

Institut für Physik der Kondensierten Materie der TU Braunschweig

Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene

Debye-Sears-Effekt

Literatur

- [1] Ludwig Bergmann, Der Ultraschall und seine Anwendungen in Wissenschaft und Technik, Hirzel Verlag, Stuttgart, 1949
- [2] J. Matauschek, Einführung in die Ultraschalltechnik, VEB Verlag Technik, Berlin, 1961
- [3] L. D. Landau, E. M. Lifschitz, Lehrbuch der theoretischen Physik: Elastizitätstheorie, Band VII, Akademie Verlag, Berlin, 1983
- [4] Valvo, Piezoxide-Wandler, Valvo GmbH, Hamburg, 1968
- [5] Valvo, Handbuch Piezoxide (PXE), Valvo GmbH, Hamburg, 1973
- [6] S. B. Palmer, Measurement of the velocity of sounds in liquids, American Journal of Physics, Vol. **39**, S. 340, March 1971
- [7] Pilwong Kang, F. C. Young, Diffraction of laser light by ultrasound in liquid, American Journal of Physics, Vol. **40**, S. 697, May 1972
- [8] D. T. Pierce, R. L. Byer, Interaction of light and sounds, American Journal of Physics, Vol. **41**, S. 314, March 1973
- [9] J. F. Neeson, S. Austin, Sound velocity and diffraction intensity measurements based on Raman-Nath theory of the interaction of light and ultrasounds, American Journal of Physics, Vol. **43**, S. 984, November 1975
- [10] S. Parthasarathy, D. Srinivasan, S. S. Chari, Thermische Untersuchung über die Absorption von Ultraschallwellen in Flüssigkeiten, Zeitschrift für Physik, Bd. **135**, S. 395, 1953

1 Versuchsziele

1. Kennenlernen der Eigenschaften von piezoelektrischem Material, Ausmessen einer Resonanzkurve, Bestimmung der Güte, der Frequenzkonstanten, der Dielektrizitätskonstanten und der Kapazität eines piezoelektrischen Schwingers.
2. Messung der Schallgeschwindigkeit in Wasser mit Hilfe des Debye-Sears-Effekts.
3. Bestimmung der Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit in Wasser.
4. Messen der Schallgeschwindigkeit von Festkörpern und Bestimmung der elastischen Konstanten der Festkörper.

2 Grundlagen - Vorkenntnisse

Die folgenden Stichworte sollen den Umfang der theoretischen Grundlagen verdeutlichen und bei der Versuchsvorbereitung eine Hilfe sein:

- *Schall*: Schallfeldgrößen, Ultraschallerzeugung, Schallausbreitung in Flüssigkeiten und Festkörpern insbesondere in amorphen Festkörpern, Methoden zur Bestimmung der Gruppen- und Phasengeschwindigkeit, Konzentrationsabhängigkeit der Phasengeschwindigkeit, Beugungsbedingung für Schallwellen.
- *Elastizität*: Elastisches Verhalten von Flüssigkeiten und Festkörpern, elastische Konstanten und deren Zusammenhang, Herleitung der Schallgeschwindigkeit aus o. g. Konstanten, Lamé-Konstanten, elastische Eigenschwingungen von Festkörper und Flüssigkeiten, Schwingungsmoden, Oberschwingungen, stehende Wellen.
- *Piezoeffekt*: Piezoelektrischer Effekt, piezoelektrische Größen und Konstanten, Materialkonstanten von Piezokeramiken, mechanisches und elektrisches Verhalten von Piezoschwingern, Ersatzschaltbilder, Resonanz, Güte, Schallabstrahlung von Piezoschwingern, Kopplung, Dämpfung.
- *Optik*: Beugung am Amplituden- und Phasengitter und an dreidimensionalen Strukturen, Dopplereffekt, Bragg-Beugung, Beugungsspektren, Lichtausbreitung in Flüssigkeiten und Festkörpern, Polarisierung, Bedeutung der Elasto-optischen Konstanten.

3 Grobe Zusammenfassung der Theorie des Versuches

3.1 Der Schall

In Flüssigkeiten und Gasen ist der Schall eine Longitudinalwelle, in Festkörpern kann ein transversaler Schallanteil zusätzlich auftreten. Die Materie des schalleitenden Mediums wird periodisch verdichtet und verdünnt.

3.2 Elastizität

Wird auf einen Körper eine Kraft ausgeübt, so verformt er sich. Der Zusammenhang zwischen Kraft und Verformung wird durch eine Anzahl von elastische Konstanten beschrieben, die wiederum untereinander zusammenhängen.

3.3 Piezoelektrische Schwinger

Piezoelektrizität ist das Auftreten von Ladungen auf der Oberfläche, wenn der Kristall deformiert wird. Umgekehrt verformt sich der Kristall, wenn eine elektrische Spannung angelegt wird. Die piezoelektrischen Schwinger nutzen die Längenänderungen von Kristallen bei Anlegen einer elektrischen Spannung aus.

3.4 Der Debye-Sears-Effekt

Der Debye-Sears-Effekt gehört zu den optischen Sekundäreffekten, die durch Schall hervorgerufen werden. Die Schallwellen erzeugen in allen Stoffen elastische Deformationen und rufen damit eine Veränderung der optischen Eigenschaften hervor. Durch den Wechseldruck entsteht eine periodische Dichteänderung des Mediums, wodurch auch der optische Brechungsindex periodisch verändert wird. Da diese Änderung sowohl für eine stehende Welle zeitlich und örtlich periodisch erfolgt, wirkt die Schallwelle auf ein hindurchgehendes Lichtbündel wie ein stetiges Phasengitter. Die Interferenzbilder entsprechen daher denen eines Gitters mit der Periode der Schallwellenlänge. Aus dem Interferenzbild lässt sich die Schallgeschwindigkeit bestimmen.

4 Aufbau, Durchführung und Auswertung

4.1 Resonanzmessung eines Piezoschwingers

4.1.1 Der Aufbau

Das Blockschaltbild zu diesem Versuchsteil ist in Abb. 1 dargestellt. Die Schaltung ist in einem Metallgehäuse aufgebaut, das mit den anderen Geräten durch BNC-Kabel verbunden wird. Die Buchse 1 in dem Metallgehäuse dient dem Anschluß des Oszillators. Dabei ist der Frequenzzähler mit einem BNC-T-Stück zwischen Oszillator und Versuchsschaltung anzuschließen. An Buchse 2 und 3 wird das Zweikanaloszilloskop angeschlossen. An der Rückseite des Gehäuses befindet sich Buchse 4 (PXE). Hier wird die Fassung des PXE-Schwingers angeschlossen. Der PXE-Schwinger wird für diese Meßreihe in die Küvette eingebaut.

4.1.2 Durchführung

Nachdem der Aufbau wie beschrieben steht, ist der Kontakt des Schwingers zur Fassung zu überprüfen. Dieses ist notwendig, da die Kontaktflächen des Schwingers oxidiert sein können. Dazu wird der Oszillator auf eine Frequenz von ca. 10 kHz eingestellt und die

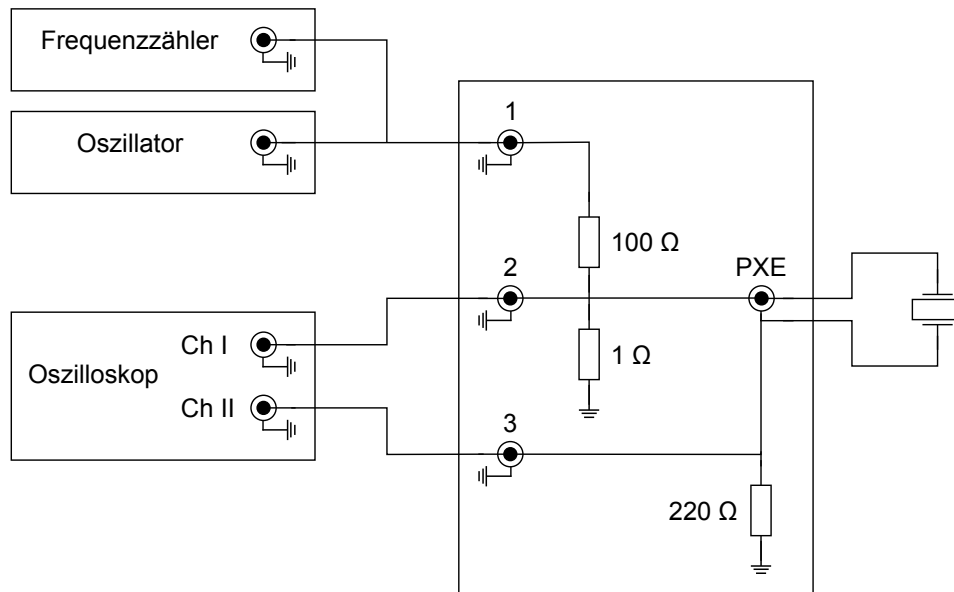


Abb. 1: Blockschaltbild des Versuchsaufbaus. Bis auf die PXE-Buchse sind alle äusseren Kontakte der BNC-Buchsen geerdet.

Amplitude geregelt. Der Schwinger wird so lange in der Fassung zurechtgerückt, bis der zu hörende Pfeifton seine maximale Lautstärke erreicht hat.

Wenn der Kontakt sichergestellt ist, kann die eigentliche Versuchsdurchführung beginnen. Dabei soll die erste Resonanz (planare Biegeschwingung) aufgefunden und ausgemessen werden. Dazu ist der Bereich von 50 kHz bis 200 kHz durchzumessen. Die Amplitude des Oszillators ist nun auf Maximum einzustellen.

Die Frequenz wird mit Hilfe des Frequenzzählers zunächst in Schritten von 5 kHz variiert, dabei sind die beiden Amplituden der Spannungen U und U_0 , die das Oszilloskop anzeigt, über der Frequenz zu messen. Die Resonanzstelle ist daran zu erkennen, daß die Spannung U steil abfällt. Der Bereich um Spannungsminimum und Maximum ist in Schritten von ≤ 1 kHz genau aufzunehmen. Außerdem ist die genaue Lage von Minimum und Maximum zu bestimmen. Ein weiterer Punkt muss bei niedrigen Frequenzen ($\leq 0,1 \cdot$ Resonanzfrequenz) gemessen werden um später die Dielektrizitätskonstante bestimmen zu können. Mit einer Mikrometerschraube sind die mechanischen Abmessungen (Dicke und Durchmesser) des Schwingers an mehreren Stellen zu bestimmen. Diese Messungen sind für zwei Schwinger mit verschiedener Abmessungen durchzuführen.

4.1.3 Auswertung

1. Berechnen Sie die Beträge der Impedanz und Admittanz des Piezoschwingers in Abhängigkeit von der Frequenz aus den gemessenen Spannungen. Die dazu benötigten Beziehungen sind aus der Schaltung (Abb. 1) herzuleiten.
2. Zeichnen Sie die Kurven der Beträge der Impedanz und Admittanz über der Fre-

quenz.

3. Bestimmen Sie die mechanische Güte Q aus den beiden Diagrammen mit Hilfe der 3 dB-Bandbreite.
4. Zum Vergleich ist die Güte durch die Gleichung:

$$Q = \frac{f_{max}^2}{2 \cdot \pi \cdot f_{min} \cdot |Z_{min}| \cdot C_0 \cdot (f_{max}^2 - f_{min}^2)} \quad (1)$$

zu berechnen.

Dabei ist f_{max} die Frequenz der maximalen Impedanz, f_{min} die Frequenz der minimalen Impedanz, $|Z_{min}|$ der Betrag der minimalen Impedanz. In Abb. 2 ist das Ersatzschaltbild des Schwingers dargestellt.

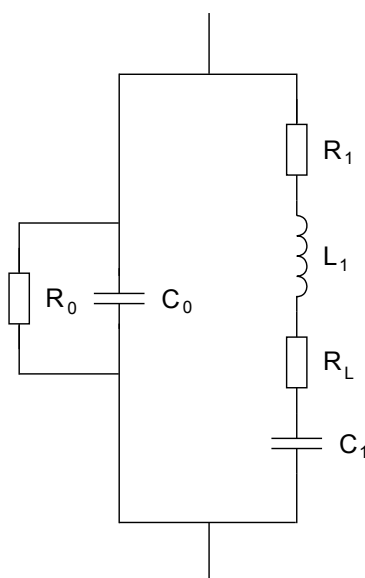


Abb. 2: Ersatzschaltbild eines Piezo-Schwingers.

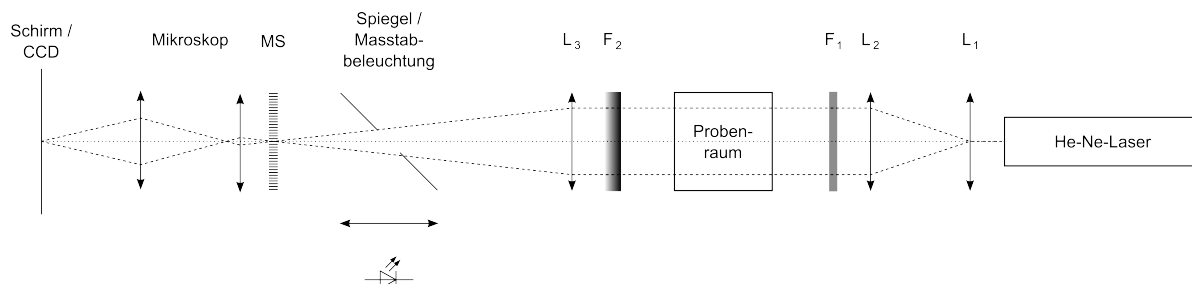
Überlegen Sie sich, welche Bedeutung die einzelnen Schalteile darin haben. Ermitteln Sie C_0 , indem sie für niedrige Frequenzen den dynamischen Zweig in dem Ersatzschaltbild vernachlässigen (und $R_0 > 20 M\Omega$).

5. Bestimmen Sie die relative Dielektrizitätskonstante unter der Annahme, daß der Schwinger ein idealer Plattenkondensator sei.
6. Berechnen Sie aus der Resonanzfrequenz die Frequenzkonstante des verwendeten Piezoschwingers.

4.2 Justieren und Eichen des Aufbaus

4.2.1 Der optische Aufbau

Der Strahlengang des Aufbaus ist in Abb. 3 gezeigt. Als Lichtquelle wird ein He-Ne Laser mit einer Wellenlänge von 632,8 nm verwendet. Das Licht wird durch die Linsen L1 und L2 aufgeweitet und parallelisiert (Kollimator) und tritt in den Probenraum. In den Probenraum kann die Küvette oder ein Glasblock eingebracht werden. Nach dem Probenraum gelangt das Licht falls nötig durch einsetzbare Filter zur Linse L3, die das Licht auf die Bildebene des Mikroskopes M abbildet.



L_1, L_2 Kollimator

F_1 fest installierter Filter

F_2 optionale Filter verschiedener Stärke

L_3 Fokussierlinse mit Feintrieb

MS Massstab

Abb. 3: Optischer Aufbau zur Messung des Debye-Sears-Effektes.

Das Mikroskop vergrößert das Bild in seiner Bildebene und projiziert es auf den Schirm S. Zwischen L_3 und Mikroskop findet sich ein Maßstab MS. Die Versuchsanordnung ist auf einer optischen Bank aufgebaut. Einige Feintriebe ermöglichen das Justieren.

4.2.2 Das Justieren des optischen Aufbaus

Vor jedem neuen Meßvorgang ist die Justierung zu überprüfen, da sich beim Wechsel oder Einbringen der Probe die optischen Eigenschaften des Aufbaus verändern. **Vor dem Justieren sowie vor jedem Meßvorgang ist es unbedingt notwendig, alle verwendeten Linsen, Filter, Maßstäbe u.s.w. peinlichst mit Aceton o. ä. zu säubern, da das Laserlicht mit jedem Schmutzteilchen deutliche Interferenzmuster bildet, die die Beobachtung des Effektes verhindern.** Die Brennweite der Linse L_3 ist aus der Geometrie des Versuches zu bestimmen und zu notieren. Sollten die Linsenhalterungen auf den Trägern der optischen Bank schwer zu bewegen sein, so sind

sie mit Maschinenöl zu ölen. Zuerst ist der Laser mittels Stellschrauben so einzustellen, daß der Strahl in der Achse des Kollimators liegt. Die Linsen L1 und L2 sind voreingestellt. Dennoch ist die Parallelität des Strahls zu überprüfen, was erst dann möglich ist, wenn der restliche Aufbau justiert ist. Die Stellung der Linsen L1 und L2 zueinander ist nicht zu verändern, da das gesamte System sehr empfindlich auf diese Linsen reagiert. Daher ist es äußerst schwierig, sie zu justieren. Der hintere Teil der optischen Bank ist mit dem Feintrieb so einzustellen, daß der Strahl die Linse L3 zentral trifft und durch das Loch im Spiegel xyz fällt. Mit dem anderen Feintrieb wird erreicht, daß der Strahl zentral auf das Objektiv des Mikroskopes gerichtet wird. Mit Betätigen des Feintriebes an Linse L3 wird erreicht, daß der Laserstrahl zu einem scharfen Punkt auf den Schirm abgebildet wird.

Dieser Punkt muß ebenfalls auf der optischen Achse liegen. Die Justierung ist gründlich und sorgfältig vorzunehmen, da der Effekt sonst nicht zu beobachten ist. Der Aufbau ist erst dann justiert, wenn der Laserstrahl zu einem scharfen kleinen Fleck auf den Schirm abgebildet ist, was auch nur dann möglich ist, wenn die optische Systeme gut gereinigt worden sind. Falls mehrere Punkte oder Muster auf dem Schirm sichtbar sind ist die Reinigung und Justierung zu wiederholen.

4.2.3 Kalibrierung des Okularmaßstabes und des Aufbaus

Um den Aufbau zu eichen ist ein Masstab MS (200 Skt pro 5 mm) im Strahlengang angebracht, der über die Leuchtdiode LED und den schräg eingebauten Spiegel beleuchtet wird. Dieser Masstab ist auf dem Schirm kaum sichtbar, daher ist der Schirm durch die Kamera zu ersetzen. Durch die Änderung der Bildebene ist ggf. die Linse L3 nachzujustieren um den Laser möglichst scharf auf die Kamera abzubilden. Durch vorsichtiges Drehen und Verschieben des Massstabes in seiner Halterung bei passender Beleuchtung kann auch er auf dem Kamerachip scharf gestellt werden. Falls das Licht des Lasers die Justierung des Massstabes erschwert kann der Laser zur Justierung abgeschaltet, durch ein nicht transparentes Objekt abgeblockt oder durch Filter abgeschwächt werden.

4.3 Messung von Schallgeschwindigkeiten in Flüssigkeiten

4.3.1 Aufbau

Nachdem der Aufbau und die Küvette wie vorher angegeben gereinigt und justiert wurde, ist der PXE-Schwinger in den Halter in der Küvette einzubauen. Der Schwinger wird unter die Feder des Halters geklemmt und der Kontakt überprüft. Die Küvette ist im Probenraum so zu befestigen, daß der Laserstrahl die Küvette in Höhe des Schwingers durchstrahlt. Die Küvette muß so ausgerichtet werden, daß die Glasflächen senkrecht zum Strahl stehen (Autokollimation). Das Wasser wird unter Beachtung der Vorsichtsmaßnahmen in die Küvette gegossen. Die Küvette ist soweit zu füllen, daß der Schwinger gut bedeckt ist. Der bisher verwendete Oszillator (Funktionsgenerator) wird durch den Leistungsozillator ersetzt um hinreichend starke Schwingungen im Medium anregen zu können und der Frequenzzähler mittels T-Stück an die Schwingerfassung angeschlossen.

Die Amplitude des Oszillators ist auf maximale Ausgangsspannung zu regeln.

4.3.2 Durchführung

Die Temperatur der Flüssigkeit ist zu messen und der Oszillator auf maximale Ausgangsspannung zu regeln. Es werden nacheinander mehrere Frequenzen gesucht, bei denen Beugungserscheinungen sichtbar werden. Um geeignete Frequenzen zu finden ist es sinnvoll zunächst wieder die Kamera durch den Schirm zu ersetzen und die optionalen Filter zu entfernen. Für geeignete Frequenzen sollten auf dem Schirm deutliche Beugungsbilder (mindestens 5 Beugungsmaxima zu jeder Seite) sichtbar sein. Mit der großen Stellmutter wird der Abstand zwischen Schwinger und gegenüberliegender Wand so eingestellt, daß die Anzahl und die Intensität der sichtbaren Beugungsordnungen maximal wird. Dieses ist dann der Fall, wenn sich im Medium eine stehende Schallwelle befindet (siehe Auswertung). Die Lage der Beugungsordnungen ist aufzunehmen und die Frequenz des Schalls zu notieren. Evtl. muss die Kamera senkrecht zur optischen Achse verschoben werden um höhere Ordnungen aufzunehmen, außerdem sind die optionalen Filter so zu wählen, dass ein gut auswertbares Bild aufgenommen werden kann. Anschließend ist die Temperatur erneut zu messen. Der Vorgang ist bei mindestens vier weiteren Frequenzen zu wiederholen. Dabei ist es für eine genaue Auswertung wichtig, daß möglichst viele und möglichst hohe Beugungsordnungen je Messung aufgenommen werden, dies kann ggf. mehrere Kamerabilder (auch mit verschiedenen Filterstärken) für ein einzelnes Beugungsbild erfordern.

4.3.3 Auswertung

1. Bestimmen Sie mit Hilfe des Maßstabes den Abstand der Beugungsordnungen der aufgezeichneten Beugungsbilder von der nullten Beugungsordnung und listen sie diese auf (ggf. als Anhang).
2. Berechnen Sie daraus die Schallgeschwindigkeit mit Hilfe folgender Gleichung:

$$V = \frac{z \cdot \lambda_L \cdot \nu \cdot f_{L3}}{d} \quad (2)$$

hierin ist

v die Schallgeschwindigkeit

z die Zahl der Beugungsordnung

λ_L die Wellenlänge des Lasers

ν die Frequenz des Schalls

f_{L3} die Brennweite von Linse L4

d der Abstand der z-ten Beugungsordnung von der nullten Beugungsordnung

3. Berechnen sie die Schallgeschwindigkeit indem sie anstelle von d den halben Abstand der z-ten Beugungsordnung von links nach rechts nehmen und vergleichen

sie sie mit den vorherigen Ergebnissen. Was verändert sich? Wie verändert sich der Fehler? Warum treten diese Unterschiede auf?

4. Leiten Sie Gleichung 2 her.
5. Leiten Sie mathematisch her, um welchen Faktor die Intensität der Schallwellen bei stehenden Schallwellen größer ist, als bei laufenden Wellen. Nehmen Sie dazu an, das an der Oberfläche zwischen Flüssigkeit und Küvettenwand das 0,88-fache und an der Oberfläche zwischen Flüssigkeit und Schwinger das 0,70-fache der Schallintensität reflektiert wird und stellen Sie eine entsprechende Reihe auf, indem Sie den nichtreflektierten Schall und die Absorption vernachlässigen.

4.4 Messung der Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten

Dieser gesamte Versuchsteil ist sehr sorgfältig auszuführen, da der zu messende Effekt in der Größenordnung des Fehlers liegt.

4.4.1 Durchführung

Man erzeuge ein Interferenzbild wie im vorherigen Abschnitt beschrieben und überprüfe, ob die Beugungsordnungen vollständig und scharf abgebildet werden. Die Temperatur des Wassers wird vor und nach jeder Aufnahme gemessen und notiert. Da das Wasser kontinuierlich Abkühlt ist es sinnvoll einige (möglichst viele) und möglichst hohe Beugungsordnungen auf einer Seite zu suchen und davon auszugehen, dass das Beugungsmaximum 0. Ordnung konstant bleibt. Der erste Messwert bei Zimmertemperatur kann aus dem vorherigen Versuchsteil übernommen werden. Dann wird Wasser mit dem Boiler am Waschbecken erhitzt, gut durchmischt, die Temperatur gemessen und so lange gewartet, bis das Beugungsbild wieder steht. Damit der Effekt sichtbar wird sind möglichst hohe Temperaturen anzustreben (ab ca. 60°C sind aufnahmen möglich). Nun kann die nächste Aufnahme stattfinden. Man führe genau Buch über die Aufnahmen, um später eine Zuordnung der Photos machen zu können. Auf diese Weise mache man mindestens zehn Aufnahmen bei verschiedenen Temperaturen. Die Temperatur des Wassers sollte 60 Grad Celsius nicht überschreiten, da oberhalb dieser Temperatur die Schlierenbildung zu stark wird. Auch unterhalb dieser Temperatur ist die Schlierenbildung noch sehr stark, so daß nur kurzzeitig ein Bild erkennbar wird. Diese Bilder sind im richtigen Augenblick zu photographieren.

4.4.2 Auswertung

1. Bestimmen Sie aus den Photos die Schallgeschwindigkeit.
2. Tragen sie die Schallgeschwindigkeit über der Temperatur in einem Diagramm auf.

3. Vergleichen Sie das Ergebnis mit folgender Näherung:

$$v(T) = 1557 - 0,0245(74 - T)^2 \quad (3)$$

wobei $v(T)$ in m/s die sich hieraus ergebende Schallgeschwindigkeit ist und T in °C anzugeben ist. Tragen Sie auch diese Kurve in das Diagramm ein.

4. Fitten sie ihre Daten mit einer geeigneten Funktion und vergleichen sie mit Gleichung 3.

4.5 Messung der Schallgeschwindigkeit in Festkörpern

4.5.1 Aufbau

Der Aufbau zur Messung an Festkörpern ist der gleiche wie zur Messung in Flüssigkeiten, nur daß anstelle der Küvette der Probenhalter für den Festkörper in den Probenraum der optischen Bank einzubringen ist. Die Festkörper müssen vor der Messung sorgfältig gereinigt werden da Rückstände auf den Oberflächen die Messung stark erschweren oder unmöglich machen. Es ist darauf zu achten, daß der Strahl vollkommen im Inneren des Glasblocks und senkrecht zur Oberfläche (Autokollimation) verläuft. *Die Festkörper sind nur auf den matten Oberflächen abzulegen um Beschädigungen der transparenten Oberfläche, die die Messungen nachfolgender Gruppen erschweren würden, zu vermeiden.*

4.5.2 Durchführung

Um einen guten mechanischen Kontakt zwischen Piezoschwinger und Probenkörper zu gewährleisten ist ein speziell für Ultraschalluntersuchungen geeignetes Gel vorhanden. Von diesem ist eine kleine Menge auf den Piezoschwinger aufzubringen. Durch leichten Druck bei kreisenden Bewegungen der Probe kann ein homogener Gelfilm zwischen Probe und Piezoschwinger erzeugt werden. Dieser sollte so dünn wie möglich aber auf jeden Fall gleichmäßig auf der kompletten Berührungsfläche sein. Der Film kann durch einen seitlichen Blick durch die transparente Seite der Festkörper überprüft werden. Falls nicht ausreichend Beugungsbilder gefunden werden können beide möglichen Orientierungen (hochkant / quer) ausprobiert werden.

Da die Intensität der Beugungsbilder des Festkörpers sehr gering ist, muß diese Messung bei völliger Dunkelheit durchgeführt werden. Ausserdem ist darauf zu achten, dass die Bilder nicht zu stark gefiltert sind um die schwachen Beugungsordnungen nicht zu unterdrücken. Die Beugungsbilder sind im Frequenzbereich von 3 MHz bis 10 MHz zu erwarten. Um Beugungsbilder zu finden, wird der Frequenzbereich langsam (Übersetzung 125:1 = Knopf ziehen) durchgefahen. Dabei ist das Bild ständig zu beobachten. Tritt ein Beugungsbild auf, so ist die Frequenzeinstellung zu optimieren und zu notieren. Mit den Feintrieben am Probenhalter suche man eine Stelle im Festkörper auf, die ein optimales Beugungsbild zeigt. Man versuche bei unterschiedlichen Frequenzen möglichst viele Beugungsbilder (mindestens 4 je Festkörper) aufzunehmen. Der Versuch ist mit allen vorhandenen Festkörpern zu wiederholen.

Transversale Beugungsordnungen sind auch bei idealen Einstellungen bei maximal zwei der Glaskörper sichtbar und haben eine Intensität in der selben Größenordnung wie der Speckle-Hintergrund, der im ganzen Bild sichtbar ist. Falls durch die Filterung ein homogener Hintergrund entsteht sind die transversalen Beugungsordnungen nicht mehr sichtbar und die Filterstärke muss unbedingt reduziert werden! Die transversalen Beugungsordnungen sind symmetrisch beiderseits der longitudinalen Beugungsmaxima zu erwarten. Da sie eine ähnliche Intensität wie der Hintergrund haben ist es sinnvoll ein Bild mit transversalen Beugungsordnungen und ein zweites bei einer leicht veränderten Frequenz (ohne Beugungsordnungen) aufzunehmen. Der Hintergrund bleibt bei beiden Bildern fast identisch. Mit einem Bildbearbeitungsprogramm wie z.B. GIMP kann ein Differenzbild erzeugt werden, in dem die gesuchten Beugungserscheinungen deutlich zu sehen sind. **Um diesen Versuchsteil auswerten zu können sind bei mindestens einem Festkörper transversale Beugungsordnungen notwendig, es ist daher ggf. so lange mit den verschiedenen Festkörpern in verschiedenen Orientierungen zu experimentieren bis mindestens ein geeignetes Bild aufgenommen wurde.**

4.5.3 Auswertung

1. Bestimmen Sie in den Beugungsbildern die Abstände der Beugungsordnungen.
2. Berechnen Sie daraus die Geschwindigkeiten für Transversal- und Longitudinalwellen.
3. Bestimmen Sie Volumen und Masse der Festkörper und berechnen Sie die Dichte.
4. Berechnen Sie daraus die elastischen Konstanten der Festkörper: Elastizitätsmodul E , Poissonzahl (Querkontraktionszahl) σ , Kompressionsmodul K , Torsionsmodul ν und den Lamé Koeffizienten λ .
5. Suchen Sie Literaturwerte, geben Sie diese an und vergleichen Sie mit Ihren Messungen. Um welche Glassorten könnte es sich handeln?.