

bau von Lichenin und umgefällter Zellulose (Cellophan) wurde unter Verwendung dieser Präparate näher studiert. Es war möglich, aus den Trockenpräparaten zellfreie Enzymlösungen durch Extraktion mit Boratpuffer zu erhalten. Diese Lösungen waren sowohl gegen Lichenin als Cellophan wirksam. Mit beiden Substraten wurde ein Optimum bei  $p_H$  7.0 gefunden, was mit dem Zuwachsoptimum der Bakterien übereinstimmt, jedoch von den Optimalwerten früher bekannter Zellulase- und Lichenasepräparate aus Pilzen und Evertebraten abweicht. Mg-Ionen wirkten aktivierend bei der Licheninspaltung.

### Über die mechanische Klanganalyse des Ohrs

Die Klanganalyse des Ohrs ist eine der Grundeigenschaften des Gehörs, welche trotz zahlreichen Untersuchungen und Hypothesen vieler Forscher noch nicht einwandfrei klargelegt werden konnte. Fest steht nur, daß die mechanischen Schwingungen des Schalls in der Schnecke bzw. im Cortischen Organ in Nervenenerregung umgesetzt werden und bereits in der Schnecke eine mechanische Klanganalyse stattfindet. Nach den neueren Untersuchungen von v. BÉKÉSY erfolgt die Klanganalyse nicht allein auf mechanischem Weg, sondern ihre subjektive Feinheit erhält sie erst durch nervös bzw. zentral bedingte Kontrasterscheinungen.

Die meisten bisherigen theoretischen Erklärungen der mechanischen Klanganalyse stoßen auf eine grundsätzliche Schwierigkeit<sup>1</sup>. Die Physik kennt keine andere Möglichkeit einer mechanischen *phasenunabhängigen* Frequenzanalyse als diejenige durch Resonanz, weshalb sich die alte HENSEN-HELMHOLTZsche Resonanztheorie des Hörens in teilweise modifizierter Form bis heute behaupten konnte. Die Frequenzanalyse durch Resonanz setzt jedoch eine nicht zu starke Dämpfung des schwingenden Systems voraus. Damit geraten die experimentellen Ergebnisse am Schall-Leitungsapparat in Widerspruch, die zeigen, daß der Schall-Leitungsapparat aperiodisch gedämpft ist. An der praktisch aperiodischen Bewegung des Schall-Leitungsapparates ist kaum mehr zu zweifeln, da sie sich durch zwei verschiedene Methoden, eine subjektive<sup>2</sup> und eine objektive<sup>3</sup>, nachweisen läßt. Im Gegensatz dazu konnte aber eine Resonanz experimentell nicht gefunden werden.

Mit meinen Ausführungen werde ich darlegen, daß eine mechanische Frequenzanalyse ohne Resonanz möglich ist, wie das bereits REBOUL<sup>4</sup> nachzuweisen versuchte. Diese Art der Frequenzanalyse ergibt sich aus den folgenden mathematischen Formeln, die die mechanischen Eigenschaften der Schnecke in geeigneter Weise ausdrücken. Das Problem hat einen durchwegs hydrodynamischen Charakter, da die Schnecke mit Flüssigkeit gefüllt ist. Um die Rechnung zu vereinfachen, können alle vorkommenden Größen näherungsweise so reduziert werden, daß der Querschnitt des Schneckenkanals zum Rechteck wird und die Basilarmembran sich auf die ganze Querschnittsbreite ausdehnt. Wenn dazu noch der Kanal abgewickelt wird, erhalten wir den auf der Fig. 1 dargestellten Längsschnitt. Da die Kanaltiefe gegenüber der Wellenlänge klein ist, läßt sich die Dynamik der Schnecke unter Vernachlässigung

der Reibung und der Masse der Basilarmembran durch die zwei folgenden Differentialgleichungen beschreiben

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} &= 2 \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \\ \frac{\partial u}{\partial x} \cdot h &= \frac{\partial p}{\partial t} \cdot c. \end{aligned} \tag{1}$$

Dabei bedeuten:  $p$  die Druckdifferenz an den beiden Seiten der Basilarmembran,  $u$  die Bewegungsgeschwindigkeit in der  $x$ -Richtung,  $\rho$  die Flüssigkeitsdichte und

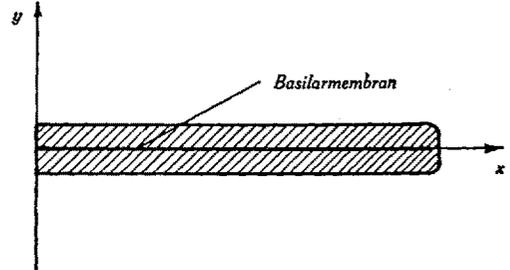


Fig. 1. Schematisierter Längsschnitt durch die vereinfachte Schnecke.

$h$  die Kanaltiefe.  $c$  ist ein Maß für die Nachgiebigkeit der Basilarmembran und läßt sich nach den Messungen von G. v. BÉKÉSY<sup>1</sup> durch die Funktion

$$c = c_0 \cdot e^{\beta x}$$

darstellen.

Durch die Kombination der beiden Gleichungen (1) und die Einführung einer einfachen harmonischen Funktion mit der Kreisfrequenz  $\omega$  ergibt sich

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \omega^2 \frac{2 \cdot \rho \cdot c_0}{h} \cdot e^{\beta x} \cdot p = 0. \tag{2}$$

Die Lösung hiervon lautet

$$p = a Z_0 \left( \frac{2}{\beta} \sqrt{\frac{2 \rho \cdot c_0}{h}} \cdot \omega \cdot e^{\frac{\beta}{2} x} \right) \cdot e^{i \omega t}. \tag{3}$$

$Z_0$  bedeutet dabei die Zylinderfunktion nullter Ordnung. Die örtliche Ausbuchtung der Basilarmembran wird in diesem Fall durch die Funktion

$$\zeta = a c_0 \cdot e^{\beta x} \cdot Z_0 \left( \frac{2}{\beta} \sqrt{\frac{2 \rho \cdot c_0}{h}} \cdot \omega \cdot e^{\frac{\beta}{2} x} \right) \cdot e^{i \omega t} \tag{4}$$

wiedergegeben. Ihren grundsätzlichen Verlauf für höhere Frequenzen zeigt Fig. 2. Die näherungsweise Be-

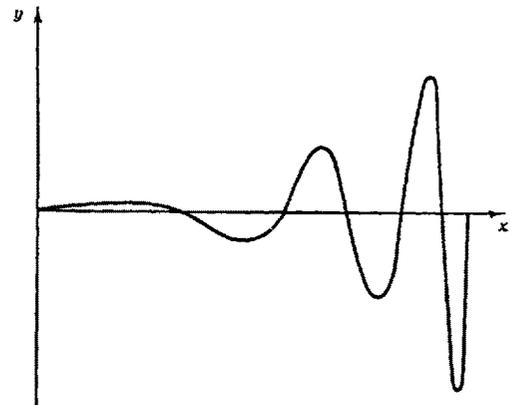


Fig. 2. Wellenbewegung der Basilarmembran ohne Berücksichtigung der Dämpfung.

<sup>1</sup> A. TURMARKIN, J. Laryng. u. Otol. 60, 337 (1945).

<sup>2</sup> W. TÜRK, Acust. Z. 5, 129 (1940).

<sup>3</sup> S. STEVENS and H. DAVIS, Hearing, New York 1938.

<sup>4</sup> J. A. REBOUL, J. Phys., 9. Ser. 7 (1938).

<sup>1</sup> G. von BÉKÉSY: Acta oto-laryng. 32, 60 (1944).

rücksichtigung der Reibungsverhältnisse führt zu der Differentialgleichung

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{h} \left[ \underbrace{2(-\omega^2 \cdot \rho + j\omega R_1) \cdot c_0 \cdot e^{\beta x}}_I + \underbrace{j\omega^3 \cdot \rho \cdot R_2 \cdot c_0^2 \cdot e^{2\beta x}}_{II} \right] \cdot p, \quad (5)$$

wobei  $R_1$  der Flüssigkeitsreibung und  $R_2$  hauptsächlich der Membrandämpfung entspricht. Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß der Faktor II mit der Frequenz und der Entfernung von der Schneckenbasis viel rascher wächst als der Faktor I. I nimmt von der Schneckenbasis bis zu der Spitze wie 1:100 zu, II daher wie 1:10 000. An der Schneckenbasis ist der Summand II kleiner als der Summand I und erst in einer gewissen Entfernung  $x$ , die von der Frequenz abhängig ist, übersteigt er den Faktor I. In erster Näherung darf daher der Faktor II vor der kritischen Stelle  $x$  vernachlässigt werden, für größere Werte von  $x$  dagegen der Faktor I. Im ersten Fall entsteht laut Fig. 2 eine Welle, deren Amplitude mit  $x$  zunimmt. Die Lösung für den zweiten Fall wird durch

$$\zeta = \frac{a}{\omega R_2} \cdot Z_0 \cdot \left( \frac{1}{\beta} \cdot \sqrt{\omega^2 \cdot \rho R_2} \cdot c_0 \cdot e^{\beta x} \cdot e^{-j \frac{\pi}{4}} \right) \quad (6)$$

gegeben und stellt eine sehr stark gedämpfte Welle dar. Die Kombination der beiden Lösungen zeigt, daß die

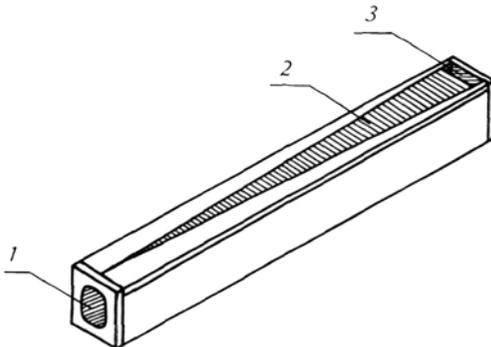


Fig. 3. Schematische Ansicht des Modells der halben Schnecke. 1 Gummimembran, durch welche die Schwingungen zugeführt werden («ovales Fenster»). 2 Dünne Gummimembran («Basilarmembran»). 3 Öffnung («Heliotrema»).

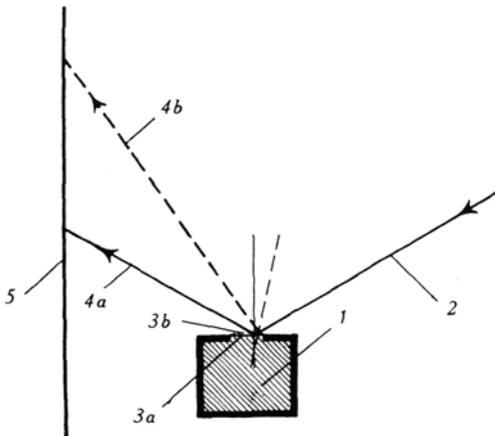


Fig. 4. Einrichtung zum Photographieren der Membranbewegungen. 1 Querschnitt durch den wassergefüllten Kanal des Schneckenmodells. 2 Einfallendes Licht. 3a Membran in Ruhelage. 3b Membran ausgebeuchtet. 4a und 4b Reflektiertes Licht. 5 Photographische Platte.

Basilarmembran ein örtliches Schwingungsmaximum aufweist, das sich mit wachsender Frequenz gegen die Schneckenbasis verschiebt. Dieses Ergebnis deckt sich mit den experimentellen Tatsachen im Tierversuch und den pathologischen Erfahrungen am Menschen. Der

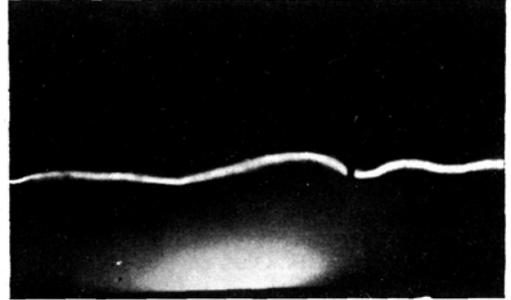


Fig. 5. Fortlaufende Wellen an der Modellmembran.

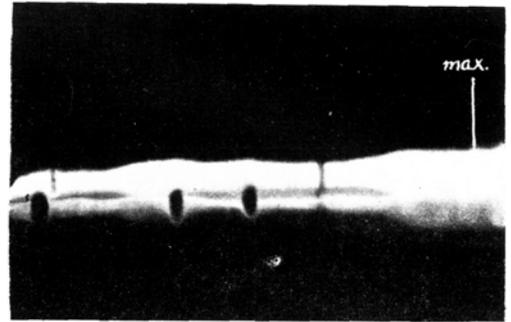


Fig. 6. Amplitudengang der Wellen bei tiefen Frequenzen.

Vorgang vollzieht sich so, daß jede Welle, die die Basilarmembran durchläuft, zuerst an Amplitude gewinnt, um nach Überschreiten einer kritischen Stelle rasch immer kleiner zu werden. Da die Differentialgleichungen linear sind, dürfen die Lösungen für verschiedene Frequenzen addiert werden. Wirken zwei genügend voneinander verschiedene Frequenzen gleichzeitig ein, so müssen sich dementsprechend auf der Basilarmembran zwei Schwingungsmaxima ausbilden, was eine mechanische Frequenzanalyse bedeutet. Damit ist die Möglichkeit der *mechanischen Frequenzanalyse ohne Resonanz* mathematisch nachgewiesen.

Nach dieser Erklärung sind für die mechanische Frequenzanalyse im Ohr *zwei Faktoren maßgebend*, nämlich die *Nachgiebigkeit* und die *Dämpfung der Basilarmembran*.

Den experimentellen Beweis für die Richtigkeit der dargelegten Erwägungen bringen die folgenden Fig. 5 bis 8, welche an dem in Fig. 3 dargestellten Modell der halben Schnecke aufgenommen wurden. Um die Bewegung der «Basilarmembran» photographieren zu können, wurde sie mit einer dünnen Wasserschicht bedeckt, die ein spaltförmiges Strahlenbündel von parallelem Licht reflektiert und damit auf einer hinter dem Modelltisch befestigten photographischen Platte einen Lichtstrich wirft. Fig. 4 gibt die Anordnung schematisch wieder. Aus ihr geht hervor, wie die Schwingungen der Membran die Verschiebungen des Lichtstriches auf der Platte bewirken. Die Photographie der fortlaufenden Wellen erfolgt mit stroboskopisch syn-

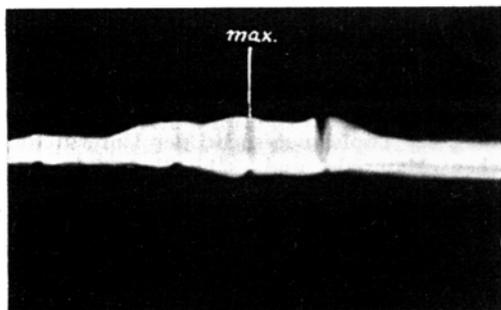


Fig. 7. Amplitudengang der Wellen bei mittleren Frequenzen.

chron unterbrochenem Licht (Fig. 5). Fig. 6–8 zeigen den Amplitudengang der Wellen auf der Membran an der Breite des weißen Bandes, aufgenommen in gewöhnlichem Licht, Fig. 6 bei tiefen, Fig. 7 bei mittleren und Fig. 8 bei hohen Frequenzen. Infolge der Ungleichheiten der Membranspannung ist der Amplitudengang etwas unregelmäßig, immerhin tritt das Schwingungsmaximum deutlich hervor. Es wandert mit zunehmender Frequenz von der «Schneckenspitze» zur «Schneckenbasis». Die Dämpfung war bei dem Modell verhältnismäßig kleiner als bei der wirklichen Schnecke.

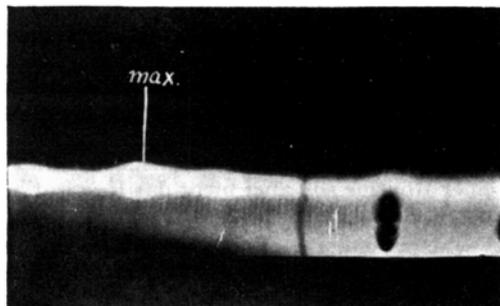


Fig. 8. Amplitudengang der Wellen bei hohen Frequenzen.

Die Möglichkeit der Anschaffung der Apparate verdanken wir einer Stiftung der Schweiz. Akademie der medizinischen Wissenschaften.

J. ZWISLOCKI

Elektroakustisches Laboratorium der Universitätsklinik für Ohren-, Nasen- und Halskrankheiten, Basel, den 23. Juli 1946.

#### Summary

The author shows mathematically and experimentally, that a mechanical frequency-analysis in the cochlea is possible *without resonance* and that the yielding and damping of the basilar membrane are determinative.

## Compte rendu des publications - Bücherbesprechungen Recensioni - Reviews

### Radiocristallographie

Par ANDRÉ GUINIER  
294 pp., 145 fig. et 16 pl.  
(Dunod, Paris 1945) (Fr.fr. 725.—)

Unter «Radiokristallographie» versteht der Verfasser nicht etwa die Lehre der Anwendung piezoelektrischer Kristalle auf radiotechnische Probleme, sondern «Röntgenkristallographie», und zwar speziell die Anwendung der röntgenographischen Feinstrukturmethoden auf Fragen der Chemie und Metallographie. Das Buch behandelt also nicht die Methoden zur vollständigen Kristallstrukturbestimmung, sondern soll dem technisch Interessierten zeigen, was man mittels Röntgenstrahlen alles erreichen kann. Die Überschriften der acht Kapitel werden am besten eine Vorstellung des reichhaltigen Inhaltes dieses für seine Zwecke vortrefflichen Buches geben: Allgemeine Eigenschaften der Röntgenstrahlen, die Quellen der Röntgenstrahlen (hier sei besonders auf die Kombination: offene Röhre mit Molekularpumpe (Fa. Beaudouin), die sicher sehr empfehlenswert ist, und auf die Bedeutung der Form der Kathode hingewiesen), Elemente der Kristallographie und Theorie der Röntgenstrahlinterferenzen an Kristallen, Röntgendiagramme kristalliner Pulver oder mikrokristalliner Festkörper, Röntgendiagramme von Einkristallen, Röntgendiagramme mittels streng monochromatischer Strahlung (durch Verwendung eines gebogenen Einkristalls erhalten, sehr intensive Sekundärstrahlung, Nachweis einer fremden Kristallart in Konzentrationen von etwa 1:1000 möglich),

Studium des Kristallgitters (Gemischanalyse, Präzisionsgitterkonstanten-Bestimmung), Studium der Struktur der Elementarzelle (Mischkristalle, Überstrukturen), Abweichungen vom Idealbau (thermische Bewegung, mechanische Deformationen), Röntgeninterferenzen an amorphen Körpern, Teilchengrößenbestimmung nach der Kleinwinkelmethode. — In einem Anhang befinden sich die Ableitung einiger Formeln im einzelnen und eine Zusammenstellung aller für den praktischen Gebrauch wichtigen Tabellen.

Die Darstellung ist überall sehr klar und flüssig gehalten, und es ist nur zu bedauern, daß das Buch nicht auf besseres Papier gedruckt werden konnte, während die Tafeln mit den wiedergegebenen instruktiven Röntgenaufnahmen von guter Qualität sind.

W. NOWACKI

### Laboratory Manual of Spot Tests

By Dr. FRITZ FEIGL  
Translated from the German manuscript  
by Ralph E. Oesper, Ph. D., vii + 276 pp.  
(Academic Press Inc., New York 1943) (\$3.90)

Die praktische Bedeutung der Tüpfelanalyse dürfte heute allgemein anerkannt sein. Dennoch sind die Handhabung und die theoretischen Grundlagen der Tüpfelanalyse bei weitem nicht jedem Chemiker und Technologen vertraut. Dies ist wohl dadurch bedingt, daß diese Art der Analyse entweder gar nicht oder aber an einer ungeeigneten Stelle in das akademische Lehrprogramm