

Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mittels Debye-Sears-Effektes



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

Sowas-Physik | Gruppe J | Projektleiter: Patrick Lathe
Dörner, Julien | Heilmann, Milan | Klimczak, Susan | Weimann, Sven

Motivation

Ziel des Versuchs ist es, einen kausalen Zusammenhang zwischen Art und Grad der Verunreinigung im Wasser und der Schallgeschwindigkeit in Diesem herzustellen.

Vorgehensweise

Mittels Debye-Sears-Effekt wird die Schallgeschwindigkeit in Wasser bestimmt. Zunächst erfolgt eine Feststellung der Messgenauigkeit der 2 Methoden (direkt & indirekt) durch Bestimmung der Schallgeschwindigkeit von destilliertem Wasser, Speiseöl sowie Brennspiritus und Vergleich mit Literaturwerten. Im weiteren Verlauf des Versuchs wird dann ausschließlich mit der genaueren Methode gemessen. In einem ersten Versuchsteil wird Wasser mit Verunreinigungen bekannter Konzentration – jeweils schwach und stark konzentriert – versetzt und die Schallgeschwindigkeit bestimmt. Diese sind Waschpulver, Salz, Erde, Sand und Farbe. Anschließend wird die Schallgeschwindigkeit in gesammelten Gewässerproben aus der Nordsee, der Ruhr, der Olef (Eifel) sowie aus einem Gartenteich ermittelt. Abschließend erfolgt ein Vergleich zwischen Laborverunreinigungen und Gewässerproben um einen möglichen Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit in Wasser und Art und Grad der Verschmutzung herzustellen und zu überprüfen, ob sich bestimmten Gewässerproben Verunreinigungen zuordnen lassen.

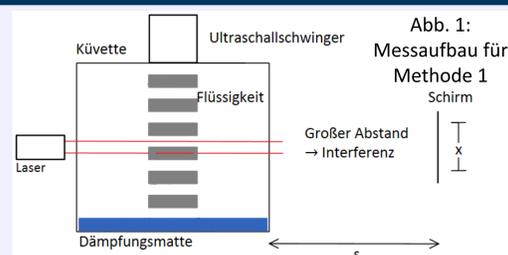
Physikalische Grundlagen

Der im Versuch verwendete Debye-Sears-Effekt ist eine Methode zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in optisch durchlässigen Medien und beruht auf dem Effekt des optischen Phasengitters.

Ein Piezokristall wird durch Wechselstrom zu Ultraschallschwingungen angeregt, welche dieser auf das umgebende Medium überträgt. Diese so hervorgerufenen sinusförmigen Dichteschwankungen durchlaufen das Medium mit Schallgeschwindigkeit und ändern lokal den Brechungsindex. Der Versuchsaufbau ist so angeordnet, dass der Piezokristall die Dichteschwankungen senkrecht durch das Medium laufen lässt.

Wird nun horizontal paralleles Licht – mittels Laserstrahl realisiert – durch das Medium geführt, so wirken die Dichteschwankungen als optisches Phasengitter. Gemäß der Wellenoptik tritt nun Interferenz im Laserlicht auf, welches dann auf einen Schirm projiziert wird, wo das Interferenzbild vermessen werden kann.

Messmethode 1 (indirekt)



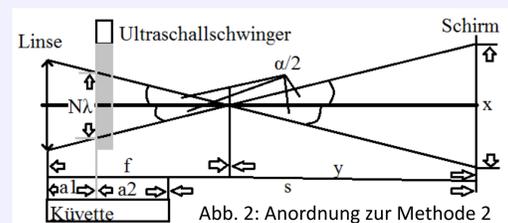
- Abb. 1: Messaufbau für Methode 1
- **Aufbau:** Flüssigkeit + Dämpfungsmatte in Küvette, Ultraschallschwinger von oben rein, Laserstrahl senkrecht dazu durch Küvette auf einen Projektionsschirm leiten
 - **Durchführung:** Ultraschallfrequenz f von 1MHz bis 12MHz erhöhen, nach jedem 1MHz-Schritt den Abstand x zwischen den höchsten sichtbaren Beugungsordnungen $+N$ und $-N$ bestimmen

- **Erklärung:** Dämpfungsmatte verhindert Eigenüberlagerung der Ultraschallfrequenz: dadurch entsteht eine laufende Welle, wirkt als Phasengitter für Laserstrahl → beim Austritt Interferenz

Vermessung der Interferenz liefert Rückschluss auf Wellenlänge des Schalls im Medium.

Ausgewertet wird die Formel $\frac{x}{2N} = \frac{\lambda_L \cdot s}{c_{Schall}} \cdot f$ mit Hilfe der linearen Regression

Messmethode 2 (direkt)



- Abb. 2: Anordnung zur Methode 2
- Unterschiede:**
- Keine Dämpfungsmatte und Justierung des Ultraschallschwingers, sodass Welle senkrecht auf Boden trifft und reflektiert wird → stehende Welle
 - Laserlicht mit Linse in einem Punkt hinter Küvette gebündelt → Streifenmuster
- Ultraschallfrequenz im Bereich zwischen 2MHz und 5MHz, Abstand x zwischen maximal sichtbarer Anzahl N von Streifen bestimmen.

- **Erklärung:** Das Wellengitter wird direkt abgebildet, Abstand von einem Streifen zum Nächsten hängt mit Wellenlänge des Schalls im Medium zusammen

Ausgewertet wird die Wellenlänge nach $\lambda = \frac{x}{N} \cdot \frac{f - a_1}{s - f + a_1 + a_2} = \epsilon \cdot \frac{x}{N} f$ für jedes Messwertpaar. Daraus folgt die Schallgeschwindigkeit nach $c_s = \lambda \cdot \nu$. Die Schallgeschwindigkeiten werden abschließend gewichtet gemittelt.

Vergleich der Messmethoden

Medium	Schallgeschwindigkeit	
	Messmethode 1 [m/s]	Messmethode 2 [m/s]
Wasser	1470 ± 17	890 ± 210
Olivenöl	1424 ± 19	770 ± 160
Spiritus	1181 ± 15	700 ± 110

Tabelle 1: Vergleich der Messmethoden

Die Ergebnisse der zweiten Messmethode weichen stark von den Werten der ersten sowie den Literaturwerten ab und sind zusätzlich mit einem großen Fehler behaftet. Als Grund hierfür lassen sich eventuelle Fehler in der Messung anführen. Hinzu kommt eine (vermutete) Unsicherheit in der Formel der zweiten Messmethode. Diese stammt aus der Herleitung. In der Literatur konnte lediglich eine offensichtlich falsche Formel gefunden werden. Daher wurde Eigenständig ein formeller Zusammenhang hergeleitet

Aus diesen Resultaten ergibt sich für das weitere Vorgehen eine Einschränkung auf die Messmethode 1

Auswertung

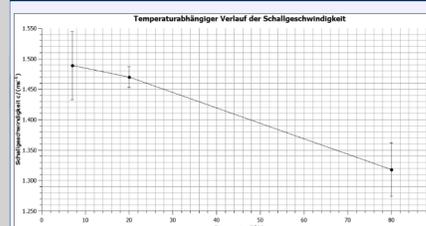


Abb. 3: Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit in destilliertem Wasser

Bei zunehmender Temperatur fällt die Schallgeschwindigkeit. Dies wird vor allem im Bereich von 20°C und 80°C deutlich. Dementsprechend muss bei den weiteren Proben auf ein konstante Temperatur geachtet werden. Alle Proben werden bei Zimmertemperatur ausgemessen.

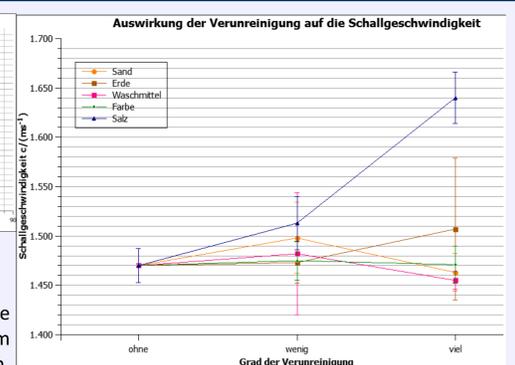
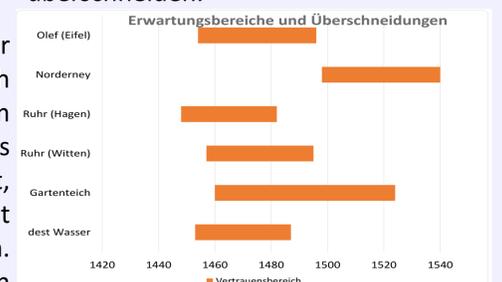


Abb. 4: Einfluss von Verunreinigungen auf die Schallgeschwindigkeit

Lediglich bei Salz lässt sich ein eindeutiger Effekt auf die Schallgeschwindigkeit nachweisen. Zu den anderen Verunreinigungen lassen sich keine Aussage treffen, da der Fehlerbereich des destillierten Wassers und der Verunreinigung sich überschneiden.

Abb. 5: Überschneidungen der Fehlerbereiche in den Messungen der Gewässerproben und des Vergleichswertes von destilliertem Wasser

Nur bei der Wasserprobe aus der Nordsee (Norderney) lässt sich sagen, dass es sich nicht um destilliertes Wasser handelt. Dass es sich hierbei um Salzwasser handelt, lässt sich in unserem Experiment nicht wissenschaftlich nachweisen. Die anderen Gewässerproben liegen wieder im Fehlerbereich des destillierten Wassers.



Diskussion/Fehlerquellen

Folgende Probleme könnten Messfehler hervorgerufen haben:

- Erde und Sand haben sich beispielsweise nicht im Wasser gelöst, sondern haben Klumpen (→ Schallgeschwindigkeit wird durch Klumpen verändert, Laserlicht wird anders gebrochen) gebildet sowie sich auf der Dämpfungsmatte abgesetzt.
- Schwierigkeit beim Ausmessen des Interferenzgitters → Viel Hintergrundrauschen vom Laser.
- Der generelle Effekt der meisten Verunreinigungen auf die Schallgeschwindigkeit ist zu klein um ihn nachzuweisen.

Fazit

Insgesamt lässt sich festhalten, dass kein allgemeiner Zusammenhang zwischen der Art der Verunreinigung des Wassers und der Schallgeschwindigkeit in Diesem festgestellt werden kann. Mit diesem Ergebnis war zu rechnen, da vor allem in den Gewässerproben viele unbekannte Verunreinigungen vorlagen, welche im Versuch nicht detektiert wurden und bei denen unbekannt ist, welche Effekte diese hervorrufen und wie diese sich gegenseitig beeinflussen.