

Über die Kohärenzverhältnisse in den anstehenden Ultraschallwellen in Flüssigkeiten erzeugten Beugungsspektren

Autor(en): **Bär, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **8 (1935)**

Heft VII

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-110544>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Über die Kohärenzverhältnisse in den an stehenden Ultraschallwellen in Flüssigkeiten erzeugten Beugungsspektren

von R. Bär.

(16. X. 35.)

Zusammenfassung. §§ 2 und 3: Es werden Versuche beschrieben, die angestellt wurden zur Beantwortung der Frage, welche der verschiedenen, bei der Lichtbeugung an stehenden Ultraschallwellen in Flüssigkeiten erzeugten Beugungsspektren kohärent sind, d. h. miteinander zur Interferenz gebracht werden können. Es ergibt sich das Resultat: Jedes beliebige Paar zweier Spektren mit geraden Ordnungszahlen (einschliesslich der nullten Ordnung) besitzt mindestens einen gemeinsamen Anteil kohärenten Lichtes; dasselbe gilt für jedes Paar aus der Gruppe der Spektren mit ungeraden Ordnungszahlen. Dagegen ist jedes Spektrum der ersten Gruppe mit jedem der zweiten Gruppe vollständig inkohärent. § 4: Die Abbildungen von stehenden Ultraschallwellen, die dadurch zustande kommen, dass mehrere oder alle Beugungsspektren einander überlagert werden, lassen sich ebenfalls durch diese Kohärenzeigenschaften erklären. § 5: Die experimentell gefundenen Kohärenzeigenschaften sind genau diejenigen, die man aus der Annahme erhält, dass die höheren Beugungsspektren durch Mehrfachbeugung zustande kommen (Brillouin'sche Theorie).

§ 1. Einleitung.

Die bei der Beugung des Lichtes an stehenden Ultraschallwellen in Flüssigkeiten erzeugten Beugungsspektren können bekanntlich durch eine Linse wieder vereinigt und zur Interferenz gebracht werden; es ist also möglich, eine wirkliche optische Abbildung dieser Schallwellen zu erzeugen. Derartige Versuche wurden zuerst von BACHEM, HIEDEMANN und ASBACH¹⁾ mitgeteilt und HIEDEMANN²⁾ und seine Mitarbeiter haben in der Folge auf diesem Effekt eine neue Präzisionsmethode zur Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten aufgebaut. Schon die in der ersten Mitteilung wiedergegebenen Bilder von Ultraschallwellen sind ausgezeichnet gelungen; dies ist deswegen bemerkenswert, weil die Autoren damals noch keine Klarheit besaßen über die Entstehungsweise ihrer Bilder, die sie für Schlierenaufnahmen ansahen. Dass mit dieser Versuchsanordnung aber tatsächlich eine optische Abbildung der Schallwellen zustandekommt,

¹⁾ CH. BACHEM, E. HIEDEMANN und H. R. ASBACH, *Zeitschr. f. Phys.* **87**, 734, 1934.

²⁾ Literaturangaben bei CH. BACHEM und E. HIEDEMANN, *Zeitschr. f. Phys.* **94**, 68, 1935.

wurde kurz darauf klargestellt durch eine Arbeit von DEBYE, SACK und COULON¹⁾, die gleichzeitig und unabhängig sich mit demselben Problem befassten. Diese Autoren weisen darauf hin, dass die Theorie verlangt, dass das Licht bei der Beugung an fortschreitenden Ultraschallwellen einen Doppler-Effekt erfährt. Dadurch wird die Frequenz ν_0 des einfallenden Lichtes verschoben in $\nu_{+n} = \nu_0 + n\Omega$ und $\nu_{-n} = \nu_0 - n\Omega$, wobei ν_{+n} bzw. ν_{-n} die Frequenz des in die $+n^{\text{te}}$ bzw. $-n^{\text{te}}$ Ordnung abgebeugten Lichtes und Ω die Schallfrequenz bedeuten. Man muss daraus schliessen, dass bei der Lichtbeugung an stehenden Schallwellen, die ja durch die Überlagerung zweier in entgegengesetzten Richtungen fortschreitender Wellen zustande kommen, in jeder der beiden n^{ten} Ordnungen beide Frequenzen $\nu_0 + n\Omega$ und $\nu_0 - n\Omega$ gleichzeitig vorhanden sind, so dass also diese beiden Ordnungen kohärentes Licht enthalten und bei ihrer Überlagerung Interferenzen ergeben. Man kann daher, indem man zwei beliebige zusammengehörige n^{te} Ordnungen ausblendet und zur Interferenz bringt, eine Abbildung der Ultraschallwellen erzeugen. Wenn man die Blenden ganz weglässt und alle Ordnungen einander überlagert, so ergibt sich nach dieser Überlegung, dass immer noch eine Interferenzerscheinung entsteht, und zwar durch die Addition der Intensitäten der von den n Paaren von Beugungsspektren erzeugten n Abbildungen; dieses Interferenzbild stimmt dann überein mit dem von BACHEM, HIEDEMANN und ASBACH erhaltenen Bild der Ultraschallwellen. DEBYE, SACK und COULON interessieren sich allerdings nicht für die Verhältnisse bei stehenden Wellen, sondern sie zeigen, dass auch bei der Lichtbeugung an fortschreitenden Wellen Kohärenzeigenschaften zwischen den einzelnen Spektren bestehen und dass sogar beliebige Spektren mit verschiedenen Ordnungszahlen noch interferenzfähig sind. Solche Spektren haben zwar verschiedene Frequenzen, aber die infolge dieser Kohärenz bei ihrer Überlagerung auftretenden Lichtschwebungen können doch durch intermittierende Beleuchtung mit einer Kerrzelle sichtbar gemacht werden. Hierdurch gelingt also auch die Abbildung fortschreitender Ultraschallwellen, ein Versuch, der wiederum ohne diese theoretische Begründung ebenfalls kurz vorher von BACHEM²⁾ ausgeführt wurde.

Die Verhältnisse bei der Abbildung stehender Schallwellen scheinen aber doch auch eine eingehendere Untersuchung zu rechtfertigen. Neben dem theoretischen Interesse, das sie bieten,

¹⁾ P. DEBYE, H. SACK und F. COULON, C. R. **198**, 922, 1934.

²⁾ CH. BACHEM, Zeitschr. f. Phys. **87**, 738, 1934.

ist experimentell z. B. die Frage, wie sich eine möglichst gute Abbildung dieser Wellen erzielen lässt, von Wichtigkeit; denn unter den Methoden zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten ist diejenige der Abbildung und Ausmessung dieser Wellen in ihrem Frequenzbereich bezüglich der Messgenauigkeit schon heute allen anderen überlegen.

§ 2. Versuchsanordnung.

Die Versuchsanordnung war die übliche, so dass sich eine genaue Beschreibung derselben erübrigt; nur folgende Punkte seien hervorgehoben: Es empfiehlt sich, zur Abbildung achromatische Linsen zu benutzen, da die Interferenzen dann für alle Lichtwellenlängen an die nämlichen Raumstellen fallen, so dass sie auch noch sichtbar bleiben, wenn zur Lichtbeugung weisses Licht verwendet wird. Bei unseren Versuchen wurde eine Glühdraht- oder Kohlebogen-Lampe benutzt, die durch eine Kondensorlinse auf einen Spalt abgebildet wurde. Wenn (vgl. unten) doch eine gewisse Monochromatisierung notwendig war, so wurde ein Zeiss'sches C-Monochromat-Filter zwischen Kondensorlinse und Spalt geschaltet. Das Licht des Spaltes als sekundärer Lichtquelle wurde durch ein Leitz'sches Projektionsobjektiv ($f = 40$ cm) parallel gemacht. Hinter dem Objektiv befand sich der Trog (Spiegelglaskasten von Leybold) mit der Flüssigkeit, in der die Ultraschallwellen erzeugt wurden. Hinter diesem Trog stand dann ein zweites Leitz'sches Projektionsobjektiv ($f = 50$ cm), in dessen Brennebene die Beugungsspektren erzeugt wurden. In dieser Ebene waren daher auch die Blenden oder Spalte aufgestellt, vermittels deren die zu untersuchenden Spektren aus der Gesamtheit der vorhandenen Beugungsspektren ausgeblendet werden konnten. Da namentlich in den höheren Ordnungen die einzelnen Farben von verschiedenen Beugungsspektren sich überlappen, so ist die Isolierung bestimmter Spektren durch diese Spalte oft erst möglich, wenn das Licht durch das oben erwähnte Filter einigermassen monochromatisiert wird. Die Entfernung des zweiten Projektionsobjektivs vom Orte, wo die Ultraschallwellen die Flüssigkeit durchsetzten, betrug nur wenig mehr als die Brennweite, nämlich ca. 55 cm, so dass ein Bild dieser Wellen von ca. 10facher Vergrößerung in einer Entfernung von ca. $5\frac{1}{2}$ m hinter diesem Linsensystem entstand.

Folgendes sei noch zur Erzeugung der stehenden Ultraschallwellen bemerkt: Der die Wellen erregende Piezoquarz, der für eine Frequenz von 7500 kHz geschliffen war, hatte die Form

eines Rechtecks von 1×2 cm und stand mit der 1 cm-Kante vertikal und mit der 2 cm-Kante horizontal, d. h. parallel zur Richtung der Lichtstrahlen. Er wurde betrieben mit einem kleinen Zweiröhren-(Philips TC $04/10$)-Gegentaktsender, der entweder vermittels einer Rückkoppelungsschaltung gesteuert wurde oder dann durch einen zweiten Sender, dessen Frequenz mit Hilfe eines ebenfalls für 7500 kHz geschliffenen Steuerquarzes in Pierce-Schaltung konstant gehalten wurde. Als Flüssigkeit zur Lichtbeugung an den Schallwellen diente Xylol. Damit sich stehende Wellen ausbilden, lässt man die fortschreitenden Wellen an einer ebenen Wand reflektieren; die stehenden Wellen treten in diesem Falle auch dann auf, wenn die reflektierende Fläche nicht genau senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der fortschreitenden Wellen steht. Die Wellenflächen der stehenden Wellen sind natürlich immer Ebenen parallel zur reflektierenden Ebene, aber bei schräger Inzidenz (Einfallswinkel = Θ , Wellenlänge der fortschreitenden Wellen = λ) wird ihre Intensität geringer und ihre Wellenlänge = $\lambda/\cos \Theta$. Als reflektierende Ebene wurde einfach die dem Piezoquarz gegenüberliegende Seitenwand des Leybold-Troges benutzt, die deshalb möglichst genau parallel zu der die Schallwellen ausstrahlenden Oberfläche des Piezoquarzes gestellt wurde. Da hier keine Wellenlängenmessungen ausgeführt werden sollten, war es hinreichend, diese Justierung von Hand auszuführen und die Richtungen mit dem Auge abzuschätzen. Wegen der immer merkbaren Absorption der Schallwellen und wohl auch wegen der Konvektionsströmung durch ungleichmässige Erwärmung der Flüssigkeit beim Durchgang dieser Wellen ist die Intensität der stehenden Wellen in der Nähe der reflektierenden Wand am grössten; es wurde daher immer ein möglichst nahe an dieser Wand gelegenes Gebiet auf die photographische Platte abgebildet.

§ 3. Interferenzversuche mit zwei Beugungsspektren.

In § 1 wurde dargelegt, dass die beiden Beugungsspektren jeder n^{ten} Ordnung bei ihrer Überlagerung Interferenzen ergeben, die man als Abbildung des Ultraschallwellengitters ansehen kann. Bezeichnet d_n die Gitterkonstante dieses abgebildeten Gitters, so muss $nd_n = \text{const.}$ sein (und zwar = $\kappa \lambda/2$, wo κ die für alle Abbildungen gleiche Linearvergrösserung bedeutet). Die Versuche ergeben nun genau das theoretisch zu erwartende Resultat. In den Figuren 1 a—c sind die durch die beiden Beugungsspektren der ersten bzw. zweiten und vierten Ordnung entstehenden Abbildungen in gegenüber den Originalaufnahmen nochmals ca. 4facher

Vergrößerung wiedergegeben. Man sieht, dass sich die Gitterkonstanten dieser Abbildungen tatsächlich wie 4 : 2 : 1 verhalten. Da im Xylol für die Schallfrequenz 7500 kHz $\lambda = 0,18$ cm wird, so ist die wirkliche Grösse des in den Figuren wiedergegebenen Flächenstückes nur ca. $0,0064$ cm². In Fig. 2 ist dann die durch Interferenz der beiden ersten Ordnungen entstehende Abbildung nochmals vergrössert wiedergegeben.

Die durch Interferenz der beiden n^{ten} Ordnungen zustande kommende Abbildung erlaubt natürlich keine Rückschlüsse auf die wirkliche Gestalt der die Beugungsspektren erzeugenden Ultraschallwellen. Nicht einmal der bekannte Satz, dass die durch Ausblendung irgendwelcher Ordnungen entstehende Abbildung eines Objektes identisch ist mit der absolut ähnlichen Abbildung desjenigen Objektes, das diese Spektren als vollständiges Beugungsspektrum enthält, darf hier angewendet werden, weil ja das abzubildende Objekt ein räumlich ausgedehntes ist.

Es wurden nun weiter Versuche angestellt, bei denen der bisher zur Ausblendung der beiden n^{ten} Ordnungen dienende Doppelspalt auf einem mit einer Mikrometerschraube verschiebbaren Schlitten montiert war, so dass also die beiden Spalte bei festem gegenseitigen Abstand senkrecht zur Spaltrichtung in der Ebene der Beugungsspektren bewegt werden konnten. Dann werden also bei beliebiger Verschiebung der Spalte immer gleichzeitig zwei Beugungsspektren ausgeblendet, von denen eines die (positive oder negative) Ordnungszahl m und das andere die Ordnungszahl $m + 2n$ besitzt. Diese Versuche ergaben nun das nach den Überlegungen des § 1 unerwartete Resultat, dass auch bei der Überlagerung derartiger Spektren noch Interferenzen entstehen. Dieselben haben natürlich die gleiche Gitterkonstante wie die Interferenzen beim entsprechenden vorhergehenden Versuch, d.h. für $m = -n$, aber sie sind im allgemeinen nicht so gut sichtbar; letzteres ist freilich schon deswegen nicht zu erwarten, weil bei richtiger Justierung des Strahlenganges zwei symmetrisch zur nullten Ordnung gelegene Spektren immer gleich intensiv auftreten, während dies für beliebige Spektren natürlich im allgemeinen nicht der Fall ist. Der Effekt tritt ferner um so deutlicher auf, je kleiner n ist.

Für die Kenntnis der Kohärenzverhältnisse in den Beugungsspektren ist natürlich die Untersuchung der Bedingungen, unter denen sicher keine Interferenzen erzeugt werden, ebenso wichtig. Diesbezüglich geben die Versuche folgendes Resultat: Keine Interferenzen treten auf, wenn beliebige benachbarte Beugungsspektren n und $n + 1$ überlagert werden. Es ist dies aber nur

der am leichtesten zu beobachtende Spezialfall des allgemeinen Falles, in dem keine Interferenzen zu beobachten sind: nämlich bei der Überlagerung zweier Spektren, deren Ordnungszahlen sich um eine ungerade Zahl unterscheiden.

Alle bisher beschriebenen Versuche wurden mit Beugungsspektren von der nullten bis zur sechsten Ordnung angestellt; man darf wohl annehmen, dass auch die Beugungsspektren der höheren Ordnungen das gleiche Verhalten zeigen und muss dann schliessen:

Bezüglich ihrer Kohärenzverhältnisse zerfallen die sämtlichen Beugungsspektren in die zwei Gruppen der Spektren mit gerader Ordnungszahl (einschliesslich der Null) und der Spektren mit ungerader Ordnungszahl. Alle Paare von Spektren einer Gruppe sind mindestens teilweise mit einander kohärent; jede zwei Spektren verschiedener Gruppen sind vollständig inkohärent.

§ 4. Interferenzversuche bei der Überlagerung von mehr als zwei Beugungsspektren.

Schon bei der Benutzung nur eines Doppelspaltes treten im weissen Licht unter Umständen Beugungserscheinungen auf, die durch das Zusammenwirken von mehr als zwei Beugungsspektren entstehen. Namentlich bei der Ausblendung der höheren Spektren werden nämlich, weil sich dann die einzelnen Spektralfarben von verschiedenen Ordnungen überlappen, durch einen Spalt unter Umständen zwei Farben ausgeblendet, die verschiedenen Ordnungen angehören. Natürlich sind dann die durch diese beiden Farben erzeugten Beugungsbilder inkohärent und es addieren sich einfach die beiden Intensitäten. Ein Beispiel eines auf diese Weise zustande kommenden Interferenzmusters ist in Fig. 3 wiedergegeben. Die Erscheinung kann natürlich durch Einschalten eines Lichtfilters zum Verschwinden gebracht werden; obwohl sie an sich ohne Interesse ist, wurde sie erwähnt, weil sie bei Versuchen nach Art der im vorhergehenden § beschriebenen als störende Fehlerquelle in Betracht kommt.

Was nun die beim Zusammenwirken von mehr als zwei Beugungsspektren gleicher Farbe auftretenden Interferenzerscheinungen betrifft, so sind dieselben zwar recht kompliziert, aber es scheint trotzdem, dass sie auf Grund der schon bisher bekannten, bei der Lichtbeugung an Ultraschallwellen auftretenden Effekte erklärt werden können. Was zunächst die Kohärenz der Beugungsspektren der geraden bzw. ungeraden Ordnungen untereinander anbelangt, so wird sie auch durch die Interferenzerschei-

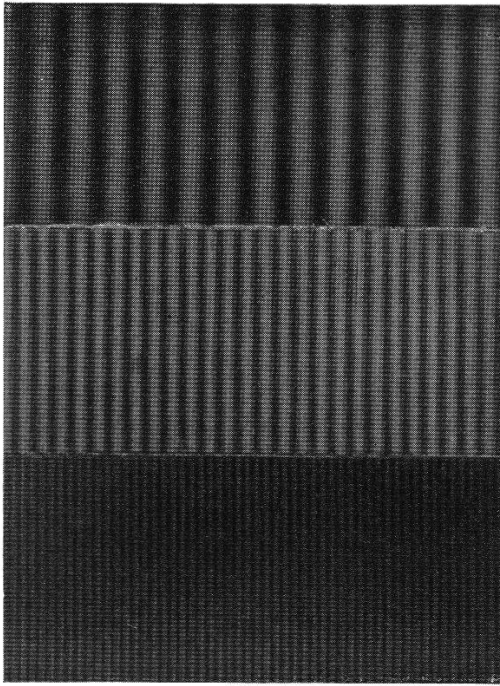


Fig. 1. Interferenzen bei Überlagerung der (a) ersten, (b) zweiten und (c) vierten Ordnungen.

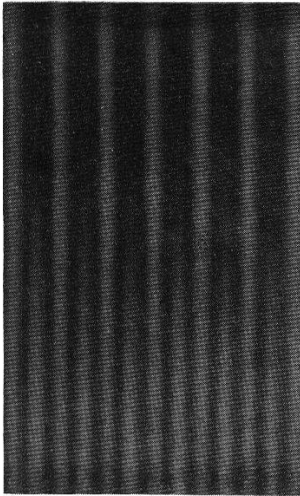


Fig. 5. Abbildung eines Schallgitters, dessen Intensität räumlich nicht konstant ist (Überlagerung aller Beugungsspektren).

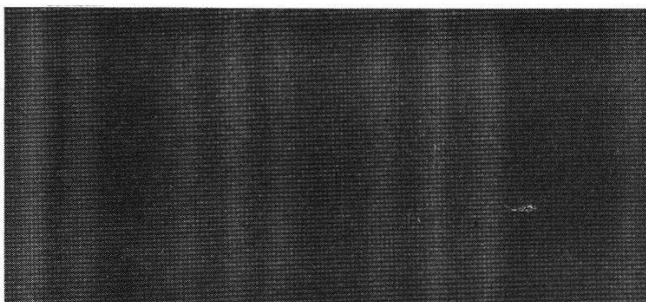


Fig. 6. Abbildung eines Schallgitters mit durch die dritten Ordnungen verursachter „Feinstruktur“.

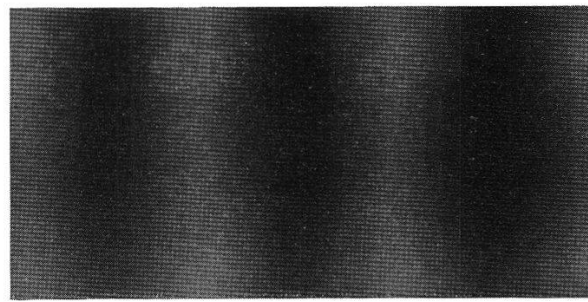


Fig. 2. Interferenzen bei Überlagerung der ersten Ordnungen (im Vergleich zu Fig. 1 a stark vergrößert).

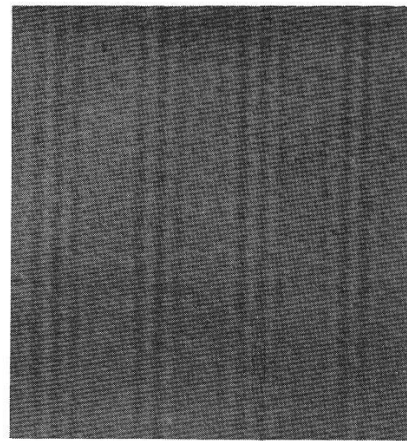


Fig. 3. Zusammengesetztes Interferenzmuster, entstanden durch Überlagerung der Intensitäten von zwei einfachen Interferenzen (wie in Fig. 1) mit verschiedenen Ordnungszahlen.

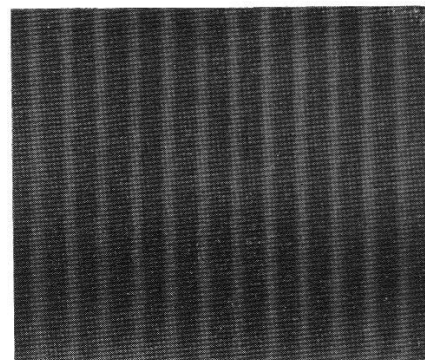


Fig. 4. Interferenzen bei Überlagerung der Ordnungen $+3$, $+1$ und -1 .

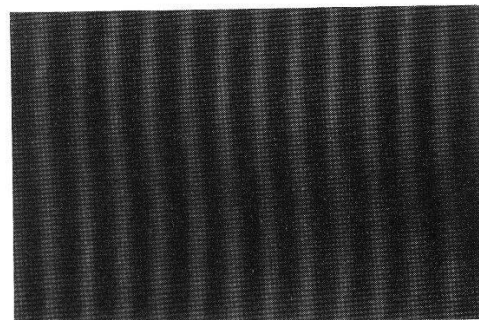


Fig. 7. Schallgitter mit gestörter Ausbildung der ebenen Wellen.

nungen bei der Überlagerung dreier aufeinander folgender gerader oder ungerader Spektren bestätigt. Fig. 4 gibt ein Interferenzmuster wieder, das bei der Überlagerung der Ordnungen $+3$, $+1$ und -1 erhalten wurde und wie es ähnlich z. B. auch bei der Überlagerung der Ordnungen $+2$, 0 und -2 entsteht. Man sieht deutlich, dass die Streifen wesentlich schmaler werden als bei der Überlagerung von nur zwei Spektren. Ausserdem kann, was in der Abbildung allerdings nur schwach zu sehen ist, noch ein zweites Streifensystem in der Mitte zwischen den starken hellen Streifen auftreten. Dasselbe rührt hier von der Interferenz der Ordnungen $+3$ und -1 her und entsteht wenn (nicht ganz symmetrische Justierung!) diese beiden Ordnungen stärker sind als die Ordnung $+1$.

Die beim Zusammenwirken mehrerer oder aller Beugungsspektren zustande kommenden Erscheinungen werden dadurch kompliziert, dass die einzelnen Spektren der niederen Ordnungen im allgemeinen mit sehr verschiedener Intensität auftreten. Dieser Effekt ist zwar, wie ich¹⁾ früher gezeigt habe, nur unter besonderen Versuchsbedingungen sichtbar. Da in der üblichen Versuchsanordnung diese Bedingungen nicht erfüllt sind, treten dann zwar alle einzelnen Beugungsspektren der niederen Ordnungen ungefähr gleich intensiv auf, aber nicht weil das Licht von allen Teilen des Schallgitters gleich stark in die verschiedenen Ordnungen gebeugt wird, sondern nur, weil im Mittel sich diese Unterschiede wieder ausgleichen. In der Abbildung des Ultraschallgitters werden natürlich diese Unterschiede wieder sichtbar und daher rührt es, dass diese Abbildung nicht überall dasselbe Aussehen hat. Ein Beispiel dieses Effektes ist in der Aufnahme der Fig. 5 wiedergegeben; dieselbe stellt eine Abbildung dar, die durch Überlagerung sämtlicher Beugungsspektren erhalten wurde. Die Stellen der Aufnahme, an denen die Mittelstreifen stark auftreten, rühren her von einer Beugungserscheinung, bei der die ersten Ordnungen schwach und die zweiten stark ausgebildet sind.

Diese Unterschiede in der Intensität der einzelnen Beugungsspektren machen sich übrigens, wie aus den a. a. O. wiedergegebenen Bildern hervorgeht, hauptsächlich in den ersten bis dritten Ordnungen bemerkbar; infolgedessen rühren auch die Unterschiede im Aussehen der Schallabbildungen, die im Fehlen der starken hellen Streifen der ersten Ordnungen oder im Auftreten einer „Feinstruktur“, d. h. einer variablen Anzahl schwacher Linien zwischen diesen hellen Streifen bestehen, hauptsäch-

1) R. BÄR, Helv. Phys. Acta 6, 570, 1933.

lich davon her, dass diese drei Paare von Beugungsspektren sehr verschieden stark ausgebildet sein können. Die zu dieser Aussage notwendige Zuordnung der einzelnen Streifen zu bestimmten Beugungsspektren kann einfach und eindeutig vorgenommen werden, indem man nachsieht, wie sich die zu untersuchende Abbildung beim Wegblenden einzelner Beugungsspektren verändert. Fig. 6 ist die stark vergrösserte Wiedergabe einer derartigen, von den dritten Ordnungen verursachten „Feinstruktur“. Es ist selbstverständlich, dass solche Strukturen in der Abbildung, wenn dieselbe zu Schallwellenlängenmessungen benutzt werden soll, recht störend wirken. Man kann sie aber durch Veränderung der Schallintensität oder durch Wegblenden der betreffenden Beugungsspektren leicht zum Verschwinden bringen und erhält dann als Abbildung des Schallgitters nur die intensiven, schmalen, hellen Linien mit dem Abstand der Interferenzen der ersten Ordnungen als Gitterkonstante. Eine solche Abbildung wurde schon von ASBACH, BACHEM und HIEDEMANN¹⁾ publiziert, so dass hier von einer Wiedergabe abgesehen werden kann.

Wie a. a. O. ferner gezeigt wurde, ist die Intensität, mit der die einzelnen Beugungsspektren auftreten, auch noch von der benutzten Lichtwellenlänge abhängig. Infolgedessen wird bei Verwendung von weissem Licht die Abbildung des Schallwellengitters gefärbt, d. h. es wird die entstehende Abbildung für die verschiedenen Lichtwellenlängen eine verschiedene. Dieser Effekt ist subjektiv ohne weiteres zu sehen; aber es gelingt nicht leicht, ihn unter Verwendung von Farbfiltern photographisch festzuhalten. Das entstehende Beugungsbild ist nämlich zu stark von der Intensität abhängig; infolgedessen geben zwei nacheinander aufgenommene Bilder nur dann den Effekt einwandfrei wieder, wenn diese Intensität beide Male exakt gleich war.

Es sei hier noch auf einen Umstand hingewiesen, der oftmals die befriedigende Abbildung des Schallwellengitters erschwert, nämlich auf die schlechte Halterung des Piezoquarzes; diese hat zur Folge, dass die einzelnen Teile der Quarzoberfläche die Schallenergie sehr verschieden stark abstrahlen. (Einen Überblick, wie der Quarz strahlt, kann man übrigens leicht gewinnen, wenn man von dem Schallfeld in der Nähe der Quarzoberfläche eine Schlierenaufnahme macht, d. h. eine Aufnahme, bei der zur Vermeidung des Auftretens von Interferenzen nur ein einzelnes ausgeblendetes Beugungsspektrum wirksam ist.) Wenn solche Inhomogenitäten in

¹⁾ H. ASBACH, CH. BACHEM und E. HIEDEMANN, Zeitschr. f. Phys. **88**, 395, 1934.

der Energieausstrahlung vorhanden sind, wird die ungestörte Ausbildung der stehenden Wellen verhindert und es entstehen in der Abbildung an Stelle der bisher hier wiedergegebenen regelmässigen geraden Interferenzsysteme irgendwelche gekrümmte Streifen von der Form der in Fig. 7 wiedergegebenen.

Zum Schlusse sei noch auf eine manchmal sichtbare Eigenschaft der Abbildungen hingewiesen, die nicht genügend aufgeklärt erscheint. Es zeigt sich nämlich, dass die bei der Überlagerung mehrerer Spektren entstehenden schwächern Streifensysteme nicht immer vollständig symmetrisch zu den starken Interferenzen der beiden ersten Ordnungen liegen. Diese Asymmetrie muss wahrscheinlich in irgendwelchen Mängeln der Justierung der Schallwellen oder der Halterung des Quarzes ihren Grund haben; denn sie verschwindet umso mehr, je sorgfältiger die Versuchsanordnung in dieser Hinsicht aufgebaut ist. Von der Wiedergabe dieses Effektes auf Bildern sei abgesehen.

§ 5. Diskussion der Versuchsergebnisse.

Es muss nun die Frage besprochen werden, wie sich theoretisch die experimentell gefundene Tatsache erklären lässt, dass die Gesamtheit der Beugungsspektren in die beiden Gruppen der geraden und der ungeraden Ordnungen zerfällt, derart dass innerhalb einer Gruppe alle Spektren eine mehr oder weniger grosse Kohärenz besitzen, während zwei Spektren aus verschiedenen Gruppen immer vollständig inkohärent zu einander sind. Die Beantwortung dieser Frage hängt wahrscheinlich eng zusammen mit der andern, wie überhaupt die höheren Ordnungen bei der Lichtbeugung an Schallwellen zustande kommen. Die Theorie von BRILLOUIN¹⁾ macht dafür die Mehrfachbeugung verantwortlich und es ist interessant, dass dieser Effekt gerade auch die hier beobachteten Kohärenzverhältnisse erklärt. Da nämlich bei stehenden Schallwellen das in die ersten Ordnungen gebeugte Licht sicher die beiden Frequenzen $\nu_0 + \Omega$ und $\nu_0 - \Omega$ besitzt, so muss das aus den ersten in die zweiten Ordnungen gebeugte Licht die drei Frequenzen $\nu_0 + 2\Omega$, ν_0 und $\nu_0 - 2\Omega$ enthalten. Allgemein sind dann im Licht der beiden n^{ten} Ordnungen die Frequenzen

$$\nu_0 + n\Omega, \nu_0 + (n-2)\Omega, \dots, \nu_0 - (n-2)\Omega, \nu_0 - n\Omega$$

vorhanden. Da aber das Licht bei der Mehrfachbeugung nicht nur in die höheren Ordnungen abwandert, sondern natürlich auch

¹⁾ L. BRILLOUIN, La Diffraction de la Lumière par des Ultrasons (Actualités scientifiques et industrielles No. 59). Herrmann & Cie, Paris 1933.

in die niedrigen Ordnungen zurückgebeugt wird, so bilden sich die beiden Gruppen aus: Alle Spektren der geraden Ordnungen (einschliesslich der nullten) enthalten nur Licht der Frequenzen $\nu_0 \pm k \Omega$, wo k die Werte der sämtlichen geraden Zahlen im Intervall zwischen 0 (einschliesslich) und n annimmt, und alle Spektren der ungeraden Ordnungen enthalten nur Licht der Frequenzen $\nu_0 \pm l \Omega$, wo l die Reihe der ungeraden Zahlen in diesem Intervall durchläuft.

Natürlich sagen unsere nur qualitativen Versuche nichts aus über das Mengenverhältnis, in dem die verschiedenen Frequenzen in den einzelnen Beugungsspektren vorhanden sind; dagegen hat kürzlich ALI¹⁾ Versuche angestellt, aus denen man solche Schlüsse ziehen können. Bezüglich der Resultate sei auf die in Kürze erscheinende ausführliche Arbeit verwiesen.

Die Zusammenfassung steht unter dem Titel der Arbeit.

Physikalisches Institut der Universität Zürich.

¹⁾ L. ALI, Helv. Phys. Acta **8**, 502, 1935 (Vorläufige Mitteilung).
