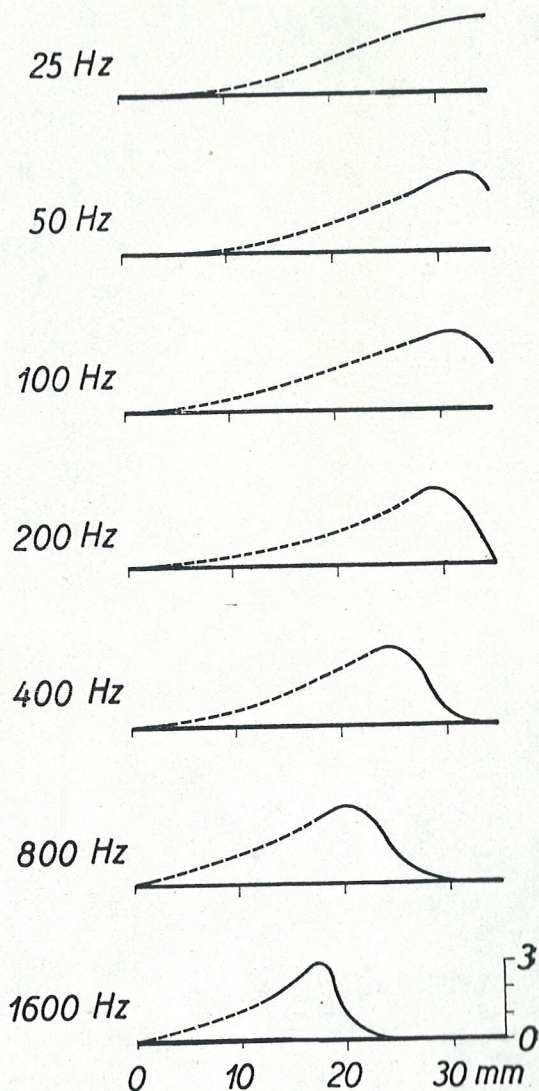


der Schwingungen auf die ist es zweckmäßig den das runde Fenster zu ent-Knochenwulst in der Um-Fensters einen kleinen oben und auf diesen unter-eiten Ring mit einer ein-membran zu schieben. Auf ran klebt man dann einen r mit einem Lautsprecher-ungen versetzt wird.

isch beobachtbaren Schwin-näßig groß sind, so wurde nt, ob bei den gemessenen nichtlineare Verzerrungen essungen zeigten, daß die tude der Schneckentrenn-rissen Stelle beobachtet, mit mplitude des Lautsprecher-men proportional ansteigt eine Verzerrungen auftreten.

i Frequenzen unterhalb etwa Schneckenwindung in der emas mit fast gleicher Am-so ziehen sich die Schwin-Frequenzerhöhung immer de der Schneckentrennwand Bß etwa oberhalb 800 Hz in eckenwindung keine Schwin-ten sind. Die ausgemessenen tuden, ausgedrückt in Vo-en pro Millimeter Länge der einem für die einzelnen Fre-then Maßstab als Ordinaten aufgetragen. Die Abszissen ng des Meßortes vom Steig-fernungen wurden aus dem es Schneckenkanales mit nitgeteilten Schneckenkarte

gungen nur in dem Entfernungsgebiet von 27—35 mm untersuchen. Um näher an den Steigbügel heranzukommen, muß man die entfernten Teile der Schneckentrennwand wegschleifen. Da diese Teile der Schnecken-trennwand, wie die Abb. 1 zeigt, bei den Fre-



zu Dia
 3/14

Abb. 1. Die räumliche Verteilung der Schwingungs-amplitude längs der Schneckentrennwand für sinus-förmige Schwingungen verschiedener Frequenz

Schneckenwindung nur eine hat, so kann man mit der

1953

umgekehrt verhalten, wage ich nicht sicher zu entscheiden. Immerhin ist es beachtlich, daß derartige Feinheiten der subjektiven Empfindung auf physikalische Verhältnisse zurückzuführen sind.

Beim plötzlichen Ein- und Ausschalten eines Sinustones wird, wie S. 49 schon besprochen wurde, die Eigenschwingung des Mittelohres angestoßen. Dieser Anstoß ist um so kräftiger, je höher die erregende Frequenz über der Eigenschwingung liegt, und je weniger der Einschaltvorgang schon durch äußere physikalische Verhältnisse etwa des Tonsenders abgerundet ist. Es besteht die noch nicht ausgeschöpfte Möglichkeit, aus den Angaben von TÜRK über die erforderliche Abrundung des Einschaltstoßes bei verschiedenen Frequenzen Eigenschwingungszahl und Dämpfung des gesamten Gehörorgans zu errechnen. Freilich dürfte dabei die Eigenschwingung des Mittelohres so stark im Vordergrund stehen, daß praktisch kaum mehr zu erwarten ist als eine Bestätigung der schon mit einfacheren Mitteln bestimmten Eigenschwingung der Gehörknöchelchenkette. Natürlich pflanzt sich auch die Eigenschwingung der Gehörknöchelchenkette über die Stapesfußplatte in die Perilymphe fort, wo sie als Welle mit örtlicher, aber nun auch zeitlicher Dämpfung abläuft, in genau der gleichen Weise, wie das S. 97 für Knalte und Geräusche dargestellt wird.

12. Verteilung der Amplitudenmaxima verschiedener Frequenzen auf die Basilarmembran.

Nach der Einortstheorie von GILDEMEISTER (2) erfolgt die Erregung der Nervenfasern des N. cochlearis derart, daß jeder Stelle der Basilarmembran eine Tonhöhe zugeordnet ist. Die physikalische Untersuchung der Perilympfschwingung mit der gesamten Trennmembran als Elastizität hat nun ergeben, daß schon diese physikalische Schwingung für jede Frequenz ihr Amplitudenmaximum an einer von dieser Frequenz eindeutig bestimmten Stelle hat. Ohne zunächst irgend etwas darüber

auszusagen, ob dieses Amplitudenmaximum nun auch der adäquate Reiz für die Sinneszellen ist, ob also die Verteilung der Amplitudenmaxima verschiedener Frequenzen über die Basilarmembran identisch ist mit der Verteilung der Erregung der Nervenfasern, soll hier nur untersucht werden, von welchen Bedingungen diese physikalische Verteilung der Amplitudenmaxima abhängig ist.

Experimentell liegen rein physikalisch nur die Versuche G. v. BÉKÉSYs (21) vor, bei denen der Ort des Amplitudenmaximums für Frequenzen zwischen 25 und 1600 Hz durch unmittelbare Messung am Leichenohr festgestellt wurde (Abb. 70). Nur für diesen Bereich ist also der Ort des Amplitudenmaximums ohne weitere Hilfhypothesen festgelegt. Trägt man als Abszisse in linearem Maßstab die Entfernung vom Steigbügel, als Ordinate in logarithmischem Maßstab die Frequenz an, so ergeben die Messungen G. v. BÉKÉSYs (20) die punktierte

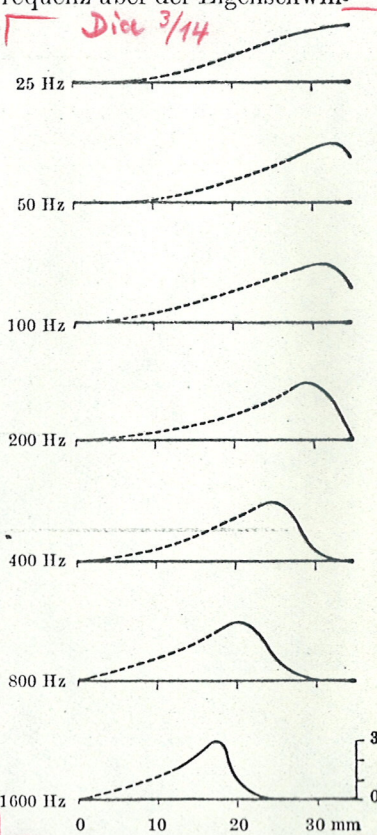


Abb. 70. Örtliche Verteilung der Amplitudenmaxima auf der Basilarmembran an Präparaten der menschlichen Schnecke bei verschiedenen Frequenzen. Abszisse bei verschiedenen Frequenzen. Entfernung vom Steigbügel.
 [Aus G. v. BÉKÉSY (21).] Abb. 1 S. 67

Ak. Zs. 8 (1943) 66-76

lange Einschwingzeiten aufweisen, als daß man mit seiner Hilfe Aussagen über die Tonhöhe ganz kurz bestehender Vorgänge machen könnte.

Die Frage, welche physikalischen Vorgänge im Innenohr eine Tonhöhenunterscheidung ermöglichen, ist ein besonders reizvolles Gebiet der Gehörphysik.

HERMANN V. HELMHOLTZ¹ hatte sich folgendes Bild über den Mechanismus des Innenohres gemacht:

Er nahm an, daß die die beiden Schneckenhälften trennende Basilarmembran eine faserige Struktur aufweist, und zwar sollten die Fasern in der Querrichtung liegen und sehr straff gespannt sein, etwa so wie die Saiten eines Klaviers. Die Basilarmembran ist in der Nähe des ovalen Fensters sehr schmal (etwa 0,04 mm), an der Spitze aber verhältnismäßig breit (0,5 mm). HELMHOLTZ nahm nun an, daß die einzelnen Fasern verschiedene Eigenschwingung besitzen, daß also die kurzen Fasern in Fensternähe hoch abgestimmt seien, und die Abstimmung dann mit wachsender Entfernung vom Fenster fällt, bis schließlich unmittelbar an der Spitze der Schnecke die tiefsten Töne ihre Abstimmung haben. Fällt nun Schall auf das Ohr, so kommen diejenigen Fasern zum Mitschwingen, deren Eigenschwingung mit der Frequenz des auffallenden Schalls übereinstimmt. Nach dieser Theorie ist also jedem Ton bestimmter Frequenz auch ein ganz bestimmter Ort maximalen Mitschwingens zugeordnet („Einortstheorie“). Wir wissen heute, daß der Mechanismus des Innenohres bestimmt nicht so einfach ist, wie HELMHOLTZ ihn auffaßte, die HELMHOLTZsche Resonanzhypothese kann schon im Hinblick auf die kurzen Tonkennzeiten in dieser einfachen Form nicht richtig sein. Sicher ist aber, daß tatsächlich eine Einortszuordnung der Töne besteht, und zwar liegen die hohen Töne, so wie HELMHOLTZ es sich vorstellte, fensternah, die tiefen fensterfern.

Daß die Lage der maximalen Erregung auf der Basilarmembran von der Tonhöhe abhängt, wurde zuerst durch Tierversuche von H. HELD und F. KLEINKNECHT² mit Sicherheit bewiesen; die genannten Forscher bohrten bei Tieren von außen her die Schnecke an und verletzten auf diese Weise eine kleine Stelle der Basilarmembran, das Hörvermögen der Tiere erlosch dann für bestimmte Frequenzbereiche.

¹ HELMHOLTZ, H. v.: Die Lehre der Tonempfindungen. S. 198 (1863). — Die von J. R. EWALD [Pflügers Arch. 76, 177 (1899); 93, 485 (1903); 131, 188 (1910)] aufgestellte „Mehrorsttheorie“ ist sicher nicht richtig; sie ist nur noch von historischem Interesse.

² HELD, H., u. F. KLEINKNECHT: Pflügers Arch. 216, 1 (1927). — Vgl. auch J. C. STEINBERG: J. A. S. A. 8, 176 (1937). — DAVIS, H.: J. A. S. A. 25, 1180 (1953) (Angaben über die Lage der Schädigungsstellen in der Schnecke von Meerschweinchen bei Beaufschlagung mit Tönen verschiedener Frequenz bei sehr großer Intensität).

Über die mechanisch akustischen Vorgänge im Innenohr haben Versuche, welche G. v. BÉKÉSY¹ vornahm, weitreichende Aufschlüsse ergeben. Er führte am anatomischen Präparat dem Innenohr mittels einer elektrodynamisch erregten Steigbügelplatte Schall zu und beobachtete die erzwungenen Schwingungen der Schneckenkammerwand unter einem Mikroskop durch an verschiedenen Stellen der Schnecke angebrachte Öffnungen. Auf diese Weise konnte die Verteilung der Schwingungsamplituden längs der Schneckenkammerwand für verschiedene Töne im Bereich von 25 bis 1600 Hz aufgenommen werden. Abb. 330 und 331 lassen erkennen, daß die Stelle maximaler Amplitude mit wachsender Frequenz immer mehr nach dem ovalen Fenster hin rückt. G. v. BÉKÉSY erregte die Schneckenkammerwand auch durch Funkenknall zu Ausgleichsvorgängen, er fand, daß die Ausgleichsvorgänge sehr stark gedämpft verlaufen, die Dekremente liegen zwischen etwa 1,4 und 1,8. Die aus der kurzen Tonkennzeit folgende starke Dämpfung des Analysierapparates findet hier also ihre volle Bestätigung. Die Analyse kommt nicht etwa so zustande, daß eine

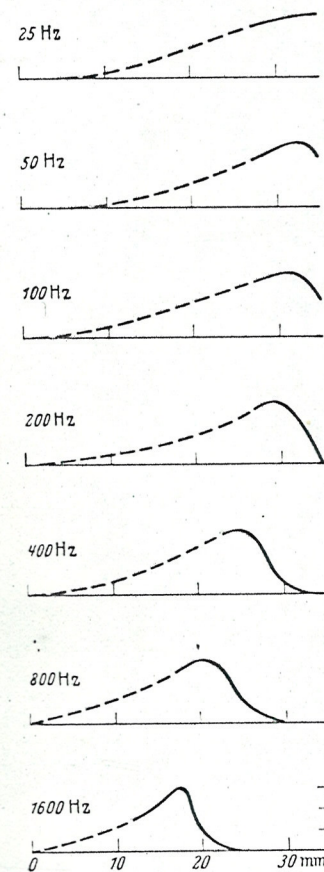


Abb. 330. Die erzwungene Schwingung der Basilarmembran (nach G. v. BÉKÉSY) Abb. 15, 67

AK. Zs. 8 (1943) 66-76

¹ BÉKÉSY, G. v.: A. Z. S. 66 (1943); vgl. auch A. Z. 6, 265 (1941) (Messungen der Elastizität der Schneckenkammerwand); 7, 173 (1942); 9, 3 (1944) (betr. Untersuchung in der Schnecke verschiedener Tiere); J. A. S. A. 19, 452 (1947) (Untersuchung der Phasenverhältnisse längs der Basilarmembran bei künstlicher sinusförmiger Erregung des Steigbügels. Die Ergebnisse stimmen gut mit den Ergebnissen der S. 438 erwähnten Berechnungen von O. F. RANKE überein); J. A. S. A. 20, 227 (1948); ebd. 21, 233, 245 (1949).

The variation of phase along the basilar membrane with sinusoidal vibrations, JASA 19 (1947) 452-460 [Exp. in Hearing, Ak 151]

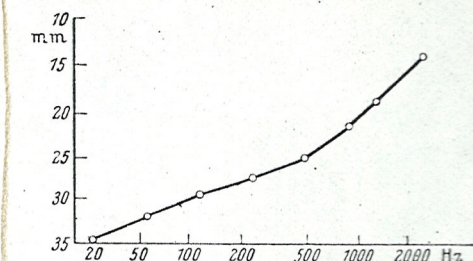


Abb. 331. Lage der Stelle maximalen Mitschwingens der Basilarmembran bei verschiedener Frequenz (Ordinate: Abstand vom ovalen Fenster in mm, nach G. v. BÉKÉSY)