcher beim Überschreiten von 74 °C negativ wird. Somit steigt die Geschwindigkeit auf einen Maximalwert von 1557 m/s bei 74 °C. Oberhalb dieser Temperatur nimmt die Geschwindigkeit des Schalls ab.

$$c = 1557 - 0,0245(74 - \vartheta)^2 \quad (2)$$

Mit der Änderung der Distanz Δl zwischen Schallkopf und Ultraschallaufnehmer von der Anfangsposition (relative Phase $\Delta\phi = 0$) bewegt sich die Phase des Empfängersignals in Relation zum Schallkopf gemäß:

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

Bei weiterer Änderung der Distanz erfolgt eine erneute Überlappung des Signal für:

$$\Delta\phi = n \cdot 2\pi \quad n = 1, 2, \dots \quad (4)$$

Die Wellenlänge λ kann über die Gleichungen (3) und (4) gemäß

$$\lambda = \frac{\Delta l}{\Delta \phi} \cdot 2\pi = \frac{\Delta l}{n} \quad (5)$$

bestimmt werden.

Es wurde daher gezeigt, dass die Wellenlänge λ des Schalls die Steigung der Regressionsgeraden entspricht, wenn der Schallaufnehmer sich in einer veränderten Position befindet und diese als eine Funktion der Zahl n dargestellt wird. Die Phasengeschwindigkeit erhält man mit der Frequenz f des Schalls.

$$c = \lambda \cdot f \quad (6)$$

3. Versuchsaufbau

Das Experiment wird wie in Abbildung 1 dargestellt aufgebaut. Die schallabgebende Fläche des Schallkopfes wird mit Glycerin oder Wasser befeuchtet um akustische Ankopplung an die Wand der Küvette zu verbessern.

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.

Das Oszilloskop wird intern über Kanal 1 durch das Monitor-Signal des Ultraschallgenerators getriggert. Durch Bewegen des Schallaufnehmers und Einstellen der Phasen des Generators werden Schallaufnehmer und Monitor-Signal auf dem Bildschirm in Phase gebracht. Die dargestellte Sinuswelle wird durch Änderung des Abstandes Δl zwischen Schallaufnehmer und Schallkopf verschoben.

Um Störungen zu vermeiden wird empfohlen, den Draht des Thermostaten mit einer Krokodilklemme an die Erddose des Oszilloskops anzuschließen (und somit zu Erden).

Das Experiment wird mit destilliertem Wasser durchgeführt, welches von Raumtemperatur in geeigneten Schritten bis kurz vor den Siedepunkt erwärmt wird.

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)!

Geräteliste:

1	Ultraschallaufnehmer	11744.00
1	Ultraschallgenerator	11744.93
1	Führungsschiene	08082.03
1	Optische Profilbank, l=1m	08282.00
2	Fuß für optische Profilbank, justierbar	08284.00
1	Reiter für optische Profilbank, h=30mm	08286.01
1	Reiter für optische Profilbank, h=80mm	08686.02
1	Schwenkarm	08256.00
1	Verteilerstütze	07924.00
1	Einhängethermostat A100	46994.93
1	Bad für den Thermostat, 6l, Makroion	08487.02
1	Laborthermometer, -10°C...+100°C	38056.00
1	Oszilloskop, 20 MHz, 2 Kanäle	11454.93
1	Stativstange Edelstahl 18/8, l=100mm	02030.00
1	Doppelmuffe -PASS-	02040.55
1	Universalklemme mit Gelenk	37716.00
2	Abgeschirmtes Kabel, BNC, l=750mm	07542.11
1	Adapter, BNC-Buchse, 4mm Steckerpaar	07542.27
1	Destilliertes Wasser, 5l	31246.81
1	Verbindungsleitung, l=100mm, red	07359.01
1	Verschiebeeinheit mit Feingewinde	
1	Messschieber	
1	Schaumgummi	

4. Versuchsdurchführung

Der Versuch wird mit destilliertem Wasser durchgeführt.

- 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 Thermostaten
- Ändern Sie Entfernung zwischen Schallkopf und Schallaufnehmer und zählen Sie dabei die Anzahl n der sich verschiebenden Wellenlängen (Δl bis ca. 50 [mm]).
- Schalten Sie den Thermostaten ein und regeln die Temperatur auf den nächsten zu messenden Temperaturbereich (5°C- Schritte). Schalten Sie dabei den Ultraschallgenerator während der Erwärmung des Wassers aus.

- Zur Messung der Anzahl n der sich verschiebenden Wellenlängen schalten Sie den Thermostat aus. (Zügig messen, da die Temperatur wieder fällt!)
- Führen sie die Messung bis kurz vor den Siedepunkt durch.

Achtung: Verbrühungsgefahr!!!

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 $n \cdot \lambda$ verschoben.

5. Auswertung

- Legen Sie die theoretischen Grundlagen dar.
- Berechnen Sie aus der Wellenlänge λ und der Frequenz f die Schallgeschwindigkeit c bei den unterschiedlichen Temperaturen.
- Stellen Sie Schallgeschwindigkeit c in Abhängigkeit von der Temperatur dar.
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Schallgeschwindigkeit in einer Flüssigkeit und der Temperatur?
- Diskutieren Sie die Messergebnisse und vergleichen Sie diese mit der Literatur. Wie verändert sich die Schallgeschwindigkeit bei steigender Temperatur in anderen Flüssigkeiten?