

Uwe Peterson - GAMPT mbH

Akusto-Optische Effekte



Experimente zur Wechselwirkung
von Laserlicht mit mechanischen Wellen im MHz-Bereich

GESELLSCHAFT FÜR ANGEWANDTE MEDIZINISCHE PHYSIK UND TECHNIK

1998 Firmengründung

2003 Zappendorf

seit **2010** in Merseburg bei Halle

⇒ Ultraschall in der **Ausbildung**

- Equipment für die Ausbildung an Fach- und Hochschulen

⇒ Ultraschall in der **Medizin**

- Messung von Mikroblasen (BubbleCounter)
- THED - Time Harmonic Elastography (Kooperation mit Charité Berlin)

⇒ Ultraschall in der **Industrie**

- Messungen dünner Schichten
- Ultraschallsonden nach Kundenspezifikation
- Forschung und Entwicklung (Entwicklung von Sensoren und Messtechnik)



16 Jahre Ultraschallgeräte und Zubehör für die Ausbildung

1999 – erstes GAMPT-Scan-Ultraschallgerät für das Grundpraktikum Physik an der MLU Halle-Wittenberg

- ⇒ **Experimente zu Grundlagen und Anwendungen** der Ultraschalltechnik in Physik, Medizin und Ingenieurwissenschaften
- ⇒ **Bildgebende Verfahren mit Ultraschall** (A-Bild, B-Bild, M-Mode, Ultraschalltomographie, Dopplersonografie)
- ⇒ **Akustooptische Versuche** zur Brechung (Zentralprojektion), Beugung (Debye-Sears) und Modulation von Laserlicht an bzw. durch Ultraschallwellen
- ⇒ **Anwenderspezifische Experimentiersets** für Physiker, Mediziner und Ingenieure



Grundversuche

Zentralprojektion

Brechung von divergentem, kohärentem Licht (Laser) an stehenden Ultraschallwellen

Debye-Sears-Versuch

Beugung von parallelem, kohärentem Licht (Laser) an stehenden und laufenden Ultraschallwellen

Erweiterungen des Debye-Sears-Versuches

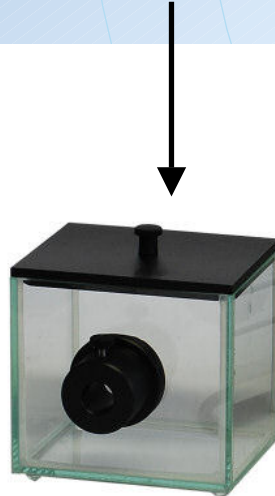
Experimente zur **Amplituden- und Phasenmodulation** von kohärentem Licht (Laser) bei stehenden Ultraschallwellen und Frequenzmodulation bei laufenden Ultraschallwellen
(auf Anregung und mit Unterstützung von Herrn PD Dr. Valeri Baev, Institut für Laser-Physik, Universität Hamburg)

Set Grundlagen Akusto-Optik

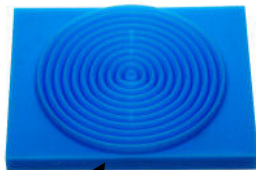
Wanne mit
Justiereinrichtung



Wanne mit
Deckel



cw-Ultraschall-
Generator SC600



Absorbermatte

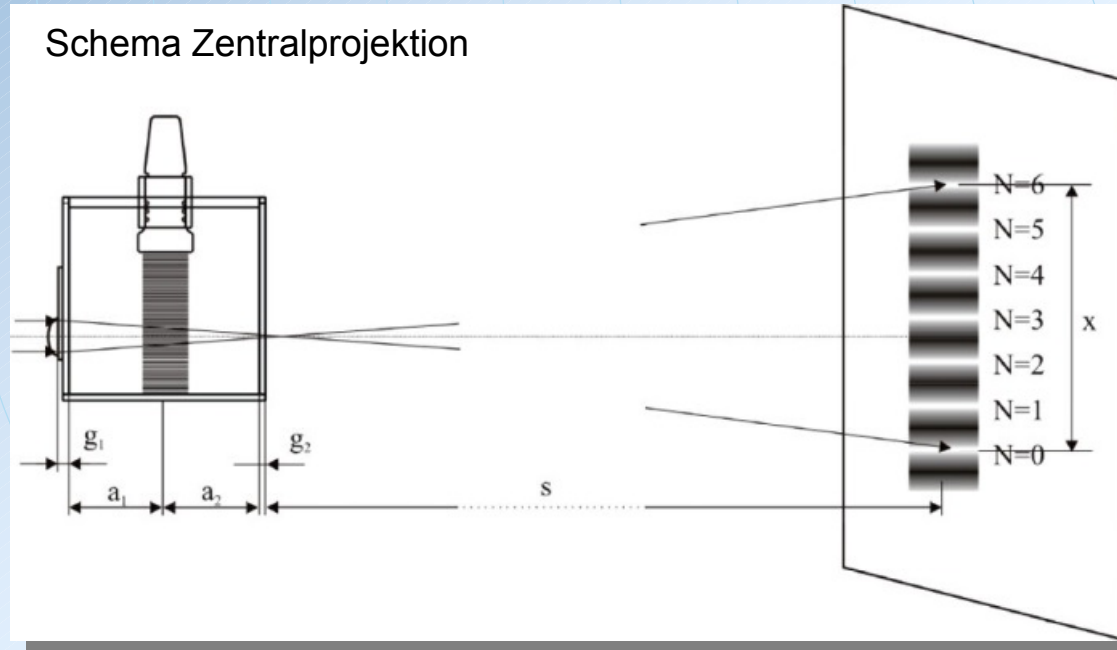


Projektionslinse

Laser grün | rot

Multifrequenz-
Ultraschallsonde

Schema Zentralprojektion

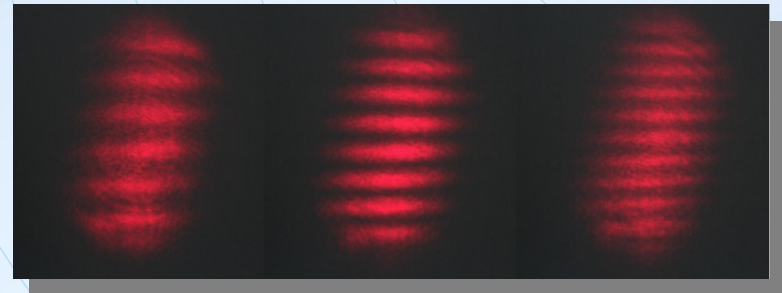
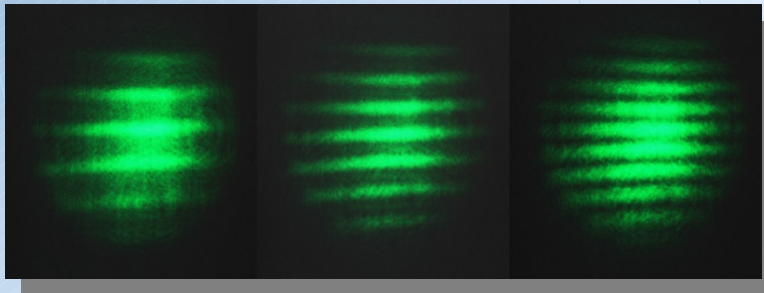


$$\lambda_s = \frac{2x}{N} \cdot \frac{f - \frac{g_1}{n_G} - \frac{a_1}{n_L}}{s - \left(f - \frac{g_1 + g_2}{n_G} - \frac{a_1 + a_2}{n_L} \right)}$$

$$c = \lambda_s \cdot \nu$$

- f Brennweite der Linse in Luft
- n_G Brechungsindex von Glas
- n_L Brechungsindex der Flüssigkeit
- λ_s Schallwellenlänge
- ν Schallfrequenz
- c Schallgeschwindigkeit

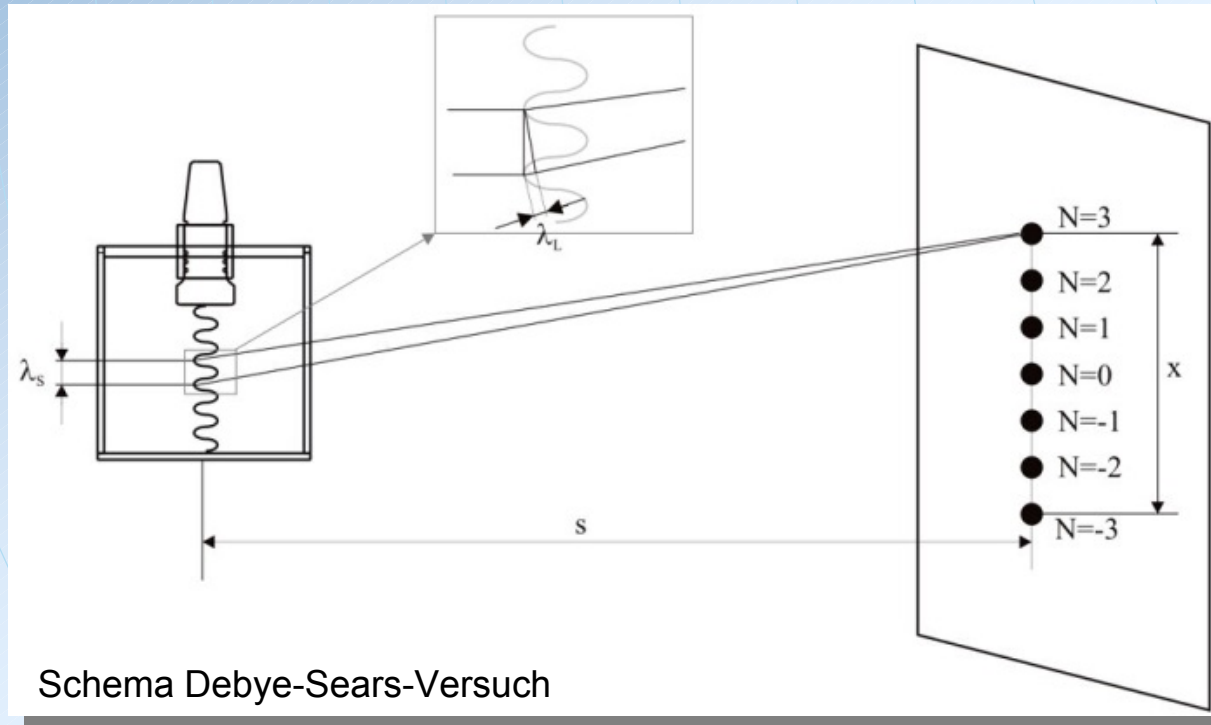
Zentralprojektionen bei Ultraschallfrequenzen von 2,8, 3,5 und 4,5 MHz mit grünem Laser (532 nm) und rotem Laser (650 nm)



Beispielmessung zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Wasser:

Brennweite der Linse in Luft: $f = 10 \text{ cm}$
 Brechungsindex von Glas: $n_G = 1,45$
 Brechungsindex von Wasser: $n_L = 1,33$
 Schallfrequenz: $v = 4 \text{ MHz}$

gemessene Werte						berechnete Werte	Literatur
$a_{1,2} \text{ [cm]}$	$g_1 \text{ [cm]}$	$g_2 \text{ [cm]}$	$s \text{ [m]}$	$x \text{ [cm]}$	N	$\lambda_S \text{ [}\mu\text{m]}$	$c \text{ [m/s]}$
4,8	0,5	0,4	3,03	8,9	9	397	1590 1480 (20°C)



$$\lambda_S = 2N \cdot \lambda_L \frac{s}{x}$$

$$c = \lambda_S \cdot \nu$$

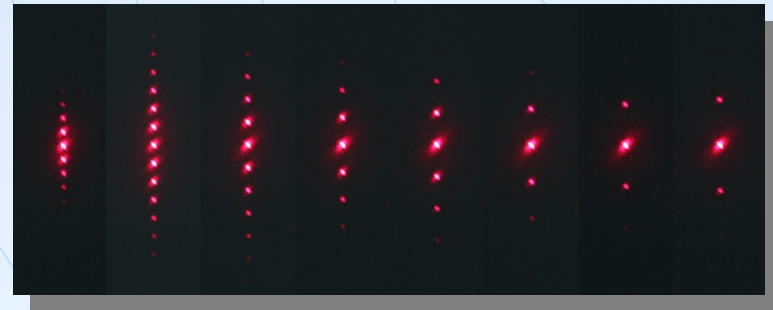
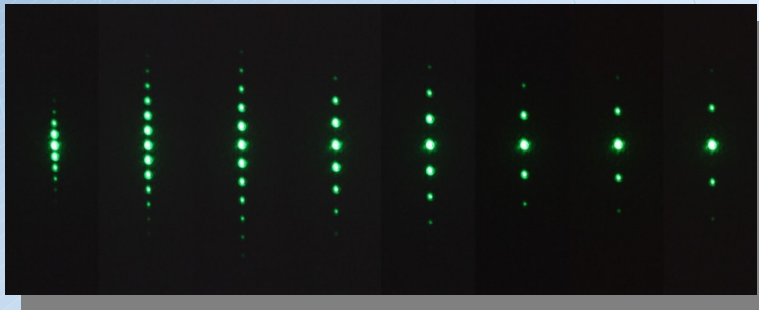
λ_L Lichtwellenlänge

λ_S Schallwellenlänge

ν Schallfrequenz

c Schallgeschwindigkeit

Beugungsbilder bei Ultraschallfrequenzen von 3-10 MHz in 1-MHz-Schritten mit grünem Laser (532 nm) und rotem Laser (650 nm)



Beispielmessung für zwei Flüssigkeiten mit rotem Laser bei RT:

Flüssigkeit	gegebene Werte		gemessene Werte			berechnete Werte		Literatur
	ν [MHz]	λ_L [nm]	N	s [m]	x [cm]	λ_S [μm]	c [m/s]	
Wasser	4	650	4	2,9	4,1	367,8	1471	1480 (20°C)
Glycerin	4	650	2	2,9	1,6	471,2	1885	1900 (25°C)

Ausgehend vom Versuchsmaterial für den Debye-Sears-Versuch (cw-Generator, Laser, US-Sonde, Probengefäß mit Justiereinrichtung) können mit zusätzlichem Equipment (Umlenkspiegel, Strahlteiler, Photodiode mit Verstärker, Absorbermatte) weitere Versuche zu akusto-optischen Effekten realisiert werden



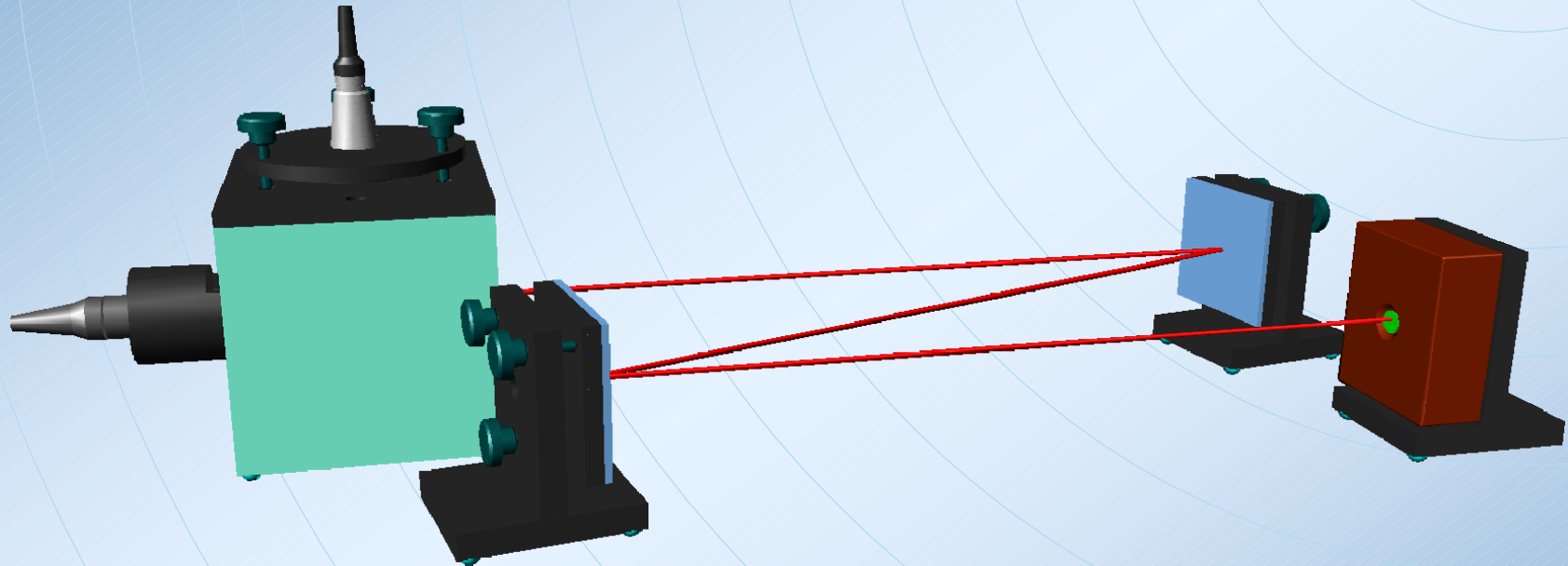
Umlenkspiegel



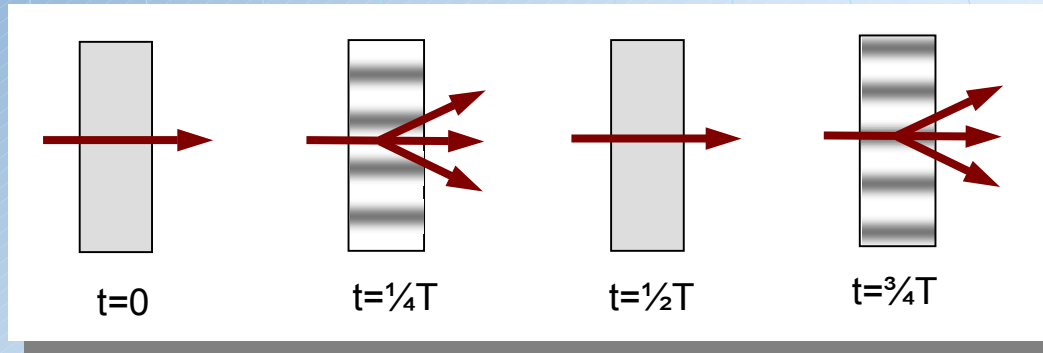
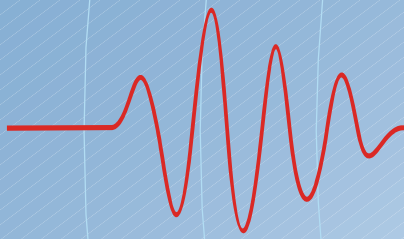
Strahlteiler
(halbdurchlässiger Spiegel)



Photodiode mit
Verstärker



Schema einer möglichen Versuchsanordnung



Lichtbeugung an einer stehenden Schallwelle (Baev, Hamburg)

Die stehende Ultraschallwelle bildet ein örtlich festes, zeitlich veränderbares Gitter.



Das führt zu zeitlichen Variationen in der Lichtintensität der einzelnen Beugungsordnungen mit der doppelten Frequenz des Ultraschalls

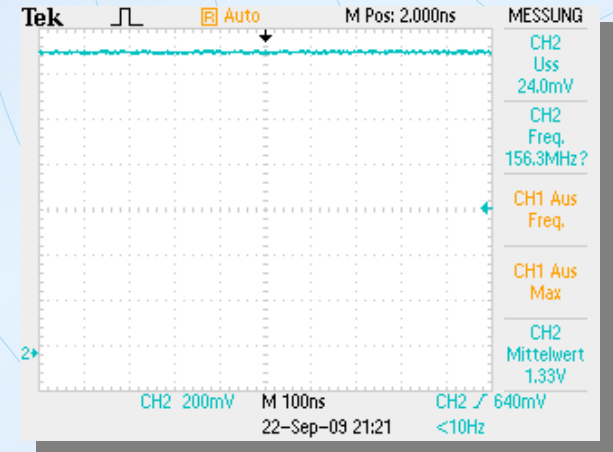


Bild 1: Ultraschall aus

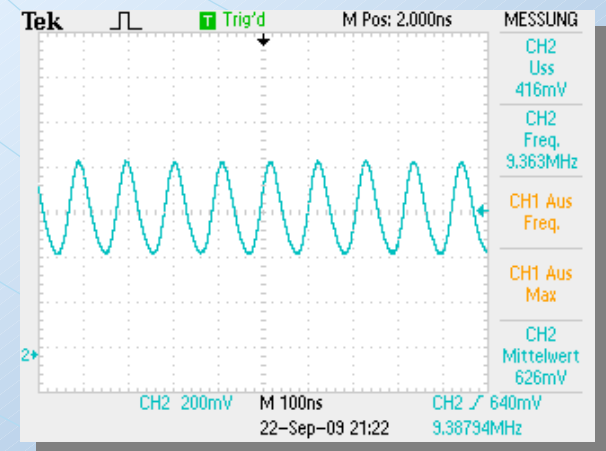


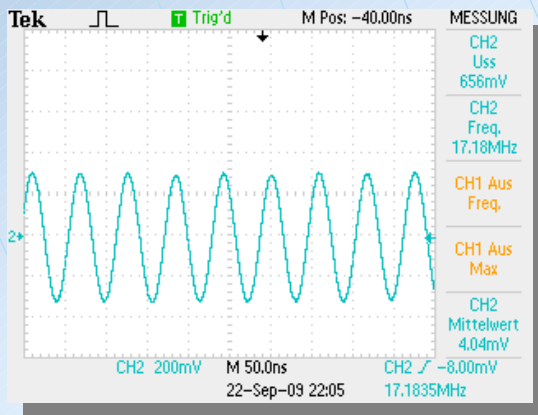
Bild 2: Ultraschall an

Bestimmung der Schallgeschwindigkeit

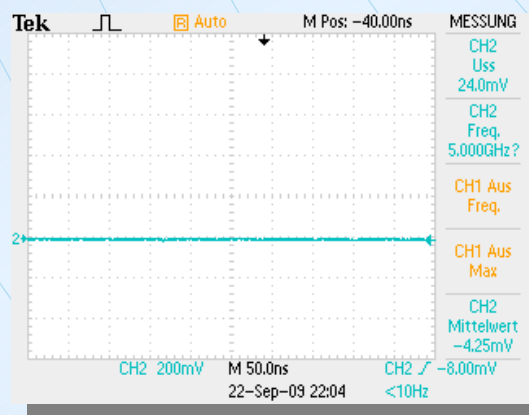
Durch Variation der Frequenz f der Ultraschallwelle ergeben sich:

- Modulationsmaxima (sehr gut ausgebildete stehende Welle) und
- Modulationsminima (keine stehende Welle)

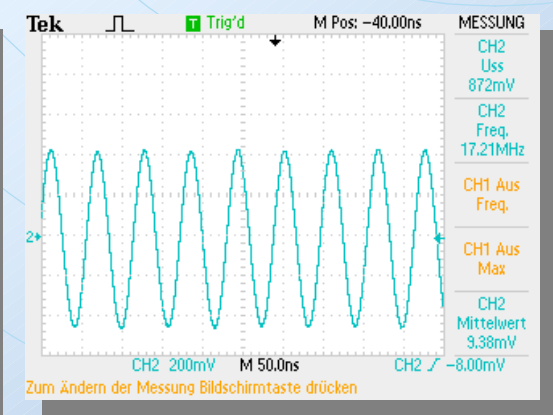
Für benachbarte Maxima gilt: $c = 2 h \Delta f$



Max. bei $f=8,5916$ MHz



Min. bei $f=8,5958$ MHz



Max. bei $f=8,6000$ MHz

$h = \text{Abstand US-Sonde/Boden} = 88,7 \text{ mm} \Rightarrow$

$c = 1490 \text{ m/s (Wasser)}$

Bestimmung der Schallgeschwindigkeit 2

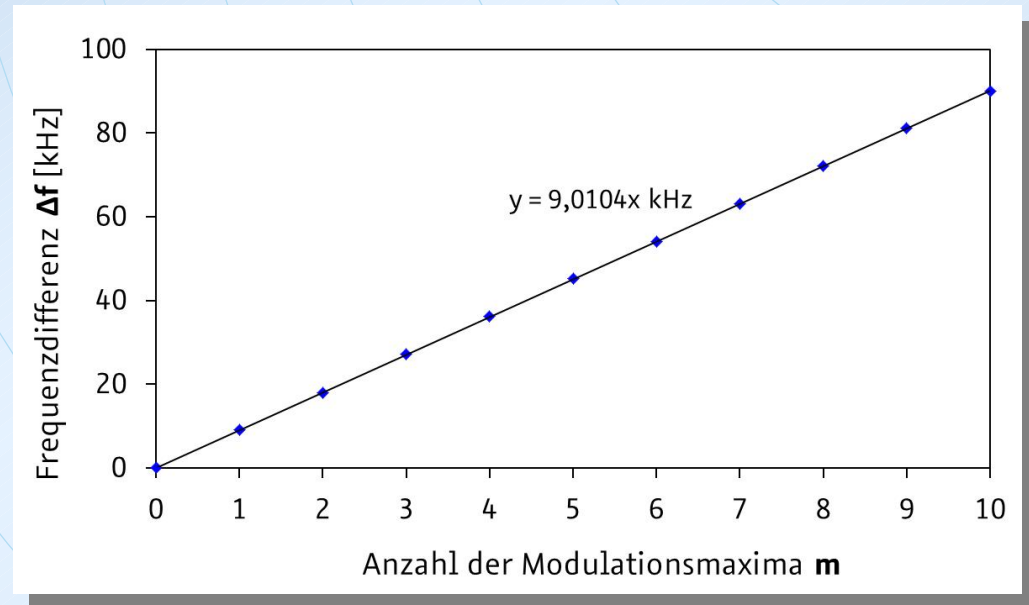
$$c = 2 h \Delta f / m$$



$$\Delta f = c / (2 h) * m$$

$$y = a * x + n$$

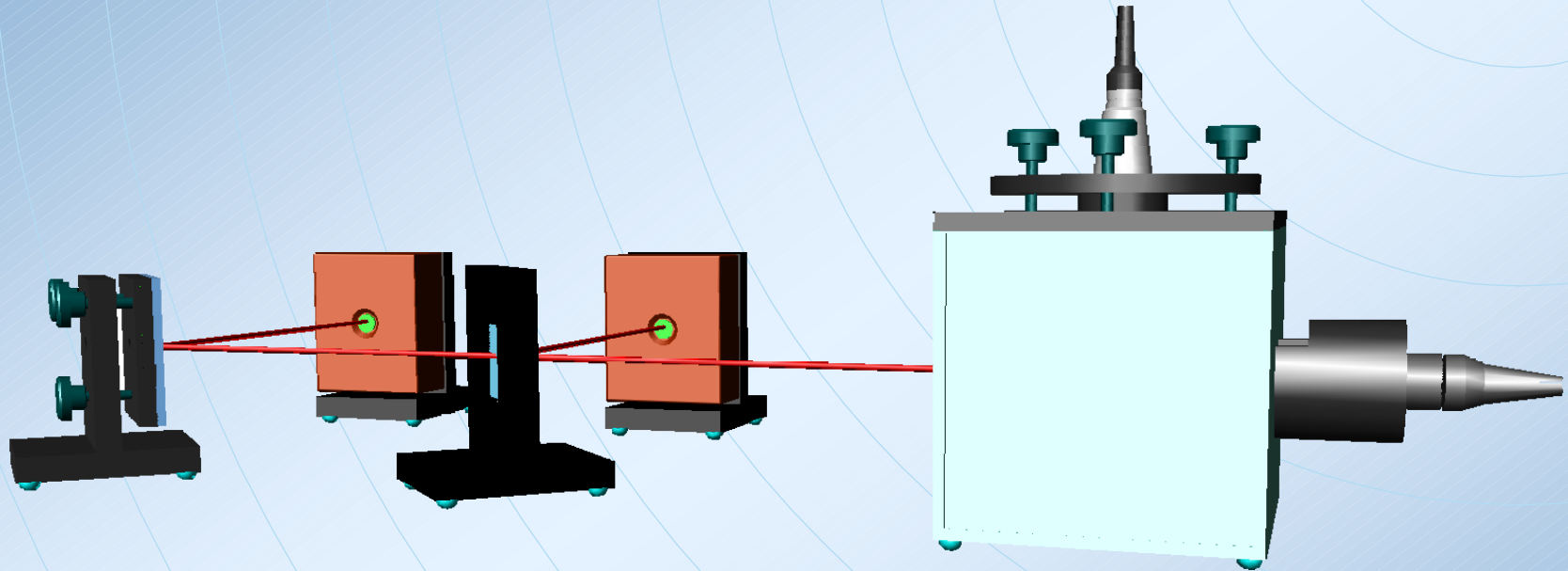
m	f [MHz]	Δf [kHz]
0	4,7209	0,0
1	4,7300	9,1
2	4,7388	17,9
3	4,7481	27,2
4	4,7571	36,2
5	4,7661	45,2
6	4,7749	54,0
7	4,7839	63,0
8	4,7930	72,1
9	4,8020	81,1
10	4,8109	90,0



$h = 83 \pm 1 \text{ mm}$, $T_{\text{H}_2\text{O}} = 25^\circ\text{C}$

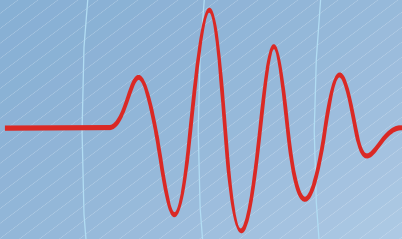
$$c = a 2 h = 1496 \pm 18 \text{ m/s}$$

(Literatur: 1497 m/s bei 25°C)



Schema einer möglichen Versuchsanordnung

Phasenverschiebung - Ergebnisse



Die Lichtintensität der 0. Beugungsordnung ist minimal beim Maximum der stehenden Welle (stärkstes Gitter, $t = \frac{1}{4} T$; $t = \frac{3}{4} T$) und maximal bei Amplitude = 0 (kein Gitter, $t = 0$; $t = \frac{1}{2} T$).

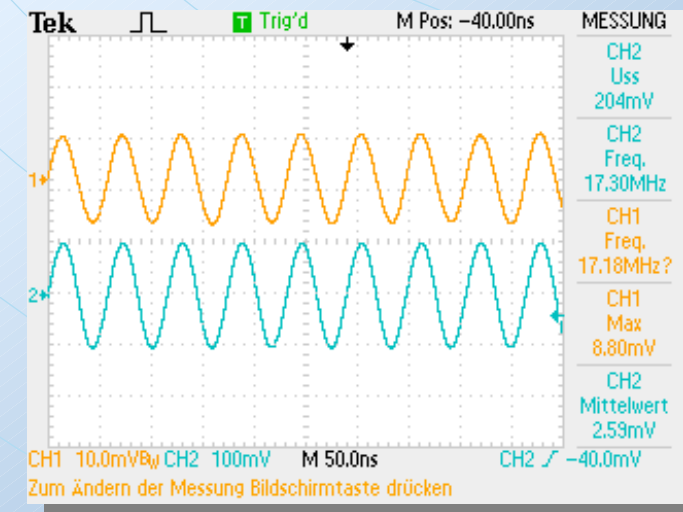
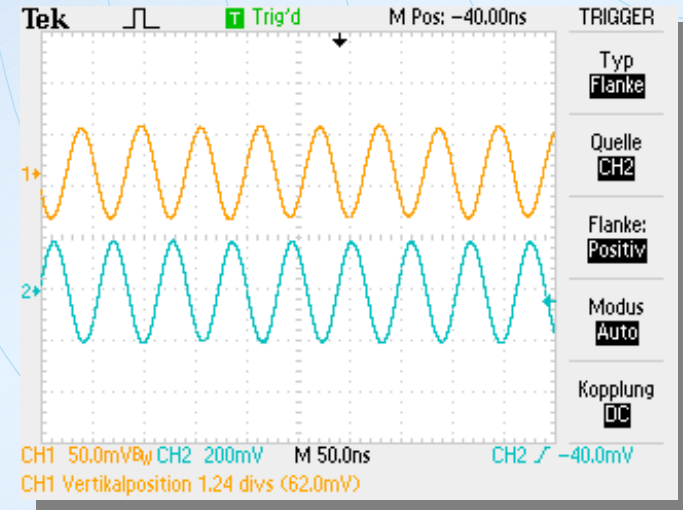
Alle weiteren Beugungsordnungen haben maximale Lichtintensität bei stärkster Gitterausbildung.



Damit weist die Amplitudenmodulation zwischen der 0. und den anderen Beugungsordnungen einen Phasenunterschied von 180° auf.

Bild1: 0. und 1. Ordnung
Bild2: 1. und 2. Ordnung
Anregungsfrequenz
Modulationsfrequenz

$$f = 8,6 \text{ MHz}$$
$$f_m = 17,2 \text{ MHz}$$

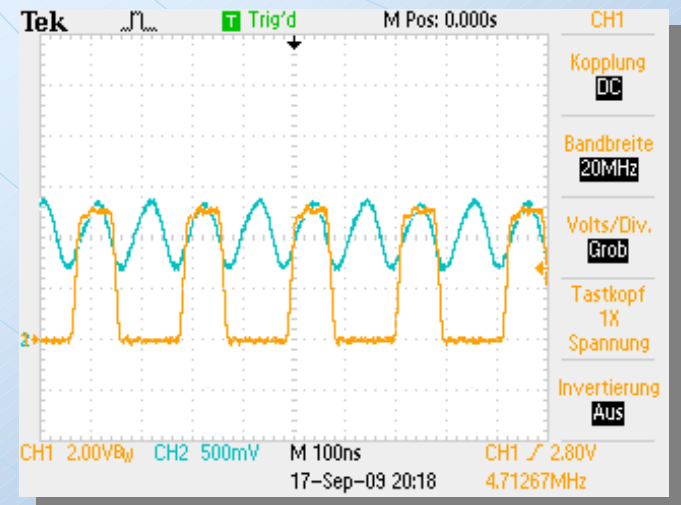
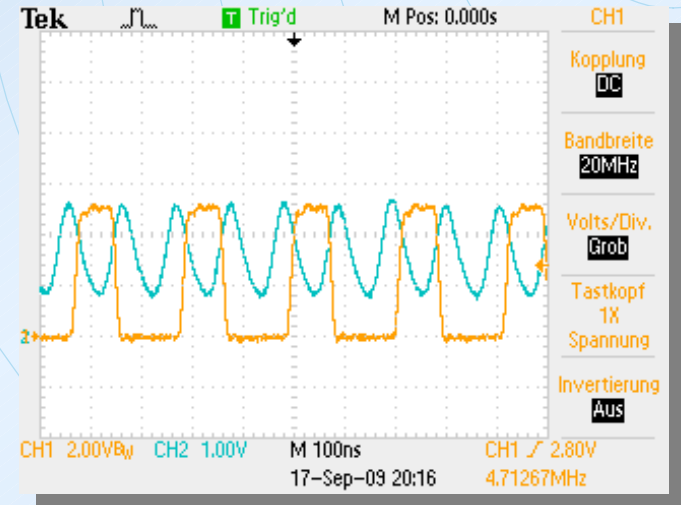


Alternativer Aufbau mit einer Photodiode

Vergleich des Amplitudensignals mit der Anregungsfrequenz (TTL-Ausgang TTL am cw-Generator SC600)

Bild oben: Anregung und 0. Ordnung
Bild unten: Anregung und 1. Ordnung

Anregungsfrequenz $f = 4.7 \text{ MHz}$
Modulationsfrequenz $f_m = 9.4 \text{ MHz}$



... durch Verwendung einer **Absorbermatte**

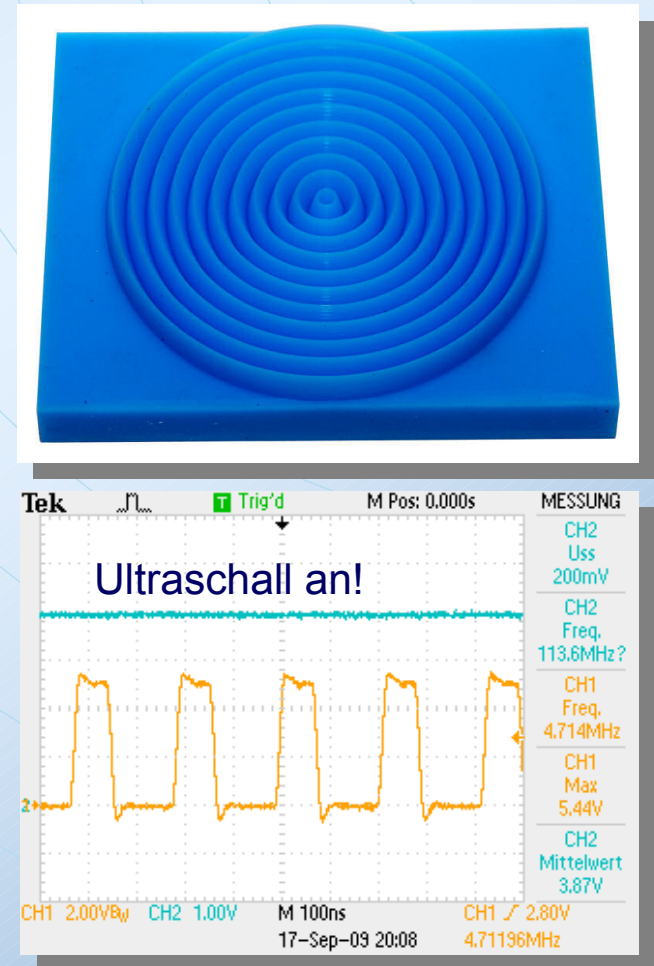
- ⇒ keine Reflektion vom Gefäßboden
- ⇒ keine stehende Welle
- ⇒ keine Zentralprojektion und
- ⇒ keine Amplitudenmodulation
- aber
- ⇒ Beugung (Debye-Sears-Effekt) und
- ⇒ Frequenzmodulation

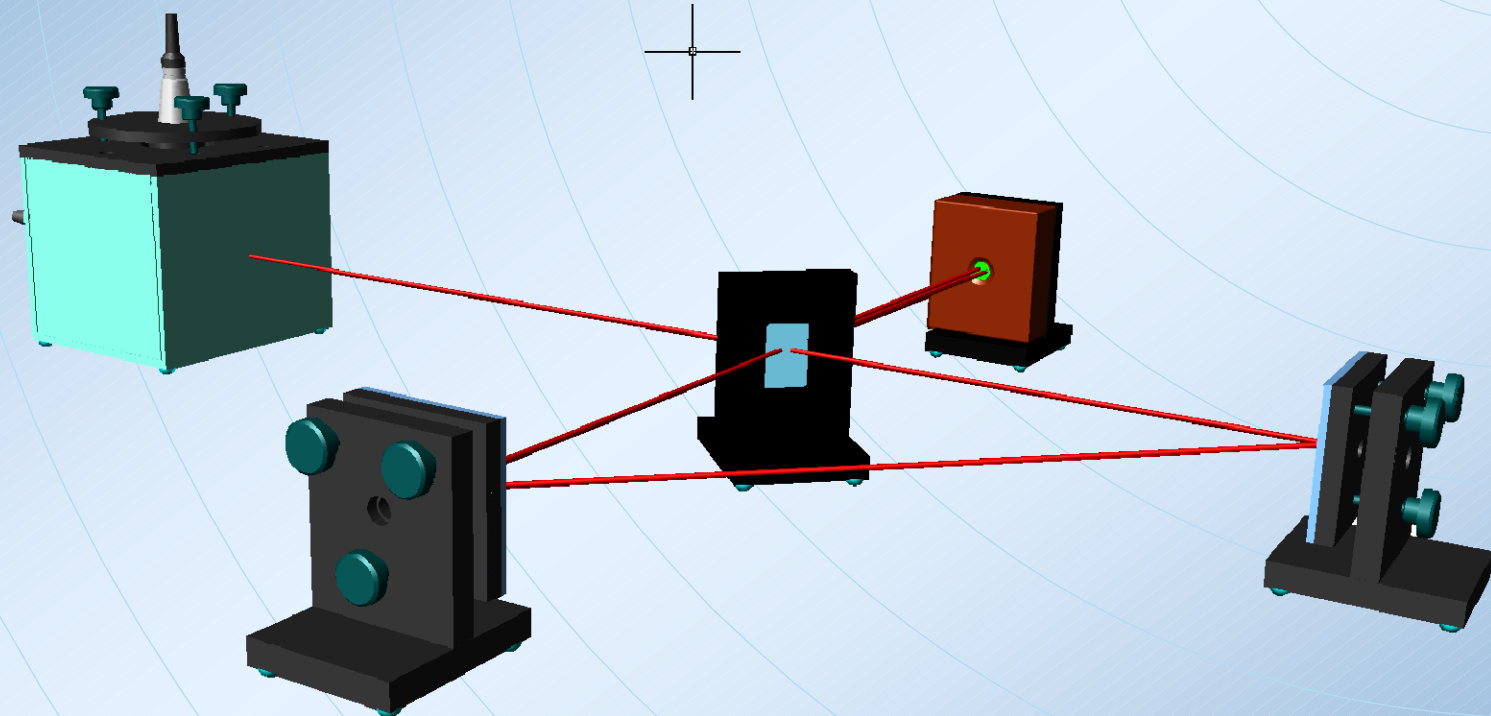
da kontinuierlich ausgesendete Ultraschallwelle zur räumlichen Änderungen der Dichte und damit zur Ausbildung eines Gitters führt.

Das Gitter bewegt sich fortschreitend mit der Schallgeschwindigkeit des Mediums.

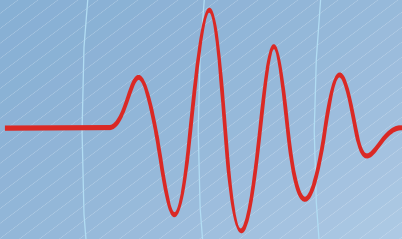


Es kommt zur Dopplerverschiebung der Laserlichtfrequenz in den Beugungsordnungen.





Schema einer möglichen Versuchsanordnung



Durch sich bewegendes Gitter werden Beugungsordnungen $\neq 0$ in ihrer Frequenz verschoben (Dopplereffekt)

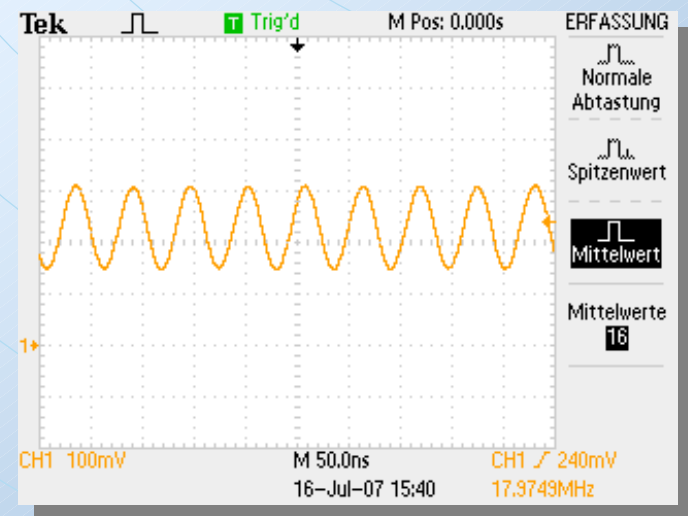
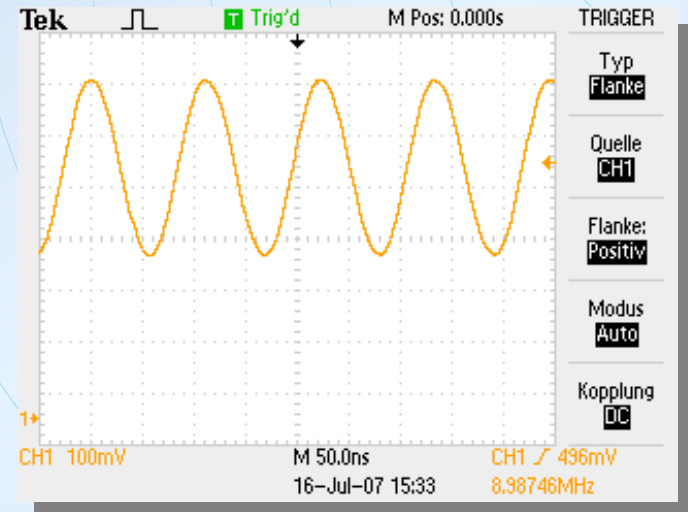
Nachweis erfolgt über Schwebung durch Überlagerung von zwei verschiedenen Beugungsordnungen auf der Photodiode

Ultraschallfrequenz $f_0 = 8,987 \text{ MHz}$

Bild oben: 0. und 1. Ordnung
Schwebungsfrequenz $f_s = 8,987 \text{ MHz}$

Bild unten: -1. und 1. Ordnung
Schwebungsfrequenz $f_s = 17,975 \text{ MHz}$

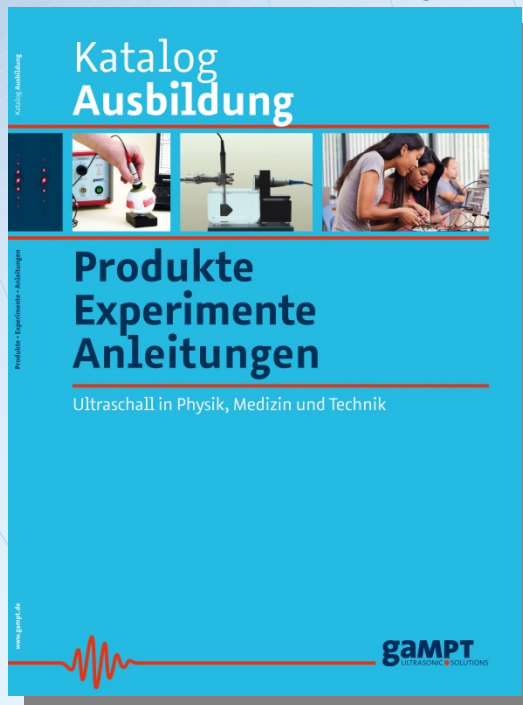
(Baev, Hamburg)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Weitere Informationen und Antworten auf ihre Fragen finden Sie ...

... in unserem
Praktikumskatalog



... oder auf unserer Webseite unter
www.gampt.de.

