

Lichtmodulation durch Ultraschall

Karsten Gorling & Daniel Schmidt
Berlin, den 19. Mai 2003
Optisches Institut, TU Berlin, Fortgeschrittenenpraktikum

Bei diesem Verfahren wird der Intensität eine zeitlich Modulation aufgeprägt. Die Modulation erfolgt in Wasser und Isopropanol durch Ultraschall, wobei unterschiedliche Brechungsindizes Interferenzmuster untersucht mit verschiedenen optischen Methoden untersucht werden. Die Ergebnisse werden zur Bestimmen der Schallgeschwindigkeit verwendet.

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau und Durchführung	2
1.1	Methode der Fraunhofer–Beugung	2
1.2	Dunkelfeldmethode	2
1.3	Defokussierte Abbildung	2
1.4	Welle im Küvettensystem erzeugen	2
2	Auswertung	4
2.1	Vergrößerungsmaßstäbe	4
2.2	Methode der Fraunhofer–Beugung	5
2.3	Stehende und laufende Welle der Fraunhofer–Beugung unterscheiden	5
3	Dunkelfeldmethode	8
4	Defokussierte Abbildung	8
5	Ergebnisse	10
5.1	Literaturwerte der Schallgeschwindigkeiten	10
5.2	Meßergebnisse	10

1 Aufbau und Durchführung

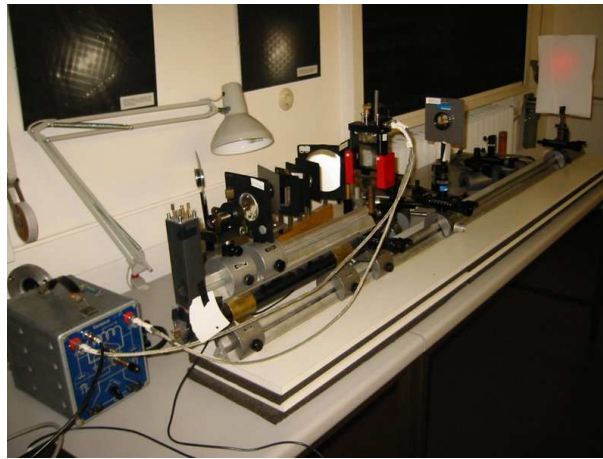


Abbildung 1: Eine fotografische Aufnahme des Versuchsaufbaus für Lichtmodulation durch Ultraschall

Das Medium, in dem Ultraschall vorliegt, ist in diesem Versuch Wasser und iso-Propanol. Als Referenzwelle dient ein Helium-Neon-Laser der Wellenlänge von 632,8 nm. Die Frequenz des Quarzkristalls wird durch einen Frequenzgenerator geregelt und mit Hilfe eines Oszillographen abgelesen. In der Ebene des Schirm wird für jeden Versuch eine Fotokamera angebracht, damit Aufnahmen vom Interferenzmuster gemacht werden. Im Anschluß wird der entwickelte Negativfilm digital eingescannt.

Es ist zu empfehlen, das Ablesen der exakt verwendeten Frequenz an einem Frequenzzähler vorzunehmen. Das Ablesen am Oszillographen gestaltet sich zu ungenau.

1.1 Methode der Fraunhofer-Beugung

Zur Untersuchung der stehenden und laufenden Schallwelle wird nach Versuchsaufbau der Abbildung 2 verfahren. Durch Schrauben des Reflektor in der Küvette kann das Verhältnis zwischen laufenden und stehenden Wellen variiert werden. Der Schirm wird in Brennweite f_2 der rechten Linse aufgestellt.

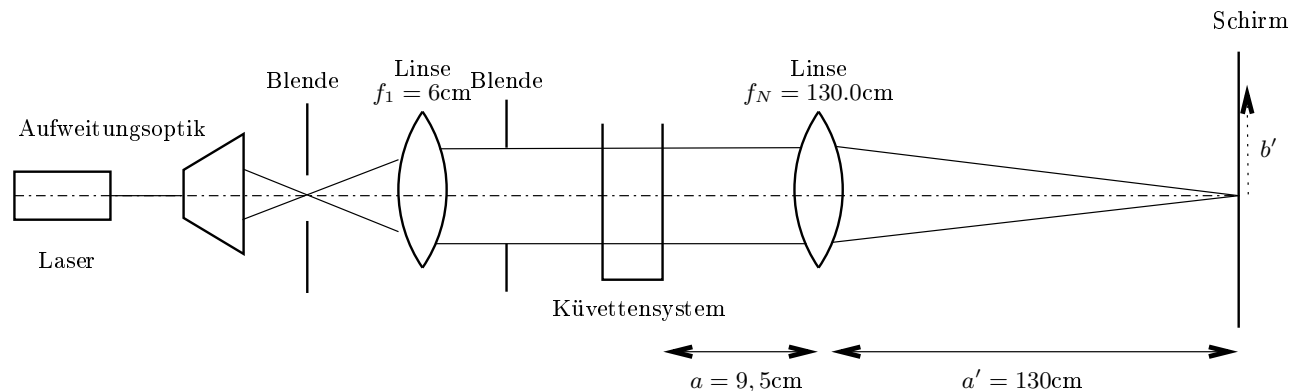


Abbildung 2: Aufbau zur Untersuchung der Fraunhofer-Beugung

1.2 Dunkelfeldmethode

In Brennweite f_2 der rechten Linse wird der Wolframdraht angebracht. Es ist darauf zu achten, daß nicht die Beugungsbilder des Wolframdrahts auf dem Schirm sichtbar werden.

1.3 Defokussierte Abbildung

oder auch als *Sekundäre Interferenz* bezeichnet.

1.4 Welle im Küvetten-system erzeugen

Um auch die Auswahl zwischen stehenden und laufenden Wellen zu haben wird - wie in Abbildung 5 der Reflektor durch Schrauben verstellt. Zur Erzeugung von gekreuzten Wellen wird zusätzlich eine Metallplatte diagonal in

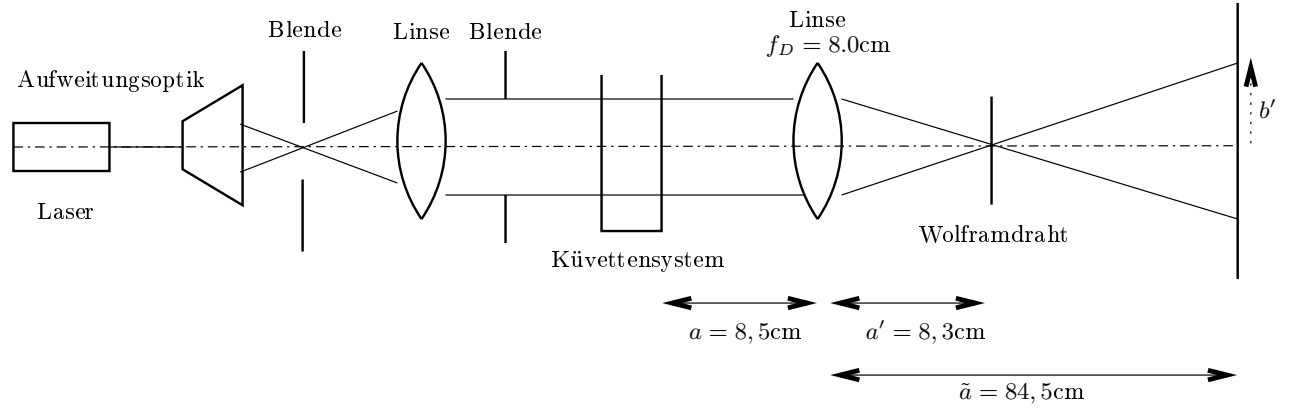


Abbildung 3: Aufbau zur Untersuchung der Dunkelfeldmethode

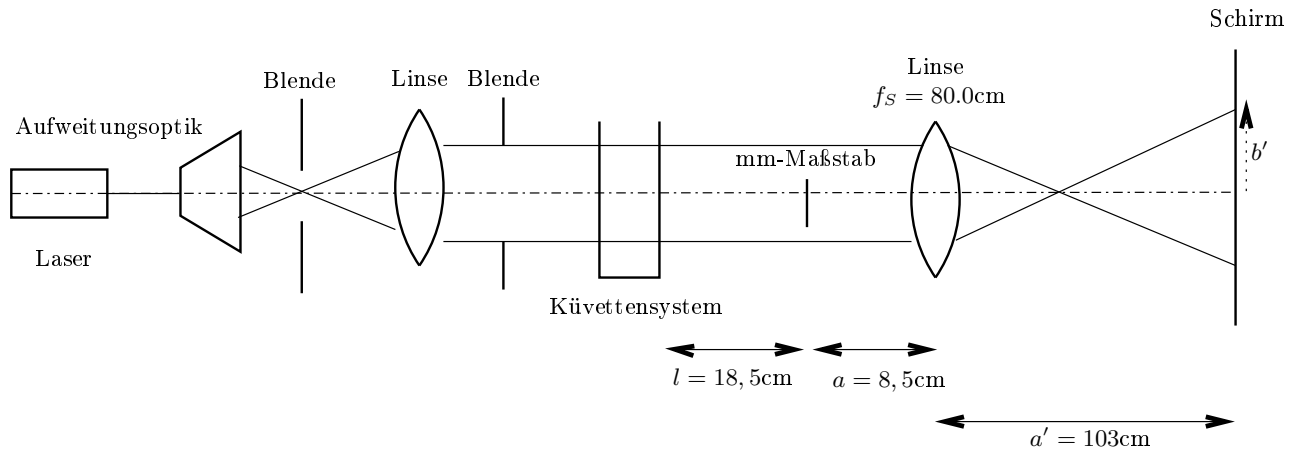


Abbildung 4: Aufbau zur Untersuchung einer defokussierten Abbildung

die Küvette eingebracht.

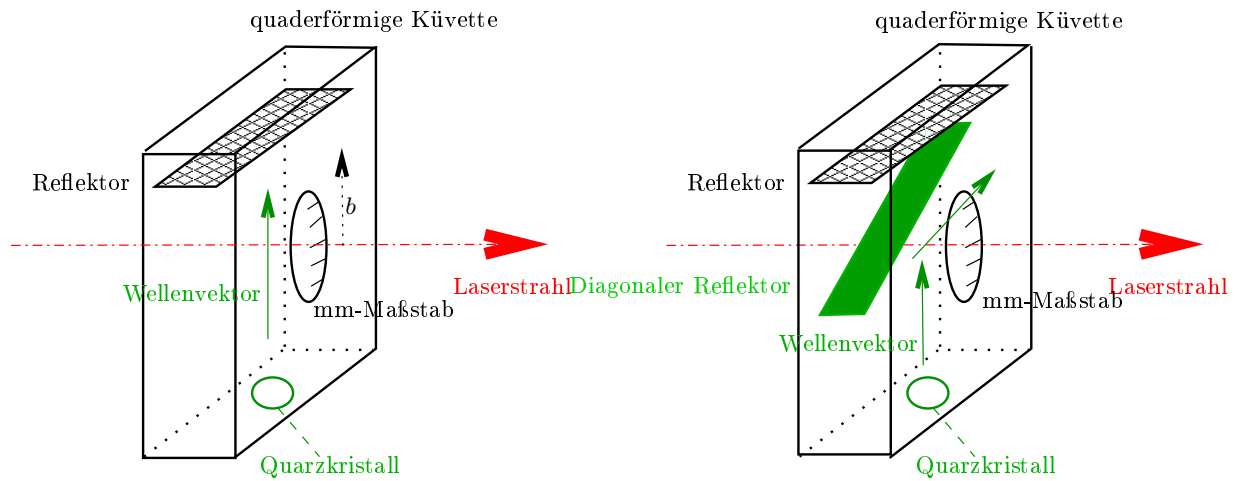


Abbildung 5: Skizze des Küvettenystems, in dem der Quarzkristall eine ultraschallene Schwingung erzeugt, **links:** Aufbau für stehende und laufende Welle, **rechts:** Aufbau für gekreuzte Wellen

2 Auswertung

a	Abstand zwischen Objektebene und rechter Linse
a'	Abstand zwischen rechter Linse und Schirm
$\lambda = 632 \text{ nm}$	Wellenlänge des Laserstrahls
f_2	Brennweite der rechten Linse
b'	Abstand der Beugungsmaxima auf der Schirm
b''	Abstand der Beugungsmaxima auf den Fotos
b	Gitterabstand im Küvettenystem
β	Vergrößerungsmaßstab der rechten Linse
F	Frequenz der Ultraschallwelle
Λ	Wellenlänge der Ultraschallwelle
c	Schallgeschwindigkeit
θ	Winkel zwischen optischer Achse und Linie Gitterdurchgang-1.Maximum

Die Schallgeschwindigkeit ergibt sich aus der Wellenlänge Λ und der Frequenz F der Schallwelle:

$$c = F\Lambda \quad (2.1)$$

2.1 Vergrößerungsmaßstäbe

Durch die Fotoentwicklung Die entwickelten Negativfilme sind direkt digital eingescannt. Die Skalierung der hiermit erzeugten Fotos erfolgt an der Länge und Breite der maximal möglichen Belichtungsfläche eines standardisierten 36-mm-Foto-Films und nicht an den Filmfortbewegungsrädchen, da die Rädchen nicht mit eingescannt worden sind. Das Verhältnis hierbei gibt der Vergrößerungsmaßstab β an und ist für alle Messungen:

$$\beta = \frac{1130 \text{ Pixel} \pm 20 \text{ Pixel}}{36 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}}$$

Daher sind alle Abstände b'' in den Fotos in die Werte b' bereits umgerechnet worden.

$$b'' = \frac{b'}{\beta}$$

Durch die Linse Für die Dunkelfeld-Methode und die defokussierte Abbildung wird der Vergrößerungsmaßstab β_D bzw. β_S benötigt. Er gibt an, mit welcher Vergrößerung der mm-Maßstab durch die Linse auf den Schirm abgebildet wird. Wenn der Abstand am Küvettenystem q vorliegt, so liegt am Schirm die Größe q' vor, wodurch man erhält:

$$\beta = \frac{q'}{q}$$

Bei den digitalen Aufnahmen ist wiederum eine Umrechnung durch Kenntnis der Filmmaße notwendig.

2.2 Methode der Fraunhofer–Beugung

Wenn θ der Winkel des 1. Maximums von der optischen Achse ist, a' der Abstand zwischen rechter Linse und dem Schirm, so ergibt sich für die Wellenlänge

$$\begin{aligned}\Lambda &= \frac{\lambda}{\sin \theta} \\ &= \frac{\lambda \sqrt{a'^2 + b'^2}}{b'}\end{aligned}\quad (2.2)$$

Für eine gekreuzte Wellenformation gilt die selbe Formel.

$$\begin{aligned}a' &= 1,3 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m} \\ \Delta c &= 60 \text{ bei } 2.00 \text{ MHz} \\ \Delta c &= 100 \text{ bei } 6.00 \text{ MHz}\end{aligned}$$

Versuch	Welle	Medium	Richtung	Gekreuzt	F [MHz] $\pm 0,01$ MHz	b' [mm] $\pm 0,052$ mm	Λ [mm] $\pm 0,05$ mm	c [m/s]
20	stehend	Wasser	vertikal		2,00	1,115	0,739	1478
20	stehend	Wasser	vertikal		6,00	3,027	0,271	1626
20	stehend	Wasser	vertikal		6,00	3,027	0,271	1626
20	stehend	Wasser	vertikal	×	6,00	1,274	0,645	1290
20	stehend	Wasser	horizontal	×	2,00	1,274	0,645	1290
20	stehend	Wasser	vertikal	×	6,00	3,027	0,271	1626
20	stehend	Wasser	horizontal	×	6,00	3,027	0,271	1626
20	stehend	Wasser	vertikal	×	2,00	1,345	0,611	1222
20	stehend	Propanol	horizontal	×	2,00	1,354	0,607	1214
20	stehend	Propanol	vertikal	×	2,00	1,327	0,619	1238
20	stehend	Propanol	horizontal	×	2,00	1,354	0,607	1214
20	stehend	Propanol	vertikal	×	2,00	1,338	0,614	1228
20	stehend	Propanol	horizontal	×	2,00	1,338	0,614	1228
20	stehend	Propanol	vertikal	×	6,00	3,982	0,206	1336
20	stehend	Propanol	horizontal	×	6,00	4,142	0,198	1170
20	stehend	Propanol	vertikal		6,00	4,078	0,201	1206
20	stehend	Propanol	vertikal		6,00	3,982	0,206	1236
10	stehend	Propanol	vertikal		6,00	4,222	0,195	1170
8	stehend	Propanol	vertikal		2,00	1,286	0,639	1278
2	stehend	Wasser	vertikal		2,00	1,000	0,822	1644
11	stehend	Propanol	vertikal		2,00	1,583	0,519	1038
15	stehend	Propanol	vertikal		6,00	4,143	0,198	1188
16	stehend	Propanol	vertikal	×	6,00	3,825	0,215	1290
16	stehend	Propanol	horizontal	×	6,00	3,857	0,213	1278

Tabelle 1: Meßwerte der Fraunhofer–Beugung

2.3 Stehende und laufende Welle der Fraunhofer–Beugung unterscheiden

Erst durch den zeitlichen Verlauf der am Schirm beobachteten Intensitätsmaxima kann die Welle als stehend oder laufend erkannt werden.

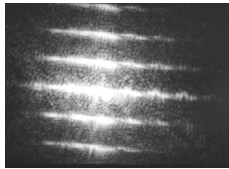


Abbildung 6: Fraunhofer, Propanol, 6 MHz

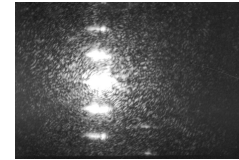


Abbildung 7: Fraunhofer, Propanol, 6 MHz

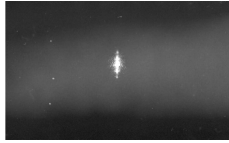


Abbildung 8: Fraunhofer, Wasser, 2 MHz

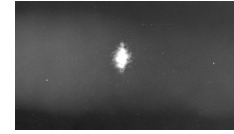


Abbildung 9: Fraunhofer, Wasser, 2 MHz

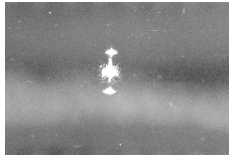


Abbildung 10: Fraunhofer, Wasser, 6 MHz

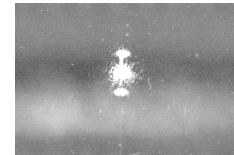


Abbildung 11: Fraunhofer, Wasser, 6 MHz

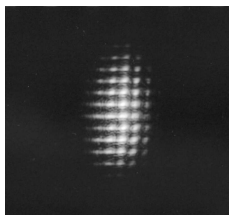


Abbildung 12: Fraunhofer gekreuzt, Propanol, 2 MHz

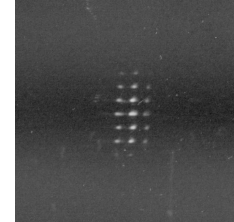


Abbildung 13: Fraunhofer gekreuzt, Propanol, 2 MHz

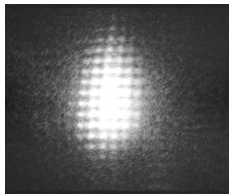


Abbildung 14: Fraunhofer gekreuzt, Propanol, 2 MHz

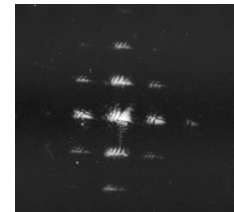


Abbildung 15: Fraunhofer gekreuzt, Propanol, 6 MHz

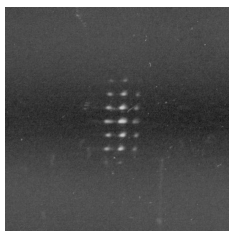


Abbildung 16: Fraunhofer gekreuzt, Propanol, 2 MHz

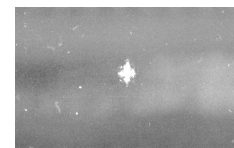


Abbildung 17: Fraunhofer gekreuzt, Wasser, 2 MHz

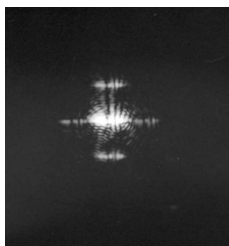


Abbildung 18: Fraunhofer gekreuzt, Wasser, 6 MHz

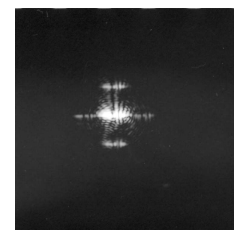


Abbildung 19: Fraunhofer gekreuzt, Wasser, 6 MHz

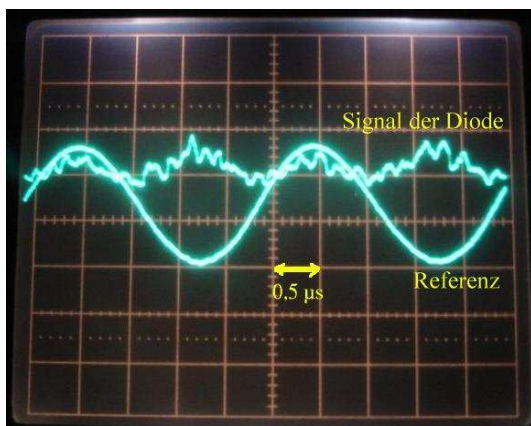


Abbildung 20: Ausgabe des Oszillographen bei 1. Ordnung einer stehenden Welle; Parameter: Zeiteinheit von $0,1\mu\text{s}$ je Einheit, $0,5\text{ V}$ je Einheit für Referenz, 2 mV je Einheit für Diode

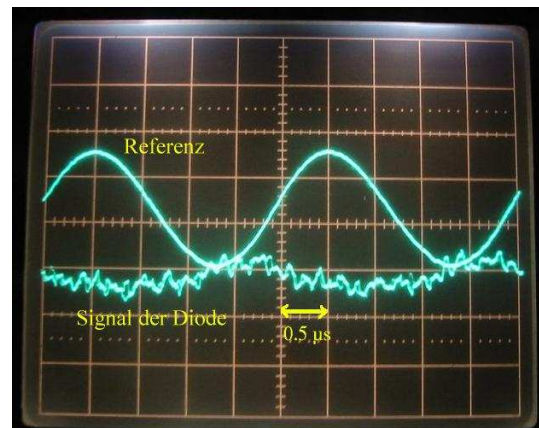


Abbildung 21: Ausgabe des Oszillographen bei 0. Ordnung einer laufenden Welle; Parameter: Zeiteinheit von $0,1\mu\text{s}$ je Einheit, $0,5\text{ V}$ je Einheit für Referenz, 2 mV je Einheit für Diode

3 Dunkelfeldmethode

Bei Kenntnis der Abstände b' der Maxima auf der Schirmebene läßt sich die Wellenlänge berechnen.

$$\Lambda = 2 \frac{b'}{\beta_D} \quad (3.1)$$

$$\Delta c = 60 \text{ bei } 2.00 \text{ MHz}$$

$$\Delta c = 100 \text{ bei } 6.00 \text{ MHz}$$

$$\beta_D = \frac{150 \text{ Pixel}}{1130 \text{ Pixel}} \cdot 36 \text{ Pixel} \cdot 2 = 9,558 \pm 0,06 \text{ bei 4. Wert}$$

$$\beta_D = \frac{567 \text{ Pixel}}{1130 \text{ Pixel}} \cdot 36 \text{ Pixel} \cdot 2 = 18.04 \pm 0,06 \text{ bei 5. Wert}$$

$$\beta_D = 10.10 \pm 0,06 \text{ ab 6. Wert}$$

Versuch	Medium	F [MHz] $\pm 0,01$ MHz	b' [mm] $\pm 0,052$ mm	β_D $\pm 0,06$	b [mm] $\pm 0,005$ mm	Λ [m] $\pm 0,005$ mm	c [m/s]
18	Propanol	2.00	2.644	9.558	0.277	0.554	1106
18	Propanol	2.00	2.628	9.558	0.277	0.554	1100
18	Propanol	6.00	1.147	9.558	0.120	0.240	1440
18	Propanol	6.00	1.115	9.558	0.117	0.234	1404
18	Wasser	6.00	1.720	18.04	0.095	0.190	1140
5	Propanol	2.00	0.029	10.10	0.287	0.574	1148
5	Propanol	6.00	0.925	10.10	0.092	0.183	1099
6	Wasser	6.00	1.150	10.10	0.114	0.227	1363
13	Wasser	2.00	3.07	10.10	0.304	0.608	1216

Tabelle 2: Meßwerte der Dunkelfeldmethode

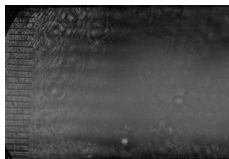


Abbildung 22: Dunkelfeld, Propanol, 2 MHz

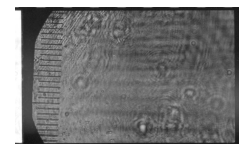


Abbildung 23: Dunkelfeld, Propanol, 2 MHz

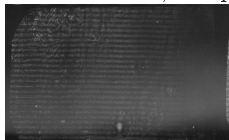


Abbildung 24: Dunkelfeld, Propanol, 6 MHz

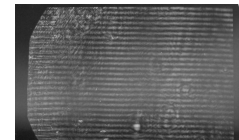


Abbildung 25: Dunkelfeld, Propanol, 6 MHz

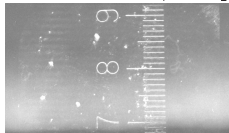


Abbildung 26: Dunkelfeld, Wasser, 6 MHz

4 Defokussierte Abbildung

Bei Kenntnis der Abstände b' der Maxima auf der Schirmebene läßt sich die Wellenlänge berechnen.

$$\Lambda = \frac{b'}{\beta_S} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned}\Delta c &= 60 \text{ bei } 2.00 \text{ MHz} \\ \Delta c &= 100 \text{ bei } 6.00 \text{ MHz} \\ \beta_D &= \frac{190 \text{ Pixel}}{1130 \text{ Pixel}} 36 \text{ Pixel} \cdot 2 = 12.11 \pm 0,06\end{aligned}$$

Medium	F [MHz]	b' [mm] $\pm 0,01 \text{ MHz}$	β_S $\pm 0,052 \text{ mm}$	b [mm] $\pm 0,06$	Λ [m] $\pm 0.005 \text{ mm}$	c [m/s]
Propanol	2,00	3.632	12.11	0.392	0.300	600
Wasser	6,00	4.991	12.11	0.402	0.402	1205
Propanol	6,00	0.310	9.9	0.031	0.031	186

Tabelle 3: Meßwerte der defokussierten Abbildung

Bei diesem Verfahren sind Schlieren aufgetreten, die auch nach einer Ruhezeit der Quarzkristalls aufgetreten sind. In Anbetracht der schlechten Werte wird die Methode der defokussierten Abbildung nicht in die Gesamtwertung eingehen.



Abbildung 27: Defokus, Propanol, 2 MHz

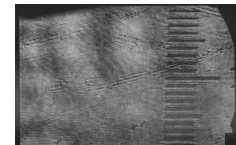


Abbildung 28: Defokus, Wasser, 2 MHz

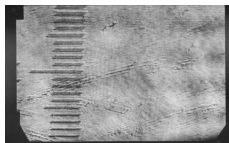


Abbildung 29: Defokus, Wasser, 2 MHz

5 Ergebnisse

5.1 Literaturwerte der Schallgeschwindigkeiten

Material	Schallgeschwindigkeit c [m/s]	Temperatur T [°C]	Abweichung m/s je °C
Gebrauchswasser	1286	20	+2,4
destilliertes Wasser	1497	25	+2,4
iso-Propanol	1231	24	-3,4

Tabelle 4: Diese Werte wurden der Literatur [5] entnommen

5.2 Meßergebnisse

In Mittelung der Messungen der Fraunhofer–Beugung und der Dunkelfeldmethode wurde folgende Schallgeschwindigkeiten ermittelt: Es handelt sich um vergleichsweise unzufriedenstellende Ergebniss.

Medium	Schallgeschwindigkeit c [m/s]	Δc [m/s]
iso-Propanol	1210	80
Wasser	1450	80

Literatur

- [1] J. Eichler, H.J. Eichler *Laser - Bauformen, Strahlführung, Anwendung* , Springer, 1998
- [2] G.C. Frey, *Pinholes - wozu, warum wie?*, Optoelektronik Magazin 5, 1989
- [3] L. Bergmann, *Der Ultraschall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik*, Hirzel Verlag, 1954
- [4] Schumann, Zürcher, Cuhe, *Holography and Deformation Analysis*, Springer-Verlag, 1998
- [5] Karl Deutsch, www.karldeutsch.de, Internet-Seite, Stand 2003