

# **Debye-Sears-Effekt**

# BESTIMMUNG DER GESCHWINDIGKEIT VON ULTRASCHALLWELLEN IN FLÜSSIGKEITEN.

- Beobachtung des Beugungsmusters bei fester Ultraschallfreguenz für zwei verschiedene Lichtwellenlängen.
- Beobachtung des Beugungsmusters für verschiedene Ultraschallfrequenzen zwischen 1 und 12 MHz.
- Bestimmung der zugehörigen Schallwellenlängen und der Schallgeschwindigkeit.

UE1070550

04/16 JS

#### ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Die Beugung von Licht an Ultraschallwellen in Flüssigkeiten wurde 1922 von *Brillouin* vorhergesagt und 1932 von *Debye* und *Sears* sowie *Lucas* und *Biquard* experimentell bestätigt. Sie beruht auf der periodischen Änderung des Brechungsindex in der Flüssigkeit, die durch eine Ultraschallwelle hervorgerufen wird. Auf eine senkrecht dazu durchtretende Lichtwelle wirkt diese Anordnung als Phasengitter, das sich mit Schallgeschwindigkeit verschiebt. Seine Gitterkonstante entspricht der Wellenlänge der Ultraschallwellen und hängt somit von deren Frequenz und der Schallgeschwindigkeit des durchstrahlten Mediums ab. Die Bewegung des Phasengitters kann bei Beobachtung auf einem sehr weit entfernten Schirm vernachlässigt werden.

Im Experiment koppelt ein vertikal ausgerichteter Wandler Ultraschallwellen bei Frequenzen zwischen 1 und 12 MHz in die Testflüssigkeit ein. Ein paralleles monochromatisches Lichtbündel durchdringt die Flüssigkeit in horizontaler Richtung und wird am Phasengitter gebeugt (siehe Fig. 1). Das Beugungsmuster enthält mehrere Beugungsmaxima in regelmäßigem Abstand zueinander (siehe Fig. 2).

Für den Winkel  $\alpha_k$  des Beugungsmaximums der  $\emph{k}\text{-ten}$  Ordnung gilt

(1) 
$$\tan \alpha_k = k \cdot \frac{\lambda_L}{\lambda_S}$$

 $\lambda_L$ : Lichtwellenlänge,  $\lambda_S$ : Schallwellenlänge

Daher kann die Schallwellenlänge  $\lambda_S$  aus den Abständen der Beugungsmaxima bestimmt werden. Zusätzlich lässt sich gemäß

(2) 
$$c = f \cdot \lambda_S$$

die Schallgeschwindigkeit c in der Flüssigkeit berechnen, da auch die Frequenzen f der Schallwellen bekannt sind.

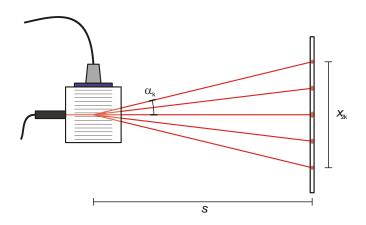


Fig. 1: Schematische Darstellung zur Beugung von Licht an einem mit Ultraschallwellen in einer Flüssigkeit erzeugten Phasengitter



Fig. 2: Beugungsmuster aus der Beugung von Licht an einem mit Ultraschallwellen in einer Flüssigkeit erzeugten Phasengitter

## **GERÄTELISTE**

 1 Ultraschall-cw-Generator mit Sonde
 1002576 (U100061)

 1 Probengefäß, komplett
 1002578 (U10008)

 1 Laserdiode zum D-S-Effekt, rot
 1002577 (U10007)

 1 Laserdiode zum D-S-Effekt, grün
 1002579 (U10009)

 1 Taschenbandmaß, 2 m
 1002603 (U10073)

 1 Ultraschall-Koppelgel
 1008575 (XP999)

#### **AUFBAU**

- Probengefäß mit destilliertem Wasser füllen und etwa 3 m von der Projektionswand entfernt aufstellen.
- Multifrequenzsonde vertikal in der Halterung des Probengefäßes montieren und an Ausgang PROBE des Ultraschall-cw-Generators anschließen (siehe Fig. 3).
- Rote Laserdiode in der Laserhalterung des Probengefäßes montieren und an den Ausgang LASER des Ultraschall-cw-Generators anschließen.



Fig. 3: Messaufbau zur Beugung von Licht an einem mit Ultraschallwellen in einer Flüssigkeit erzeugten Phasengitter

# DURCHFÜHRUNG

- Entfernung s zwischen Multifrequenzsonde und Wand ausmessen.
- Ultraschall-cw-Generator einschalten.
- Laser und Multifrequenzsonde einschalten.
- Frequenz 1 MHz einstellen.
- Amplitude des Wandlersignals einstellen und mit den drei Stellschrauben des Wandlerhalters die Multifreuqenzsonde so ausrichten, dass stehende Wellen erzeugt werden.
- Auf der Wand den Abstand x<sub>2k</sub> zwischen dem Maximum der –k-ten und der k-ten Ordnung ausmessen.
- Frequenz in Schritten von 1 MHz bis zu 12 MHz erhöhen und jeweils den Abstand x2k sowie die zugehörige beugungsordnung k bestimmen.
- Rote Laserdiode durch grüne ersetzen und entsprechende Messreihe aufnehmen.

### MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

s = 325 cm

Tab. 1: Messdaten zur Lichtwellenlänge  $\lambda_L$  = 652 nm (roter Laser)

f/MHz	k	X <sub>2k</sub> / cm	λs/ μm
1	9	2,5	1525,7
2	5	2,8	756,8
3	5	4,3	492,8
4	3	3,5	363,3
5	3	4,3	295,7
6	2	3,5	242,2
7	2	4,0	211,9
8	2	4,6	184,3
9	2	5,2	163,0
10	1	2,8	151,4
11	1	3,2	132,4
12	1	3,5	121,1

Tab. 2: Messdaten zur Lichtwellenlänge  $\lambda_{\text{L}}$  = 532 nm (grüner Laser)

f/MHz	k	X <sub>2k</sub> / cm	λs/ μm
2	5	2,4	720,4
3	4	2,9	477,0
4	3	2,8	370,5
5	2	2,3	300,7
6	2	2,8	247,0
7	2	3,2	216,1
8	2	3,7	186,9
9	2	4,2	164,7
10	2	4,6	150,3
11	1	2,6	133,0
12	1	2,8	123,5

Es wird die Entfernung s zwischen Ultraschallwandler und Beugungsbild sowie der Abstand  $x_{2k}$  zwischen dem -k-ten und dem +k-ten Beugungsmaximum gemessen. Beide Werte gehen in die Berechung des Winkels  $\alpha_k$  für das Beugungsmaximum der k-ten Ordnung ein.

$$\tan \alpha_{k} = \frac{x_{2k}}{2 \cdot s}.$$

Die Bestimmungsgleichung für die Schallwellenlänge  $\lambda_{\text{S}}$  lautet somit

$$\lambda_S = \frac{2 \cdot k \cdot s}{x_{2k}} \cdot \lambda_L.$$

Unter Anwendung dieser Gleichung werden die Schallwellenlängen in der rechten Spakte der beiden Tabellen berechnet.

Fig. 4 zeigt die Abhängigkeit der berechneten Wellenlängen von der Frequenz der Ultraschallwellen. Die eingezeichnet Hyperbel wurde gemäß (2) aus

$$\lambda_S = \frac{c}{f} \text{ mit } c = 1482 \frac{m}{s}$$

berechnet. Die so bestimmte Schallgeschwindigkweit c in Wasser stimmt hervorragend mit den Literaturangaben überien

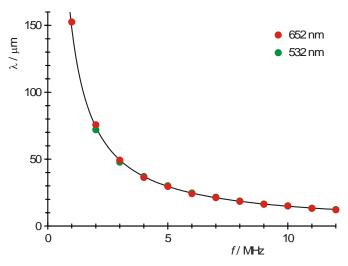


Fig. 4: Schallwellenlänge  $\lambda_{\rm S}$  in Wasser in Abhängigkeit von der Frequenz f