

F1 Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten

Physikalische Grundlagen

Schallwellen sind mechanische Wellen. Ihre Ausbreitung ist an Stoffe gebunden. Die Geschwindigkeit der Schallwelle ist im Allgemeinen von den elastischen Konstanten des Trägermediums (bei kristallinen Stoffen entsprechend vielen), von der Ausbreitungsrichtung im Medium, von der Art der Welle (Longitudinal- oder Transversalwelle) und, bei Transversalwellen, von ihrer Polarisation abhängig.

In homogenen Stoffen vereinfacht sich die Situation erheblich. Man findet für ein allseitig ausge-dehntes Medium

$$c_l = \sqrt{\frac{K + 4G/3}{\rho}} \quad (1)$$

für die Phasengeschwindigkeit von Longitudinalwellen und

$$c_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2)$$

für die von Transversalwellen. Sie hängen neben der Dichte ρ des Mediums nur vom Kompressionsmodul K und dem Schermodul G ab.

Da Flüssigkeiten und Gase keine Formelastizität ($G = 0$) aufweisen, können sich nur Längswellen (Longitudinalwellen) ausbreiten.

Je nach Frequenz der Schallwelle unterscheidet man Hörschall (menschliches Ohr) und die Bereiche oberhalb und unterhalb der Hörgrenze des menschlichen Ohres, den Ultra- bzw. Infraschall.

Den Raum um eine Schallquelle, der von Schallenergie erfüllt ist, bezeichnet man als Schallfeld. Zur Kennzeichnung und Beschreibung eines Schallfeldes definiert man so genannte Schallfeldgrößen. Wichtige Größen sind unter anderen die Schallschnelle

$$v = \frac{du}{dt} = \frac{d}{dt} u_0 \sin \omega t \quad (3)$$

(u ...Auslenkung der Teilchen), der Wellenwiderstand

$$Z = \rho \cdot c \quad (4)$$

der Schallwechseldruck

$$p = Z \cdot v = \rho \cdot c \cdot v \quad (5)$$

und die Schallintensität

$$J = \frac{1}{2} p_{max} \cdot v_{max} \quad (6)$$

Schallwellen in transparenten Medien beeinflussen die Ausbreitung von Licht. Bei dieser als Debye-Sears-Effekt bezeichneten Erscheinung wird der Brechungsindex des Ausbreitungsmediums entsprechend der Schallwellenlänge λ örtlich periodisch verändert.

Bei hohen Schallintensitäten sind die örtlichen Unterschiede des Brechungsindex so groß, dass die durch sie bedingte Ablenkung von Lichtstrahlen in Form der sogenannten Hiedemann-Streifen, bei geeigneter Schallwellenlänge mit bloßem Auge, sichtbar wird. Im folgenden Bild ist diese Situation dargestellt.

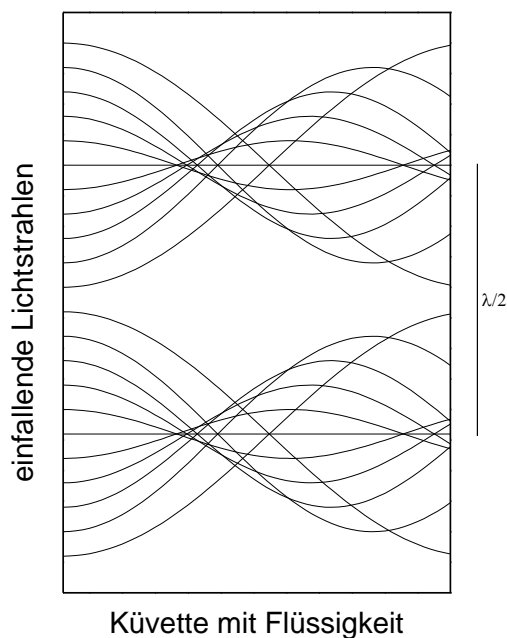


Abb1. Ablenkung paralleler Lichtstrahlen an einer stehenden Ultraschallwelle. Die stehende Ultraschallwelle verläuft von oben nach unten. Links gleichmäßig einfallendes Licht (äquidistanter Abstand der Lichtstrahlen) wird an der Ultraschallwelle kontinuierlich gebrochen und verlässt rechts die Küvette helligkeitsmoduliert (Häufung der Lichtstrahlen im Abstand einer halben Ultraschallwellenlänge).

Versuchsvorbereitung

- Welche Zusammenhänge bestehen zwischen Kompressionsmodul K , Elastizitätsmodul E , Schermodul G und Poissonscher Querkontraktionszahl ν in homogenen Festkörpern?
- Welche Geschwindigkeit haben Longitudinalwellen in dünnen Stäben? Bei dünnen Stäben kann die Poissonsche Querkontraktionszahl ν vernachlässigt werden.
- Schallfeldgrößen
- Wie groß ist der Kompressionsmodul von Gasen bei adiabatischer Kompression? Stellen Sie eine Gleichung zur Berechnung der Schallgeschwindigkeit in Gasen auf. Drücken Sie die Dichte des Gases mit Hilfe der Zustandsgleichung für das ideale Gas aus.
- Frequenzbereich von Hörschall
- Erklären Sie die Entstehung stehender Wellen bei der Reflexion am festen und losen Ende.

Aufgaben

- Messen Sie den Abstand der Hidemann-Streifen einer stehenden Ultraschallwelle. Diese werden dazu optisch vergrößert auf einem Beobachtungsschirm projiziert.

Berechnen Sie Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallwelle. Bestimmen Sie die Meßfehler.

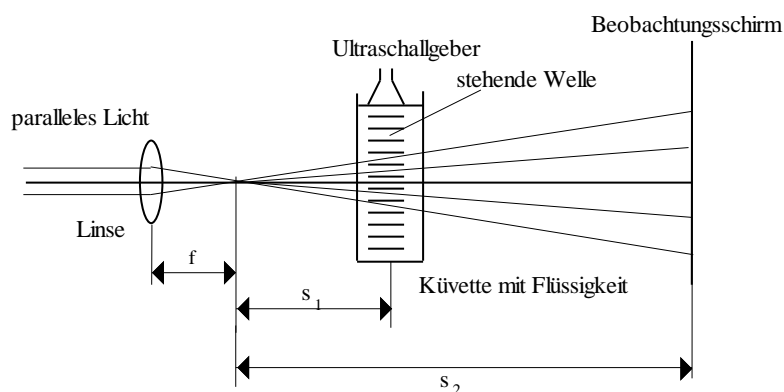


Abb.2 Versuchsaufbau

- Zwischen Ultraschallgeber, seitlich an der Küvette angekoppelt, und Ultraschallaufnehmer, in der Flüssigkeit, kann sich bei Entfernungen, die dem Vielfachen der halben Wellenlänge entsprechen, eine stehende Welle ausbilden.

Bestimmen Sie die Wellenlänge der stehenden Ultraschallwelle indem Sie den Schallempfänger in der Flüssigkeit verschieben. Im Abstand einer halben Wellenlänge bilden sich Minima bzw. Maxima der stehenden Welle, welche mittels eines Oszilloskops beobachtet werden können.

- Bestimmen Sie die Geschwindigkeit eines Ultraschallimpulses mittels einer direkten Laufzeitmessung. Bestimmen Sie den Meßfehler für die Geschwindigkeit.
- Berechnen Sie aus der ermittelten Phasengeschwindigkeit den Kompressionsmodul und den Wellenwiderstand der verwendeten Flüssigkeit.
- Ermitteln Sie aus der Maximalspannung, welche der Schallaufnehmer liefert, die Amplitude u_{max} der Ultraschallwelle. Berechnen Sie die Schallintensität.