

verläßt den Gehörgang als rückläufige Welle, geht somit für die Erregung des Gehörorgans verloren. Ein weiterer Teil der durch das Trommelfell aufgenommenen Energie wird innerhalb der Gehörknöchelchenkette in Reibung und damit letzten Endes in Wärme überführt, wird also auch nicht zur Anregung der Schwingung der Perilymphe verwendet. Und nur der Rest an Energie nach diesen beiden Verlusten wird ans Innenohr abgegeben. Freilich werden wir sehen, daß auch von diesem Rest noch ein großer Teil innerhalb der Perilymphe der beiden Skalen durch Reibungsverluste in Wärme verwandelt wird. Sämtliche Reibungsverluste innerhalb der Gehörknöchelchenkette, aber auch die Energieabgabe an die Perilymphe erscheinen als Dämpfung der Schwingung der Gehörknöchelchenkette, sowie keine neue Energie mehr mit der Luft ankommt. Aus der Dämpfung der Mittelohreigenschwingung kann weder allein auf den Reibungsverlust, noch auf den tatsächlich transportierten Teil an Energie geschlossen werden. Meßbar ist bis-

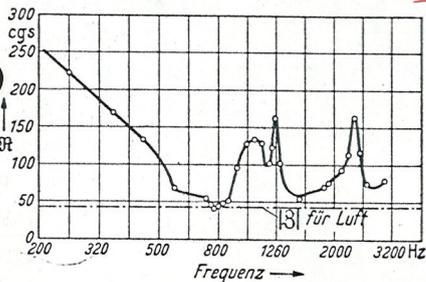


Abb. 39. Schallwellenwiderstand des Trommelfelles abhängig von der Frequenz. Der Schallwellenwiderstand der Luft beträgt $41,5 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{sec}$ (strichpunktierte Horizontale). [Aus TRÖGER.]

her nur die Energieaufnahme am Trommelfell, zahlenmäßig auswertbare Angaben über den Energieverlust innerhalb der Gehörknöchelchenkette fehlen. Würden die Schallwellen direkt aus der Luft auf die Perilymphe übertragen — wobei noch dafür Sorge getragen werden muß, daß eine Druckdifferenz zwischen den beiden Fenstern besteht —, so würde wegen des hohen Schallwellenwiderstandes in der Perilymphe fast die gesamte Luftwelle reflektiert, und nur etwa 3% aufgenommen werden können. Nur dadurch, daß der Schallwellenwiderstand des Trommelfelles dem der Luft weitgehend angeglichen wird, kann die Schallaufnahme verbessert werden. Für den Fall, daß der Schallwellenwiderstand des Trommelfelles gleich dem der Luft ist, nämlich $41,5 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{sec}$, wird die gesamte mit den laufenden Wellen in der Luft antransportierte Energie vollkommen vom Trommelfell geschluckt, es tritt keine Reflexion der Wellen und der in ihnen enthaltenen Schallenergie ein. Aus dieser Überlegung heraus hat TRÖGER schon 1930 den Schallwellenwiderstand des Gehörgangsabschlusses gemessen (Abb. 39). Der Gang des Schallwellenwiderstandes abhängig von der Frequenz zeigt, daß durch die Vorschaltung des Mittelohrapparates vor die Perilymphe eine sehr erhebliche Verbesserung der Energieaufnahme gegenüber einer Grenzfläche Luft gegen Wasser mit einem Schallwellenverhältnis von $41,5/148000 = 1/357$ erreicht wird. Besonders haben die Messungen TRÖGERS ergeben, daß im Frequenzbereich um 800 Hz der Schallwellenwiderstand des Trommelfelles gleich dem der Luft ist. Bei niedrigeren und höheren Frequenzen steigt er an, allerdings mit weiteren Tälern besonders um 1600 Hz. Bei 800 Hz geht somit die gesamte in den Gehörgang gelangende Schallenergie ohne Reflexionsverlust auf das Reiztransportorgan über. Die Methodik solcher Messungen ist von WAETZMANN (3) und KEIBS und WAETZMANN verbessert und ausgebaut worden. In Erweiterung der TRÖGERSchen Ergebnisse wurde dabei besonders gefunden, daß die beiden Ohren einer Versuchsperson im allgemeinen sehr ähnliche Kurven des Schallwellenwiderstandes ergeben, während die Kurven von Person zu Person starke Unterschiede zeigen, die bei nahen Verwandten kleiner sind als bei Nichtverwandten (R. KURTZ). W. MENZEL hat die Messungen TRÖGERS mit einer anderen Versuchseinrichtung und an einer anderen Versuchsperson im wesentlichen bestätigt (Abb. 40), wobei in diesem Fall der ganze Bereich bis etwas über 2400 Hz durch

hohe Schallabsorption ausgezeichnet ist. Die gestrichelte Kurve zeigt zugleich die Schallabsorption bei fehlendem Trommelfell, die nicht nur absolut niedrigere Energieaufnahme, sondern auch ein tiefer liegendes Maximum bei etwa 800 Hz zeigt. Für Fälle mit fehlendem Trommelfell hat POHLMANN einen der Vogelcolumella nachgebildeten Gehörstransformator angegeben, der wieder eine Verbesserung der Energieaufnahme nach Entfernung der Gehörknöchelchenkette bewirken soll.

Aus der Pathologie ist bekannt, daß jede Mittelohrerkrankung zu einer Schwellenerhöhung besonders für den unteren Bereich der Frequenzen im erkrankten Ohr führt und zu einer Verbesserung der Knochenleitung, so daß die auf den Scheitel aufgesetzte Stimmgabel (WEBER) ins kranke Ohr lateralisiert wird. Modellversuche hierzu hat LÜSCHER (1, 2 und 3) mit Trommelfellbelastung durch Gewichte auf den Hammergriff und durch Einfüllen von Wasser oder gewogener

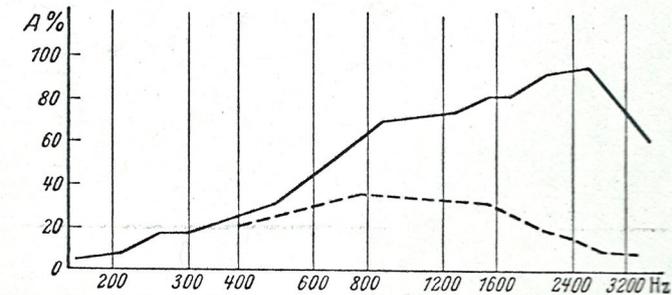


Abb. 40. Schallabsorption des Trommelfelles, ausgezogen normal, gestrichelt bei einem Patienten mit fehlendem Trommelfell. [Aus F. TRENDLENBURG nach MENZEL.]

Quecksilbertropfen durchgeführt. Eine Belastung allein der Pars tensa des Trommelfelles ergab dabei unerwarteterweise auch eine erhebliche Einbuße bei hohen Frequenzen mit Einschränkung der oberen Tongrenze, während im allgemeinen mehr oder weniger typische Mittelohrschwerhörigkeiten dadurch erzielt wurden.

Kleinere Defekte im Trommelfell brauchen die Schallübertragung durchs Mittelohr im unteren Frequenzgebiet keineswegs einzuschränken, wenn damit nicht wegen ihrer Ursache, einer Mittelohreiterung, sonstige Veränderungen der Schwingungsfähigkeit oder der Masse der Gehörknöchelchenkette verbunden sind. Da das Mittelohr dafür sorgt, daß an der Stapesfußplatte ungefähr der 20fache Druck wie am Trommelfell herrscht, ist auch das Eindringen der Luftdruckschwankungen bis zum runden Fenster in solchen Fällen nahezu bedeutungslos. KOBRAK, LINDSAY und PERLMAN (3) haben gezeigt, daß Tonzuführung in die Paukenhöhle sogar zu größeren Perilymphverschiebungen führt als die Zuführung in den Gehörgang, solange die Gehörknöchelchenkette normal ist, weil dann das Trommelfell in umgekehrter Phase schwingt als das runde Fenster, und damit den Stapes nach außen zieht, während das runde Fenster einwärts gedrückt wird.

7. Die Mittelohrmuskeln und ihre Wirkung.

Im Mittelohr befinden sich zwei Muskeln, deren Sehnen an der Gehörknöchelchenkette ansetzen, und die durch Anlagerung in Knochenkanäle sowie durch ihre Kleinheit vor allen anderen Muskeln des Körpers ausgezeichnet sind. Beide Muskeln sind ihrem Aufbau nach gefiedert, haben also relativ zu ihrem Volumen zwar große Kraft, können sich aber nur um geringe Beträge verkürzen. Der Musculus tensor tympani setzt mit seiner Sehne, die um eine Art Rolle den Zug