Zeitschrift: Helvetica Physica Acta

Band: 10 (1937)

Heft: III

Artikel: Beiträge zur Methodik der Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten mittelst stehender Wellen

Autor: Wyss, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-110745

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Beiträge zur Methodik der Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten mittelst stehender Wellen

von **R. Wyss** (Bern).

(3. V. 37.)

Zusammenfassung: Eine vergleichende Untersuchung optischer und elektrischer Verfahren zum Nachweis stehender Ultraschallwellen zeigt, dass das interferometrische Verfahren mit Frequenzmodulation am ehesten rasch und zuverlässig auch an stark schallabsorbierenden und optisch trüben Flüssigkeiten die Ultraschallwellenlänge zu messen gestattet. Für eine Reihe von Flüssigkeiten wurde die Ultraschallgeschwindigkeit bei ca. 6000 kHz bestimmt.

Im Anschluss an die von DEBYE und SEARS[1]) sowie LUCAS und BIQUARD[2]) eingeführte Methodik der Erzeugung von Ultraschallwellen in Flüssigkeiten mittelst Piezoquarzen und ihrer Untersuchung auf optischem Wege unter Heranziehung der durch die Ultraschallwellen hervorgerufenen Lichtbeugungserscheinungen ist unseres Wissens ursprünglich ausschliesslich mit fortschreitenden Ultraschallwellen gearbeitet worden. Es war dies möglich, weil die im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit kleine Geschwindigkeit der Schallwellen, welche zu einem Dopplereffekt Anlass geben könnte, in erster Näherung nicht stört, wie aus der Arbeit von ALI[3]) hervorgeht.

Indessen mussten Messungen der Schallwellenlängen und damit der Schallgeschwindigkeit notwendig mit einer Unsicherheit behaftet sein, da die für ebene Gitter gültige Formel ($\lambda = G \sin \varphi$) für das räumliche Gitter nur näherungsweise gelten kann[4]). Es musste daher von Interesse sein, Messungen an *stehenden* Wellen auszuführen. Als Indikator bot gerade der Debye-Sears-Effekt hierzu ein geeignetes Mittel. Über die in dieser Richtung angestellten Versuche wurde bereits in Kürze berichtet[5]). Es sei hierzu bemerkt, dass eine kurz zuvor von HIEDEMANN u. a. veröffentlichte Arbeit[6]) über optische Versuche an stehenden Ultraschallwellen in Flüssigkeiten hiezu den äusseren Anlass geboten hat. Nach der Deutung von BÄR[7]) handelte es sich bei diesen Autoren um eine Mehrfachbeugung im Sinne der Theorie von Brillouin und der Abbe'schen Abbildungstheorie, während es sich bei unseren Versuchen wirklich um die Ausbildung stehender Wellen zwischen Sendeplatte und parallelem Reflektor handelte.

Bei unseren Versuchen mit dem optisch-photographischen Verfahren bemerkten wir, dass sich die Rückwirkung auf die Grösse des Anodenstroms der Senderöhre gut als Indikator für das Zustandekommen ausgeprägter stehender Wellen eignete[9]). Messtechnisch noch besser verwertbar als die Rückwirkung auf die Grösse des Anodenstroms ist die der letzteren parallel laufende *Frequenzänderung.* Wir haben auf dieser Erscheinung fussend ein rein elektrisches, registrierendes Ultraschall-Interferometer entwickelt, welches verhältnismässig rasch und sicher auch an Flüssigkeiten mit beträchtlicher Ultraschall-Absorption unter Aufwendung verhältnismässig geringer Ultraschall-Leistung die Schallgeschwindigkeit zu bestimmen gestattet. Auch in Tran, Maschinenöl, dickem Glyzerin und Schwefelkohlenstoff, für welche die Absorption so gross ist, dass bei der zur Verfügung stehenden Energie eben noch Spuren stehender Wellen auftreten können, ist die Ultraschallgeschwindigkeit bestimmbar. Die Grenzen, die den optischen Methoden durch Färbung oder Trübung gesetzt sind, fallen beim elektrischen Registrierverfahren weg.

Wie man sieht, sind wir durch diese Entwicklung ganz in die zum grossen Teil schon bekannte Ultraschallmessmethodik[8]) gedrängt worden, die, wie wir nachträglich aus dem 1934 erschienenen Handbuch der Exp.-Phys. Bd. XVII 1. Teil ersahen, namentlich von Pierce[8]) durch seine Entwicklung des akustischen Interferometers[10]) stark gefördert worden ist. Trotzdem dürfte unsere Arbeit eine Reihe von methodischen Neuerungen enthalten.

In den nachfolgenden Abschnitten soll eine Beschreibung der verschiedenen von uns benutzten Verfahren und Apparaturen nebst Erklärung ihrer Wirkungsweise gegeben und im Anschluss hieran die Durchführung einer Messreihe geschildert werden. Der letzte Abschnitt enthält eine Zusammenstellung aller Messergebnisse.

Abschnitt I. Verfahren und Apparaturen.

Optische Feststellung der stehenden Wellen.

Prinzip: Die zu mechanischen Schwingungen angeregte Quarzplatte wird wie üblich in die Flüssigkeit hineingehängt. In einigen Zentimetern Abstand wird nun eine ebene Glasplatte als Reflektor angebracht, die durch eine Justiervorrichtung der Quarzplatte parallelgestellt wird. Die Glasplatte ist ausserdem mittelst eines Mikrometertriebes gegen die Quarzplatte hin verschiebbar. Jeweils, wenn der Abstand Reflektor—Quarz ein Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt, müssen stehende

Wellen auftreten, was zur Folge hat, dass die optische Beugungserscheinung ein Maximum wird. Bei kontinuierlicher Annäherung des Reflektors an den Quarz beobachtet man rhythmische Änderungen des Beugungsbildes. Durch Beobachtung und Auszählung dieser „Pulsationen" innerhalb einer grösseren Verschiebungsstrecke des Reflektors lässt sich die Wellenlänge sehr genau ermitteln.

An methodischen Unterschieden gegenüber dem Studium des Debye-Sears-Effektes an fortschreitenden Ultraschallwellen seien besonders folgende hervorgehoben. Die übliche Art der Auswertung des Interferenzbildes vermag keine sehr grosse Genauigkeit zu geben, es sei denn, dass zur Projektion des Beugungsbildes ein sehr grosser Abstand gewählt werden kann. In diesem Fall ist

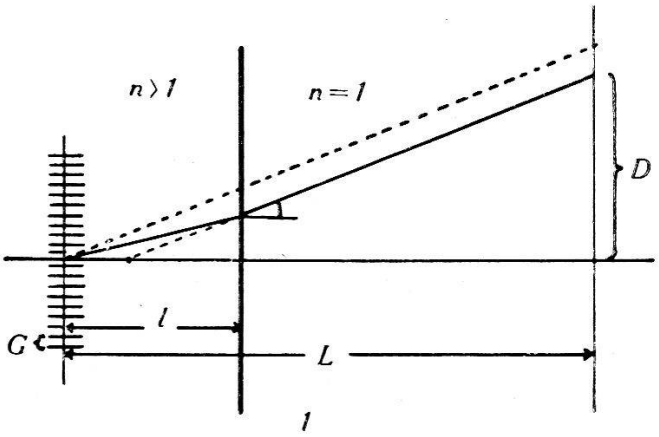

Fig. 1. Strahlverschiebung durch Brechung.
l : Abstand von Mitte Schallstrahl bis Cuvettenrand
L : Abstand von Mitte Schallstrahl bis Projektionsschirm
G : Gitterkonstante = Ultraschallwellenlänge
λ : Wellenlänge des verwendeten Lichtes
D : Auf dem Projektionsschirm gemessener Streifenabstand
n : Brechungsindex der Flüssigkeit (derjenige für Luft = 1 gesetzt).

weitgehende Monochromasie und grosse Intensität des Lichtes unbedingte Notwendigkeit. Im stehenden Schallfeld sind zunächst bei gleicher abgebbarer Schalleistung grössere Dichteschwankungen und folglich stärker ausgeprägte Beugungserscheinungen möglich. Ausserdem kann man die Pulsationen sehr wohl beim ungefilterten Licht einer Glühlampe auszählen.

Wir möchten an dieser Stelle eine Korrektur erwähnen, die zwar die Auswertung des Interferenzbildes fortschreitender Ultraschallwellen bzw. stehender Wellen bei ein und derselben Stellung des Reflektors betrifft und folglich unsere Art der Beobachtung nicht berührt, die aber doch von Interesse sein dürfte, umsomehr als sie von verschiedenen Autoren offenbar übersehen worden ist.

Es handelt sich um die Berücksichtigung des Unterschiedes im Brechungsindex zwischen der Flüssigkeit, in welcher das Schallfeld besteht, und der Luft, in welcher die Interferenzerscheinung beobachtet wird.

An Stelle der gewöhnlichen für $n = 1$ gültigen Beugungsformel

$$\lambda = \frac{G\,D}{L} \quad \text{tritt} \quad \lambda = \frac{1}{1 - \frac{l}{L}\,\frac{n-1}{n}} \cdot \frac{G\,D}{L}.$$

Es sei erwähnt, dass beispielsweise für $L = 500$ cm, $l = 3$ cm und $n = 1{,}5$ eine Korrektur von $2\,^0/_{00}$ an der aus der einfachen Formel berechneten Gitterkonstanten anzubringen ist.

Auf die apparativen Einzelheiten, die schon in der Vorveröffentlichung[5]) kurz berührt worden sind, wird unten bei der Beschreibung der definitiven vollautomatischen Registrierapparatur näher eingegangen, und wir beschränken uns nachstehend auf einige methodische, die quantitative Auswertung des Debye-Sears-Effektes betreffende Bemerkungen.

Subjektive Auszählung.

Durch subjektive Beobachtung lassen sich im allgemeinen nicht wesentlich mehr als 100 Pulsationen (= 100 Halbwellen) auszählen, da das Auge verhältnismässig rasch ermüdet. Es sei hier erwähnt, dass bei genauer Justierung des Reflektors die Intensität bzw. die Streifenzahl langsam bis zu einem Maximum ansteigt, um nach Überschreiten des Resonanzzustandes unstetig abzureissen. Dieses plötzliche Abreissen ermöglicht ein relativ genaues Festhalten einer bestimmten Phase innerhalb einer Halbwelle. Die Bruchteile am Anfang und Ende lassen sich bei subjektiver Auszählung allerdings nur schätzungsweise in Rechnung ziehen.

Photographische Registrierung.

Durch photographische Festhaltung der Beugungsbilder lässt sich eine wesentlich höhere Genauigkeit erzielen, indem auch die Bruchstücke von Halbwellen einer Auswertung zugänglich werden. Zur Registrierung wurde das Papier auf eine Registriertrommel gelegt, so dass Anfang und Ende sich ohne Lücke deckten. Die Beschreibung des Streifens erfolgte schraubenförmig; zu diesem Zwecke wurde der Lichtstrahl über ein Spiegelchen geführt, das durch ein Uhrwerk zeitproportional gedreht wurde. Bei dieser

Anordnung war es möglich, auf einem Papierstreifen von 4,5 × 24 cm bei 10 Umdrehungen ca. 200 Halbwellen zu registrieren.

Zur Erleichterung der Auswertung der Streifen wurde wahlweise von folgenden Kunstgriffen Gebrauch gemacht: Bei geringeren Pulsationen wurde durch knappe Belichtung und lange Entwicklung das erwähnte Abreissen deutlich gemacht (Fig. 2a). Bei stärkeren Pulsationen wurde reichlich belichtet und kurz entwickelt, bis die nullte Ordnung eben Zeichnung aufzuweisen beginnt (Fig. 2b). Letztere Art der Registrierung beruht darauf, dass die durch Beugung erhaltenen höheren Ordnungen auf Kosten der nullten Ordnung entstehen. An Stellen, wo die Interferenzstreifen ihr Maximum überschritten haben, also abreissen, wird

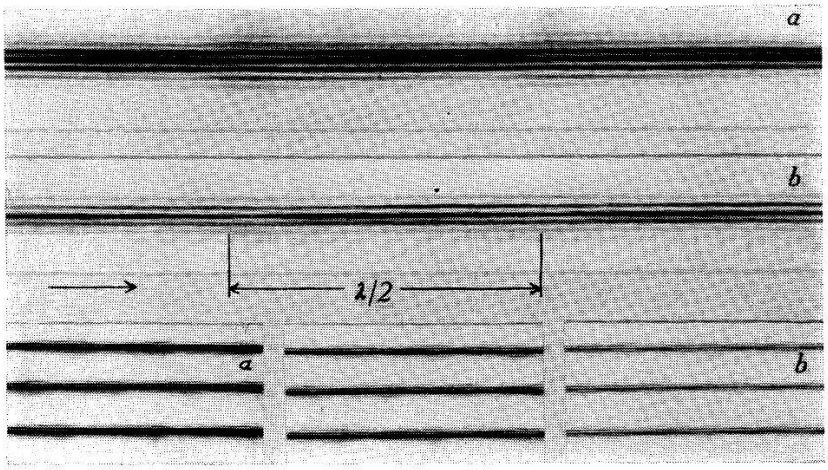

Fig. 2.
Ausschnitte aus photographischen Registrierungen. Einfluss der Belichtung und Entwicklung.

die nullte Ordnung jeweils ihr Maximum aufweisen. Diese Art der Registrierung ist wesentlich angenehmer in der Auswertung als die erstgenannte, ist aber nur bei starken Pulsationen anwendbar.

Leider versagt die optische Methode bei den kleinen Pulsationen, wie sie in stärker absorbierenden Substanzen auftreten, und bei trüben und farbigen Medien. Daher wurde die Mehrzahl der Messungen mit dem nachstehend beschriebenen Verfahren ausgeführt.

Elektrische Feststellung der stehenden Wellen.

Wie in den einleitenden Bemerkungen bereits erwähnt wurde, eignet sich zum rein elektrischen Nachweis der Resonanz im Schallraum noch besser als die Rückwirkung auf die Intensität des Anodenstroms die *Änderung der Senderfrequenz.* Diese Frequenzmodulation wurde daher dem elektrischen Registrierverfah-

ren zugrundegelegt. Sie ist in Fig. 3 schematisch dargestellt (ausgezogene Kurve) und besteht im wesentlichen aus zwei Komponenten: 1) in einer mittleren Frequenzänderung bei einer Verschiebung des Reflektors um mehrere Halbwellen (gestrichelte Kurve), und 2) einer periodischen Frequenzänderung, wobei eine Periode einer Verschiebung des Reflektors um eine Halbwelle entspricht (Modulation).

Zur Deutung dieser Erscheinungen sei Folgendes angeführt:

1 a) Bei gleicher Stellung des Reflektors ist die Senderfrequenz $\nu \approx 6157$ kHz für verschiedene Flüssigkeiten etwas verschieden; der Unterschied beträgt zwischen Xylol und Wasser etwa $0{,}1\,^0/_{00}$. Dieses deutet auf kapazitiven Ursprung der Erscheinung hin. Die Kammer, in welcher sich der Kristall unter Xylol befindet, ist von dem zu untersuchenden Schallfeld durch ein

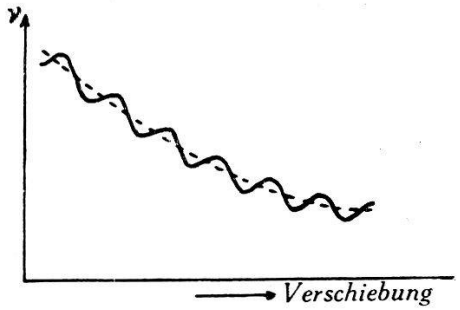

Fig. 3.
Schematische Darstellung der Frequenzabhängigkeit.

Glimmerfenster getrennt (s. unten Fig. 5 a). Durch dieses Fenster hindurch hat der Reflektor einen Durchgriff auf die nichtgeerdete Elektrode des Quarzes. Die Kapazität der letzteren hängt folglich vom Abstand Quarz—Reflektor ab und muss sich in einer vom Abstand monoton abhängigen Frequenzänderung auswirken.

1 b) Es ist auch denkbar, dass durch eine gewisse Nichtlinearität im Verhalten des Quarzes bei den hohen vorhandenen Schwingungsintensitäten eine mittlere Veränderung der Dielektrizitätskonstanten des Quarzes möglich wäre. Dieser Einfluss lässt, wenn er überhaupt merklich vorhanden ist, sich vom Einfluss 1 b) wohl nur mit Mühe experimentell trennen.

2 a) Es ist bekannt, dass eine Selbstinduktion, welche durch eine induktive Kopplung auf einen veränderlichen Widerstand arbeitet, einer veränderlichen Selbstinduktion äquivalent ist. Die Frequenzänderung bei Verschiebungen des Reflektors innerhalb einer Halbwelle lässt sich nun auf diesen Fall zurückführen, denn beim Zustandekommen einer stehenden Welle, also bei Resonanz im Schallraum bedeutet eine Verringerung der Bela-

stung, welche einer Veränderung der Wirkkomponente des Belastungswiderstandes entspricht, eine Änderung der wirksamen Selbstinduktion, welche ihrerseits eine Änderung der Eigenfrequenz des Schwingungskreises nach sich zieht.

2 b) Neben der obigen Erklärung ist eine dem Fall 1 b) entsprechende Deutung denkbar, welche die Frequenzänderung auf eine Kompression des Quarzes durch den Schalldruck (bzw. dessen Rückwirkung) und eine eventuell damit noch verbundene Änderung der Dielektrizitätskonstanten zurückführt. In welchem Masse dieser kapazitive Effekt neben dem in 2 a) genannten induktiven Effekt eine Rolle spielt, können wir nicht sagen. Er ist vermutlich sehr klein.

Ob eine Beeinflussung der Konstanten des mit dem Quarz gekoppelten Schwingungskreises oder eine direkte Beeinflussung des ersteren vorliegt, kommt im wesentlichen auf dasselbe hinaus, da sich die beiden gekoppelten Schwingungskreise „ziehen".

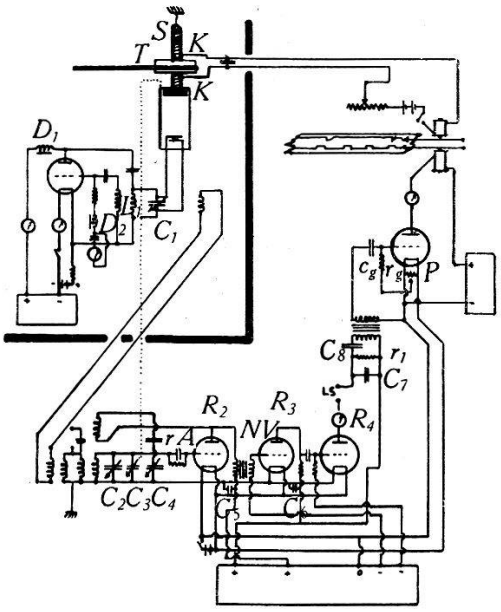

Fig. 4.
Schema der Versuchsanordnung.

Versuchsanordnung.

Fig. 4 gibt einen Überblick über die gesamte Versuchsanordnung.

Der Hochfrequenzgenerator (Fig. 4) ist ein Kurzwellensender in Dreipunktschaltung mit TC 04/10 (Philips) als Senderöhre. D_1 und D_2 sind Hochfrequenzdrosseln. Die Grösse des Gitterkondensators (50 pF) und des Gitterwiderstandes (10000 Ohm) wurde durch Versuche ermittelt. Zwecks Schonung der Röhre

und zugleich zur Erreichung günstigster Energieabgabe wurde darauf geachtet, dass der Gittergleichstrom ca. 10% des Anodengleichstromes nicht übersteigt. Der abstimmbare Schwingungskreis (L_1 C_1) wurde in den Anodenkreis des Senders gelegt, um von der Kapazität des Quarzes unabhängig zu sein. Die Heizung der 4-Voltröhre erfolgte mit 6 Volt und Vorwiderstand zwecks gleichmässigeren Arbeitens des Senders. Der Piezoquarz liegt als Resonator parallel zu C_1.

Die zur Verfügung stehende Energie von einigen Watt entspricht einigermassen dem Aufnahmevermögen der Versuchsflüssigkeit bei mittlerer Schallabsorption. Grössere Energien führen zu Schlierenbildung infolge Erwärmung und Konvektion.

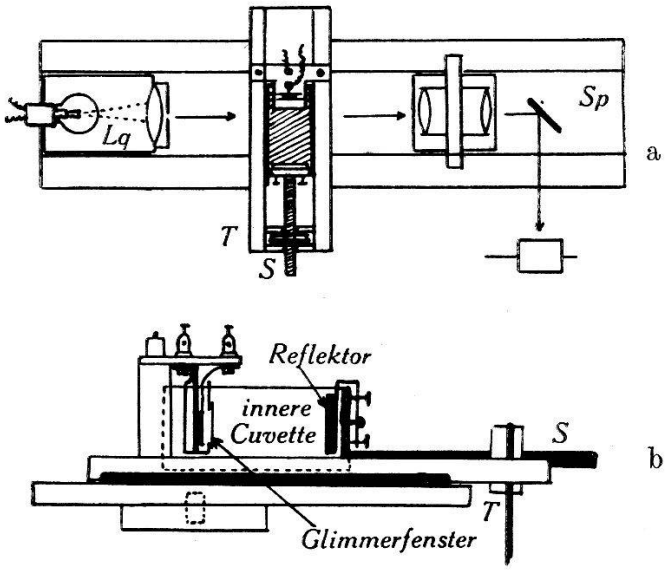

Fig. 5.
a) Optische Bank. b) Verschiebbares Versuchsgefäss.

Das bereits in der Veröffentlichung[5]) abgebildete *Versuchsgefäss* ist in Fig. 5 nochmals gesondert dargestellt. Die aus Spiegelglas bestehenden Seitenwände sind mit Bleiglycerid in den Messingkörper eingekittet. Diese Kittung muss von Zeit zu Zeit erneuert werden, da das Bleiglycerid aus bisher unbekannten Gründen langsam schwarz und metallisch glänzend wird und von Glas- und Metallflächen abspringt. Diese Umwandlung scheint eine Folge der Beschallung zu sein.

Der Schwingquarz ist auf einem mit der Erde verbundenen Messingträger mittelst Rudol aufgekittet, die frei bewegliche Elektrode ist ein gleichermassen aufgekitteter Stanniolstreifen. Das Ganze befindet sich in einer kleinen Messingcuvette. An der dem Schallraum zugewendeten Seite der letzteren ist ein Glimmerfenster von ca. 0,05 mm Dicke eingekittet, welches den Ultra-

schallwellen den Durchgang in die Versuchsflüssigkeit gestattet. Die innere Cuvette ist stets mit Xylol gefüllt. Dadurch wird der Quarz elektrisch von der Flüssigkeit getrennt, und man wird von einer allfälligen Leitfähigkeit der Flüssigkeit unabhängig. Die innere Messingcuvette ist auf einem Grundbrett fest montiert, während das Versuchsgefäss samt Reflektor mittelst des Schraubengewindes S (Ganghöhe 1 mm, Trommel 100 Teile) auf diesem Grundbrett verschoben werden kann. Der Einfluss der Schraubenfehler auf die Ergebnisse ist $<2^0/_{00}$.

Der Vorschub erfolgt durch seitliche Festhaltung der drehbaren Trommel T. Der Antrieb der Trommel erfolgt vom Uhrwerk aus über eine Schnur.

Bei der photographischen Registrierung des Debye-Sears-Effektes fällt das Licht der Lichtquelle Lq nach Durchgang durch Versuchsgefäss und Objektiv über den sich zeitproportional drehenden Spiegel Sp auf die Registriertrommel.

Da beim Debye-Sears-Effekt die Lichtstrahlen das Schallgitter senkrecht zur Schallausbreitungsrichtung schneiden müssen, ist das Grundbrett mit einem Drehzapfen in die optische Bank eingelassen.

Das *Übertragungsglied* (Fig. 4) besteht aus zwei beidpolig miteinander verbundenen Spulen, die einen wohldefinierten kleinen Teil der Energie des Sendekreises unter der Abschirmplatte hindurch auf das Schwingaudion übertragen. Der Kopplungsgrad kann je nach den Absorptionsverhältnissen innerhalb enger Grenzen variiert werden. Wesentlich ist es, den Empfänger so abzuschirmen, dass er durch den Sender nicht durch Übersteuerung blokkiert wird.

Zum Empfang der frequenzmodulierten Hochfrequenz dient ein rückgekoppeltes Audion (*r. A.* in Fig. 4) mit anschliessendem Niederfrequenzverstärker (NV). Es handelt sich um einen normalen kombinierten Rundfunk- und Kurzwellenempfänger.

Dem Hauptkondensator C_2 (500 pF) ist zwecks Feinregulierung der Überlagerungsfrequenz ein kleiner Kondensator C_3 (ca. 10 pF) parallel geschaltet, welcher durch eine geeignete variable zweiarmige Hebelübersetzung mechanisch mit dem Versuchsgefäss gekoppelt ist und mit Annäherung des Reflektors an den Quarz nach kleinerer Kapazität hin verändert wird. Die Übertragung der Bewegung erfolgt mittelst zähem eingeöltem Leinenfaden. Auf diese Weise wird die durch die Annäherung des Reflektors an den Quarz bewirkte monotone Änderung der mittleren Sendefrequenz weitgehend automatisch wettgemacht durch einen entsprechenden Gang in der Überlagerungsfrequenz.

*

Rückkopplung und Schwingungseinsatz des Überlagerungsempfängers sind am Kondensator C_4 weich einstellbar.

Die Kondensatoren C_5 und C_6 des Niederfrequenzteils unterbinden unerwünschte Neigungen zu niederfrequenten Eigenschwingungen. Als Röhren dienten: R_2: RE 084, R_3: Micro-Métal DZ 352, R_4: RE 134.

Die Umwandlung der Schwankung der Frequenz des Differenztones in eine Amplitudenschwankung erfolgt durch eine *Siebkette* (Fig. 4), welche auf etwa 600 Hertz abgestimmt ist. Die Daten der Siebkette sind: C_7: 1000 pF, C_8: 0,25 μF, $r_1 =$ 0,02 MΩ; Niederfrequenztransformator $\ddot{u} = 1:6$, Gleichstromwiderstand eingangsseitig 4000 Ω.

Das *Röhrenrelais* hat zweckmässig eingangsseitig eine Zeitkonstante von $^1/_{100}$ sec ($c_g = 10000$ pF, $r_g = 1$ MΩ). Der Arbeitspunkt der Röhre (Philips B 405) liess sich durch Regulieren am Potentiometer P verändern.

Der Anodenstrom betätigt nun direkt einen Schreiber, bestehend aus einem empfindlichen polarisierten Telegraphenrelais, dessen Anker verlängert und mit einem Schreibfederchen versehen war. Die beiden Wicklungen zu je 20000 Ω Widerstand sind parallel geschaltet. Die Schaltung ist derart, dass der Anker abfällt, wenn die Siebkette einen Strom durchlässt. Das Schreiberrelais zieht an bei 2 mA und fällt ab bei 1,3 mA.

In der Nähe auftretende Funken können kurze Ausschläge bewirken, die aber von den regelmässigen, durch die Natur des Ablaufs der Messung bedingten Ausschlägen leicht zu unterscheiden sind. Starke dauernde elektromagnetische Wellen, die zufälligerweise in den Ansprechbereich des Empfängers fallen, machen sich durch Pfeifen des stets eingeschalteten Lautsprechers bemerkbar.

Unmittelbar neben der Feder des oben beschriebenen Schreibers läuft auf dem durch den Registrierapparat fortbewegten Telegraphenband (Papierstreifen 13 mm breit) eine zweite Feder, welche den Vorschub des Versuchsgefässes registriert. Der magnetische Antrieb der beiden Federchen erfolgt nach entgegengesetzten Seiten. Den der Wegmarkierung entsprechenden Relaisschreiber ohne Versetzung dicht neben dem andern Schreiber anzuordnen ist konstruktiv nicht leicht; die Auswertung der Streifen gestaltet sich aber bei dieser Anordnung, namentlich was das Erkennen von Fremdstörungen anbelangt, besonders einfach.

Der Wegmarkierungsschreiber ist niederohmig und wird mit 4 Volt betrieben.

Der Strom wird durch eine kleine in die Trommel T eingelassene Hartgumminocke im Augenblick des Darübergleitens der

Kontaktfeder K unterbrochen und dadurch ein Vorschub um 1 mm markiert. Versuche zeigten, dass die Markierung durch Unterbrechen eine schärfere Registrierung ergibt, wobei durch einen Kondensator von 2 μF das Ausschwingen der Schreiberspule entdämpft und damit stärker herausgearbeitet wird. Fig. 6 oben zeigt ein Stück einer normalen Registrierung.

Als Spannungsquellen für Sender, Empfänger und Röhrenrelais dienen getrennte Anodengeräte mit guter Filterung.

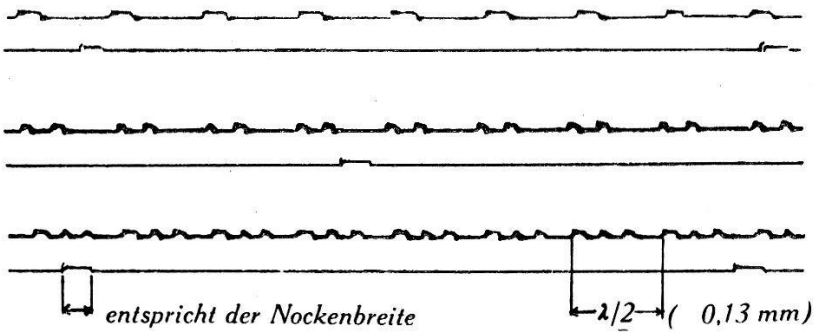

Fig. 6.

Beispiele von Registrierungen. Einfach- und Mehrfach-Schläge.

Abschnitt II. Durchführung der Messungen.

Die *Bestimmung der Senderfrequenz* erfolgte unter den bei den Registrierungen gültigen Betriebsbedingungen, d. h. bei mit Flüssigkeit gefüllter Cuvette, indem ein Lechersystem mittelst einer Spule möglichst lose an den Senderkreis angekoppelt wurde. Die Länge des Systems war etwas grösser als die Wellenlänge und wurde mittelst eines Drehkondensators auf die $1\frac{1}{2}$fache Wellenlänge abgestimmt. Gemessen wurde die dritte Halbwelle zwischen zwei Messingreflektoren. Als Anzeigeinstrument diente ein empfindliches Galvanometer mit Kristalldetektor. Die Ankopplung erfolgte induktiv aus genügendem Abstand vom Lechersystem, die Ablesung am Instrument mittelst Fernrohr aus 1 m Abstand vom Indikatorkreis.

Mit dem Drehkondensator wurde zunächst das System einschliesslich festem Endreflektor aber ohne beweglichen Reflektor auf Maximalstrom eingestellt und hierauf symmetrische Stellungen des beweglichen Reflektors beidseitig des Knotens gesucht, für welche der Indikatorstrom gleich gross war. Die in der Mitte dazwischen liegende Stellung liess sich auf ca. 3 cm genau bestimmen. Die Senderfrequenz ergab sich zu 6157 kHz $\pm \frac{1}{2}$ ‰. Ohne Flüssigkeit in der Cuvette war die Frequenz merklich kleiner.

Die *Aufnahme einer Registrierung* nach dem *optisch-photographischen Verfahren* bedarf nach dem bisher Gesagten keiner weiteren Beschreibung.

Beschreibung der Aufnahme nach dem elektrischen Verfahren. Die Versuchsflüssigkeit wird in das zuvor gut gereinigte Versuchsgefäss eingebracht. Hierauf wird die Empfangsfrequenz so eingestellt, dass im Lautsprecher ein Ton von 500 bis 1000 Hertz entsteht. Sodann reguliert man unter stetiger Bewegung des Versuchsgefässes die Gitterspannung der Relaisröhre derart, dass ein Relaisstrom von ca. 3—4 mA fliesst. Die Empfangsfrequenz und die Hebelübersetzung werden nun so eingestellt, dass in den vorgesehenen Endlagen der zu durchlaufenden Strecke das Relais eben anspricht. Eventuell kann anschliessend nochmals die Gitterspannung der Relaisröhre nachreguliert werden, damit ein stärkerer Relaisstrom fliesst.

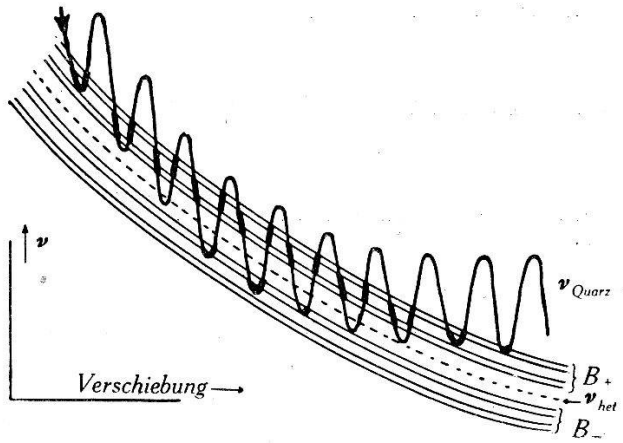

Fig. 7.

Von jeder untersuchten Substanz wurden jeweils mehrere Registrierungen aufgenommen. Die Ergebnisse weisen infolge des stetigen Anstiegs der Temperatur eine nahezu lineare Abhängigkeit von der letzteren auf. Aus diesem Grunde lassen sich die mittleren, zu den betreffenden Einzelregistrierungen gehörigen Temperaturen berechnen.

Die den Ausgleichskondensator betätigende Hebelübersetzung muss von Substanz zu Substanz innerhalb enger Grenzen nachreguliert werden.

Die Länge der für die Registrierung verwendbaren Strecke hängt von der Grösse der Absorption ab. Bei Schwefelkohlenstoff, der von den bisher bekannten am stärksten absorbierenden Substanz, hat diese eine Länge von etwa 6 mm, bei normalen Substanzen bis zu 30 mm und mehr.

Die *Deutung der registrierten Marken* scheint zunächst nicht ganz einfach zu sein, da je Wellenlänge nicht nur ein, sondern zwei oder mehrere Ausschläge auftreten, wie Fig. 6 unten zeigt. Zur Erklärung dieser Mehrfachschläge diene die schematische Fig. 7. Die Wellenlinie stellt die modulierte Quarzfrequenz dar. Daneben ist der Gang der Heterodynfrequenz gezeichnet, wobei der Unterschied in übertriebenem Ausmass zum Ausdruck gebracht ist. Der ideale Fall einer völligen Nachahmung des Frequenzganges von ν_{Quarz} durch ν_{het} konnte, wie bereits bemerkt wurde, leider nicht mit einfachen Mitteln realisiert werden. Entsprechend dem Umstand, dass das Relais anspricht, wenn der *Absolut*wert der

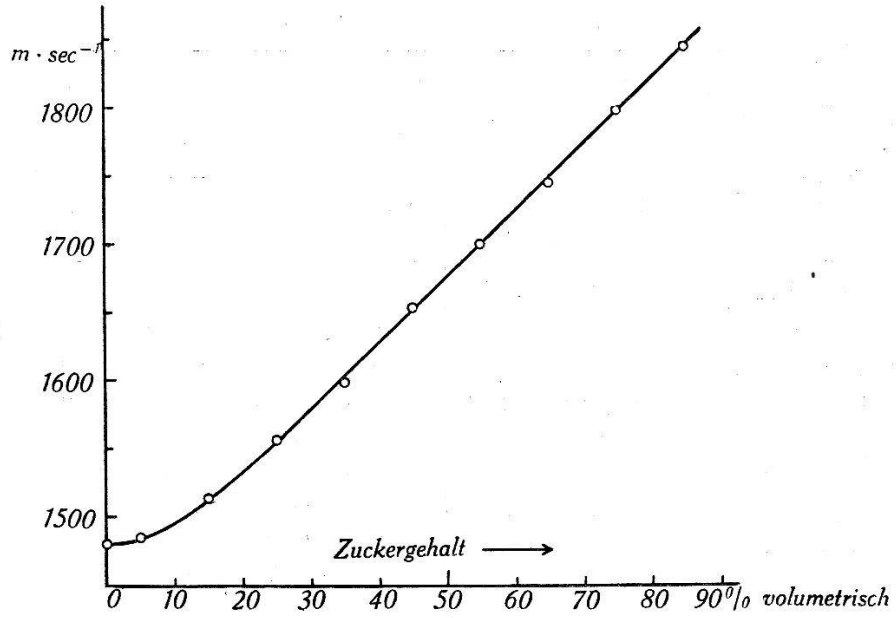

Fig. 8.
Rohrzuckerlösungen verschiedener Konzentration.

Schwebungsfrequenz der Haupteigenfrequenz der Siebkette entspricht, sind in Fig. 7 zwei Ansprechbänder B_+ und B_- eingezeichnet. Die Grenzen dieser Bänder sind doppelt gezogen, da das Relais bei verschiedenen Strömen anzieht und abfällt. Diejenigen Teile der ν_{Quarz}-Kurve, welche zu einem Ausschlag auf dem Registrierstreifen Anlass geben, sind ausgezogen gezeichnet. Man erkennt zwei äussere Bereiche, in denen Einfachschläge auftreten, und einen mittleren Bereich, in welchem Doppel- und sogar Dreifachschläge möglich sind. Beispiele hierfür sind in Fig. 6 wiedergegeben. Durch Übersteuerung des Empfängers sowie ungeeignetes Einstellen der Gittervorspannung der Relaisröhre können die einzelnen Schläge noch verdoppelt werden, so dass recht komplizierte Formen von Ausschlägen resultieren können.

Abschnitt III. Versuchsergebnisse.

In nachstehender Tabelle 1 sind die Messresultate für eine Reihe von Flüssigkeiten wiedergegeben. Die Ergebnisse wurden teils durch optisch-photographische, teils durch rein elektrische Registrierung gewonnen. Die Tabelle ist wesentlich ausgedehnter als diejenige in der früheren Arbeit, da der Anwendungsbereich der neuen Methode eben grösser ist. Sämtliche Angaben wurden mit der Frequenz $\nu = 6157$ kHz ausgerechnet.

Tabelle 1.

Versuchsergebnisse.

Reine Substanzen					
Substanz	Temp. °C	Ultraschall-Geschw. m/s	Substanz	Temp. °C	Ultraschall-Geschw. m/s
Methylalkohol . . .	20	1206	Benzol	20	1325
Aethylalkohol . . .	20	1198	Xylol	20	1487
Propylalkohol . . .	20	1303	Toluol	20	1379
Butylalkohol . . .	20	1318	Toluidin	20	1757
Amylalkohol . . .	20	1235	Monobromnaphthal.	20	1457
Azeton	20	1116	Propylalk. alt norm.	23	1331
Amylazetat	20	1202	Propylalk. alt iso .	23,6	1304
Dichloraethylen . .	20	1069	Schwefelkohlenstoff rein; Mittel aus 19 Einzelmess. über kurze Registrierstrecke	19	1296
Chloroform	20	1057			
Tetrachlorkohlenst.	20	982			
Lösungen und Mischungen					
Substanz	Temp. °C	Ultraschall-Geschw. m/s	Substanz	Temp. °C	Ultraschall-Geschw. m/s
4 CS_2+1 S	17,0	1287	Tran	21	1493
1 CS_2+1 CCl_4 . . .	16,8	1223	Oleinsäure	21	1957
Chloralhydrat, 30proz. Lösung .	20	1541	Oleinsäure unrein .	21	1450
Glyzerin, Dichte = 1,23 . .	20	2005	Maschinenöl . . .	21	1460

Es wurden auch Mischungen und Lösungen, insbesondere deren Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis, und ferner die Abhängigkeit der Ultraschall-Geschwindigkeit von der Dauer der Beschallung untersucht.

Interessant ist das Verhalten von Rohrzuckerlösungen verschiedener Konzentration. Die Zunahme der Ultra-Schallgeschwindigkeit hängt, wie aus Fig. 8 hervorgeht, bei kleinen Konzentrationen quadratisch, bei höheren Konzentrationen linear von derselben ab.

Fig. 9 zeigt eine Auswahl aus den Ergebnissen der Versuche mit kohlesäurehaltigem Wasser (Syphon). Die offen stehende Lösung wurde nach bestimmten Zeitabschnitten untersucht. Da es sich um ein ziemlich kompliziertes System handelt, welches übrigens nicht stets unter genau gleichen Bedingungen untersucht werden konnte, lässt die Reproduzierbarkeit, abgesehen von dem

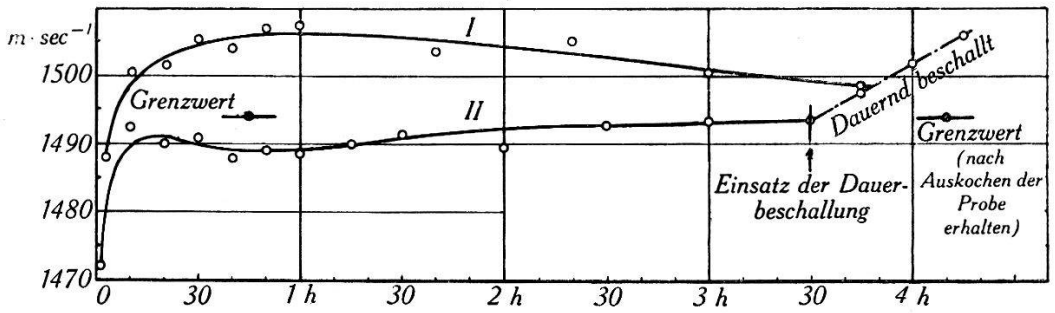

Fig. 9.
Kohlensäurehaltiges Wasser (Syphon).

stets wiederkehrenden anfänglichen Anstieg infolge der Entgasung, zu wünschen übrig.

Im Fall der Kurve II (Fig. 9) wurde auch eine Dauerbeschallung vorgenommen. Man erkennt ein lineares Anwachsen der Ultra-Schallgeschwindigkeit, was wohl auf Bildung von Wasserstoffsuperoxyd zurückzuführen ist.

An dieser Stelle möchte ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. Greinacher, für die Anregung zu dieser Arbeit sowie sein förderndes Interesse meinen verbindlichsten Dank aussprechen. Ebenso bin ich Herrn Priv.-Doz. Dr. H. König für seine wertvolle Hilfe zu wärmstem Dank verpflichtet.

Bern, Physikalisches Institut der Universität.

Literatur.

[1]) P. Debye und F. W. Sears, Proc. Nat. Acad. Soc. **18**, 409, 1932; Phys. Zeitschr. **33**, 885, 1932.

[2]) R. Lucas und D. Biquard, Journ. de phys. et le Radium **3**, 464, 1932.

[3]) L. Ali, Helv. Phys. Acta **8**, 502, 1932.

[4]) P. Debye, Phys. Zeitschr. **33**, 849, 1932.

[5]) R. Wyss, Helv. Phys. Acta **7**, 406, 1934.

[6]) Ch. Bachem, E. Hiedemann und H. R. Asbach, Zeitschr. f. Physik **87**, 734, 1934.

[7]) R. Bär, Helv. Phys. Acta **7**, 591, 1934.

[8]) W. G. Pierce, Electronics, Febr. 1934, S. 57.

[9]) J. Zühlke, Ann. d. Physik (5) **21**, 677, 1934.

[10]) Handbuch der Experimentalphysik Bd. **17**/1, S. 519ff. (Ultraschall-Interferometer.)