

5. *Über eine neue Versuchsanordnung zur Prüfung der menschlichen Hörschärfe für reine Töne beliebiger Höhe;*
von Johannes Walther Birnbaum.

Einleitung.

Zur Beantwortung zahlreicher Fragen medizinischer und physiologischer Natur ist es von wesentlicher Bedeutung, eine Methode zu besitzen, die in einwandfreier und physikalisch exakter Weise das menschliche Hörvermögen für reine Töne beliebiger Höhe vergleichend zu messen gestattet.

Die menschliche Hörschärfe wird am einfachsten festgestellt durch Anwendung einer *Reizschwellenmethode*. Man definiert die „Empfindlichkeit“ des Ohres für einen bestimmten Ton als den reziproken Wert des „Schwellenwertes“, d. i. diejenige Schallenergie, die das Ohr gerade noch nachzuweisen imstande ist.

Die *absolute* Bestimmung dieses Schwellenwertes für reine Töne beliebiger Höhe ist eine schwierige Aufgabe, die zu übereinstimmenden Resultaten noch nicht geführt hat.

Da nun aber der Schwellenwert für einen bestimmten Ton für normalhörige Ohren im Durchschnitt als recht konstant bezeichnet werden kann, genügt es für die praktischen Zwecke der Medizin und Physiologie, den Schwellenwert des normalhörigen Ohres mit dem des kranken zu vergleichen und das Verhältnis beider Schwellenwerte als Maß für die Hörschärfe einzuführen.

Die in der ohrenärztlichen Praxis angewandten Stimmgabelmethoden, bei denen der Schwellenwert durch möglichst gleich starkes Anschlagen einer Stimmgabel in verschiedenen Entfernungen vom Ohr festgestellt werden soll, reichen zwar für viele medizinische Zwecke aus, für exakte physiologische Messungen sind sie indessen nicht genügend; denn selbst, wenn das dabei vorausgesetzte Gesetz über die Abnahme der Schall-

intensität umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung im geschlossenen Raum erfüllt wäre, so würde doch die Tonintensität so von der individuellen Art des Anschlagens, vom Bau der Stimmgabel usw. abhängen, daß die Beobachtungen verschiedener Experimentatoren nicht miteinander vergleichbar blieben. Wie aber längst feststeht, gilt das quadratische Gesetz im geschlossenen Raum absolut nicht.

Die exakteste Methode bleibt immer noch die „Hartmann-Bezoldsche“ Stimmgabelmethode in ihrer verbesserten Form von Edelmann und Bezold.¹⁾ Es wird bei ihr aus der beobachteten Abklingungszeit einer angeschlagenen Stimmgabel unter Berücksichtigung des exponentiellen Charakters der Dämpfung auf die Amplitude des Schwellenwertes geschlossen. Indessen leidet die Methode noch an folgenden Mängeln. Einmal ist eine gewisse Übung zur genauen Angabe des Zeitpunktes erforderlich, in dem der Ton der verklingenden Stimmgabel nicht mehr gehört wird. Zweitens muß die Abklingungszeit der Stimmgabel groß sein. Für hohe Stimmgabeltöne, deren Abklingungszeiten für gewöhnlich ja kleiner sind, wird die Methode also ungenau. Drittens macht die Forderung einer stets gleich großen Anfangsamplitude eine besondere Apparatur uötig. Viertens muß für eindeutige Schallzuführung und peinlichste Abdämpfung aller Nebengeräusche gesorgt sein. Ob — besonders bei tiefen Tönen — nur der Grundton der Stimmgabel wahrgenommen wird, ist fraglich.

Prinzipiell besser scheint eine Methode zu sein, bei der auf das Verschwinden eines Tones eingestellt wird, der einmal beliebig oft in gleicher Intensität wiederholt werden kann, dessen Intensität andererseits innerhalb weiter Grenzen in bekanntem Verhältnis verändert werden kann.

Ein auf diesem Prinzip beruhender Apparat zur Hörschärfemessung, der sich in der Praxis einbürgern soll, muß folgende Vorbedingungen erfüllen.

Er soll einfach im Prinzip, in der technischen Ausführung

1) Th. Edelmann u. W. Bezold, Verhandlgn. d. deutsch. ontolog. Gesellsch., Würzburg 1898, p. 24.

und Handhabung sein. Er muß schnelles und dabei doch exaktes Arbeiten zulassen.

Von speziellen Anforderungen sind an ihn zu stellen: Er muß gestatten, reine Töne zu erzeugen, deren Intensität im Verhältnis $1:10^8$ (Schwellenwert = 1) auf physikalisch exakt meßbare Weise verändert werden kann. Die Schallzuführung zum Ohr muß eindeutig sein (nur Luftleitung, keine Knochenleitung).

Der Hauptpunkt, die Möglichkeit der physikalisch exakten Intensitätsabstufung ist bei sämtlichen einfachen Tonquellen — Pfeifen, Sirenen, Stimmgabeln — nicht erfüllt, weil es schwierig, wenn nicht gar unmöglich ist, auf mechanischem Wege die Tonintensität in so großem Intervall genau zu regeln.

Nun besitzen wir aber im *Telephon* eine Tonquelle, deren Intensität aufs genaueste abgestuft werden kann. Beschickt man ein Telephon mit einem Wechselstrom, so zeigt sich, daß innerhalb weiter Grenzen die Plattenamplitude stets der Stromamplitude proportional bleibt. Die Stromamplitude ist aber auf elektrischem Wege in mannigfacher Weise exakt abstufbar.

Es scheint somit das Hörtelephon wie keine andere Tonquelle für Hörschärfemessungen (Bestimmung der „Telephonempfindlichkeit“) geeignet zu sein. Voraussetzung für die Verwendbarkeit ist die *Reinheit* der Telephontöne.

Max Wien¹⁾ hat gezeigt, daß man durch Zwischenschaltung eines Resonators zwischen Platte und Ohr eine weitgehende Reinigung erzielen kann. Telephontöne, deren Reinigung allerdings nur auf elektrischem Wege erfolgte (elektrische Resonanz), wurden schon 1902²⁾ zur relativen und absoluten Hörschärfemessung verwendet. Indessen war die zur Erzeugung der Wechselströme für das Telephon nötige Apparatur für die ohrenärztliche Praxis noch nicht einfach genug.

Nach einem neueren Vorschlag von M. Wien³⁾ eignen sich aber in hervorragendem Maße zur Erzeugung von solchen Telephontönen die gedämpften elektrischen Schwingungen, wie sie bei Kondensatorentladungen entstehen. Die Vorteile dieser Erzeugungsart von Wechselströmen gegenüber anderen Wechsel-

1) M. Wien, *Physik. Zeitschr.* 13. p. 1034. 1912.

2) M. Wien, *Pfügers Archiv* 97. p. 1.

3) M. Wien, *Physik. Zeitschr.* 13. p. 1034. 1912.

stromquellen (Sirenen, Summer, singender Lichtbogen usw.) sind: einfache, handliche Apparatur, leichte Abstimmbarkeit, konstante Frequenz und sinusförmiger Stromverlauf. Allerdings entsteht dabei nur ein kurzer, mehr oder weniger stark gedämpfter Ton. Es überwiegen aber die genannten Vorteile bei weitem diesen Nachteil; vielleicht ist sogar die Intermittenz des Tones für eine genaue Ermittlung des Schwellenwertes günstiger, als ein kontinuierlicher Ton.

Das Prinzip der Anordnung.

Unter Leitung von Herrn Prof. Max Wien und mit dem medizinischen Beirat von Herrn Prof. Brünings, Privatdozenten für Ohrenheilkunde Jena, wurde im hiesigen Institut eine Versuchsanordnung für Hörschärfemessungen zusammengestellt, deren Grundgedanken folgende sind.

Entlädt man einen Kondensator von der Kapazität C über eine Selbstinduktion L , so entstehen gedämpfte elektrische Schwingungen von der Schwingungszahl

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}.$$

Mit diesen gedämpften Wechselströmen wird ein Telephon beschickt; der dabei entstehende, durch Platten- und Luftresonanz gereinigte Telephonton wird durch Luftleitung (Stethoskop) dem Ohre zugeführt und auf elektrischem Wege bis zum Minimum perceptibile des kranken bzw. normalen Ohres geschwächt. Das Verhältnis beider Schwellenwerte gibt, wie sonst, ein Maß für die Hörschärfe.

Der im Telephon entstehende Ton ist zuerst stark gedämpft und mit Obertönen verunreinigt. Zur Herabsetzung der Dämpfung, zur Reinigung von Obertönen, vor allem zur Vermeidung des „Knackens“ der Telephonplatte (s. u.) kommt bei vorliegender Anordnung *mehrmalige Resonanz* zur Anwendung: Auf das elektrische schwingende System ist die Platte des Telephons abgestimmt, der Luftresonator wieder auf den Eigenton der Platte. Die elektrischen und akustischen Systeme sind so lose miteinander gekoppelt, daß durch Auftreten gekoppelter Schwingungen keine Komplikationen entstehen können.

Diese Anordnung entspricht in der Hauptsache den eingangs gestellten Bedingungen.

Der Apparat ist vorläufig für die 3 Töne

$$c \text{ (128)}, \quad c_2 \text{ (512)}, \quad c_4 \text{ (2048)},$$

wie sie dem Stimmumfang der menschlichen Sprache am meisten entsprechen, ausgebaut. Einer Erweiterung der Ton-skala innerhalb der Intervallen und für *tiefer*e Schwingungszahlen stehen keinerlei Schwierigkeiten entgegen, die Anwendung jedoch auf *höhere* Töne ist nicht ohne weiteres möglich (s. u.).

Die Apparatur zerfällt in 2 Teile: ein elektrisches System, das den elektrischen Schwingungskreis und die Vorrichtung zur Änderung der Intensität enthält, und in ein akustisches System, bestehend aus den Telephonen mit den Resonatoren.

§ 1. Das elektrische System.

A. Der Schwingungskreis.

Will man Kondensatorentladungen zur Erregung von Telephontönen verwenden, so hat man zunächst auf kleine Dämpfung des Kreises zu achten. Bei zu starker Dämpfung ist einmal die Energieausbeute nur klein, dann aber werden vor allem im Telephon durch den mehr stoßartigen Charakter der Kondensatorentladungen sämtliche Eigentöne der Platte mit erregt, die sich durch ein „Knacken“ im Ton bemerkbar machen.

Vorversuche mit gewöhnlichen Schwingungskreisen zeigten, daß die dadurch resultierende Verunreinigung des Tones durch Luftresonanz allein nicht zu beheben ist. Es bleibt trotz angewandter Resonatoren stets ein harter Stoß im Telephonklang bei der Entladung bestehen. Für die spezielle Verwendung solcher Telephontöne zu Gehörprüfungszwecken ist ebenfalls zur Erzielung eines möglichst lang anhaltenden Tones schwache Dämpfung erwünscht.

Bei dem elektrischen Schwingungskreis erreicht man diese nun hauptsächlich durch Wahl möglichst verlustfreier Spulen und Kondensatoren. Die Gesichtspunkte, nach denen dabei zu verfahren ist, sind Fragen rein elektrischer Natur. Sie sind in einer weiteren Abhandlung¹⁾ gesondert behandelt.

1) Die Veröffentlichung dieser Arbeit soll später erfolgen.

Unter Beobachtung der dort angegebenen Punkte wurde für den Schwingungskreis als Selbstinduktion eine eisenfreie Spule von quadratischem Wickelungsquerschnitt (Fig. 1) mit folgenden Dimensionen verwendet:

Innerer Spulenradius 9 cm,
Äußerer „ 16 „

Seite des quadratischen Wickelungsquerschnittes 7 cm.

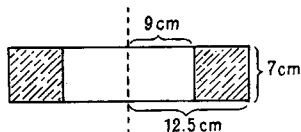


Fig. 1.

Zur Bewickelung kamen 550 m einer Emailliedrahtlitze in Anwendung. Da die Spule noch für andere Versuche mit wesentlich höheren Schwingungszahlen verwendet werden sollte, wurden, um die Kapazität der Spule nach Möglichkeit herabzudrücken, je ca. 90 cm des Drahtes in Form einer Flachspule gewickelt. Die sechs Flachspulen aneinander gelegt, ergaben dann die gewünschte Spulenform von quadratischem Wickelungsquerschnitt.

Um ferner eine Möglichkeit der kontinuierlichen Veränderung der Selbstinduktion zum Zwecke der Einstimmung zu behalten, wurden je 3 Flachspulen zu einer Spule zusammengefaßt. Jede dieser beiden Hälften wurde mit Isolierband umwickelt und mit Seidenbändern auf einem Brett befestigt, das am Rande auf Hartgummiplatten die Polklemmen zu den Spulenenenden trug. Beide Bretter mit den Spulenhälften waren drehbar gegeneinander angeordnet, so daß mittlerer Abstand und damit die Selbstinduktion der Spulen bequem geändert werden konnte (vgl. Fig. 4, 5).

Bei einer definitiven Ausführung wird man auf die Variationsmöglichkeit der Selbstinduktion verzichten können und wird am besten die Spule auf einem passend ausgedrehten Holzkern aufwickeln, den man vorher in Paraffin auskocht, um späteres Verziehen zu vermeiden.

Die Selbstinduktion der Spule betrug im Maximum bei Hintereinanderschaltung aller Rollen $1,166 \cdot 10^8$ cm, der Gleichstromwiderstand 6,18 Ohm (beides in der Brücke gemessen).

Als Kapazitäten kamen für den Ton 2048 Glimmerkondensatoren, für die tiefen Töne 512, 128 Papierkondensa-

toren zur Verwendung, deren Größe sich nach der Formel

$$2 \pi n = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

bei einer Selbstinduktion

$$L = 1,166 \cdot 10^8 \text{ cm}$$

berechnet zu

0,052	Mf. für den Ton	2048
0,83	„ „ „ „	512
13,3	„ „ „ „	128.

Die Schaltung, in der Spulen und Kondensatoren zur Erzeugung der Schwingung verwendet wurden, gibt die Schaltungsskizze Fig. 2 wieder. Die Belegungen des Kondensators c werden mit einer Wippe über einen Sicherheitswiderstand s (Glühlampe oder dgl.) mit einer Gleichstromspannung V verbunden. Beim jedesmaligen Umlagen der Wippe setzt über die Selbstinduktion L die oscillatorische Entladung ein.

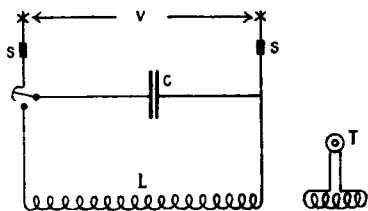


Fig. 2.

Die Periode der Schwingungen läßt sich leicht durch ein Telephon T kontrollieren; man wird dieses dazu nicht direkt in den Kreis einschalten, weil dadurch die Dämpfung außerordentlich erhöht würde, sondern es an eine zweite kleinere Spule anschließen, die mit L induktiv gekoppelt ist.¹⁾

Durch Wahl geeigneter Spulen und Kondensatoren gelang es, das logarithmische Dekrement des Kreises auf

0,26	für $n = 128$
0,084	„ $n = 512$
0,0306	„ $n = 2048$

herabzudrücken. (Diese Werte wurden auf eine besondere Methode bestimmt, die später [vgl. Bemerkung p. 205] beschrieben werden soll).

Es dauert demnach bei

$n = 128$	ca. 4 Schwingungen oder	$\frac{4}{128} = 0,031 \text{ sec}$
$n = 512$	„ 12 „ „	$\frac{12}{512} = 0,023 \text{ sec}$
$n = 2048$	„ 32 „ „	$\frac{32}{2048} = 0,0156 \text{ sec}$

1) Vgl. R. Colley, Wied. Ann. 26. p. 432. 1885.

bis die Anfangsamplitude auf den $e^{\text{ten}} = 2,17^{\text{ten}}$ Teil sinkt. Es erwiesen sich bei allen drei Tönen diese Dekremente als klein genug, um im abgestimmten Telephon den anfangs auftretenden Stoß zu beseitigen. Der Ton klingt weich und rein an.

B. Der Unterbrecher.

Sollen nun diese Schwingungen für Meßzwecke Verwendung finden, so ist erstes Erfordernis *Konstanz der Anfangsamplitude* jeder einzelnen Entladung. Bei Verwendung einer gewöhnlichen Quecksilberwippe zum Laden und Entladen des Kondensators zeigt nun schon das Telephon, namentlich nach längerem Gebrauch der Wippe, Unregelmäßigkeiten an, die auf einen unsauberen Kontakt zurückzuführen sind. Wesentlich ist also bei dieser Art der Schwingungserzeugung die Güte des Schließungskontaktes. Wegen der Wichtigkeit dieses Punktes machte sich hierüber noch eine gesonderte Untersuchung nötig (vgl. Bem. p. 205). Sie führte schließlich zur Wahl eines Unterbrechers, bei dem die kapillaren Eigenschaften des Quecksilbers benutzt werden, und der keinen Sauerstoff enthält, so daß trotz des Funkens die Oberfläche rein bleibt.

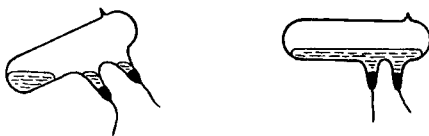


Fig. 3a.

Er besteht aus einem evakuierten Glasgefäß (Fig. 3a), das zum Teil mit Quecksilber gefüllt ist; kippt man das Gefäß, so stellt das ineinander fließende Quecksilber den Schließungskontakt her, der sich durch außerordentliche Konstanz — auch im Dauerbetrieb — auszeichnet. Die Aufladung des Kondensators geschieht durch einen Platinkontakt. Beide Kontakte werden durch Anordnung auf einem Hebeltaster zwangsläufig bedient (vgl. Fig. 3b).

Die l. c. wiederzugebende Untersuchung ergibt, daß bei Verwendung von Ladespannungen bis zu rund 400 Volt die Intensitätsschwankungen der einzelnen Entladung $\frac{1}{2}\%$ nicht überschreiten. Diese Schwankungen sind aber unvermeidlich

und auch für Gehörprüfungen belanglos. Intensitätsschwankungen werden ja erst fürs Ohr bemerkbar, wenn sie 15 bis 20% überschreiten.

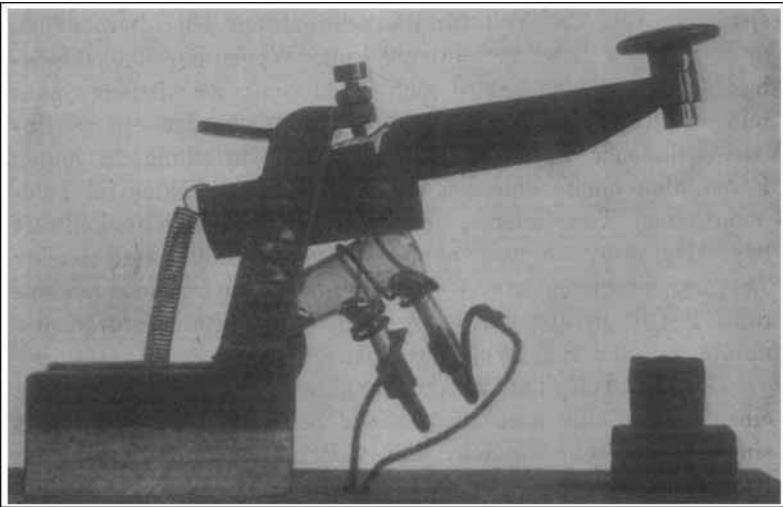


Fig. 3b.

C. Die Vorrichtungen zur Intensitätsvariierung.

Die Schwächung der Schallenergie im Telephon bis zum Schwellenwert sollte also durch Variierung der elektrischen Energie im Telephon geschehen. Die dabei gemachte Voraussetzung, daß die akustische Energie stets proportional der elektrischen Energie bleibt, bedarf allerdings der Prüfung. Wie später gezeigt werden wird, ist diese Voraussetzung in sehr weiten Grenzen erfüllt.

Für diese Intensitätsvariierung erschien es am einfachsten, die Ladespannung des Kondensators zu verändern. Die auschwingende elektrische Energie ist proportional dem Quadrat der Ladespannung. Hat man eine feste Spannung von bestimmter Voltzahl, so verbindet man zu diesem Zwecke die Pole der Batterie mit einem großen Widerstand, von dem man genau meßbare Spannungen abnehmen kann (Potentiometer, vgl. Schaltungsskizze Fig. 5, p. 214).

Um auch für stärkere Grade von Schwerhörigkeit den Apparat verwenden zu können, soll er gestatten, die Ton-

intensität vom Schwellenwert des normalhörigen Ohres bis zum ca. 10^8 -fachen Werte dieses Betrages zu verändern. Will man diese Variation durch bloßes Verändern der Ladespannung erreichen, so würde man z. B. bei einer maximalen Ladespannung von 220 Volt für die schwächsten Töne herabgehen müssen bis zu $220/\sqrt{10^8} = 0,022$ Volt. Wegen der Rückstands-bildung usw. empfiehlt es sich nicht, mit so kleinen Spannungen zu arbeiten. Es zeigte sich nämlich, daß ein scheinbar entladener Papierkondensator nach Aufladung zu hohen Potentialen beim Schließen des Entladungskontaktes im Telephon einen Ton lieferte, der weit über dem Schwellenwert lag. Deshalb — und auch wegen eventuell auftretender Thermospannungen usw. — durfte nur bis zu Spannungen von rund 1 Volt herabgegangen werden. Die weitere Schwächung mußte auf anderem Wege erfolgen.

Da die Telephone aus eingangs erwähntem Grund durch eine zweite Spule induktiv mit der Selbstinduktion gekoppelt sind, ist es sehr einfach, zur weiteren Tonschwächung die Koppelung der Spule zu verändern.

Zu diesem Zwecke wurde anfänglich nur die Entfernung beider Spulen geändert. Dabei zeigte sich, daß bis zum völligen Verschwinden des Tones die Spule des Telephonkreises bis auf 1,5 m von der Selbstinduktionsspule des Schwingungskreises entfernt werden mußte. Diese Länge hätte der Anordnung zu große Dimensionen gegeben. Die Koppelung läßt sich nun auch wie beim Variometer durch Drehen der Spule verändern. Auch diese Methode führte jedoch nicht zum Ziele, weil die Stellungen der Spule für die schwächsten Töne, deren Intensitäten sich wie 1:10:100 verhielten, sich so wenig voneinander unterschieden, daß eine genaue Einstellung auf Zwischenwerte schwierig erschien.

Es wurde deshalb eine Koppelungsvariation gewählt, bei der — ähnlich wie bei den Empfängern in der drahtlosen Telegraphie — die Spule gleichzeitig entfernt und gedreht werden konnte (vgl. Fig. 4). Zu diesem Zwecke war die Spule mit einem gegen die Spulenachse um 45° geneigten, hölzernen Hebelarm von ca. 20 cm Länge starr verbunden. Bei Drehung um den Punkt *P* wurde die Spule gleichzeitig entfernt und gedreht.

Die *Eichung* der Koppelungsvariation nach Energieverhältnissen geschah auf folgendem Wege.

Durch die Selbstinduktionsspule konnte aus einer Akkumulatorenbatterie ein Gleichstromstoß geschickt werden. Die Koppelungsspule wurde mit einem Galvanometer verbunden. Beim Schließen oder Öffnen des Gleichstromes in der ersten Spule zeigt dann das Galvanometer ein von der Größe der Koppelung abhängiges Stromintegral an, das der Quadratwurzel der jedesmal durch Induktion übertragenen Energie proportional ist. Sinkt also von einer Koppelungsstellung zur anderen das Stromintegral auf den 10. Teil, so beträgt die in der 2. Stellung übertragene Energie nur noch den 100. Teil. Durch Messung der Stromintegrale gelingt es somit leicht, die Stellungen der Koppelungsspule nach Energieverhältnissen zu eichen.

Hierbei hat man besonders bei den Stellungen für die schwächsten Intensitäten streng darauf zu achten, daß keine direkte Induktion auf die Galvanometerleitungen stattfindet; man führt diese deshalb verdrillt und überzeugt sich bei abgenommener Koppelungsspule davon, daß keine direkte Induktion stattfindet.

Die so geeichte Koppelungsskala gestattete eine kontinuierliche Veränderung der induzierten Energie im Verhältnis $1:10^5$. Die Skalenteile verteilten sich bei dieser Anordnung ziemlich gleichmäßig auf den Kreisbogen. Da durch die Spannungsänderung außerdem eine Schwächung der Energie im Verhältnis $1:10^5$ vorgesehen war, konnte die elektrische Energie im Telephon bis auf den $10^{10\text{ten}}$ Teil der Maximalintensität kontinuierlich verändert werden.

Somit reichte die Schwächung über die normale Reizschwelle hinaus, so daß auch für Überhörigkeit Skalenteile vorhanden waren.

Bei der Stellung der Koppelungsskala, die der Maximalintensität entsprechen sollte, war darauf zu achten, daß nicht etwa durch zu enge Koppelung eine Veränderung der Selbstinduktion des Schwingungskreises eintritt. Man kann dies leicht an der Tonhöhe eines an die Koppelungsspule gelegten Telephons kontrollieren, die sich bei Veränderung der Koppelung nicht ändern darf. Noch schärfer entscheidet darüber

ein Telephon mit Luftresonator (s. u.), das nur auf die Eigenschwingung anspricht und gegen Verstimmung sehr empfindlich ist.

Damit nur zwischen beiden Spulen induktive Wirkungen zustande kommen, war es nötig, die Teile des Schwingungskreises, in denen sonst noch Wechselströme flossen (Zuleitungen zu den Kondensatoren, Taster usw.), jenseits der Selbstinduktion zu montieren. (Fig. 4, linke Seite.)

Die ausschwingende elektrische Energie für den Ton 128, bei dem jedesmal 13,3 Mf. entladen wurden, erwies sich als ausreichend für eine direkte Nachprüfung der mit Gleichstromstößen geeichten Koppelungsskala. Zu diesem Zwecke wurde in den fertigen Telephonkreis ein Detektor mit Galvanometer eingeschaltet. Der ballistische Ausschlag des Galvanometers bei jeder periodischen Kondensatorentladung blieb innerhalb der Ablesefehler stets der gleiche, wenn Koppelung und Ladespannung in entgegengesetzt gleichem Verhältnis geändert wurden.

Die Bezeichnung der Koppelungsskala.

Um in der Praxis nicht mit zu großen Zahlen operieren zu müssen, wurden die Skalenteile der Koppelungsskala, ebenso wie die des Spannungswählers, nicht mit den Energieverhältnissen selbst, sondern mit dem Briggschen Logarithmus vom Verhältnis der Maximalintensität zu der betreffenden Intensität bezeichnet. Die Verwendung einer logarithmischen Skala für den Reiz rechtfertigt sich ja auch nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz.

Die Stellung für die Maximalintensität erhielt also die Ziffer 0, die Stellungen, in denen die Energien nur noch $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ der Maximalintensität betragen, bekamen die Zahlen 1, 2, 3 Der Schalter, der die Ladespannung variierte, bestand aus 5 Kontakten, von denen man Spannungen abnehmen konnte, die sich wie $\sqrt{10^5} : \sqrt{10^4} : \sqrt{10^3} : \dots$ verhielten, es verhalten sich dann die elektrischen Energien wie $10^5 : 10^4 : 10^3 : \dots$. Die Kontakte erhielten entsprechend die Ziffern 0, 1, 2,

Für eine definitive Ausführung werden die Zwischenstufen des Spannungswählers nicht nötig sein, da schon die

Koppelungsvorrichtung eine kontinuierliche Veränderung erlaubt.

Bei der praktischen Verwendung hat man also nur für den betreffenden Schwellenwert die durch Spannungswähler und Koppelungsskala angezeigten Ziffern zu addieren. Die Differenz mit der auf gleiche Weise erhaltenen Zahl für den normalen Schwellenwert gibt den Logarithmus des Verhältnisses

Schwellenwert krank
Schwellenwert normal

Diese Zahl selbst kann schon als Maß für den Grad der „Schwerhörigkeit“ betrachtet werden. Eine Umrechnung dieses Wertes auf den reziproken Wert der „Hörschärfe“ kann durch Tabellen oder Kurven erleichtert werden (§ 4).

Fig. 4 zeigt die Anordnung des elektrischen Systems im Grundriß. Links von der großen Selbstinduktion L befinden

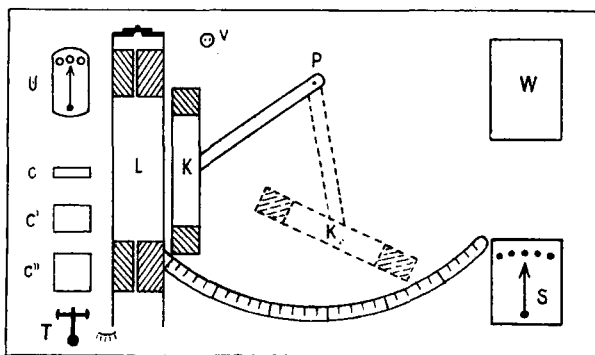


Fig. 4.

sich die Kondensatoren C und der Taster T . Die Kondensatoren bestehen aus drei Gruppen zu 0,052 Mf. (Glimmer) 0,778 (Papier) und 12,47 Mf. (Papier). Durch einen Umschalter U können die Kondensatoren je nach der gewünschten Schwingungszahl parallel geschaltet werden.

Die Selbstinduktion von $1,166 \cdot 10^8$ cm gibt mit

0,052 Mf. eine Schwingungszahl von 2048,

0,052 + 0,778 eine Schwingungszahl von 512,

0,052 + 0,778 + 12,47 eine Schwingungszahl von 128.

Rechts von der Selbstinduktion befindet sich die Koppelungsspule k , ein Steckkontakt v , der zur Gleichstrom-

spannung führt, ferner eine Sicherungsglühlampe, der Abzweigwiderstand W (Schniewindtscher Asbestwiderstand zu

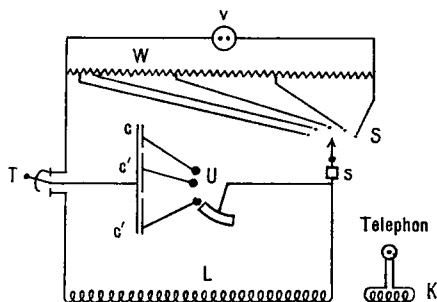


Fig. 5.

4000 Ω) und der dazu gehörige Spannungswähler S . Fig. 5 gibt das Schaltungsschema der Anordnung, Fig. 6 eine Gesamtansicht des Systems.

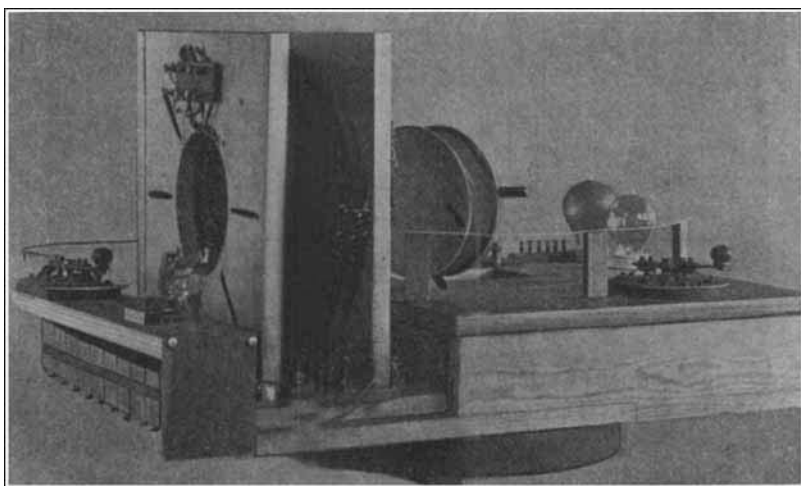


Fig. 6.

§ 2. Das akustische System.

Das akustische System soll die ausschwingende elektrische Energie in Schallenergie umsetzen. Dabei muß der Nutzeffekt ein guter sein; denn es soll ja für jeden Ton die maximal verfügbare Schallenergie den 10^8 -fachen Betrag des Schwellen-

wertes erreichen. Es galt also zunächst genügend *empfindliche* Telephone zu konstruieren.

Die eben beschriebene Vorrichtung zur Variierung der elektrischen Energie in Verbindung mit dem Schwingungskreis gestattet, jedes Telephon daraufhin quantitativ zu untersuchen.

Ferner muß der Ton *rein* und *schwach gedämpft* sein.

Um allen diesen Anforderungen gerecht zu werden, konnten nur Monotelephone, d. h. Telephone mit ausgesprochenem Eigenton zur Verwendung kommen. Bei gewöhnlichen Telephonen werden mit Fleiß die Eigentöne nach Möglichkeit unterdrückt und deshalb die Platten stark gedämpft.

Eine weitere Herabsetzung der Dämpfung und Reinigung des Tones für das beobachtende Ohr wird dadurch erreicht, daß zwischen Platte und Ohr *Luftresonatoren* eingeschaltet werden. Hierzu eignen sich für tiefe Töne bis etwa 500 offene Helmholtzsche Kugelresonatoren. Für höhere Töne verwendet man besser geschlossene Kugelresonatoren.¹⁾ Offene Kugelresonatoren mit hohen Grundtönen besitzen keine genügend reinigende Wirkung mehr.²⁾ Überall geschlossene Kugelresonatoren zu verwenden, empfiehlt sich nicht, weil für tiefe Töne die Dimensionen der Resonatoren sehr groß ausfallen. Demgemäß wurden 2 Typen konstruiert.

A. Monotelephone für tiefe Töne mit offenen Resonatoren (128 und 512).

B. Monotelephone für höhere Töne mit geschlossenen Resonatoren (2048).

A. Monotelephone für 128 und 512.

Monotelephone sind zuerst wohl von Mercadier³⁾ für telegraphische Zwecke verwendet worden. Sie bestanden aus runden Platten, die in der Mitte erregt, in 3 Punkten der kreisförmigen Knotenlinie auf Korkspitzen ruhten und frei schwangen. Verschiedene Versuche mit solchen kreisrunden und auch rechteckigen Platten, die stets in den Knotenlinien unterstützt frei schwangen, erwiesen die Brauchbarkeit dieser

1) M. Wien, Physik. Zeitschr. 13. p. 1034. 1912.

2) H. Helmholtz, Tonempfindungen, 6. Ausgabe, p. 602.

3) E. Mercadier, Comptes rendus 104. p. 970–972. 1887.

Art von Membranen für Laboratoriumszwecke. Indessen zeigte sich, daß solche Platten, sollten sie schwach gedämpft schwingen, in den Knotenlinien nur lose aufliegen durften. Da es nicht gelang, die Platten, wie es für die Praxis nötig ist, auf einer Unterlage so stabil zu befestigen, daß ihre Dämpfung zugleich konstant geblieben wäre, wurden rings eingespannte Wellblechmembrane aus Neusilber (0,1 mm Durchmesser) gewählt, deren Mitten durch aufgeschraubte Eisenbleche beschwert wurden. Die Einstimmung und Dämpfung hält sich nach den Erfahrungen mit dem optischen Telephon ausgezeichnet. Die Erregung der Platte geschah durch einpolige Magnete.

Um Verluste durch Wirbelströme in den Magneten möglichst einzuschränken, wurden als Telephonmagnete durchgängig Elektromagnete mit unterteiltem Eisenkern (0,1 mm Transformatorblech) verwendet.¹⁾ Damit ist erstens eine bedeutende Tonverstärkung gegenüber dem gewöhnlichen Telephon verbunden, dann aber bleibt auch die geforderte Proportionalität zwischen elektrischer und akustischer Amplitude in weiteren Grenzen gewahrt, da das Zusatzfeld, auch für stärkere Töne, immer noch klein bleiben wird gegenüber dem starken Hauptfeld.

Allerdings ist für den Erregerstrom der Telephonmagnete eine gesonderte 2-Volt-Akkumulatorenatterie nötig. Bei Verwendung der Netzspannung einer städtischen Kraftleitung zur Erregung der Telephonmagnete hört man im Telephon dauernd Nebengeräusche, die von Spannungsschwankungen herrühren und eine präzise Einstellung auf den Schwellenwert unmöglich machen. Eingeschaltete Drosselspulen vermindern zwar die Geräusche, beseitigen sie aber nicht. Vielleicht gelingt es noch, empfindliche Monotelephone mit permanenten Magneten zu konstruieren. Versuche in dieser Richtung sind im Gange. Der Erregerstrom bei allen 3 Telephonen betrug 0,6 Ampere, stärkere Primärfelder verstärken wohl den Ton, erhöhen aber gleichzeitig die Dämpfung der Platte.

Die Durchmesser der Membrane für 128 bzw. 512 betragen 8 bzw. 5 cm. Sie wurden zunächst zwischen Messingringen fest eingespannt. Pappereinlagen zwischen Membran und

1) Vgl. W. Kunze, Archiv für Elektrotechnik 1915. Verlag J. Springer, Berlin.

Ringen verhüteten klirrende Geräusche. Die Telephone hatten ca. $12\ \Omega$ Widerstand.

Die starken Exkursionen — besonders der 128-Platte — bei den stärksten Tönen erforderten eine sehr stabile Befestigung der Membran, wenn nicht die ganze Einspannvorrichtung ins Mitschwingen geraten sollte. Die Messingringe mit den Membranen wurden deshalb an einem rechteckigen Bleirahmen ($2 \cdot 10 \cdot 20$ cm) mit passenden runden Öffnungen angeschraubt. Bei dieser Befestigungsart schlangen die Membrane mit ausgesprochenem Eigenton frei und ziemlich schwach gedämpft.

Die zur weiteren Reinigung verwendeten Resonatoren waren vor den Membranen frei aufgestellt. Sie bestanden aus passendem Zinkblech- bzw. Glaskugeln mit veränderlichen Öffnungen, die eine leichte Abstimmung auf den Plattenton ermöglichten.

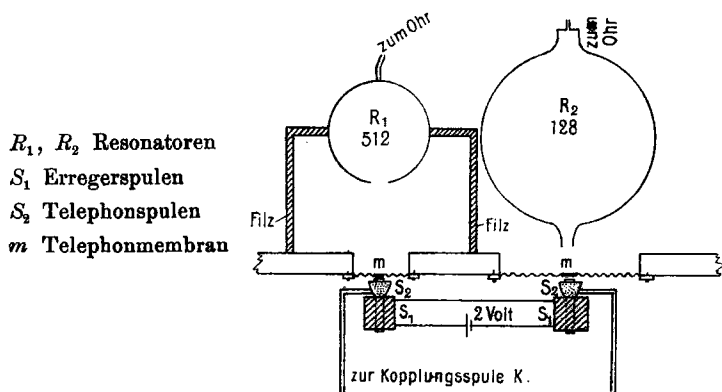


Fig. 7.

Bei dem Resonator 512 wurde beobachtet, daß allzu kleiner Abstand — enge Koppelung — zwischen Platte und Resonator den Ton verstärkt, aber gleichzeitig seine Dämpfung erhöht. Der günstigste Abstand betrug 7 cm. (Vgl. Fig. 7.)

Da sowohl das elektrische System als der Resonator leicht abstimmbare war, gestaltete sich die Einstimmung der 3 Systeme — elektrischer Kreis, Platte, Resonator — aufeinander sehr einfach. Nachdem die Telephonplatte auf den gewünschten Ton gebracht war, wurde die Kapazität des elektrischen

Kreises verändert, bis Resonanz zwischen Platte und elektrischem System vorhanden war, man erkennt dies leicht an besonders lautem Ansprechen der Platte. Nun war es leicht, den Resonator, der mit dem Ohr durch ein binaurales Stethoskop, verbunden war, durch Veränderung der Öffnung auf den Plattenton einzustimmen.

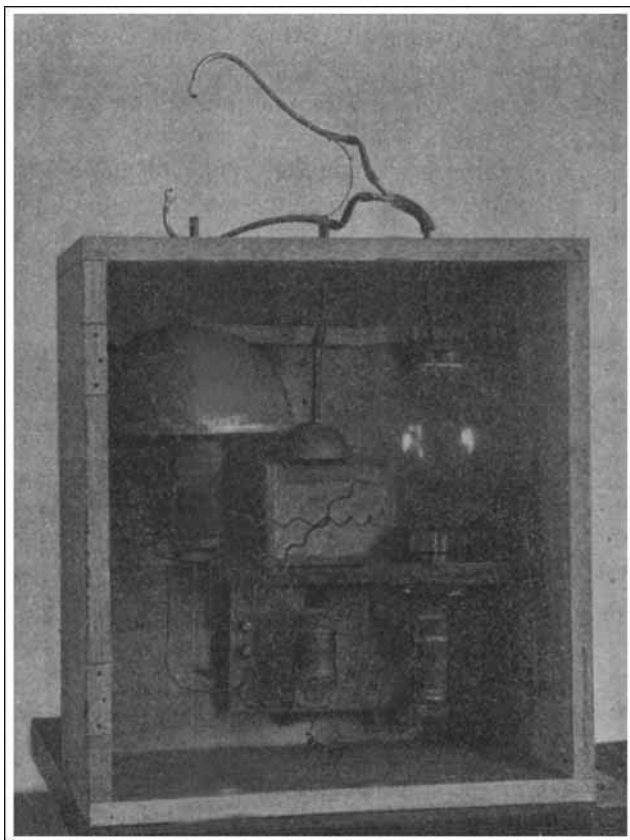


Fig. 8.

Bei dieser Einstimmung leistete ein l. c. beschriebener, rotierender Petroleumkontakt gute Dienste.

Sind alle 3 Systeme aufeinander eingestimmt, so gestatten die Monotelephone eine Maximalintensität vom 10^8 fachen Betrag des Schwellenwertes zu erreichen.

B. Monotelephone für 2048.

Für das Monotelephon 2048 war die schwerfällige Befestigung an einem Bleirahmen nicht nötig. Es genügte, sie zwischen Messingringe einzuspannen und auf einen Holzring aufzuschrauben. Die Membran war wieder eine Wellblechmembran (Durchmesser 3,5 cm, Blechstärke 0,2 mm) mit geeigneter Zentralbeschwerung. Fig. 9 gibt das Monotelephon im Durchschnitt wieder. Der Eisenkern ($1 \cdot 1 \cdot 10$ cm, 0,1 mm Transformatorblech) befindet sich in einer Holzspule, die die Erregerwicklung S_2 trägt. Um möglichst kräftige Wirkungen zu erzielen, sind, wie bei allen anderen Telephonen, die Telefonwindungen direkt auf den Eisenkern aufgewickelt (S_1 , Widerstand 7Ω). Auf die Holzspule ist der Ring mit der Membran m aufgeschraubt. Der Eisenkern ist straff in die Holzspule eingepaßt. Der Abstand zwischen Membran und Magnet läßt sich durch Verschieben des Eisenkernes regulieren.

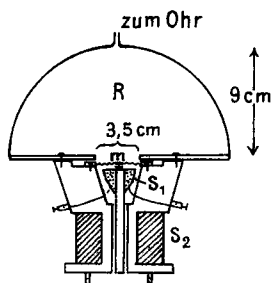


Fig. 9.

Für diesen hohen Ton ist, wie schon bemerkt, die Verwendung von offenen Kugelresonatoren ausgeschlossen, weil diese bei so hohen Tönen wegen zu starker Dämpfung keine reinigende Wirkung mehr besitzen. Es kommen nur geschlossene Resonatoren in Frage.

Man kann diese durch Telephone einfach in der Art erregen, daß man unmittelbar vor eine kleine Öffnung (0,5 cm Durchmesser) des Resonators die Telephonmembran bringt, an einer zweiten Öffnung wird mit dem Stethoskop beobachtet.

Geschlossene Kugelresonatoren mit einem Grundton von ca. 2000 (Durchmesser ca. 10 cm) besitzen nun, wie Versuche zeigten, ebenfalls sehr starke Dämpfung. Es lassen sich aber die viel weniger gedämpften Obertöne eines Resonators mit tieferem Grundton recht gut verwenden.

Hier zeigten sich nun einige Schwierigkeiten. Zunächst läßt sich nicht wie bei den offenen Resonatoren der Resonator bequem auf den Plattenton einstimmen. Es macht sich um-

gekehrt eine Einstimmung der Platte auf den Resonatorton nötig. Dies kann innerhalb kleiner Intervalle z. B. geschehen durch stärkeres oder schwächeres Einspannen der Platte. Zweitens bringt es die äußerst scharfe Resonanz dieser Obertöne mit sich, daß zwar die Töne sehr schön weich anklingen und verlaufen, daß aber gleichzeitig die Einstimmung äußerst empfindlich gegen Temperaturschwankungen ist.

Erwärmen des Luftresonators durch bloßes Auflegen der Hand bringt sofort Verstimmung hervor. Es erhellt, daß für die Praxis eine derartig empfindliche Resonanz nicht verwendbar ist. Es mußte also ein Oberton des Resonators gesucht werden, dessen Dämpfung einmal klein genug ist, um einen genügend anhaltenden Ton im Ohr zu erzeugen, andererseits nicht so klein ist, daß Temperaturschwankungen innerhalb gewisser Grenzen Verstimmung hervorrufen könnten.

Ein solcher Oberton wurde schließlich im ersten Oberton eines geschlossenen Resonators von 17,8 cm Durchmesser gefunden. Der Grundton dieses Resonators beträgt 1271, der erste Oberton nach Rayleigh¹⁾ das 1,61fache hiervon, also 2048. Die Ordnung der Kugelfunktion für diesen Oberton ist 2.

Bei normalen Temperaturschwankungen im Zimmer von 13—17° C. zeigte sich keine Änderung der Einstimmung des Resonators. Es machte dieser Punkt allerdings eine Vorschrift nötig über die zu beobachtende Temperatur bei Verwendung des Apparates. Nötigenfalls wird es bei der breiten Resonanz der Telephonplatte genügen, das elektrische System wieder auf den Resonatorton einzustimmen, wenn abnorme Temperaturverhältnisse vorliegen.

Für die anderen Resonatoren (512, 128) sind solche starke Temperaturabhängigkeiten nicht beobachtet worden.

Nun zeigte sich aber bei der Erregung eines jeden Obertones dieser geschlossenen Kugelresonatoren durch die immerhin verhältnismäßig stark gedämpften Telephontöne, daß stets durch „Stoßerregung“ der Grundton mit erregt wurde. Für die zu verlangende Reinheit des Tones ist dies sehr mißlich. Diese Schwierigkeit läßt sich folgendermaßen umgehen:

Es kann die Luftschwingung dieses Obertones, die einer

1) Lord Raileigh-Neesen, Theorie des Schalles. II. p. 303.

Kugelfunktion zweiter Ordnung entspricht, für den Fall einer einachsigen Kugelfunktion in jeder geschlossenen Halbkugel stattfinden¹⁾, denn die Äquatorebene ist eine Knotenfläche.

Verwendet man also eine geschlossene Halbkugel als Resonator, so kann in ihr wohl der 1. Oberton, nicht aber mehr der Grundton entstehen. Auf diese Weise gelang es, das Mitanklingen des Grundtones zu verhindern.

Um einen möglichst großen Effekt zu bekommen, wurde das Telephon direkt an den Resonator angeschraubt (Fig. 9). Es war gleichgültig, ob der Ton im Zentrum oder an der Peripherie der Kugel erregt wurde.

Die Einstimmung der drei Systeme konnte hier nur so erfolgen, daß zunächst das elektrische System in Resonanz mit der Platte gebracht wurde. Dann stimmte man allmählich die Platte auf den Resonatorton ein, der ja auch jedesmal bei Verstimmung mit anklingt, indem dabei immer das elektrische System nachgestimmt wurde, bis maximale Lautstärke eintrat. Irgendwelche Schwierigkeiten sind jedoch auch hier bei der Einstimmung nicht vorhanden.

C. Technische Ausführung.

Die drei Monotelephone wurden nebeneinander auf ein Brett montiert und in einem schalldichten Kasten verschlossen. Drei nach außen führende Rohre gestatteten die Stethoskope anzuschließen. Das Monotelephon 512 mußte besonders schallsicher eingepackt werden, da es in starkem Maße auf störende Geräusche anspricht. Ferner erwies es sich als zweckmäßig, den Kasten an Leinenbändern aufzuhängen. Dadurch wurde direkte Schallübertragung durch den Boden usw. vermieden, gegen die besonders das Monotelephon 128 empfindlich war. Für ruhig gelegene Beobachtungszimmer war diese letzte Vorichtsmaßregel nicht nötig.

Die Zuführung des Schalles vom Resonator zum Ohr geschah wie bei den anderen Resonatoren durch ein Ansatzrohr am Resonator (lichte Weite 5 mm), von dem ein möglichst kurzer, dickwandiger Gummischlauch (Kapillarschlauch) zum Stethoskop führte. Gewöhnliche Gummischläuche absorbieren

1) Lord Rayleigh-Neesen, Theorie des Schalles. II. p. 305.

bei diesen hohen Tönen den Schall sehr stark. Will man längere bewegliche Zuleitungen haben, so verwendet man mehrere kurze, durch Schlauchstücke miteinander verbundene Glas- oder Metallrohre.

In jedem Falle hat man natürlich darauf zu achten, daß die Feststellung des Schwellenwertes für das normale und kranke Ohr unter gleichen Bedingungen stattfindet.

Hier sei bemerkt, daß durch Benutzung des Stethoskops für eindeutige Schallzuführung gesorgt ist. Es kommt nur Luftleitung in Frage. Beim Zuquetschen des Schlauches verschwindet auch der stärkste Ton für das beobachtende Ohr.

§ 3. Die Prüfung der akustischen Stufen mit dem Rayleighschen Scheibchen.

Die Umsetzung der elektrischen Energie in Schallenergie wird in einem Telephon vollzogen. Die für die Anordnung grundlegende Voraussetzung, daß bei dieser Umsetzung das Verhältnis beider Energien konstant bleibt für jede Tonstärke, bedarf einer experimentellen Prüfung. Die Prüfung dieser Frage ist unumgänglich, da die Proportionalität zwischen Strom und Plattenamplitude nur für kleine Exkursionen erwiesen ist, für starke Stromamplituden ist zufolge der magnetischen Eigenschaften des Telephons diese Voraussetzung nicht erfüllt.

Es fragt sich, ob für die bei vorliegendem Apparat auftretenden Maximalströme in den Telephonen die Proportionalität noch erfüllt ist.

Diese Fragen konnten allerdings nicht, wie es erwünscht gewesen wäre, allgemein in bezug auf die elektrischen und akustischen Konstanten des Telephons gelöst werden, es genügte aber vorläufig, an den verwendeten Telephonen die Proportionalität erwiesen zu haben.

Die Frage wurde in der Form gestellt:

Bleibt unter gleichen Verhältnissen die Schallenergie im Telephon proportional der im Primärkreis ausschwingenden Energie? Oder: Ist die Schallenergie proportional dem Quadrat der Ladespannung des Kondensators?

Bei der Untersuchung dieser Frage darf man sich auf die stärksten Intensitäten (10^7 — 10^8 facher Betrag des Schwellen-

wertes) beschränken. Ist in einem gewissen Intervall die Proportionalität für starke Töne erwiesen, so gilt sie erst recht für schwächere Töne.

Relative Messungen der Schallenergie sind nicht schwierig.

Wegen der äußerst einfachen Apparatur wurde von den mannigfachen Methoden zur relativen Schallstärkemessung die des Rayleighschen Scheibchens gewählt.

Bringt man in den Gang von Luftwellen ein dünnes Scheibchen, so sucht es sich senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Wellen zu stellen.

Das Drehmoment, das das Scheibchen dabei erfährt, ist *cet. par.* proportional der Energiedichte der Wellenbewegung.

Die Versuchsanordnung war folgende. Als Scheibchen wurden leichte Spiegelchen (3—5 mm Durchmesser) verwendet, die an sehr feinen Kokonfäden aufgehängt wurden.

Die Spiegel wurden unter 45° gegen die Schallrichtung geneigt unmittelbar vor den Telephonmembranen in einer beiderseits offenen Röhre aufgehängt (Fig. 10).

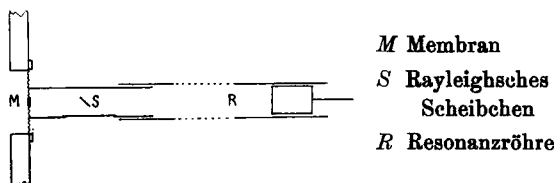


Fig. 10.

Eine wesentliche Vergrößerung des Ausschlags konnte dadurch erzielt werden, daß vor das freie Ende der Röhre passende Resonatoren aufgestellt wurden.

Für das Monotelephon 128 fand der dazu gehörige Luftresonator direkt Verwendung, beim Telephon 512 wurde Resonanz durch einen an die Röhre anschließenden Zylinder mit verschiebbarem Stempel hergestellt. Für den Ton 2048 konnte eine wesentliche Verstärkung durch Resonanz nicht mehr erreicht werden, weil die resonierenden Räume zu klein werden. Um die Empfindlichkeit zu erhöhen, wurde hier ein ganz leichtes, kleines Spiegelchen (2 mm Durchmesser) gewählt, das mit Klebwachs auf einem Papierscheibchen (1 cm Durchmesser) befestigt war. Die Ablesung geschah mit Fernrohr

und Skala. Der Abstand zwischen Spiegel und Skala betrug 1,8 m.

Die Aufstellung mußte sorgfältig durch Einpacken mit Watte usw. vor Luftbewegungen geschützt werden.

Die Schwierigkeit, genügend große Ausschläge zu erzielen, wuchs bei bzw. des Schwellenwertes relativ gleicher Intensität mit zunehmender Schwingungszahl — ein Zeichen, daß für tiefe Töne das menschliche Ohr relativ wesentlich unempfindlicher ist, als für hohe Töne. Ob es freilich gelingt, auf diesem Wege durch gleichzeitige vergleichende Messungen der Schallintensitäten von Tönen verschiedener Höhe mit dem Rayleighschen Scheibchen quantitative Angaben über die absolute Empfindlichkeit des Ohres für Töne zu machen, scheint wegen der komplizierten akustischen Verhältnisse (Resonanzerscheinungen usw. in den Schläuchen, verschieden starke Absorption usw.) fraglich.

Beobachtet wurden nun unter Variation der Ladespannung des Kondensators die ballistischen Ausschläge des Scheibchens bei jeder Entladung.

Die Resultate der Beobachtungen sind in beiliegenden Kurven vereinigt. Als Abszisse wurde das Quadrat der Ladespannung (bzw. deren Verhältnis zur Maximalspannung), als Ordinate der jedesmalige Ausschlag des Scheibchens aufgetragen.

Für die Monotelephone 512 und 2048 ergaben sich Gerade, d. h. die geforderte Proportionalität ist erfüllt (Fig. 11 und 12).

Bei dem Monotelephon 128 zeigte sich, daß in dem letzten Intervall (10^7 — 10^8 facher Betrag des Schwellenwertes) die Proportionalität nicht mehr gewahrt ist. Die relativ große Intensität des Tones gestattete aber noch eine Nachprüfung des letzten Intervalles (10^6 — 10^7) mit einem empfindlicheren Scheibchen. Hier konnte die Proportionalität durch den Versuch erwiesen werden (Fig. 13).

Bis zur $10^{7,3}$ fachen Intensität des Schwellenwertes gilt jedenfalls auch für den tiefsten Ton strenge Proportionalität zwischen Schall- und elektrischer Energie; die dann folgende Abweichung darf für vorliegende Zwecke als unwesentliche bezeichnet werden.

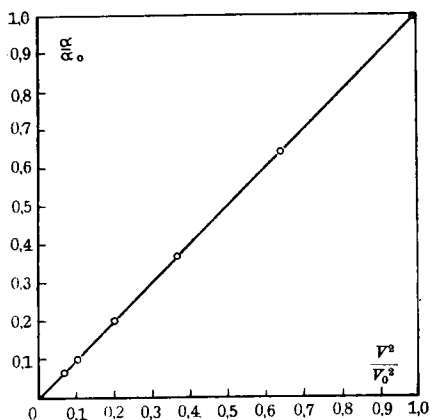


Fig. 11.

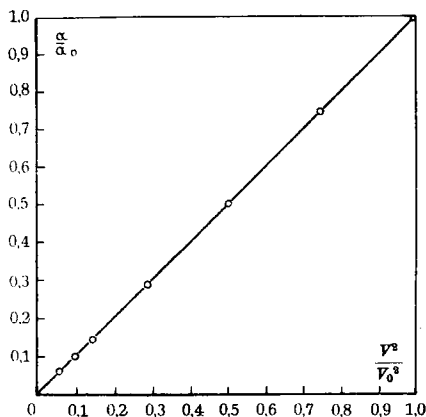


Fig. 12.

Fig. 14 gibt den Zusammenhang zwischen akustischer und elektrischer Energie über den ganzen Intensitätsbereich des Monotelephons 128 wieder. Es sind, wie in Fig. 13, die Logarithmen der Energien und Ausschläge aufgetragen (Schwellenwert gleich 1) der Zusammenhang ist, wie man sieht, bis auf einen zu vernachlässigenden Teil im letzten Intervall ein linearer.

Überraschend bleibt es immerhin, daß selbst noch für so starke Ströme (die Anfangsamplitude für 128 betrug 0,35 Amp.!)

bei den Telephonen die Proportionalität zwischen Strom und Plattenamplitude gewahrt bleibt. Jedoch steht dies durchaus mit den Untersuchungen von W. Kunze (l. c.) in Übereinstimmung.

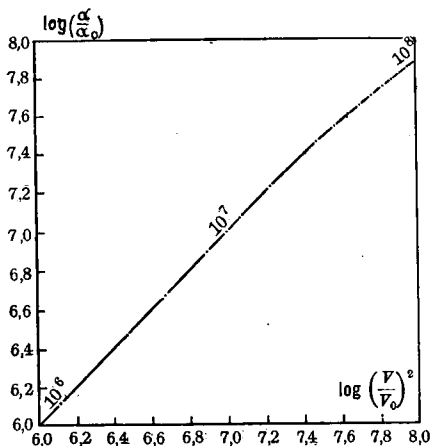


Fig. 13.

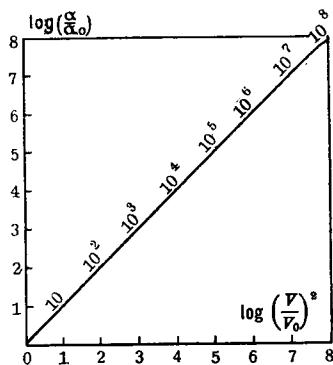


Fig. 14.

Die physikalischen Grundlagen der Versuchsanordnung dürfen nach dem Ergebnis dieser Prüfung als einwandfrei betrachtet werden.

§ 4. Die Konstanz des Schwellenwertes.

Systematische Gehörprüfungen mit der beschriebenen Versuchsanordnung sollen von anderer berufener Seite ausgeführt werden.

Es wurde vorläufig zuerst noch die wichtige Frage geprüft, ob die Einstellung am Apparat für die Schwellenwerte normaler und kranker Ohren zu verschiedenen Zeiten konstant bleibt.

Aus dem Beobachtungsmaterial seien einige Zahlen herausgegriffen und mitgeteilt. Sie sind in folgender Tabelle enthalten und geben die Schwellenwerte in Skalenteilen der Koppelungsskala usw. bei normalhörigen und kranken Beobachtern zu verschiedenen Zeiten wieder.

Zur Erläuterung sei folgendes gegeben. Die Zahlen bedeuten den Logarithmus des Verhältnisses $\frac{\text{Maximalintensität}}{\text{Schwellenwert}}$.

Für einen Beobachter weist die Tabelle eine für diese Zwecke ausreichende Konstanz des Schwellenwertes auf. Es macht sich also überdies eine jedesmalige Einstellung bei der Prüfung auf den normalen Schwellenwert nicht nötig. Dieser Wert kann auf der Skala fixiert werden. Es wird aber gut sein, ihn von Zeit zu Zeit zu überprüfen.

Normalhörige Beobachter.

Nr.	Datum	Zeit	Name	2048	512	128	
1	12. Febr.	4 N.	B.	9,5	9,9	7,8	
2	16. "	9 "	B.	9,5	9,7	8,9	
3	17. "	3 "	B.	9,7	9,7	8,8	
4	18. "	8 "	B.	9,6	9,7	8,6	
5	19. "	8 V.	B.	9,7	9,7	8,9	
6	5. April	8 "	B.	9,7	9,6	9,0	
7	17. Febr.	10 N.	D.	9,0	9,5	8,8	
8	17. "	10 "	K.	9,8	8,6	8,7	
9	5. April	10 V.	W.	8,8	7,8	6,0	7jähr. Knabe

Kranke Beobachter.

10	21. Febr.	8 V.	H.	6,0	6,0	4,2	linkes Ohr	links Mittelohrentzündung
11	1. März	3 N.	H.	9,5	9,0	7,6	beide Ohren	
12	1. "	3 "	H.	6,2	6,5	4,5	linkes Ohr	
13	27. "	4 "	H.	9,3	8,8	7,8	beide Ohren	
14	27. "	4 "	H.	5,9	5,8	4,5	linkes Ohr	
15	27. "	4 "	H.	9,2	8,9	7,9	rechtes Ohr	gibt an, gut zu hören gibt an, schlecht zu hören!!
16	18. Febr.	8 V.	O.	8,5	8,1	7,7		
17	19. "	8 "	O.	8,6	8,2	8,5		
18	20. "	8 "	O.	8,5	8,5	8,4		
19	24. März	11 V.	O.	8,4	8,0	7,9		
20	25. "	12 "	M.	5,8	4,1	5,6	beide Ohren	besitzt kein Trommelfellmehr, Mittelohrentzündung
21	25. "	12 "	M.	4,6	4,1	5,2	linkes Ohr	
22	25. "	12 "	M.	5,1	3,8	4,6	rechtes Ohr	
23	5. April	10 "	G.	4,5	8,0	7,5		

Um die Zahlen zu illustrieren, sei die relative Hörschärfe des kranken Beobachters H., linkes Ohr, für den Ton 128 berechnet. Im Mittel beträgt hier die Einstellung 4,4 —. Die

Differenz mit der entsprechenden Zahl für den Normalhörigen 8,9 gibt

$$8,9 - 4,4 = 4,5.$$

Dies ist also der Logarithmus des Verhältnisses
Schwellenwert krank
Schwellenwert normal

Der Numerus von $\log 4,5$ ist 3100. Die Hörschärfe des Kranken für den Ton 128 beträgt also nur $\frac{1}{3100}$ der des normalhörigen, d. h. ein eben hörbarer Ton müßte beim Kranken 3100mal größere Energie besitzen als beim Normalhörigen.

Zusammenfassung.

Es wird eine Versuchsanordnung beschrieben, die zur Untersuchung der Hörschärfe von kranken und normalen Ohren dient. Als Tonquellen dienen *Monotelephone*, die mit den gedämpften Wechselströmen von Kondensatorentladungen beschickt werden. Die Töne werden durch Platten- und Luftresonanz gereinigt, und ihre Intensität bis zum Minimum perceptibile des Ohres auf elektrischem Wege in bekanntem Verhältnis geschwächt. Das Verhältnis der Schwellenwerte für das kranke und das normale Ohr dient als Maß für die Hörschärfe. Mit dem Rayleighschen Scheibchen wird die Richtigkeit der akustischen Stufen geprüft.

(Eingegangen 27. Dezember 1915.)