

Kann man Ultraschall sehen?

Autor(en): **Fellner-Feldegg, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik**

Band (Jahr): **6 (1951)**

Heft 12

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-654492>

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.

Kann man **Ultraschall** sehen?

Von Prof. Dr. H. Fellner-Feldegg

DK 534.152-8:534.522

Ultraschall — erst wenige Jahrzehnte genauer bekannt — nimmt heute in der gesamten wissenschaftlichen und industriellen Forschung einen wichtigen Platz ein. Dementsprechend vielfältig sind auch seine Anwendungen. So ist es in vielen Fällen erwünscht, Ultraschall direkt sichtbar zu machen, und heute kennen wir eine Reihe von Methoden, die dies ermöglichen. Dadurch werden oft Eigenschaften des Ultraschalles von einer Anschaulichkeit, die verblüfft, und man sieht Bilder, deren Anblick vom ästhetischen Standpunkt aus erfreulich und interessant ist (Abb. 1).

Wie kommen nun solche Bilder zustande? Ultraschall, der sich im wesentlichen vom normalen Hörschall nur durch die höhere Frequenz, die wir eben nicht mehr hören können, unterscheidet, ist eine Longitudinalschwingung. Das heißt, es werden am Ort der Schallquelle

Verdichtungen und Verdünnungen des umgebenden Mediums hervorgerufen, die sich dann mit Schallgeschwindigkeit ausbreiten. Diese Druckänderungen müssen sichtbar gemacht werden.

Es war schon lange bekannt, daß Flüssigkeiten und Gase beim Komprimieren ihr Brechvermögen für Licht ändern. Entstehen in einer Flüssigkeit Stellen, deren Brechungsindex gegenüber der Umgebung verschieden ist, so wird Licht, das durch die Flüssigkeit hindurchgeschickt wird, an diesen Stellen ein wenig aus seiner Richtung abgelenkt. Darauf beruhen die meisten Methoden zur Sichtbarmachung des Ultraschalles. Es kommt nur darauf an, die nicht gebrochenen Lichtstrahlen abzufangen und die abgelenkten auf einem Schirm abzubilden, oder umgekehrt.

Töppler arbeitete eine Methode aus, um Wärmeschlieren, die nichts anderes sind als Stellen verschiedenen Brechvermögens, sichtbar zu machen. Eine Apparatur dieser Art ist in Abb. 2 dargestellt. Das Wesentliche an der Anlage ist das Sammeln des parallelen Lichtes, das durch die Flüssigkeit in der Küvette *k* hindurchgeht, mittels der Linse *d* genau in einem Punkt, in dem sich ein kleines Scheibchen *e* befindet. Wenn die Flüssigkeit vollkommen homogen ist, so wird das gesamte Licht, das von der Bogenlampe durch die Kondensorlinse (*a*) und die Lochblende (*b*) hindurchtritt und von der Linse *c* parallelgerichtet wird, von dem Scheibchen abgehalten und gelangt nicht auf den Schirm (*s*). Das Scheibchen hat bloß einen Millimeter Durchmesser. Wird aber das Licht durch die Wärmeschlieren an einzelnen Stellen ein wenig aus seiner Richtung abgelenkt, so trifft es nicht mehr auf das Scheibchen, sondern geht daran vorbei und wird von der Linse *f* am Schirm abgebildet. Dadurch erhält man ein naturgetreues Bild der Stellen in der Flüssigkeit, an denen der Brechungsindex ein anderer ist wie in der Umgebung, eben ein Bild der Schlieren. Diese Methode hat bereits vor mehr als 15 Jahren Frau Prof. Dr. F. Seidl am I. Physikalischen Institut in Wien zum Sichtbarmachen von Ultraschallfeldern angewandt.

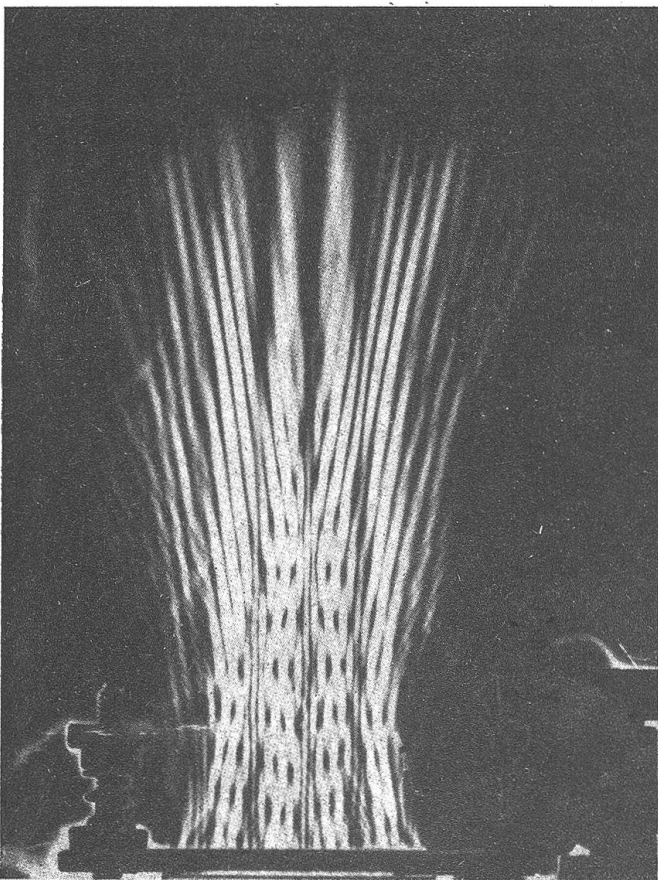


Abb. 1

So sieht man nun z. B. in Abb. 3 (links) das von einem Quarz, dem gebräuchlichsten Ultraschallerzeuger, abgestrahlte Ultraschallfeld. Normalerweise strahlt die Quarzplatte nach zwei Seiten, jedoch verwendet man meist nur die eine Seite der Abstrahlung und unterdrückt die nach der zweiten Seite möglichst weitgehend (Abb. 3, rechts). Der Quarz strahlt bei niederen Frequenzen keineswegs streng nach einer Richtung, sondern das Schallfeld hat Seitenäste, die in der Nähe des Quarzes mit senkrecht zur Quarzoberfläche abgestrahlten Schallwellen Interferenzen bilden, welche die regelmäßigen Muster im Schallfeld erzeugen (Abb. 1). Erst bei sehr hohen Frequenzen, die in Bereiche der Rundfunkkurzwellen liegen, wird die Abstrahlung des Quarzes scharf gebündelt. Diese Frequenzen verwendet man unter anderem für die Materialprüfung mittels Ultraschalles. Sie beruht darauf, daß der Ultraschall durch das in diesem Falle durchlichtige Werkstück fast ungeschwächt hindurchgeht. Ist jedoch in dem Stück ein Hohlraum, so kann der Schall an dieser Stelle nicht hindurchtreten, da er von Luft sehr stark absorbiert wird. In bestimmten Fällen ergänzt und ersetzt diese Art der Materialprüfung Röntgenstrahlen.

In jedem Theater oder Konzertsaal gibt es Plätze mit besonders guter oder schlechter Akustik. Dies kommt dadurch zustande, daß die Schallwellen an den Wänden mehrfach reflektiert werden und sich durch Interferenzen an bestimmten Stellen verstärken, an anderen

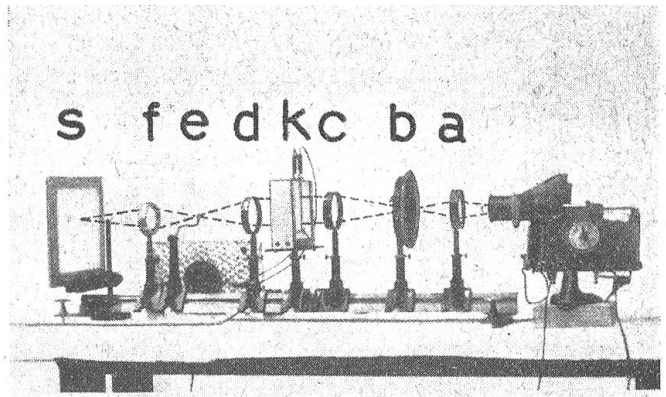


Abb. 2

abschwächen. Diese Stellen weitgehend zu vermeiden, ist die Kunst des Raumakustikers. Bis vor wenigen Jahren war man hierbei auf allgemeine Erfahrungen angewiesen, und ein Raum mit wirklich guter Akustik war meist ein Glücksfall. Hier hat wieder der Ultraschall, nicht zuletzt durch die Möglichkeit, ihn bequem sichtbar zu machen, entscheidenden Wandel geschaffen. Heute wird die günstigste Form und Auskleidung großer Säle errechnet und an einem kleinem Modell mit Ultraschall überprüft. Einige Modellversuche hiezu zeigen die Abbildungen 4 und 5. Abb. 5 zeigt die Reflexion an einem metallischen konkaven Reflektor. Ultraschall verhält sich also hier genau so wie Licht. Ähnlich ist es beim Durchtritt durch Körper, die Linsenwirkung besitzen (Abb. 5). Gegenüber dem Licht zeigt sich jedoch ein wesentlicher Unterschied. Eine

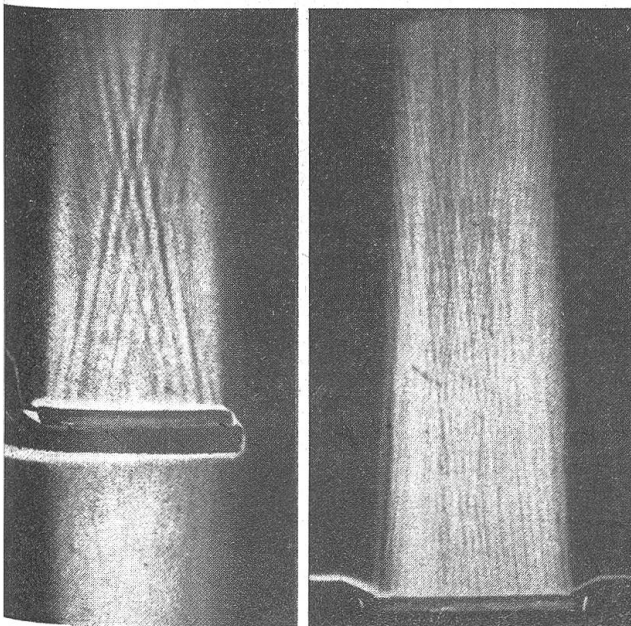


Abb. 3

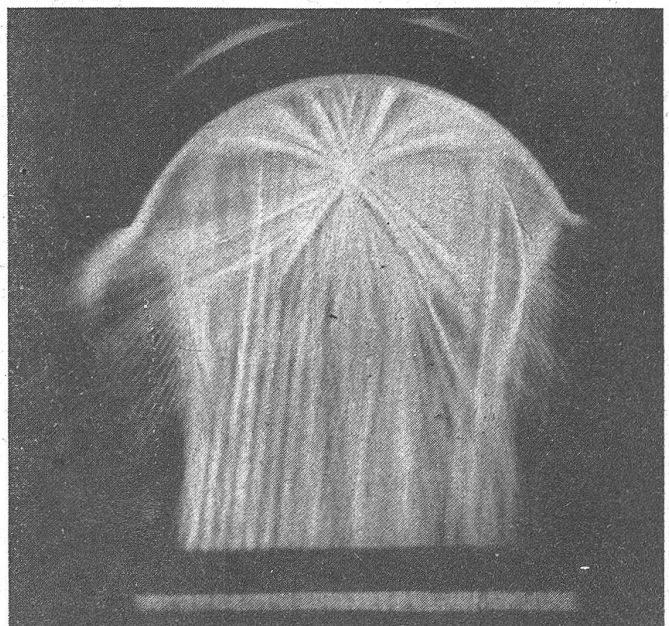


Abb. 4

Plankonkavlinse, wie wir sie hier vor uns haben, müßte das Licht zerstreuen. Hier wird der Schall aber ganz scharf gebündelt! Man muß folgendes bedenken: Bei optischen Einrichtungen stellen die Glaslinsen das optisch dichtere Medium dar, d. h. das Licht pflanzt sich in ihnen langsamer fort als in der umgebenden Luft. Hier jedoch haben wir es mit einer Plexiglaslinse in Tetrachlorkohlenstoff zu tun. Nun beträgt die Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten zirka 1500 m/sec, in festen Körpern aber zirka 5000 m/sec! Es ist also für den Schall die Flüssigkeit das „dichtere“ Medium und die Linse das „dünnere“. Die Verhältnisse sind umgekehrt wie beim Licht, und daher ist auch die Wirkung umgekehrt.

Auf diese Weise kann man die Energie des Ultraschalles auf einen Punkt konzentrieren. Dies hat besonders bei der therapeutischen Anwendung große Bedeutung. Denn ebenso wie die Plexiglaslinse, wirkt ein im Gewebe eingebetteter, ähnlich geformter Knochen. Dadurch kann es bei unvorsichtiger Beschallung geschehen, daß eine eng begrenzte Gewebepartie sehr stark, eine andere gar nicht beschallt wird. Nun wirkt aber Ultraschall zu hoher Energie äußerst schädlich, und daher ist bei der therapeutischen Anwendung große Vorsicht

geboten. Auch wissen wir bis heute noch viel zu wenig über die physiologischen Wirkungen des Ultraschalles. Er wirkt zwar schmerzlindernd und es werden bei manchen Krankheiten gute Heilerfolge erzielt, er darf aber keineswegs kritiklos angewendet werden, da leicht schwerwiegende Schädigungen eintreten können.

Nun wieder zum Sichtbarmachen des Ultraschalles! Die bisher erwähnte, sogenannte „Töplersche Schlierenmethode“ ist jedoch nur eine Art, Ultraschall sichtbar zu machen, wenn auch die am häufigsten angewandte. Vor kurzem wurde im „Prisma“¹⁾ auf eine weitere Methode hingewiesen, die in manchen Fällen zum Sichtbarmachen von Ultraschallwellen herangezogen werden kann. Wir sagten schon, daß Ultraschall nichts anderes sei als Verdichtungen und Verdünnungen in dem schallleitenden Medium. Sättigt man z. B. Luft mit Wasser- oder Alkoholdampf und vermindert plötzlich den Druck, so kühlt sich das Gas ab und kann daher nicht mehr soviel Dampf aufnehmen; es bildet sich ein Nebel aus (Prinzip der Wilsonkammer). Ultraschall bewirkt in solchen Gasen naturgemäß dasselbe. In dem Moment der Verdünnung entsteht an

¹⁾ Siehe „Prisma“, Heft 2/VI (Juni 1951), Seite 70.

Unten: Beim Hindurchtreten von Ultraschall durch Körper mit Linseneffekt wird der Schall ganz scharf gebündelt

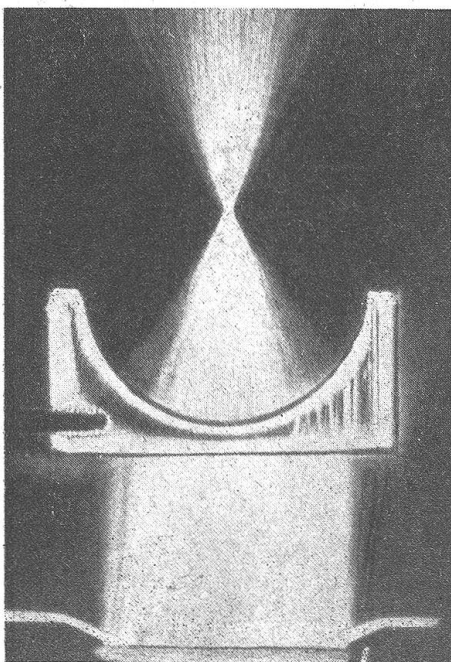


Abb. 5

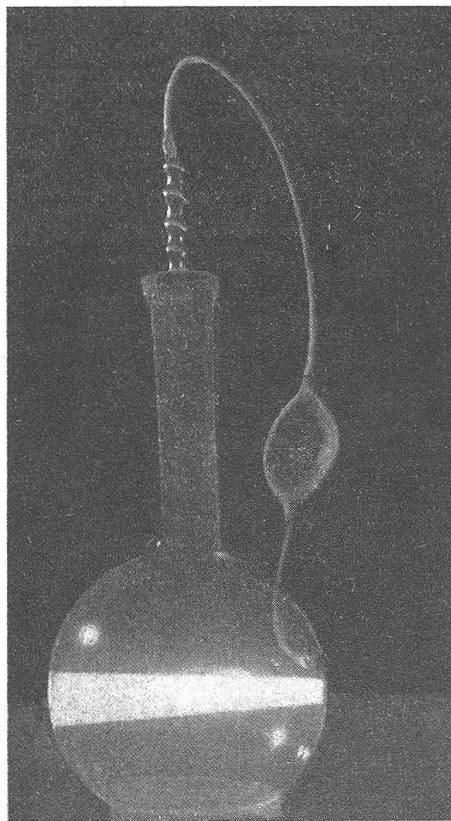


Abb. 6

Unten: Zwischen einem schwingenden Quarzstab und einem Reflektor kann man Ultraschallschwingungen sichtbar machen

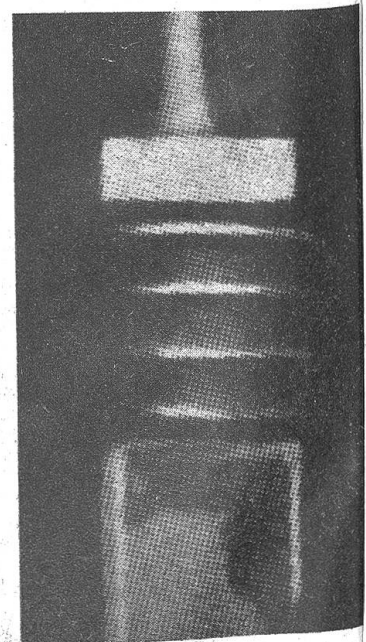


Abb. 7

den Stellen großer Schallenergie ein Nebel, im nächsten Moment tritt dann wieder Verdichtung ein und der Nebel verschwindet. Nun kann man natürlich bei Ultraschall diese Aufeinanderfolge im allgemeinen nicht unterscheiden, da sich der Vorgang, entsprechend der Frequenz der Schallwellen, mehrere Millionen Male in einer Sekunde wiederholen kann. Es ist aber gar nicht schwer, die Erscheinung der Nebelbildung im Versuch zu zeigen (Abb. 6). Wird der Gummiballon losgelassen (Verdünnung), so entsteht der Nebel, wird er zusammengedrückt (Verdichtung), so verschwindet der Nebel, der durch das seitlich eingestrahlte Licht sichtbar gemacht wurde, sofort wieder. Auf diese Weise kann man z. B. Ultraschallschwingungen zwischen einem Quarzstab und einem Reflektor (stehende Wellen) gut sichtbar machen (Abb. 7). Sogar die Aufeinanderfolge der Bildung und Entstehung des Nebels infolge des Ultraschalles konnte mittels stroboskopischer Methoden (sehr rasch aufeinanderfolgende, kurze Lichtblitze, die zur Beleuchtung des Bildes verwendet und in diesem Falle von einer Kerrzelle gesteuert werden) nachgewiesen werden.

Wohl der älteste und bekannteste Nachweis von Schallwellen sind die „Kundtschen Staubfiguren“. In einem Glasrohr, in dem sich ein wenig Kork- oder Lycopodiumpulver befindet, werden stehende Wellen erzeugt. An den Schwingungsbäuchen wird das Pulver durch die umgebende Luft in heftige Bewegung gebracht und an die Stellen der Schwingungsknoten geworfen. Es entstehen regelmäßige Streifen, die im Abstand einer halben Wellenlänge aufeinanderfolgen. Verwendet man eine Galtonpfeife (eine geschlossene Pfeife veränderlicher Länge, mit welcher man Töne vom Hörgebiet bis zum Ultraschall erzeugen kann) als Schallquelle, so kann man zuerst mit hörbarem Schall die Kundtschen Staubfiguren erzeugen und dann mit genau der gleichen Anordnung, nur durch Verkürzung der Pfeife, mit nicht mehr hörbaren Frequenzen die gleichen Staubfiguren, natürlich mit kleinerem Abstand der Schwingungsknoten, erzeugen. So kann man also sehr schön den Übergang von Hörschall zum Ultraschall und die prinzipielle Gleichartigkeit beider zeigen (Abb. 8).

Schließlich wurde in neuerer Zeit eine weitere Methode entwickelt, die es gestattet, Ultraschall durch seine mechanischen Wirkungen sichtbar zu machen. Bringt man in eine Flüssigkeit, die mit Ultraschall durchstrahlt wird, feines Aluminiumpulver und betrachtet die

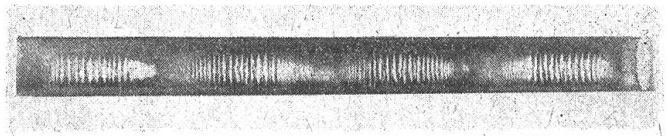


Abb. 8

Flüssigkeit im schräg auffallenden Licht, so reflektiert das Pulver an den Stellen, die vom Ultraschall getroffen werden, besonders stark und man bekommt auf diese Weise ein ziemlich genaues Bild des Ultraschallfeldes. Das Aluminiumpulver besteht nämlich aus feinsten Plättchen, die sich im Schallfeld in einer Richtung orientieren und dadurch das Licht gut reflektieren, während die übrigen Teilchen nach allen Richtungen unregelmäßig verteilt sind und das einfallende Licht zerstreuen. Heute kennt man bereits eine Reihe von Substanzen, die meist als langgestreckte oder scheibenförmige Kriställchen in einer Flüssigkeit suspendiert werden. Diese besonders einfache Methode spielt in der technischen Anwendung des Ultraschalles eine bedeutende Rolle.

Es gibt darüber hinaus noch weitere Methoden, um Ultraschall sichtbar zu machen. Sie geben zwar nicht ein direktes Bild des Ultraschallfeldes, veranschaulichen aber weitere interessante Eigenschaften. Betrachten wir Abb. 9. Die Lampe beleuchtet einen Spalt (b) und dieser wird mit Hilfe der Linse l auf dem Schirm (S) abgebildet. Bringt man nun in den Strahlengang zwischen b und l ein Strichgitter (z. B. eine Glasplatte, auf der viele ganz feine, parallele Striche eingeritzt sind), so beobachtet man auf beiden Seiten des ursprünglichen Spaltbildes weitere Abbildungen des Spaltes, die Beugungen erster, zweiter, dritter usw. Ordnung. Verwendet man weißes Licht, so sind diese einzelnen Beugungsbilder in die Spektral-

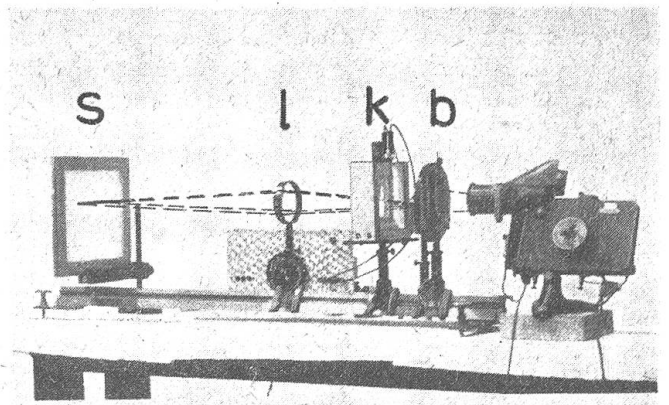


Abb. 9

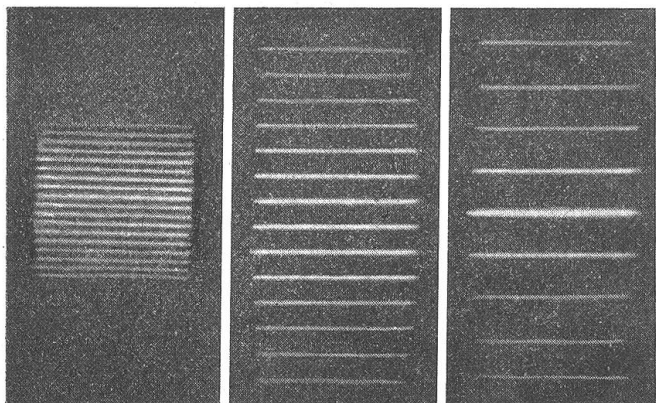


Abb. 10

farben zerlegt, wobei das rote Licht am stärksten, das blaue Licht am wenigsten abgelenkt wird. Genau dasselbe kann man jedoch beobachten, wenn man statt des Gitters in den Strahlengang eine Küvette bringt, in der sich wieder ein zu Schwingungen angeregter Ultraschallquarz in einer Flüssigkeit und ihm gegenüber, parallel zur Quarzoberfläche, ein Reflektor befinden. Schaltet man den Sender, an dem der Quarz angeschlossen ist, abwechselnd ein und aus, so entstehen und verschwinden die Beugungsbilder augenblicklich. Die Flüssigkeit zwischen Quarz und Reflektor muß sich also wie ein Beugungsgitter verhalten! Die Erklärung ist einfach: Da die Schallwellen, die vom Quarz ausgehen, vom Reflektor wieder zurückgeworfen werden, bilden sich stehende Wellen aus. Wählt man die Frequenz der Schwingung entsprechend hoch (5 bis 15 MHz), so beträgt die Wellenlänge nur Bruchteile von Millimetern. Zwischen Quarz und Reflektor bilden sich dann eine große Anzahl von Schwin-

gungsbäuchen und -knoten aus, die in ihrer Gesamtheit wie ein Beugungsgitter wirken (Abb. 10). Je höher die Frequenz des Ultraschalles, je kleiner also die Wellenlänge ist, um so weiter sind die Beugungsmaxima voneinander entfernt. Aus dem Abstand der einzelnen Streifen kann man direkt die Schallwellenlänge bestimmen. Verändert man den Abstand zwischen Quarz und Reflektor, so entstehen nur dann stehende Wellen und somit ein Beugungsbild, wenn der Abstand ein Vielfaches der halben Wellenlänge beträgt. Beim gleichmäßigen Verschieben des Reflektors in einer Richtung entstehen und verschwinden also die Beugungsbilder in gleichmäßigem Rhythmus, das Bild „atmet“. Mit Hilfe dieser Erscheinung kann man eine weitere Schallwellenlängenmessung durchführen. Der Reflektorabstand kann mit einer Mikrometerschraube sehr genau eingestellt werden. Man entfernt den Reflektor langsam vom Quarz und zählt die Beugungsbilder ab. Die Strecke, um die der Reflektor verschoben wurde, dividiert durch die Anzahl der beobachteten Beugungsbilder, ergibt direkt die halbe Schallwellenlänge. Ist die Frequenz des Ultraschalles bekannt — was man leicht durch Messung der Hochfrequenz, die an den Quarz gelegt wird, durchführen kann —, so läßt sich die Schallgeschwindigkeit sofort errechnen.

Der Ultraschall ist also auf einfache Weise höchst anschaulich zu machen, und da er alle physikalischen Eigenschaften des Hörschalles besitzt, ist er auch gleichzeitig ein ausgezeichnetes Mittel zur Vertiefung der Kenntnisse auf dem Gebiete der Akustik, wovon im modernen Unterricht bereits weitgehend Gebrauch gemacht wird.

Radio ohne Verstärkerröhren?

DK 621.314.7

In jüngster Zeit hat die Elektrotechnik sogenannte Transistoren entwickelt, eine neue Art von Verstärkereinrichtungen, welche die üblichen Radio-Vakuümröhren weitgehend ersetzen können und eine Reihe von Vorteilen bieten. So ein Transistor ist nicht größer als ein Mais Korn, dadurch eignet er sich natürlich besonders zum Einbau in Kleinstempfänger. Er ist aber wesentlich robuster als die Verstärkerröhre mit ihrem Glaskolben. Er erfordert ferner nur eine winzige Betriebsspannung, hat keinen Glühfaden, der sich verbraucht und schließlich durchbrennt, und erfordert keine Anwärmezeit, wie sie beim Röhrenempfänger notwendig ist.

Der Transistor besteht aus einem winzigen Germaniumkristall, auf dem entsprechend vorgespannte Kontaktelektroden so aufrufen, daß die Verstärkerwirkung dieses Halbleiters ausgenutzt wird. Er ist in

einer Kunststoffhülse eingebaut und hat nur etwa ein Fünftel des Raumbedarfes von Zwergröhren. Derartige Halbleiter-Verstärkereinrichtungen wurden bereits 1948 von den Bell-Laboratorien in den USA. entwickelt und seither stark verbessert. Sie werden jetzt dort zur Herstellung röhrenloser Empfänger und besonders leistungsfähiger Hörhilfen herangezogen, die sehr lautstark sind und ein Jahr lang ohne Austausch der Batterie arbeiten. Auch an Telephonapparaten sind diese Miniaturverstärker leicht anzubringen, so daß damit selbst Gespräche auf große Entfernungen klar und deutlich zu hören sind. Aussichtsreiche Verwendungsmöglichkeiten dürften sich auch bei den automatischen Rechenmaschinen ergeben, deren Leistungsfähigkeit man durch die Heranziehung der Transistoren beträchtlich zu steigern hofft.