Zeitschrift: Helvetica Physica Acta

Band: 9 (1936)

Heft: VII

Artikel: Über den Nachweis der Chladni-Figuren schwingender Piezoquarze mit Hilfe der Lichtbeugung an Ultraschallwellen

Autor: Bär, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-110653

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: 09.07.2025

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

Über den Nachweis der Chladni-Figuren schwingender Piezoquarze mit Hilfe der Lichtbeugung an Ultraschallwellen

von **R. Bär.**

(14. VII. 36.)

Zusammenfassung. Schwingende Piezoquarze zeigen im allgemeinen Chladnische Klangfiguren; daher sind auch die von ihnen emittierten Schallwellen nicht eben, sondern haben eine gewisse regelmässige Struktur aufgeprägt. Vor dem schwingenden Quarz bildet sich infolgedessen eine Art Raumgitter aus, das hier mit Hilfe der Lichtbeugung nachgewiesen wird durch: 1. Charakteristische Beugungserscheinungen (§ 2), 2. Abbildung des Raumgitters (§ 3), 3. Stroboskopische Aufnahme fortschreitender Wellen (§ 4).

§ 1.

Es ist zwar bekannt, dass Piezoquarze *(PQe)* im allgemeinen nicht als Kolbenmembrane schwingen, sondern komplizierte Chladnische Klangfiguren zeigen. Derartige Quarze können daher auch keine ebenen Wellen emittieren; trotzdem wird bei Verwendung der Quarze als Ultraschallgeber gewöhnlich angenommen, dass die emittierten Wellen eben sind. Speziell trifft dies zu für die Versuche über die Lichtbeugung an Ultraschallwellen. Hier liessen die bisher erhaltenen Resultate die Annahme der Emission ebener Wellen insofern als berechtigt erscheinen, als erstens die Beugungsspektren, die bei der Durchstrahlung fortschreitender Wellen erhalten werden, keine Hinweise für wesentliche Abweichungen vom Typus der ebenen Welle geben. Zweitens kann man bekanntlich von stehenden Wellen optische Abbildungen erzeugen; diese stellen aber ebenfalls schöne ebene Wellen dar. Der einzige Hinweis, den Lichtbeugungsversuche für die Existenz der Chladni-Figuren bisher gebracht haben, findet sich in einer Arbeit von Hiedemann und Asbach[1]); diese Autoren stellen eine verschiebbare enge Blende in den die Schallwelle durchsetzenden Lichtstrahl und zeigen, dass die Intensität der Lichtbeugung Schwankungen aufweist, wenn die Blende senkrecht zu den Fortpflanzungsrichtungen von Lichtstrahl und Schallwelle innerhalb des Lichtstrahls verschoben wird. Da das Licht dann nacheinander durch

[1]) E. Hiedemann und H. R. Asbach, Phys. ZS. **35**, 26 (1934).

Teile der Schallwelle hindurchgeht, die von verschiedenen Stellen der *PQ*-Oberfläche emittiert wurden, so muss man schliessen, dass die Schwingungsamplitude des *PQes* auf den verschiedenen Teilen seiner Oberfläche verschieden gross ist.

§ 2.

Da die Chladni-Figur zustande kommt als Folge einer gesetzmässigen Verteilung der Schwingungsamplitude auf der ganzen Quarzoberfläche, so muss sich die Existenz dieser Figur auch bemerkbar machen, wenn gleichzeitig die ganze Schallwelle durchstrahlt wird. Man überlegt leicht, dass man die Existenz der Chladni-Figur nachweisen kann sowohl durch die besondere Gestalt der Beugungserscheinung als auch vermittels der optischen

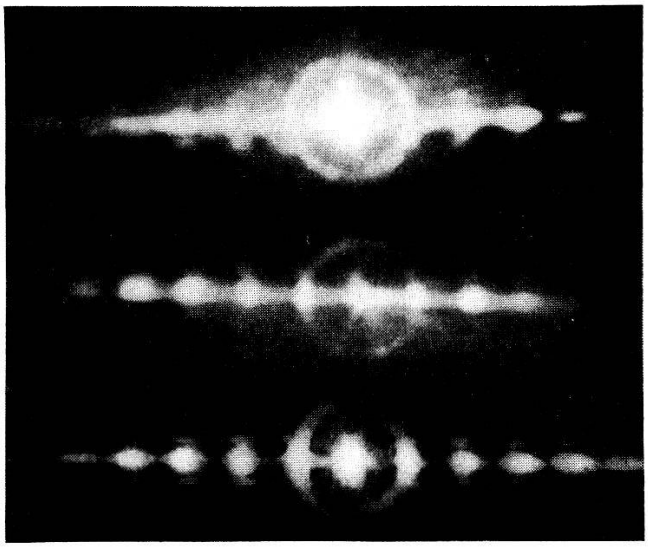

Fig. 1.
Einfluss der Chladni-Figur des *PQes* auf die Lichtbeugung an einer fortschreitenden Welle bei (a) 8740, (b) 8630 und (c) 8470 kHz.

Abbildung der Schallwelle, die man bei der Überlagerung der Beugungsspektren erhält. Was nun zuerst den Nachweis mit Hilfe der Beugungsspektren betrifft, so ist es klar, wie die Versuchsanordnung hiezu beschaffen sein muss und welche Resultate man zu erwarten hat. Da nämlich die Chladni-Figur des Schwingquarzes von der Schallwelle in den Raum mitgetragen wird, so bildet sich — mindestens in der Umgebung der *PQ*-Oberfläche — eine Art räumliches Gitter aus. Ein solches Gitter liefert, wie Schaefer und Bergmann[1]) und Hiedemann und Asbach[2]) gezeigt

[1]) Cl. Schaefer und L. Bergmann, Sitzber. preuss. Akad. d. Wiss. Phys.-math. Kl. 1934, X; Naturw. **22**, 685 (1934).

[2]) E. Hiedemann und H. R. Asbach, ZS. f. Phys. **87**, 442 (1934).

haben, bei Verwendung einer Lochblende als (sekundärer) Lichtquelle Beugungserscheinungen, die ähnlich aussehen wie die Laue-Diagramme, die man bei der Durchstrahlung von Kristallen mit Röntgenstrahlen erhält. Als Versuchsanordnung wurde daher die früher[1]) beschriebene benutzt, nur musste der Spalt durch eine Lochblende ersetzt werden. Figg. 1a—c stellen Versuchsresultate dar, die mit einer für die Frequenz 7490 kHz geschliffenen *PQ*-Platte von 10×20 mm Kantenlänge in Xylol bei drei verschiedenen Frequenzen ($(a) = 8740$, $(b) = 8630$, $(c) = 8470$ kHz) erhalten wurden. Die Platte stand dabei mit ihrer längern Kante parallel zur Richtung des einfallenden Lichts; durchstrahlt wurde das Gebiet der Schallwelle zwischen 0 bis ca. 4,5 cm Entfernung vom *PQ*. Die primäre Lichtquelle war, wie bei den früheren Versuchen, eine Glühlampe mit gerader Drahtwendel, deren

a

b

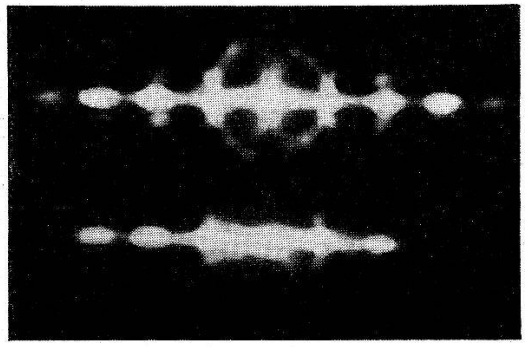

Fig. 2.
(a) Lichtbeugung unmittelbar vor dem *PQ*, (b) in ca. 3,5 cm Entfernung.

Licht mit einem Zeiss'schen C-Filter monochromatisiert wurde; zweifellos würde man mit wirklich monochromatischem Licht noch schärfere Bilder erzielen. Man sieht aus den Figuren, dass sich Beugungserscheinungen ergeben, die tatsächlich vom Typus der von Schaefer und Bergmann und von Hiedemann und Asbach erhaltenen sind. Während aber diese Autoren das Raumgitter in der Flüssigkeit durch mehrere gleichzeitig schwingende *PQe* oder durch mehrfache Reflexion der von einem Quarz ausgehenden Schallwelle erzeugten, war bei unsern Versuchen nur eine fortschreitende Schallwelle wirksam, da durch Auskleidung der Wände des Flüssigkeitstroges mit schallabsorbierenden Stoffen jede Reflexion der Welle sorgfältig verhindert wurde. Die Beugungserscheinung ist, wie die Figuren zeigen, natürlich von der Frequenz des *PQes* abhängig; bei keiner Frequenz war aber das einer ebenen Welle entsprechende Bild zu erhalten.

---

[1]) R. Bär, Helv. Phys. Acta **8**, 59 (1935).

Man muss erwarten, dass die der Schallwelle aufgeprägte Chladni-Figur beim Fortschreiten der Welle zerfliesst und dass dann die Raumgitter-Interferenzen weniger ausgeprägt werden. Der Versuch bestätigt, wie die Figg. 2a—b zeigen, diese Vermutung. Für die Aufnahme (a) wurde durch Anbringen einer engen, an passender Stelle im Lichtstrahl angebrachten Blende dafür gesorgt, dass nur das Gebiet der Schallwelle in unmittelbarer Nachbarschaft vom *PQ* durchstrahlt wurde; für (*b*) wurde dann die Blende so verschoben, dass der Lichtstrahl in ca. 3,5 cm Entfernung vom *PQ* durch die Schallwelle hindurchging. Man sieht schön, dass die Beugungserscheinung sich in (b) mehr dem Typus der ebenen Welle nähert als in (a).

Es ist klar, dass man, wenn man als (sekundäre) Lichtquelle einen Spalt anstelle der Lochblende verwendet, die Raumgitter-Interferenzen durch die viel stärkere Beugungserscheinung der ebenen Welle überdeckt; aber die Beugungsspektren zeigen dann eine zu grosse Linienbreite oder es wird eventuell sogar eine Feinstruktur in denselben vorgetäuscht. Die Chladni-Figur kann daher bei derartigen Versuchen auch als Fehlerquelle von Wichtigkeit sein.

§ 3.

Was jetzt die optische Abbildung betrifft, die bei der Wiedervereinigung der Beugungsspektren zustandekommt, so konnte sie ebenfalls mit der beschriebenen Anordnung (wieder mit der Lochblende als sekundärer Lichtquelle) durchgeführt werden. Zum Verständnis der Versuchsresultate muss man folgendes überlegen: Wenn das von der Schallwelle nicht abgebeugte Licht (Spektrum 0ter Ordnung) weggeblendet wird, so ist das Gebiet, das von einer fortschreitenden ebenen Welle überstrichen wird, in der Abbildung durch eine gleichmässige Aufhellung kenntlich. Dasselbe gilt auch noch, wenn man ausser dem Spektrum 0ter Ordnung eine beliebige Anzahl weiterer Beugungsspektren wegblendet. Unter solchen Versuchsbedingungen wurden die in diesem Paragraphen wiedergegebenen Bilder erhalten; jede Abweichung von der gleichmässigen Aufhellung zeigt darin also eine Abweichung vom Typus der ebenen Welle an.

In Fig. 3a ist die Abbildung des Schallfeldes wiedergegeben, das die in den Figuren 1a und 2 reproduzierten Beugungserscheinungen erzeugte. Man bemerkt, dass an dem im Bild links befindlichen *PQ* ein Band von ungefähr gleichmässiger Helligkeit ansetzt, das über das ganze Gesichtsfeld hin angenähert gleich breit bleibt. Die in diesem Band und ausserhalb desselben sicht-

baren Streifungen, die mit wachsender Entfernung vom *PQ* divergieren, rühren her von der durch die Chladni-Figur verursachten Abweichung vom Typus der ebenen Welle. In wenigen cm Abstand vom Quarz ist in der Mitte der Abbildung nur noch das annähernd gleichmässig helle Band zu sehen; hier scheint also der Zustand der ebenen Welle schon recht angenähert er-

a

b

c

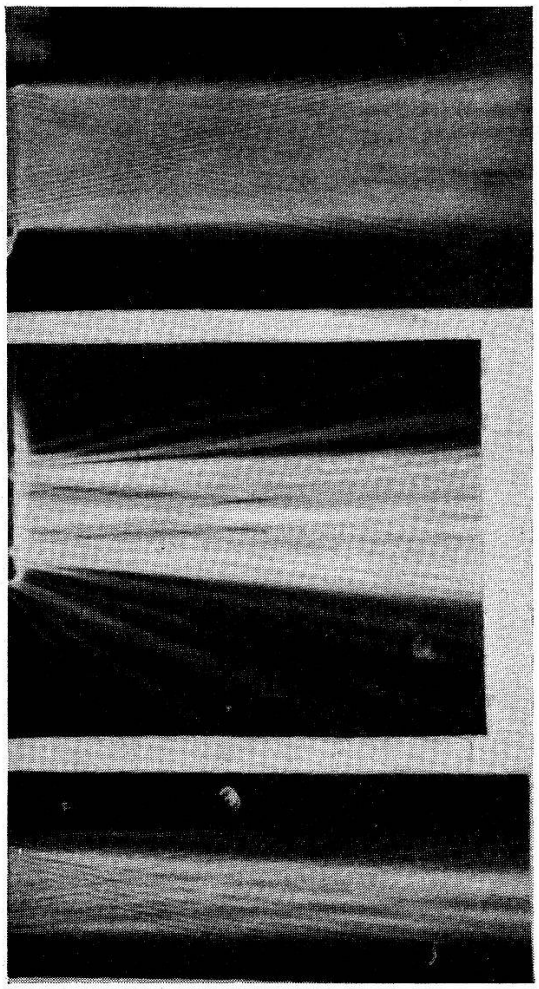

Fig. 3.
Abbildung des Schallwellenfeldes bei (a) 8740 und (b) 7500 kHz; (c) anderer *PQ* bei 7500 kHz.

füllt, zum mindesten besser als auf den andern Bildern der Figg. 3 und 4. Wenn dieselbe Quarzplatte mit der Frequenz 7500 (statt 8740) kHz betrieben wurde, ergab sich das in Fig. 3b reproduzierte Bild. Das Band ist hier sehr ungleichmässig geschwärzt und wird mit zunehmender Entfernung vom *PQ* breiter, ausserdem findet eine merkliche Schallemission in einen grösseren Raumwinkel statt. Fig. 3c stellt schliesslich das Schallwellenfeld dar, das erhalten wurde mit einem *PQ* von gleichen Dimensionen, der aber für die Frequenz 7500 kHz geschliffen war und auch (mit

Hilfe eines Steuerquarzes) bei genau dieser Frequenz betrieben wurde; hier scheint der Schallstrahl eher zu konvergieren.

Viel schöner werden die Chladni-Figuren in den Abbildungen sichtbar, wenn man, statt einen dünnen Quarz in der Grundschwingung anzuregen, einen dicken Quarz in einer hohen Oberschwingung als Ultraschallgeber benutzt. Dies mag vielleicht daher rühren, dass in der zusammengesetzten Schwingung, die jeder Quarz im allgemeinen ausführt, die Dickenschwingung, die zur Emission der ebenen Welle führt, im letztern Falle weniger stark ausgeprägt ist. Ferner scheint bei den dicken Quarzen die Schwingungsform regelmässiger zu sein, und vielleicht auch weniger beeinflusst durch die unvermeidlichen Asymmetrien der Halterung, so dass die Gesetzmässigkeit der Chladni-Figur besser

a b c

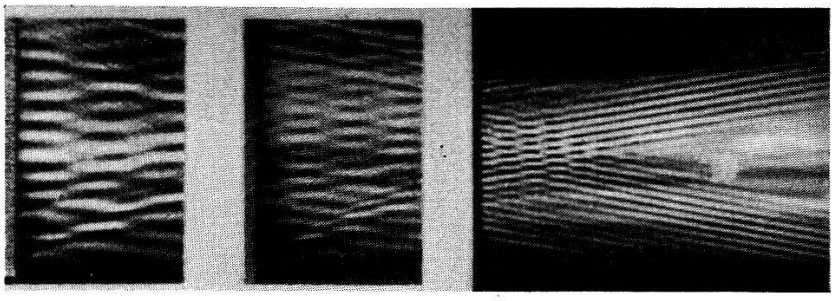

Fig. 4.
Abbildung des Schallwellenfeldes eines dicken *PQ* bei (a) 3760, (b) 4330 und (c) 5480 kHz.

sichtbar wird. Die in Figg. 4a—c wiedergegebenen Bilder wurden erhalten mit einem quaderförmigen *PQ*; derselbe hatte in der Richtung der elektrischen Achse eine Dicke von 1 cm, die beiden Begrenzungsflächen senkrecht zu dieser Achse waren 2 cm lange Quadrate, von denen die eine Seite parallel zur optischen Achse und die andere senkrecht zur elektrischen und zur optischen Achse stand. (*a*) wurde bei einer Frequenz von 3760, (b) bei 4330 und (c) bei 5480 kHz erhalten; man sieht deutlich, dass der Streifenabstand mit wachsender Frequenz kleiner wird. Die auf (a) und (b) erkennbaren feinen Querstreifen rühren wahrscheinlich daher, dass hier die Schallwelle an den Gefässwänden immer noch schwach reflektiert wurde; bei (*c*) war die Versuchsanordnung etwas geändert: hier war der *PQ* aussen auf die Wand des Flüssigkeitstrogs aufgeklebt.

Weitere Versuche wurden noch angestellt mit kreisförmigen Quarzplatten verschiedener Dicke, die dabei Grund- und Oberschwingungen ausführten. Immer ergaben sich Abbildungen,

die ungefähr so aussahen wie die in den Figg. 3 und 4 reproduzierten, d. h. immer erhielt man ein Bild, das sehr erheblich von demjenigen der ebenen Welle abwich. Damit ist natürlich nicht bewiesen, dass *PQe* überhaupt nicht so angeregt werden können, dass sie wie Kolbenmembrane schwingen, aber es scheint die hier verwendete Methode recht geeignet zur Prüfung der Frage, ob und eventuell unter welchen Versuchsbedingungen die *PQe* ebene Wellen emittieren. Es ist klar, dass gerade diese Frage für manche Versuche (z. B. Absorptionsmessungen) von grosser Wichtigkeit ist.

Bei den Versuchen mit den rechteckigen Quarzplatten waren dieselben immer so justiert, dass eine Kante möglichst parallel zum einfallenden Lichtstrahl stand. Es zeigte sich nämlich (und dies ist auch theoretisch zu erwarten), dass das Aussehen des Bildes noch von dieser Justierung abhängig ist. Dadurch wird es verständlich, dass das Bild mehr oder weniger unscharf wird, wenn man als Lichtquelle statt der Lochblende einen mehr oder weniger langen Spalt benutzt.

Die auf Figg. 4a—b schwach sichtbaren Querstreifen werden viel intensiver, wenn die fortschreitende Schallwelle an irgendwelchen Wänden Reflexionen erleidet. Dann kann sich in der Flüssigkeit eine rautenförmige Struktur herausbilden, die unter Umständen sehr stark ausgeprägt ist; wahrscheinlich hat fast jeder, der mit Ultraschallwellen in Flüssigkeiten arbeitet, die Erscheinung schon gelegentlich beobachtet, sie ist aber m. W. nirgends beschrieben.

§ 4.

Weitere Aufschlüsse über die Gestalt der Schallwelle und über den Ausbreitungsvorgang kann man erhalten, wenn man die Versuche des § 3 mittels stroboskopischer Beleuchtung wiederholt; dann wird nämlich in der Abbildung auch noch die Front der fortschreitenden Schallwelle sichtbar. Als besonders geeignet für diesen Zweck erwies sich die kürzlich von Becker, Hanle und Maercks[1]) angegebene schöne Methode der Lichtmodulation mit Hilfe stehender Ultraschallwellen. Die Methode beruht auf der Überlegung, dass das von stehenden Wellen der Frequenz ω gebildete Schallgitter pro Sekunde $2\,\omega$ mal verschwindet und dass daher auch die durch die Beugung an diesem Gitter erzeugten Beugungsspektren in der Sekunde $2\,\omega$ mal entstehen und wieder

[5]) H. E. R. Becker, W. Hanle und O. Maercks, Phys. ZS. **37**, 414 (1936).

verschwinden. Es ist zwar die Frequenz $2\,\omega$ die kleinste, aber im allgemeinen nicht die einzige Modulationsfrequenz, und es tritt diese Modulation auch nicht in allen Spektren mit derselben Intensität auf, aber man kann durch einen Spalt oder durch eine Lochblende ein beliebiges Beugungsspektrum ausblenden und die Intensität der Schallwellen dann so einstellen, dass in dem ausgeblendeten Spektrum die Frequenz $2\,\omega$ mit überwiegender Intensität auftritt[1]).

Wenn mit einem derartigen Stroboskop fortschreitende Schallwellen beleuchtet werden sollen, so ist es natürlich am schönsten, wenn der die fortschreitenden Wellen emittierende *PQ* in der Oktav des Stroboskop-*PQs* schwingt. Leider stand kein hierzu geeignetes Quarzpaar zur Verfügung, dagegen waren von

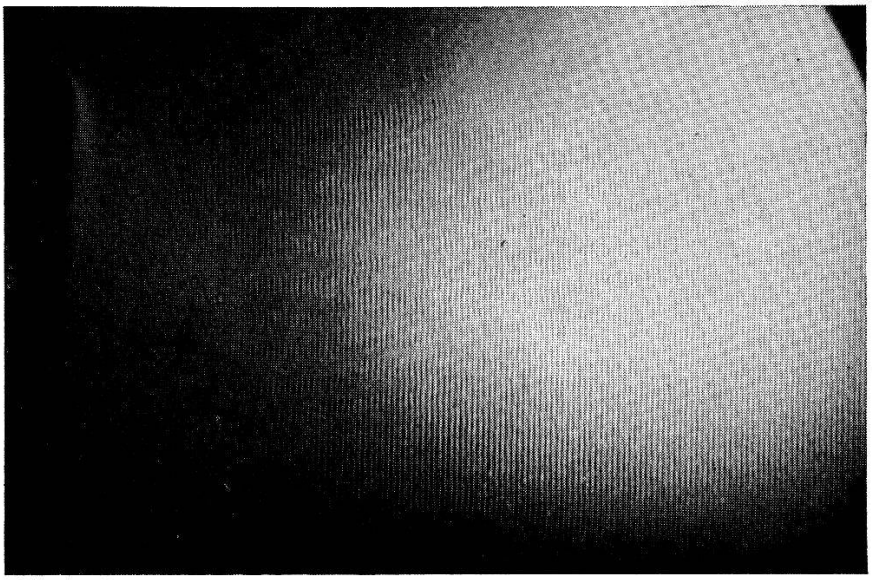

Fig. 5.
Stroboskopische Aufnahme einer fortschreitenden Welle.

dem in § 3 beschriebenen quaderförmigen *PQ* zwei gleiche Exemplare vorhanden. Es wurde daher der eine dieser beiden *PQe* im Stroboskop zur Erzeugung der stehenden Wellen verwendet, während der andere, mit dem gleichen Sender betrieben, fortschreitende Wellen derselben Frequenz erzeugte. Die Beleuchtung erfolgte dann also zweimal pro Schwingung; man erhält daher schöne Abbildungen der Welle nur, wenn die Breite der Schwärzung, die während einer Beleuchtung im Bilde erzeugt wird, klein ist gegen die halbe Schallwellenlänge. Diese Bedingung ist bei vor-

[1]) *Anmerkung bei der Korrektur* (18. IX.): Inzwischen ist mir auch gelungen, eine einfache und lichtstarke Methode zur Modulation mit der Frequenz ω mit Hilfe von Ultraschallwellen anzugeben (H.P.A. im Druck).

gegebener Form der Lichtmodulation noch umso besser erfüllt, je mehr Beugungsspektren von der fortschreitenden Welle erzeugt werden. Die Versuchsanordnung war auch hier die beschriebene, nur wurde anstelle der Lochblende jetzt ein Spalt verwendet. In Fig. 5 ist eine Abbildung wiedergegeben, die die von dem Quarz ausgehende fortschreitende Welle bei der Frequenz 2645 kHz zeigt. Die von der Chladni-Figur herrührende Struktur der Welle ist hier nicht mehr so gut zu sehen wie auf den Lochblenden-Aufnahmen des § 3, aber die Abweichungen vom Typus der ebenen Welle sind namentlich in der Nähe des *PQes* doch noch gut erkennbar.

Anmerkung bei der Korrektur (24. VII.): In einer Arbeit, von der ich erst nach Abschluss dieser Mitteilung Kenntnis erhielt, zeigt BECKER (Ann. d. Phys. **26,** 645 (1936)), dass die Anharmonizität der Schwingung der *PQe* in Flüssigkeiten durch symmetrische Halterung (Schallabstrahlung nach beiden Richtungen) zum Verschwinden gebracht werden kann. Aber auch dann zeigt der *PQ*, wie einige nachträglich angestellte Versuche ergaben, beim Schwingen noch die Chladni-Figuren; durch keine Art der Halterung konnte die Emission ebener Wellen erzielt werden.

Physikalisches Institut der Universität Zürich.