US - Ultraschall
Praktikum Wintersemester 2005/06

Philipp Buchegger, Johannes Märkle
Assistent Karin Marianowski

Tübingen, den 17. Februar 2006

Auswertung

Ausmessung der Resonanzfrequenz

Eine Linse mit kleiner Brennweite wird zwischen Laser und Küvette so eingebracht, dass der Schatten der Küvette an einem Schirm, in unserem Fall der Wand, sichtbar ist. Wir haben jeweis 5 mal die Resonanzfrequenz gemessen. Die Mittelwerte der Resonanzfrequenzen und deren Fehler sind:

$$f_{r1} = (2.047 \pm 0.009) \cdot 10^6 \text{Hz} \qquad f_{r2} = (5.999 \pm 0.013) \cdot 10^6 \text{Hz}$$

Wenn man ausserhalb der Resonanzfrequenzen ist, sieht man, wenn überhaupt nur einen sehr geringen Quarzwind, ansonsten sieht man nur den Schatten des Versuchsaufbaus an der Wand. Das Beugungsbild wird ausserhalb der Resonanzfrequenz sehr schnell sehr unscharf und verschwimmt.

Dicke des Piezo-Quarzes

Für die Ausdehnungsgeschwindigkeit in einem Festkörper, in unserem Fall Quarz gilt:

$$v_{\text{Quarz}} = \sqrt{\frac{E_{\text{Quarz}}}{\rho}} = \sqrt{\frac{8.6 \cdot 10^{10} \frac{N}{m^2}}{2.65 \frac{g}{cm^3}}} = 5696.74 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Für die Länge des einseitig eingespannten Quarzes und seinen Fehler gilt dann:

$$l_n = (2n+1) \frac{v_{\text{Quarz}}}{4 f_{rn}} \qquad \sigma_{l_n} = \sqrt{((2n+1) \cdot \frac{v_{\text{Quarz}}}{4 \cdot f_n^2} \cdot \sigma_{f_n})^2}, n \in \mathbb{N}_0$$

Für die Grundschwingung und die 1. Oberschwingung erhalten wir also:

$$l_0 = (6.981 \pm 0.0306) \cdot 10^{-4} \text{m} \qquad l_1 = (7.122 \pm .0159) \cdot 10^{-4} \text{m}$$

Schallgeschwindigkeit in Ethanol

Um die Schallgeschwindigkeit in Ethanol zu messen, wurden mithilfe eines Piezokristalls der in einer seiner Resonanzfrequenzen betrieben wurde, Ultraschallwellen in Ethanol erzeugt. Um deren Wellenlänge zu bestimmen wurde die Welle mit Laserlicht bestrahlt und das entstehende Interferenzbild auf einem dahinterliegenden Schirm sichtbar gemacht. Durch Messung der Maximaabstände (im folgenden wurde die Kleinwinkelnäherung $tan\alpha \approx sin\alpha$ verwendet und die Maxima als Äquidistant angesehen) lässt sich die Schallgeschwindigkeit wie folgt messen:

Es wurden jeweils 2 Messreihen mit unterschiedlichen Resonanzfrequenzen durchgeführt
$f_1 = (2,040 \pm 0,009) \cdot 10^6$ und $f_2 = (5,999 \pm 0,013) \cdot 10^6$ Für die Abstände der Maxima erhält man

$$a_1 = 1,09mm \pm 0,64mm$$

und

$$a_2 = 3,06mm \pm 0,12mm$$

Für die Gitterkonstante g ergibt sich dann:

$$\begin{aligned} g &= \frac{\lambda \cdot d}{a} \\ \Rightarrow g_1 &\approx 540,70\mu m \\ g_2 &\approx 192,53\mu m \end{aligned}$$

Aufgrund der Gaußschen Fehlerfortpflanzung erhält man

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{(\frac{\lambda_l d}{a^2}\sigma_a)^2 + ((\frac{\lambda_l}{a}\sigma_d)^2} \\ \Rightarrow \sigma_1 &\approx 317,90\mu m \\ \sigma_2 &\approx 7,60\mu m \\ \Rightarrow g_1 &\approx 540,70\mu m \pm 317,90\mu m \\ g_2 &\approx 192,53\mu m \pm 7,60\mu m \end{aligned}$$

Da die Gitterkonstante genau der Wellenlänge entspricht ergibt sich für die Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$\begin{aligned} c &= \lambda \cdot f \\ \Rightarrow c_1 &\approx 1103,01m/s \\ c_2 &\approx 1155,03m/s \end{aligned}$$

Für die jeweiligen Fehler:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \sqrt{(\lambda\sigma_f)^2 + (f\sigma_\lambda)^2} \\ \Rightarrow c_1 &\approx 1103,02m/s \pm 648,60m/s \\ c_2 &\approx 1155,03m/s \pm 45,43m/s \end{aligned}$$

Anhand der Dichte von Ethanol ($\rho_{Ethanol} = 0,79g/cm^3$) lässt sich nun dessen Kompressionsmodul wie folgt berechnen:

$$\begin{aligned} K &= c^2 \cdot \rho_{Ethanol} \\ \Rightarrow K_1 &\approx 0,96 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2} \\ K_2 &\approx 1,05 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2} \end{aligned}$$

Mit Fehler

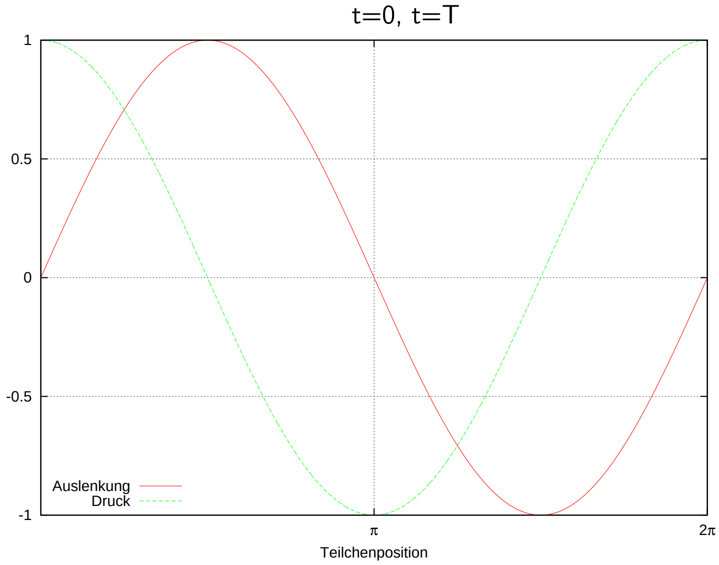
$$\begin{aligned} \sigma_K &= 2c\rho\sigma_c \\ \Rightarrow K_1 &\approx 0,96 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2} \pm 1,13 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2} \\ K_2 &\approx 1,05 \cdot 10^9 m \pm 0,83 \cdot 10^8 m \end{aligned}$$

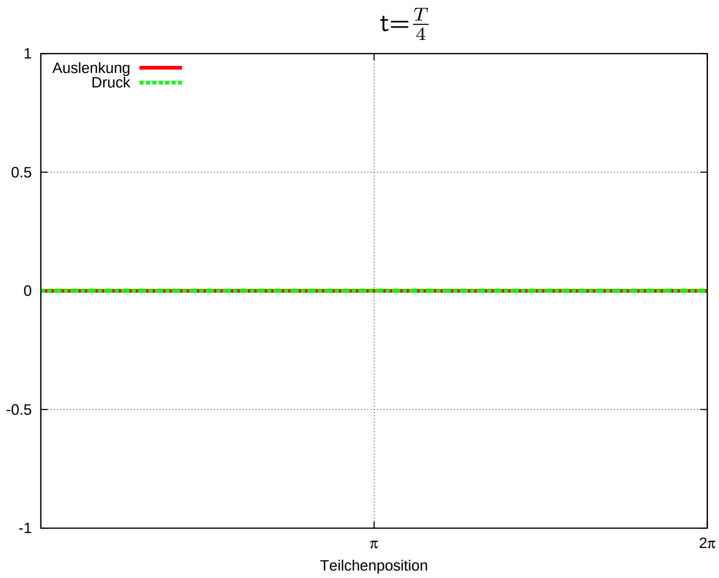
Unterschiede des Beugungsmuster zwischen stehenden und laufenden Ultraschallwellen

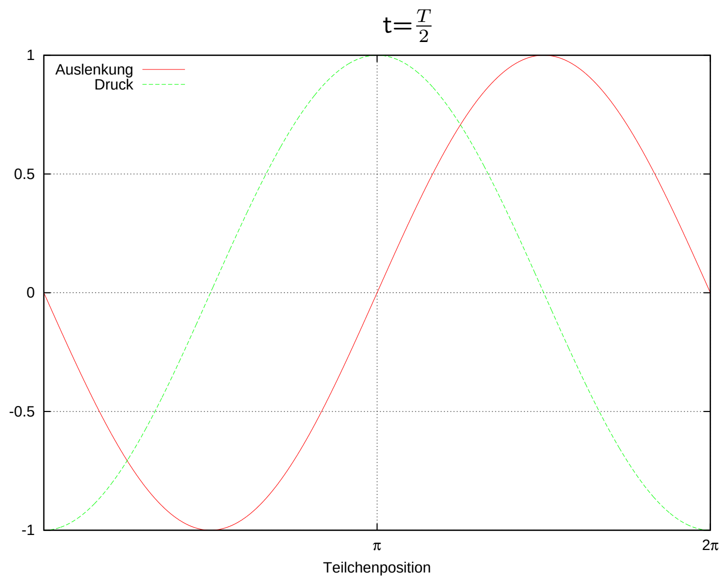
Für das Beugungsbild sind lediglich die Gitterkonstante, der Abstand zum Schirm, die Anzahl der ausgeleuchteten Spalte und die Wellenlänge des einfallenden Lichts von Belang. Da eine sich bewegende Ultraschallwelle diese Größen konstant hält, unterscheiden sich die Beugungsbilder zwischen einer stehenden und einer sich bewegenden Ultraschallwelle nicht.

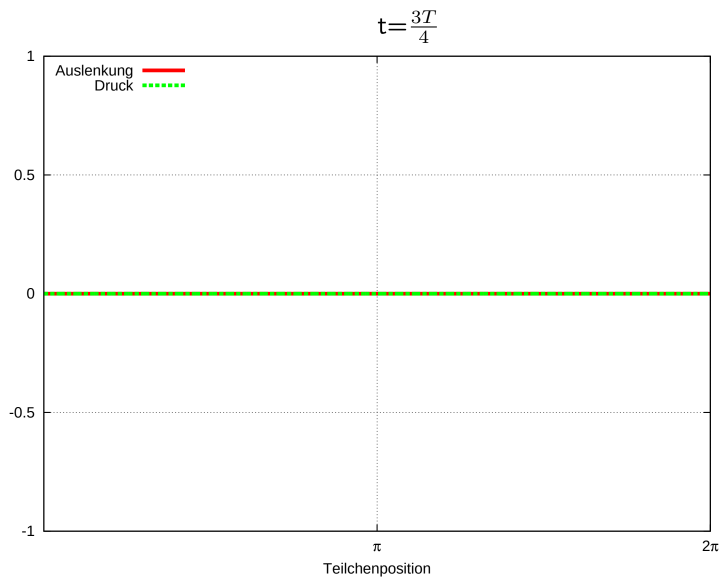
Zusammenhang von Auslenkung und Dichte

Die größte Druckänderung und somit auch Dichteänderung ist an den Knoten der stehenden Welle zu beobachten.







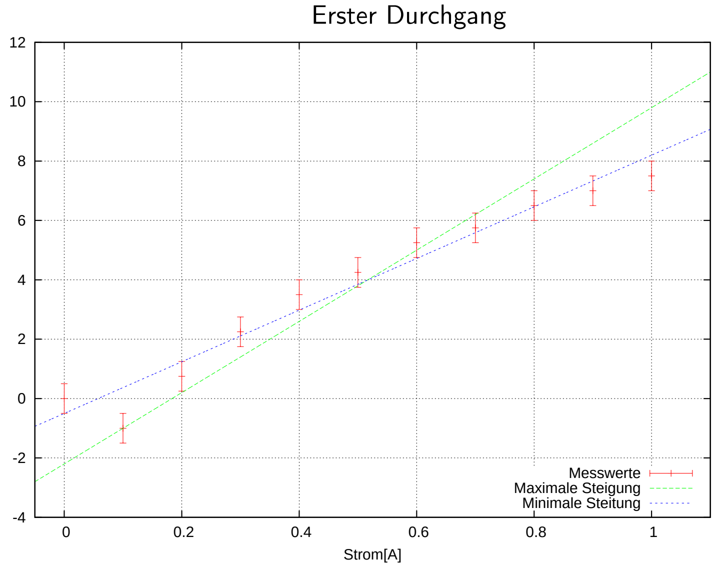


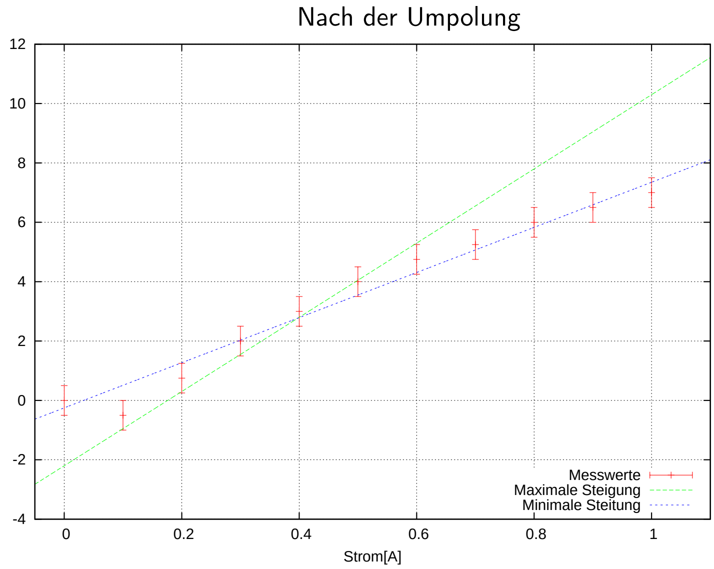
Magnetostriktion

Längenänderung

Beim Einschalten des Stroms von 1A verkürzt sich der Stab um 10μm. Wir gehen von einem Messfehler von $0.5\mu m$ aus. Das entspricht $(22.7 \pm 1.1)\frac{\mu m}{m}$.

Längenänderung als Funktion des Spulenstroms





Messung	1	2
Minimale Steigung $[\frac{\mu m}{A}]$	8.7	7.6
Maximale Steigung $[\frac{\mu m}{A}]$	12.0	12.5

Aus den Diagrammen lassen sich die maximale und minimale Steigung ablesen, daraus erhalten wir die gemittelte Steigung und deren Fehler:

$$m_1 = (10.35 \pm 4.15)\frac{\mu\mathrm{m}}{\mathrm{A}} \qquad m_2 = (10.85 \pm 4.15)\frac{\mu\mathrm{m}}{\mathrm{A}}$$

Aus US.4 folgt für die Magnetostriktionskonstante

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

Hier ist l die Länge des Stabs, N die Windungszahl der Spule, E das Elastizätsmodul des Stabs und H die magnetische Feldstärke. Somit erhalten wir für unsere Messwerte:

$$\kappa\Gamma_1 = (411 \pm 157)\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{Am}} \qquad \kappa\Gamma_2 = (392 \pm 157)\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{Am}}$$

Verhältnis der Frequenzen

Wie beim Testat besprochen, dehnt sich der Ni-Stab während eines Anregungszyklus zwei mal aus und zieht sich auch wieder zusammen, also muss gelten: $2 \cdot f_{\text{Erreger}} = f_{\text{Ultraschall}}$. Um zu verhindern, dass der Stab während eines Erregerzyklusses zwei mal seinen Zyklus durchläuft, überlagert man die periodische Erregerspannung mit einer konstanten Spannung, so dass die resultierende Spannung immer größer Null ist.

Grundfrequenz des Nickelstabes

Spannt man einen Nickelstab an einem Ende fest ein und lässt ihn erzwungene Schwingungen ausführen, so ergibt sich zwischen seiner Länge l und seiner Resonanzfrequenz f folgender Zusammenhang:

$$l = \frac{\lambda}{2}(n + \frac{1}{2}), n \in \mathbb{N}_0$$

Wobei n die Nummer der Oberschwingung angibt. Berücksichtigt man, dass $\lambda = c \cdot f$ und $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ so erhält man:

$$f_n = \frac{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}{2l}(n + \frac{1}{2})$$

Bei einer (wie im Versuch vorhanden) Länge des Stabes von 44 cm ergibt sich eine Grundfrequenz von 2,868 kHz. Eine Grundfrequenz von 60 kHz würde einen Stab der Länge 2,1 cm vorraussetzen.

Obere Grenzfrequenz

Da Nickel ein Ferromagnet ist, besitzt es Weiss'sche Bezirke, die sich beim Anlegen eines Magnetfeldes ausrichten, wodurch sich eine Längenveränderung beobachten lässt. Dieses Ausrichtend er Weiss'schen Bezirke geschieht dabei nicht etwa instantan. Dadurch ist dieses Phänomen etwas „träge" was zu einer Grenzfrequenz, ab der die Bezirke nicht mehr in der Lage sind, mit dem angelegten $\vec{B}$-Feld mit zu schwingen, führt.

Anwendungsgebiete

- Echolot
- Hundepfeifen
- Teilereinigung
- Füllstandmessungen
- Werkstoffprüfung