

# US - Ultraschall

## Blockpraktikum Herbst 2005

Alexander Seizinger, Tobias Müller  
Assistent Karin Marianowski

Tübingen, den 11. Oktober 2005

### 1 Vorwort

In diesem Versuch verwendeten wir Ultraschallwellen als Beugungsgitter und beschäftigten uns mit der Magnetostriktion.

### 2 Versuchsbeschreibung

#### 2.1 Ultraschall und Piezoeffekt

Im ersten Teil des Versuches brachten wir einen Piezoquarz in eine mit Ethanol gefüllte Küvette. Über eine externe Spannungsquelle konnten wir diesen zu Schwingungen anregen. Trifft man mit der Erregerfrequenz die Resonanzfrequenz, so lassen sich Schlieren in der Küvette beobachten, wodurch sich die Eigenfrequenz bestimmen lässt. Anschliessend nutzten wir die sich im Ethanol ausbreitenden Ultraschallwellen als Beugungsgitter für das einfallende Laserlicht, wobei wir das entstehende Beugungsmuster vermaßen.

#### 2.2 Magnetostriktion

Ein Nickelstab ist mit einem Ende in einer Spule mit eingespannt und am anderen Ende mit einem Längendifferenzmessgerät verbunden. Fließt durch die Spule ein Strom der Stärke  $I$ , so beobachtet man eine Längenänderung  $\Delta l$ .

### 3 Auswertung

#### 3.1 Piezo-Quarz

##### 3.1.1 Bestimmen der Resonanzfrequenz

Zur Bestimmung der Resonanzfrequenz wurde die Resonanzfrequenz und die erste Oberfrequenz mehrmals gemessen und dann mit dem arithmetischen Mittel sowie Standardabweichung der Messwert und Fehler berechnet. Wir erhalten:

$$f_0 = (2.01340 \pm 0.00026)\text{MHz} \qquad f_1 = (6.01370 \pm 0.00120)\text{MHz}$$

Legt man eine Frequenz an, die nicht die Resonanzfrequenz oder eine Oberfrequenz ist, so sieht man lediglich den Schatten der Versuchsausrüstung auf dem Schirm.

##### 3.1.2 Bestimmung der Quarzdicke

Zur Bestimmung der Quarzdicke muss die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c_{\text{Quarz}}$  innerhalb des Quarzes bekannt sein. Es gilt:

$$c_{\text{Quarz}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{8.6 \cdot 10^{10} \text{N/m}^2}{2.65 \text{g/cm}^2}} = 5697 \text{m/s}$$

Dann gilt für die Länge des Quarzes:

$$l_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{c_{\text{Quarz}}}{2f_n} \qquad \sigma_{l_n} = \sqrt{\left(\left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{c_{\text{Quarz}}}{2f_n^2} \sigma_{f_n}\right)^2}$$

Und so erhalten wir (mit Gauß'scher Fehlerfortpflanzung):

$$l_0 = (0,7073 \pm 0.0009)\text{mm} \qquad l_1 = (0,7105 \pm 0.001)\text{mm}$$

**3.1.3 Bestimmung des Kompressionsmoduls in Ethanol**

Um das Kompressionsmodul von Ethanol zu bestimmen, muss die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle in Ethanol gemessen werden. Wir messen die Interferenzmuster aus, die an den Welle entstehen und können so auf die Gitterkonstante schließen. Den Abstand der einzelnen Maxima erhalten wir, in dem wir den Abstand zwischen mehreren Maxima messen und dann durch die Anzahl teilen. Der Fehler soll dabei die Breite eines Maximums sein. Wir erhalten damit

$$a_0 = (1.02 \pm 0.41)\text{mm} \qquad a_1 = (3.41 \pm 0.47)\text{mm}$$

Nun lässt sich die Gitterkonstante berechnen. Es gilt mit der Näherung  $\tan \alpha = \sin \alpha$ :

$$g_n = \frac{\lambda_{Laser} d}{a_n} \qquad \sigma_{g_n} = \sqrt{\left(\frac{\lambda_{Laser} d}{a_n^2} \sigma_{a_n}\right)^2 + \left(\frac{\lambda_{Laser}}{a_n} \sigma_d\right)^2}$$

Wir erhalten damit bei einem Abstand von  $d = (1 \pm 0.001)\text{m}$ :

$$g_0 = (618 \pm 247)\mu\text{m} \qquad g_1 = (185 \pm 255)\mu\text{m}$$

Die Gitterkonstante  $g_n$  entspricht genau der Wellenlänge  $\lambda_n$ , so dass nun ganz einfach die Ausbreitungsgeschwindigkeit mit

$$c_n = \lambda_n \cdot f_n \qquad \sigma_{c_n} = \sqrt{(\lambda_n \sigma_{f_n})^2 + (f_n \sigma_{\lambda_n})^2}$$

bestimmt werden kann:

$$c_0 = (1244 \pm 498)\text{m} \qquad c_1 = (1115 \pm 153)\text{m}$$

Um das Kompressionsmodul zu berechnen ist nun lediglich noch die Dichte von  $\rho_{Ethanol} = 0.79\text{g/cm}^3$  wichtig. Damit gilt:

$$K_n = c_n^2 \rho \qquad \sigma_{K_n} = \sqrt{(2c_n \rho \sigma_{c_n})^2}$$

und somit

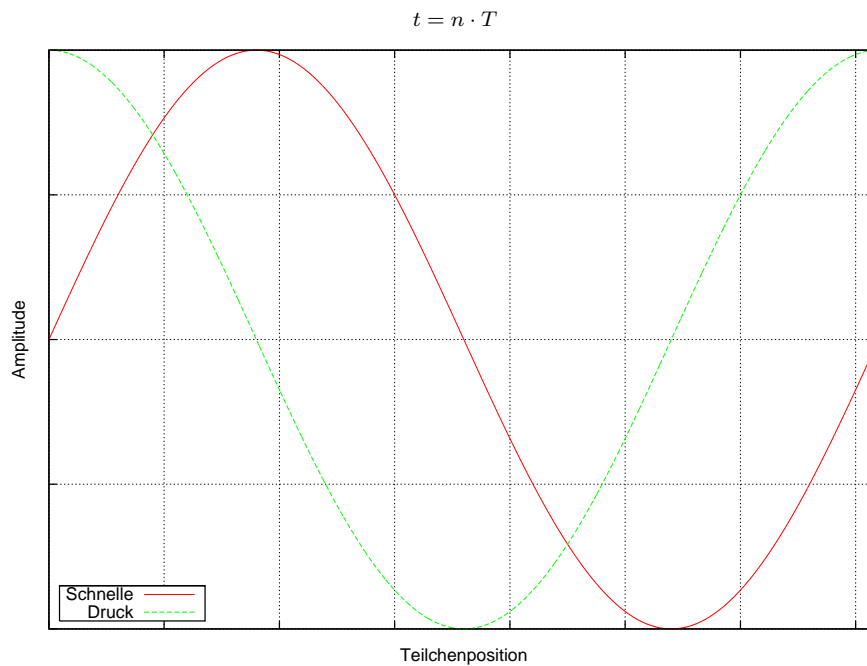
$$K_0 = (1.22 \pm 0.98) \cdot 10^9 \text{N/m}^2 \qquad K_1 = (0.98 \pm 0.27) \cdot 10^9 \text{N/m}^2$$

**3.1.4 Unterschiede des Beugungsmuster zwischen stehenden und laufenden Ultraschallwellen**

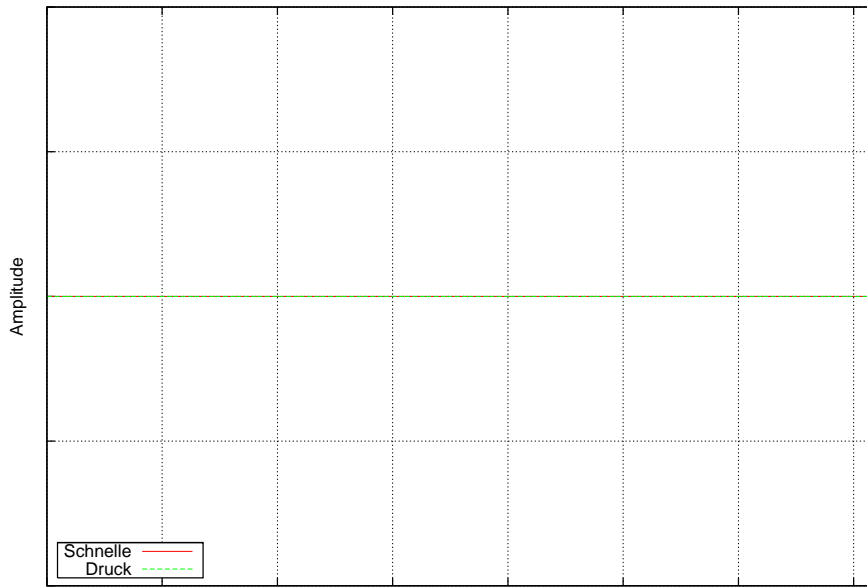
Es ist kein Unterscheid zu beobachten, da das Interferenzmuster nur von Wellenlänge, Gitterkonstante und der Anzahl der beleuchteten Spalte abhängig ist. Diese Werte bleiben aber bei der laufenden Ultraschallwelle konstant.

**3.1.5 Zusammenhang zwischen Auslenkung und Dichte**

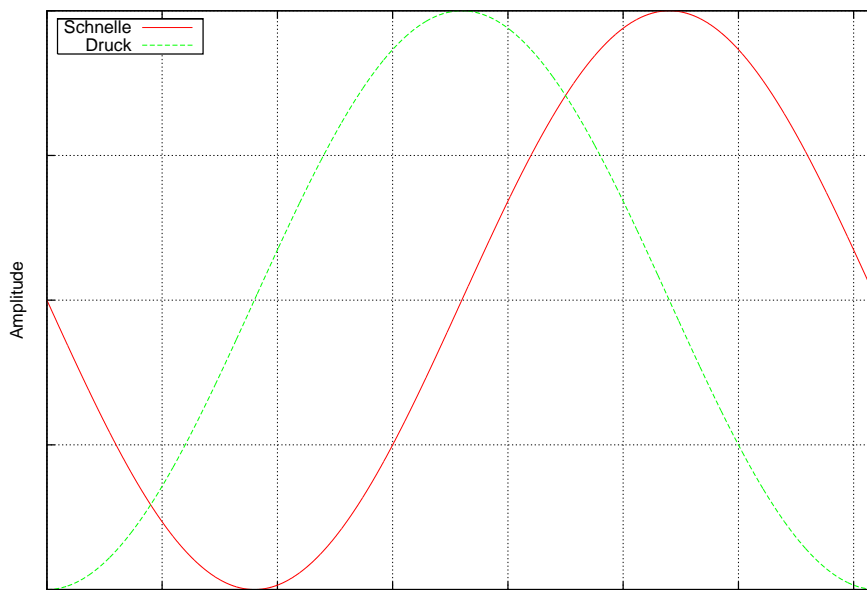
Die Orte der größten Dichteänderung befinden sich an den Schwingungsknoten.



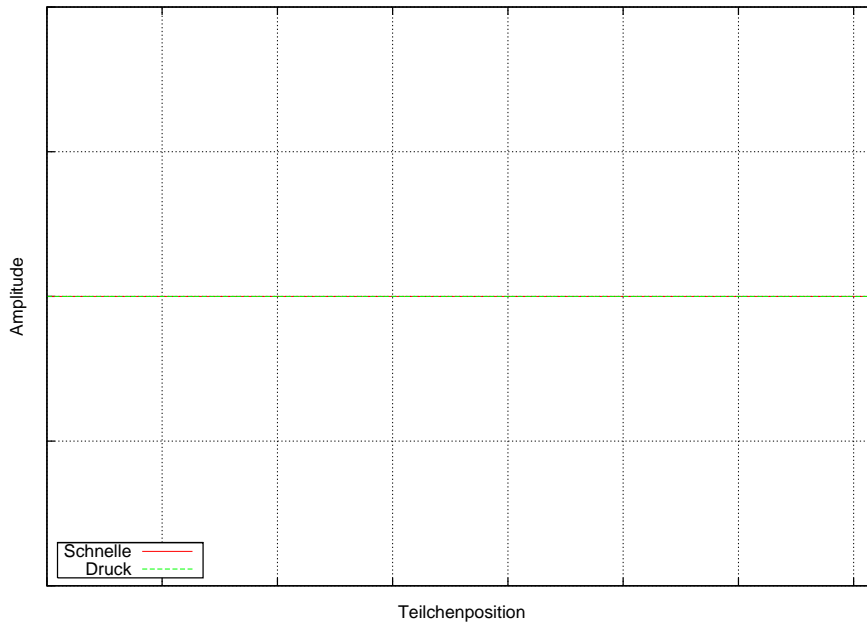
$$t = n \cdot T + \frac{T}{4}$$



$$t = n \cdot T + \frac{T}{2}$$



$$t = n \cdot T + \frac{3T}{4}$$



### 3.2 Magnetostriktion

#### 3.2.1 Längendifferenzmessung

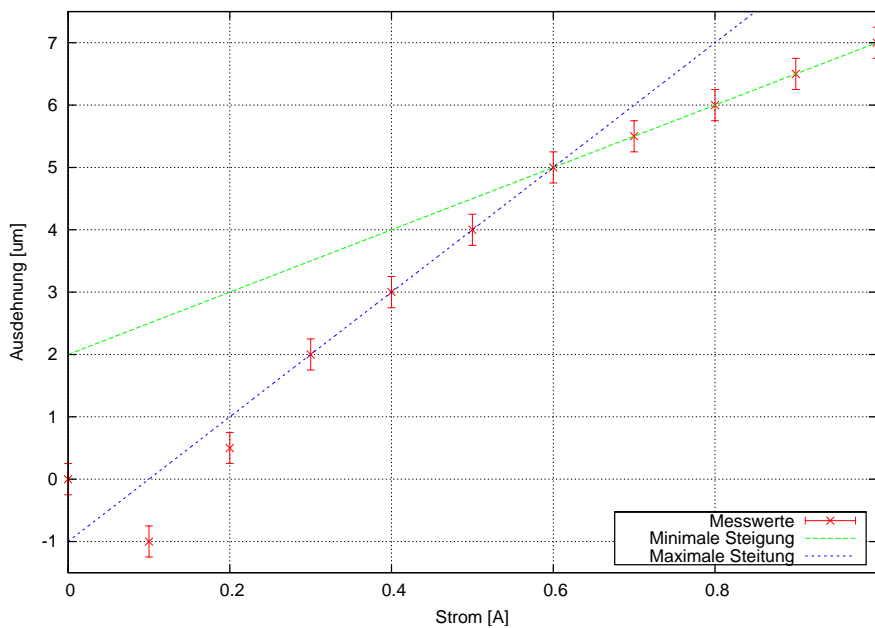
Beim ersten Anschalten haben wir eine relative Längenänderung von  $\frac{7\mu\text{m}}{44\text{cm}} \approx 1.6 \cdot 10^{-5}$  gemessen. Es ist zu beachten, dass die Apperatur kurz vorher benutzt wurde und somit die Weiss'schen Bezirke noch größtenteils ausgerichtet waren.

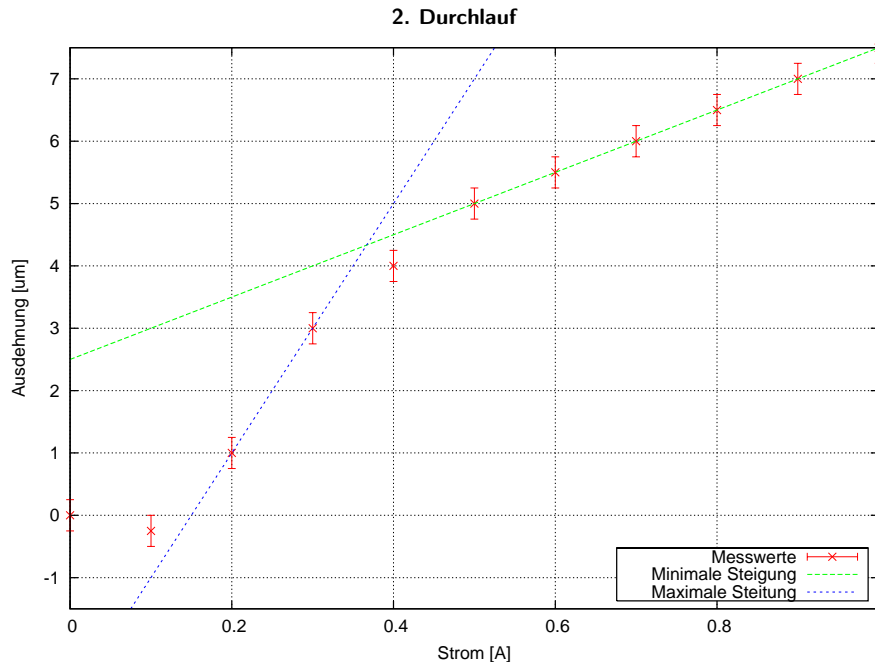
#### 3.2.2 Fehler der Längenmessung

Durch die beschränkte Genauigkeit der Skala beträgt der Fehler der Längenmessung schätzungweise ca.  $0,25\mu\text{m}$ .

#### 3.2.3 Längenänderung $\Delta l$ als Funktion des Spulenstroms $I$

##### 1. Durchlauf





Aus den obigen Diagrammen läßt sich die minimale bzw. maximale Steigung ablesen:

Durchgang	1	2
minimale Steigung	5µm/A	5µm/A
maximale Steigung	10µm/A	20µm/A

Damit läßt sich die mittlere Steigung berechnen:

$$m_1 = (7.5 \pm 2.5)\mu\text{m/A}$$

$$m_2 = (12.5 \pm 7.5)\mu\text{m/A}$$

Für die Magnetostruktionskonstante gilt:

$$\kappa\Gamma = \frac{EL}{Nl}m$$

$$\sigma_{\kappa\Gamma} = \sqrt{\left(\frac{EL}{Nl}\sigma_m\right)^2}$$

und damit erhalten wir:

$$(\kappa\Gamma)_1 = (284 \pm 95)\text{N/Am}$$

$$(\kappa\Gamma)_2 = (473 \pm 284)\text{N/Am}$$

### 3.2.4 Frequenzverhältnis

Da sich beim Durchlaufen eines Zyklus der Erregerfrequenz  $f_{er}$  das magnetostruktive Medium zwei mal ausdehnt und zusammenzieht, gilt für die Ultraschallfrequenz  $f_{us}$

$$f_{us} = 2f_{er}$$

Um ein Verhältnis von 1 : 1 zu erreichen, überlagert man die sinusförmige Erregerspannung mit einer konstanten Spannung, es ist

$$U_{er} = Ue^{i\omega t + \varphi_0} + U_0$$

wobei man  $U_0$  so wählt, dass  $U_{er}(t) \geq 0$ .

### 3.2.5 Eigenfrequenz des Nickelstabes

Spannt man einen Nickelstab der Länge  $l$  an einem Ende fest ein, so gilt

$$l = \frac{\lambda}{2} \left( n + \frac{1}{2} \right) \quad n \in \mathbb{N}$$

Mit  $c = \lambda f$  folgt damit für die Eigenfrequenzen  $f_n$

$$f_n = \frac{c}{2l} \left( n + \frac{1}{2} \right) \quad n \in \mathbb{N}$$

Setzt man weiterhin  $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  so ergibt sich

$$f_n = \frac{\sqrt{E\rho}}{2l} \left( n + \frac{1}{2} \right) \quad n \in \mathbb{N}$$

Damit erhält man bei einer Stablänge von 0.44m eine Grundfrequenz von 2.868kHz. Für eine Frequenz von  $f_0 = 60\text{kHz}$  ergibt sich durch Umformen eine Länge von  $l = 2.1\text{cm}$ .

### 3.2.6 Obere Grenzfrequenz magnetostruktiver Erreger

Wie in der vorigen Aufgabe ausgerechnet wären Stablängen  $< 2\text{cm}$  nötig. Vermutlich ist es technisch schwierig, die bei diesen Größenordnungen auftretenden Randeﬀekte („lange Spule“, etc.) in den Griff zu bekommen.

Diese Annahme ist wohl falsch. Es liegt daran, dass das Ausrichten der Weiss'schen Bezirke eine Verzerrung des Kristallgitters zur Folge hat, was wiederum eine gewisse Trägheit mit sich bringt.

### 3.2.7 Anwendungen von Ultraschall

- Echolot
- Medizin
- Ultraschallkanone
- Aufspüren von Materialfehlern
- Reinigung von Materialien von sehr feinen Partikeln