

Der Fernsprecher Modell Maingau

der Telefonbau und Normalzeit G. m. b. H., Frankfurt a. M.

Von Rudolf Mehr, Frankfurt a. M.

Neue Forschungsergebnisse, Werkstoffe und Herstellungsverfahren sowie neue Einzelteile und die Art ihres Zusammenbaues bringen auch in der Fernmeldetechnik ständig neue Apparateformen hervor. Die Elektroakustik bestimmt dabei die Konstruktion des Mikrofons und Telefons und zu einem großen Teil auch die Form des sie vereinigenden Handapparates. Das Mikrophon soll die akustische Energie beim Sprechen in elektrische umwandeln, und das Telefon soll diese Umwandlung in umgekehrter Richtung zum Hören vornehmen. Diese Energieumsetzungen sollen möglichst vollkommen vor sich gehen, d. h., die vom Sprechenden gesandten Energien müssen ohne große Verluste und ohne große Veränderung vom Hörenden empfangen werden können. Vor allem interessiert also der Wirkungsgrad, und zwar sowohl quantitativ als auch qualitativ. Es kommen zweimal Energieumwandlungen und außerdem reine Energieübertragungen zwischen den beiden Sprechstellen und in ihren Apparaten selbst vor. Auch die Energieübertragungen beeinflussen den Wirkungsgrad, und es sind dabei die selben Forderungen zu erfüllen wie bei der Energieumwandlung. Der Gesamtwirkungsgrad äußert sich bei den Sprechstellen für den Hörer in der Lautstärke und in der Sprachverständlichkeit.

Nach diesen beiden Richtungen hin soll nun das Modell Maingau untersucht werden. Ueber die Art solcher Untersuchungen hat man sich, da sich der Fernsprechverkehr zu einem großen Teil zwischenstaatlich abspielt und dabei meist Apparate verschiedener Herkunft zusammenarbeiten, international in einer besonderen Kommission, der CCI*), geeinigt: die Lautstärken zweier Apparate werden durch Abhören miteinander verglichen und die Verständlichkeit durch das Sprechen und Abhören zusammenhangloser Silben, der sogen. Logatome, geprüft. Dabei gibt das Verhältnis der richtig verstandenen Silben zur Gesamtzahl der gesprochenen Silben ein Maß für die Sprachverständlichkeit. Dieses Verfahren

ist also subjektiv, und es ist ohne weiteres klar, daß die Ergebnisse einer solchen Untersuchung stark von den beteiligten Personen abhängen müssen. Dazu kommt, daß bei diesem Verfahren die Einflüsse der Einzelelemente nicht gesondert erfaßt werden und daher Fehlerquellen und Verbesserungsmöglichkeiten gar nicht festgestellt werden können.

Aus diesem Grunde ist diese subjektive Methode für die Untersuchung des Modells Maingau fallen gelassen und durch eine objektive Methode in Absolutwerten ersetzt worden, die die Wirkungsweise der verschiedenen Einzelelemente erkennen läßt.

Man pflegt in der Fernmeldetechnik den Wirkungsgrad durch den natürlichen Logarithmus des Verhältnisses zweier Spannungen, Ströme oder Leistungen auszudrücken. Es werden also die Werte von Spannung, Strom oder Leistung an den Ausgangsklemmen einer Leitung oder eines Apparates (eines Vierpoles) verglichen mit den zugehörigen Werten an den Eingangsklemmen dieses Vierpoles. Der natürliche Logarithmus dieses Verhältnisses wird Uebertragungsmaß genannt und die Einheit mit „Neper“ bezeichnet. Hierbei wird bei den Spannungsmessungen als Eingangsspannung der Wert von 0,775 V angenommen, der dadurch zum Nullpunkt des logarithmischen Vergleichsmaßstabes wird. Man kann daher bei dem Spannungsübertragungsmaß auch von einem Spannungspegel sprechen (Pegel 0 = 0,775 V).

Bei der Untersuchung des Modells Maingau wurden zunächst die elektrischen Werte mit Hilfe eines Pegelzeigers, der eine unmittelbare Ablesung in Neper ($= \ln E_1 : E_0$, wobei $E_0 = 0,775 \text{ V} = \text{Pegel } 0$) gestattet, bestimmt.

Zu diesem Zweck wurden die Leitungsklemmen des Fernsprechers mit einem Ohmschen Widerstand von 600 Ohm verbunden (Abb. 1). Die Mikrophonkapsel wurde durch einen Tonfrequenz-generator ersetzt, der über den gesamten

*) Comité Consultatif International des Comm. Tel. à Grandes Distances

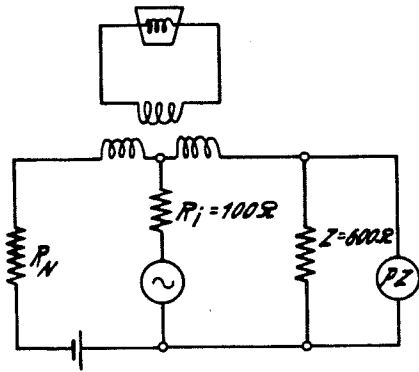


Abb. 1

Frequenzbereich eine konstante Klemmenspannung von 0,775 V lieferte. Der Innenwiderstand dieses Generators entsprach dem Mittelwert des zuvor gemessenen Mikrofonwiderstandes. Zur Nachbildung der Betriebsverhältnisse wurde der Fernsprecher derart mit Gleichstrom vorbelastet, daß im Mikrofonkreis ein Strom von 30×10^{-3} A floß. Der am Pegelzeiger in Neper abgelesene Wert ist das am Leitungsanfang gemessene Spannungs-Uebertragungsmaß und wird, da in der Richtung vom Mikrofon nach der Leitung gemessen wurde, „Sendeübertragungsmaß“ ge-

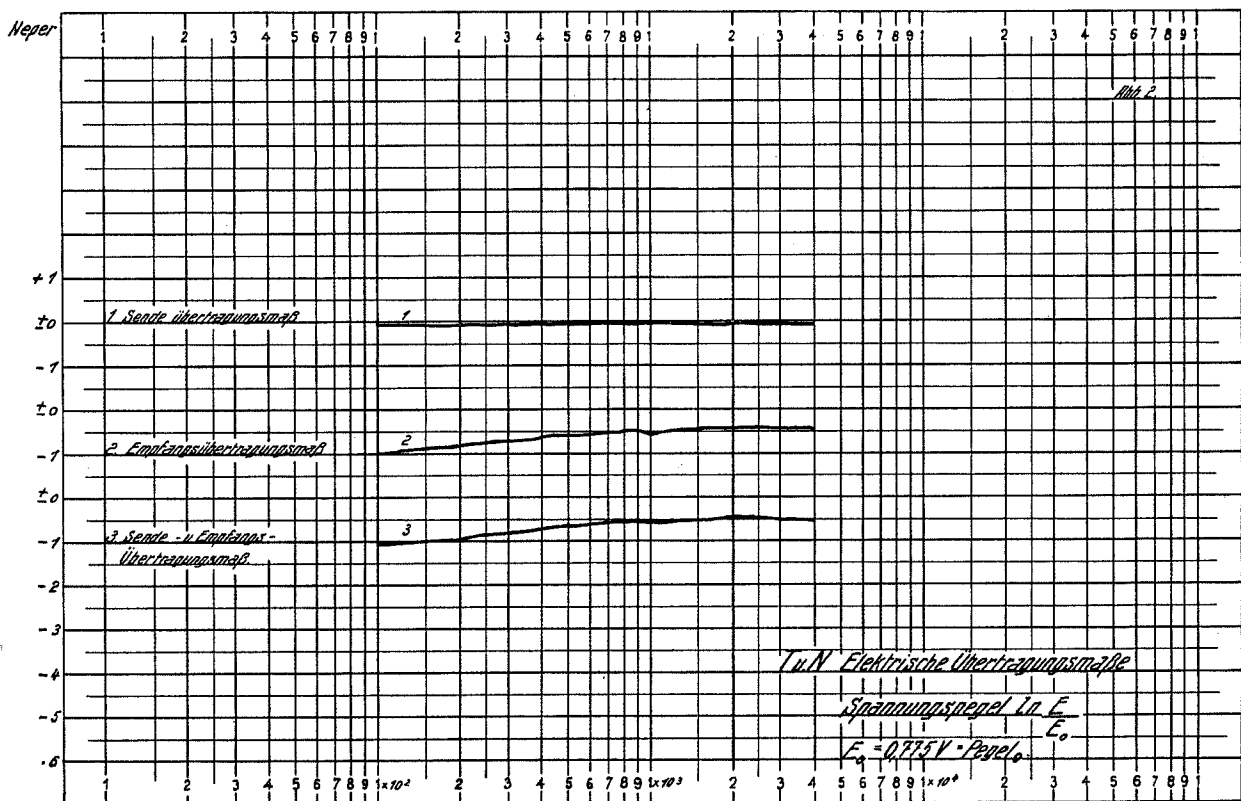


Abb. 2

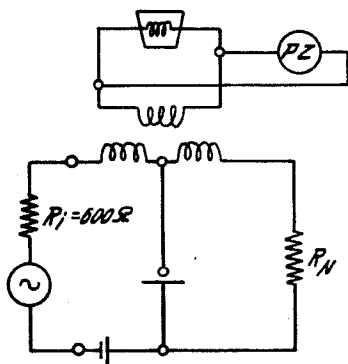


Abb. 3

nannt. Die über den Frequenzbereich von 100 bis 4000 Hz gemessenen Werte sind zu der Kurve 1 der Abb. 2 aufgetragen. Auf dieselbe Art wurde das Spannungsübertragungsmaß auf der Empfangsseite, das „Empfangsübertragungsmaß“, gemessen, und zwar an den Klemmen des Fernhörers (Abb. 3). Diesmal war an die Leitungsklemmen der Generator mit 600 Ohm Innenwiderstand angeschlossen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind durch die Kurve 2 in der Abb. 2 dargestellt. Die Kurve 3 in Abb. 2 zeigt die Summe der Sende- und Empfangsübertragungsmaße.

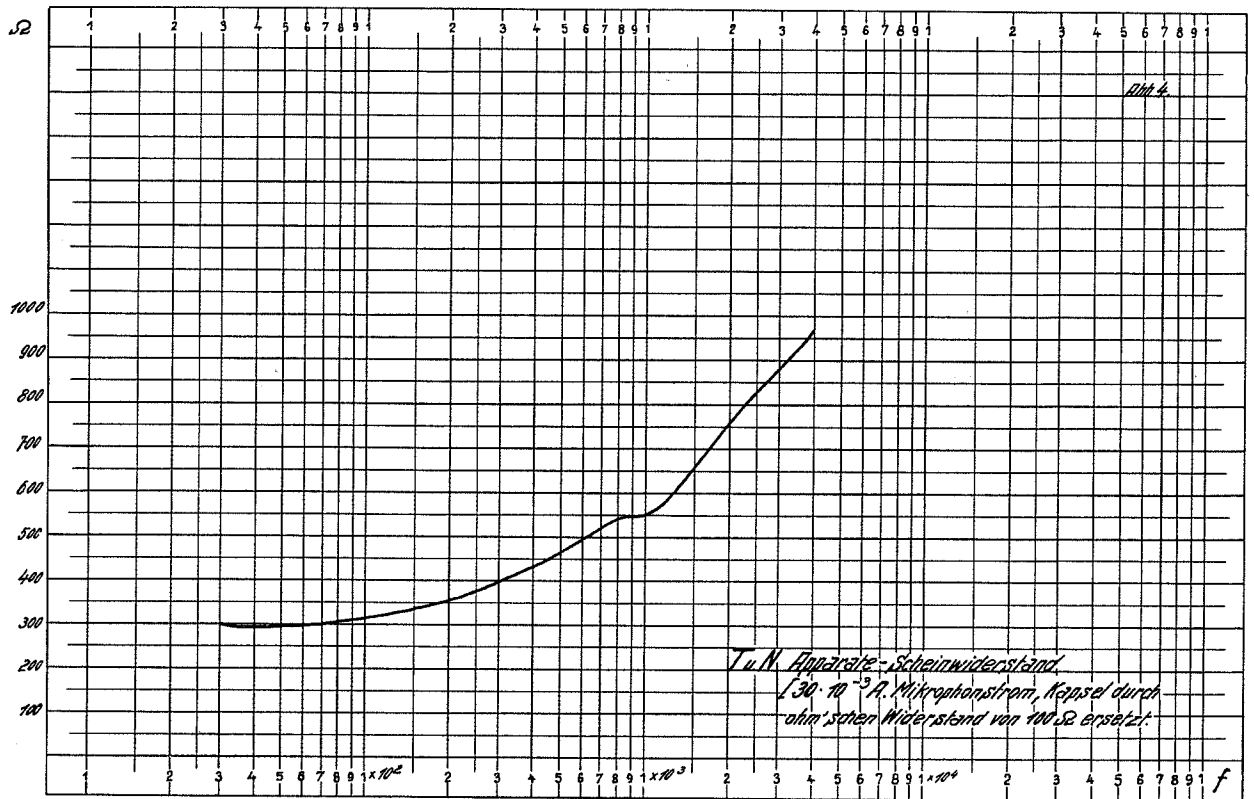


Abb. 4

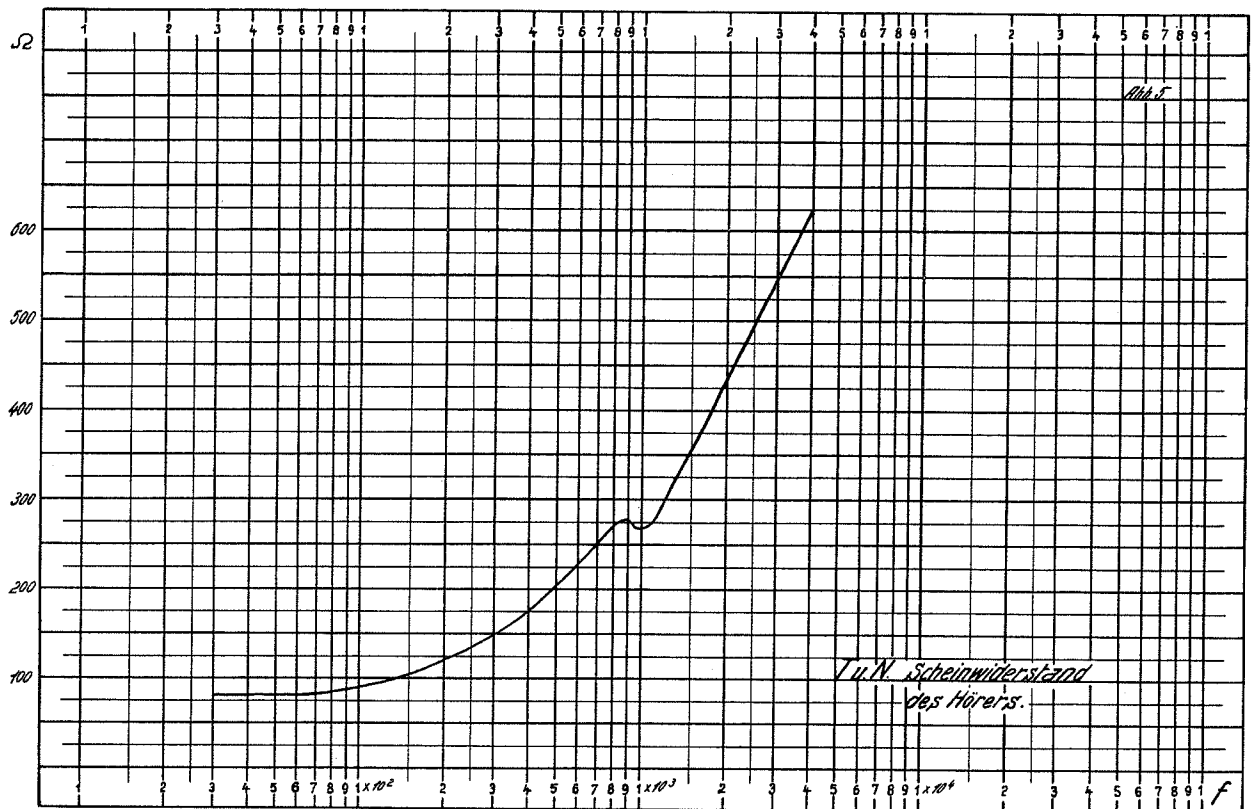


Abb. 5

Um auch über die übertragene Leistung Klarheit zu schaffen, wurden anschließend noch die Scheinwiderstände in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen, und zwar:

1. der Apparat-Eingangsscheinwiderstand im Betriebszustand, und
2. der Scheinwiderstand des Fernhörers,

und die erhaltenen Werte in den Kurven der Abb. 4 und 5 zusammengefaßt.

Aus den Werten der Spannungsübertragungsmaße und den Werten der Scheinwiderstände lassen sich dann die Leistungs-Übertragungsmaße (Leistungspegel)

$$P_n = \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{N_2}{N_1} = \ln \frac{E_2}{0,775} - \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{Z_1}$$

berechnen. Sie werden durch die Kurven 1 und 2 in Abb. 6 wiedergegeben.

Die Summe der Sende- und Empfangs-Leistungsübertragungsmaße ergibt dann das Gesamt-Leistungsübertragungsmaß des Fernsprechers und wird durch die Kurve 3 in Abb. 6 dargestellt. Die Kurve in der Abb. 7 zeigt den Apparat - Scheinwiderstand bei eingehängtem

Hörer und läßt den Wirkungsgrad bei der Ruf-frequenz von 25 Hz erkennen.

Damit sind alle für die rein elektrische Wirkungsweise des Modells Maingau wesentlichen Werte bekannt, und es bleibt noch übrig, die Verhältnisse bei der Umwandlung der akustischen Energie in elektrische beim Mikrofon und den umgekehrten Vorgang beim Fernhörer zu betrachten. Um bei diesen akustischen Messungen den tatsächlichen Verhältnissen in Bezug auf den Ort der Schallquelle, die Schallrichtung und die Lage des Mikrofones im Raum nahezukommen, wurden für die räumliche Meßanordnung die von der CCI für ihre subjektiven Messungen angegebenen Bestimmungen als Norm angenommen (Abb. 8).

Hierdurch kommt der Mittelpunkt der Schallquelle in einem Abstand von 14 cm von der Mitte der Hörer-(Sturz-)Ebene auf einer Geraden zu liegen, die mit dieser Ebene einen Winkel von 15° 30' bildet, durch ihren Mittelpunkt geht und außerdem in der Symmetrieebene des Mikro-telefones liegt. Die Schallrichtung wird bestimmt einmal durch die Richtung dieser Symmetrieebene und außerdem durch eine Ebene, die durch den

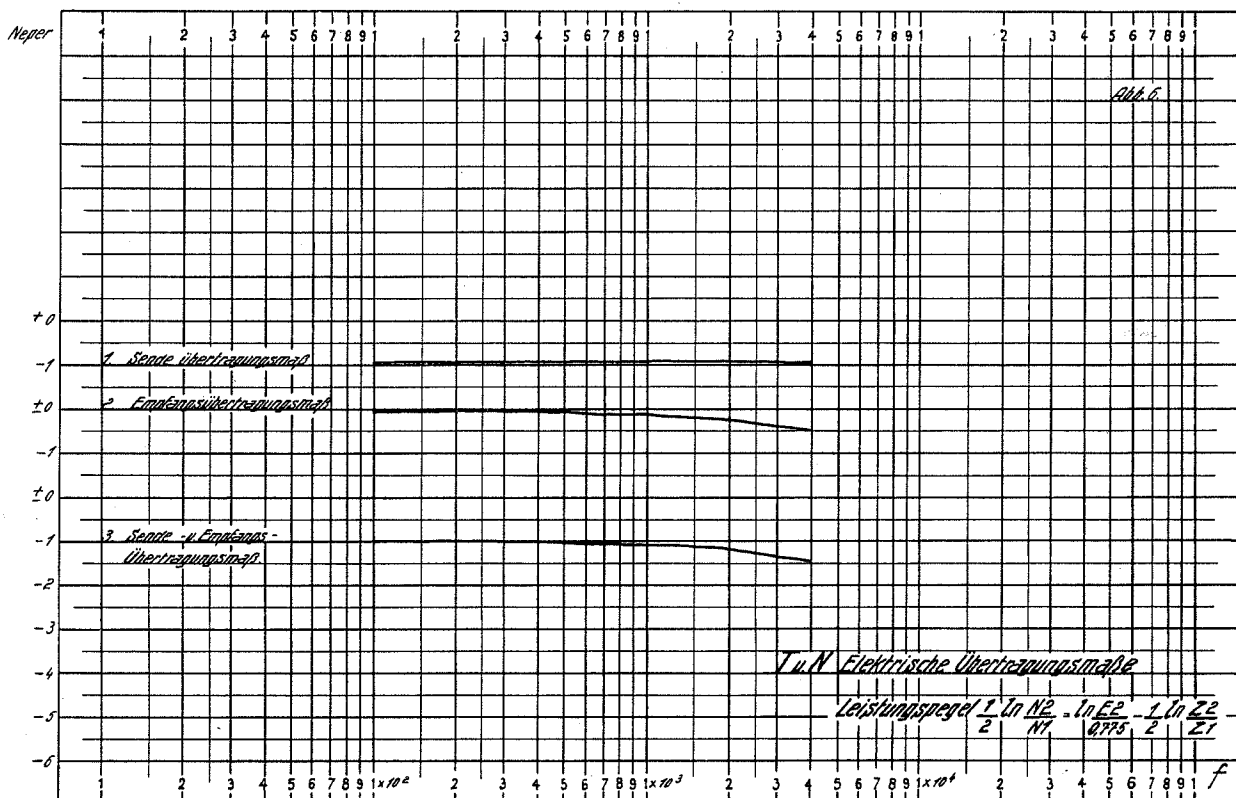


Abb. 6

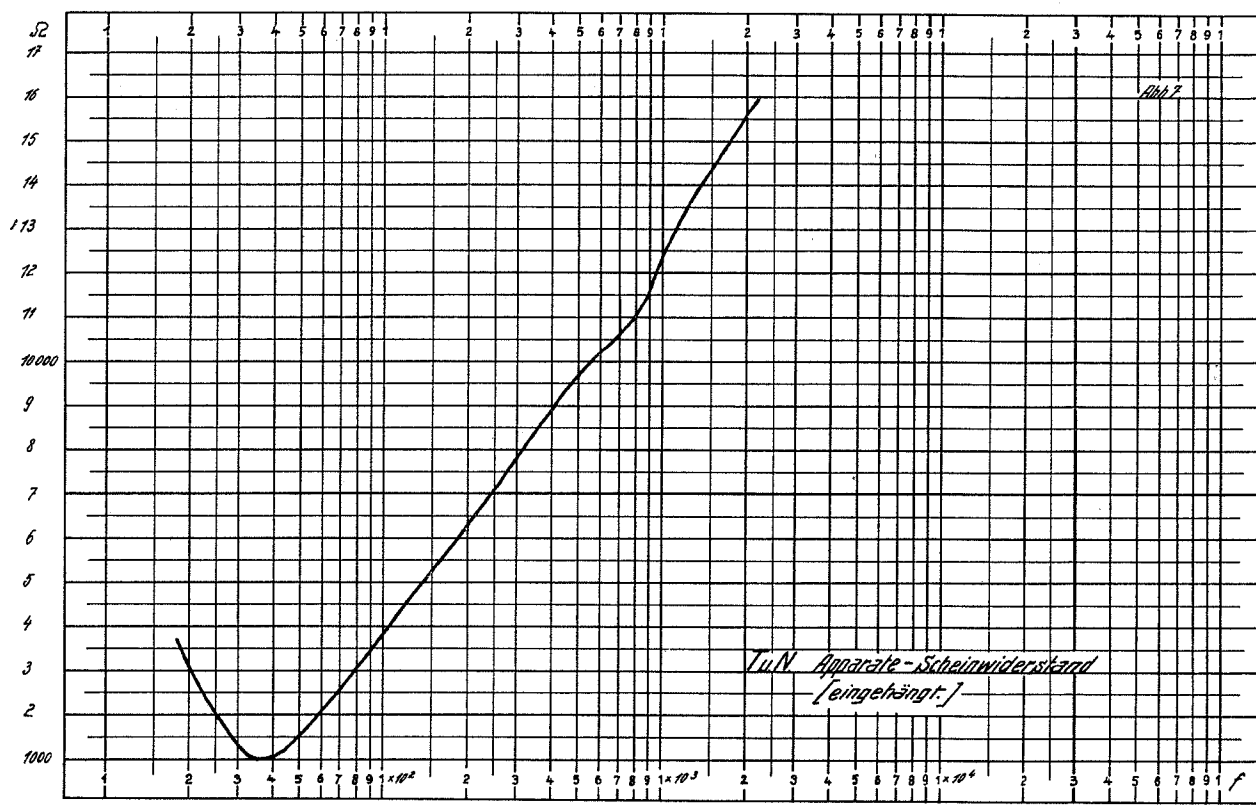


Abb. 7

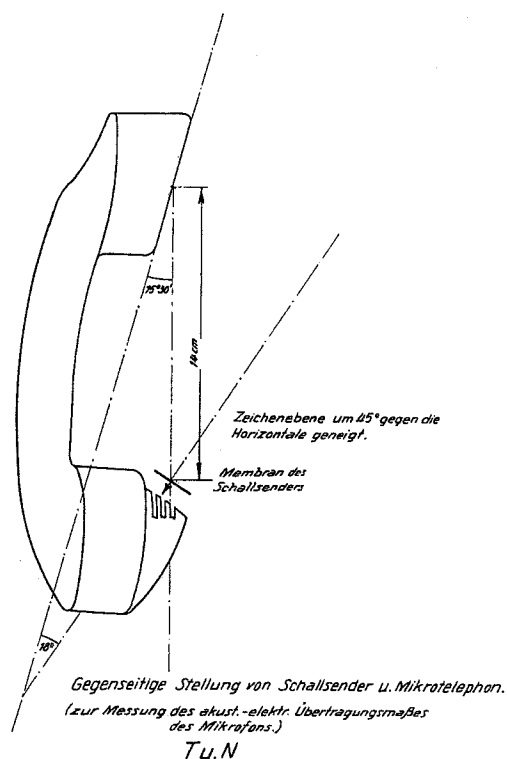


Abb. 8

Mittelpunkt des Schallsenders geht und die die Verlängerung der Hörerebene in Richtung des Mikrofones in einem Winkel von 18° schneidet. Die Lage im Raum war durch die Vorschrift gegeben, daß die Symmetrieebene des Mikrotelefones einen Winkel von 45° mit der Horizontalen bilden soll.

Als Schallsender wurde ein elektromagnetischer Hörer verwandt. Er wurde unter Zuhilfenahme einer Lehre mit dem Handapparat zusammen entsprechend den obigen Bedingungen aufgebaut. Hierbei wurde der Membranmittelpunkt als Mittelpunkt der Schallquelle angenommen.

Der akustisch-elektrische Wirkungsgrad des im Handapparat befindlichen Mikrofons wurde durch Messung der bei der Betönung in Abhängigkeit vom Schalldruck und der Frequenz am Mikrophon auftretenden EMK festgestellt (Kurve 1 in Abb. 9).

Um dabei den Einfluß des Mikrophongehäuses zu berücksichtigen, wurde der Schalldruck an dem Punkt der Gehäuseoberfläche gemessen, an dem eine vom Mittelpunkt des Schallgebers aus in der Schallrichtung verlaufende Gerade auftrifft. An

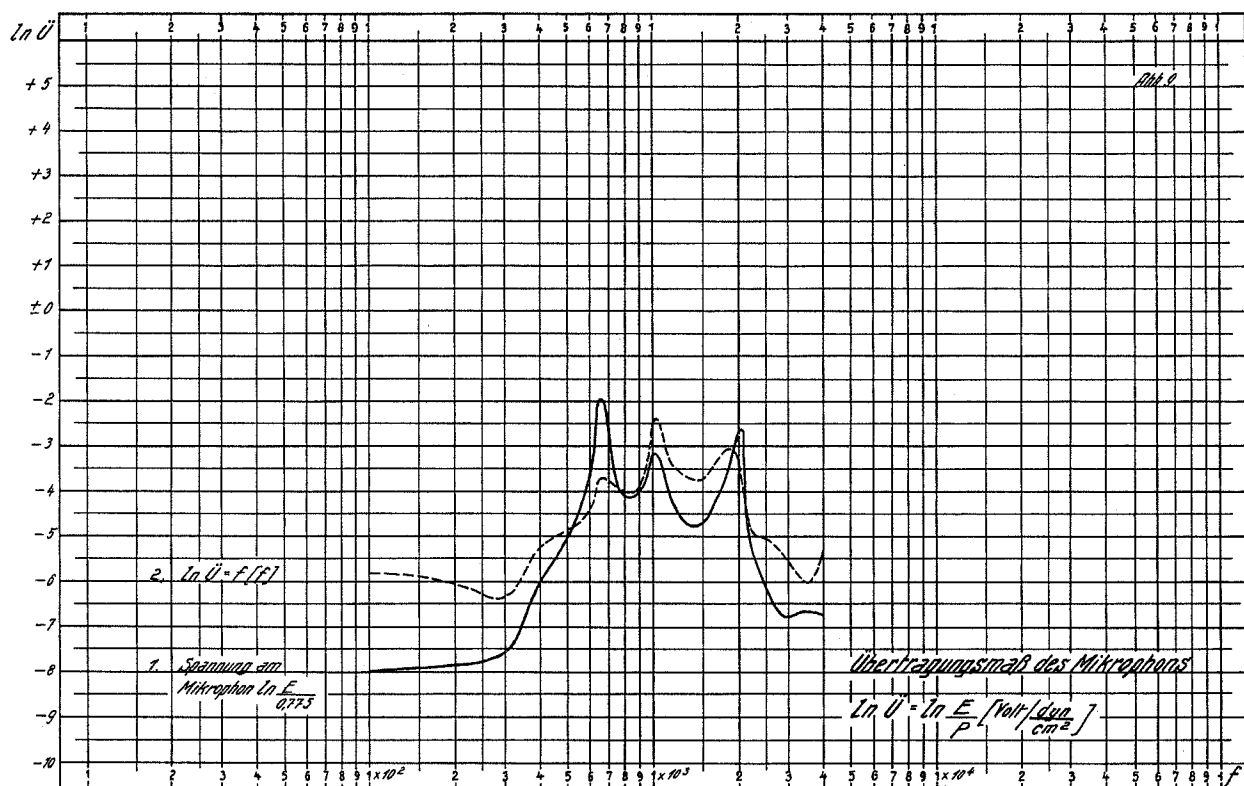


Abb. 9

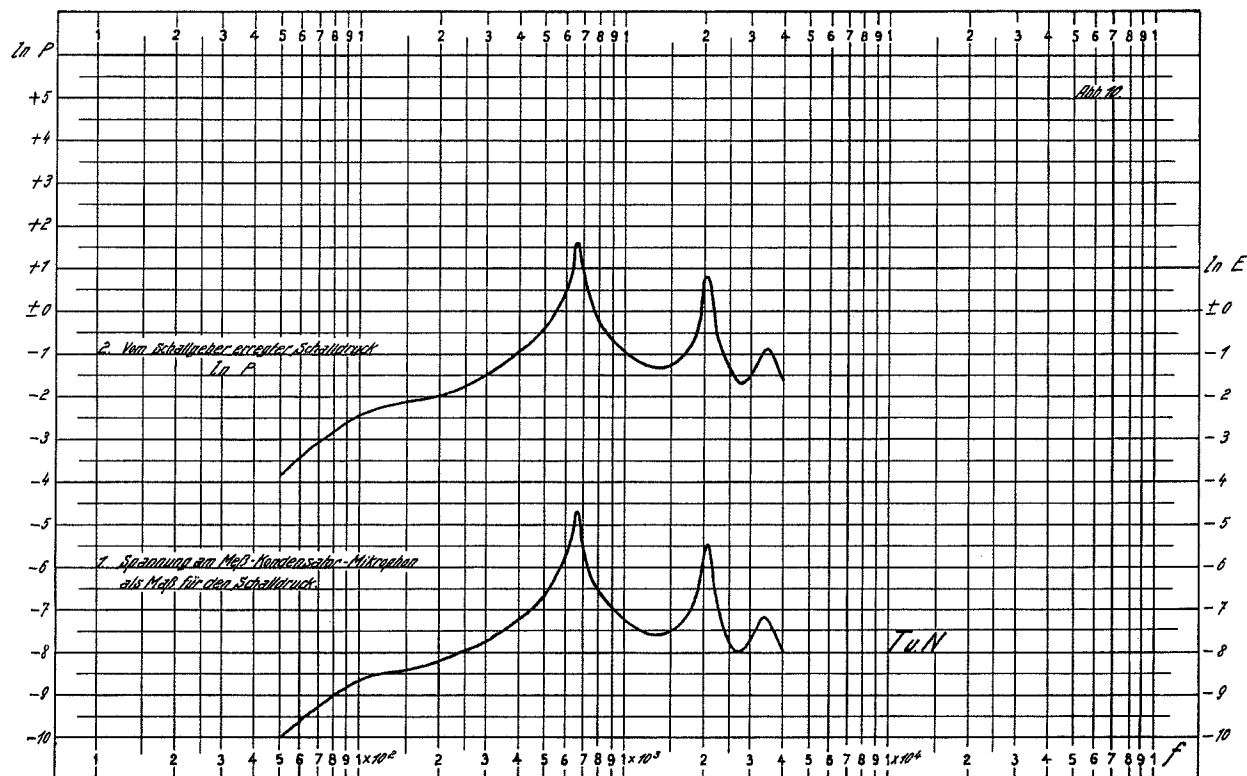


Abb. 10

diese Stelle wurde ein Kondensatormikrofon gebracht, dessen Empfindlichkeit über den fraglichen Bereich frequenzunabhängig ist. Seine Empfindlichkeit wurde mit Hilfe einer Normalsirene, die in einem Abstand von 30 cm einen Schalldruck von 3 dyn/cm^2 lieferte, ermittelt und betrug $1,47 \text{ mV}/\mu \text{ bar}$ ($1 \mu \text{ bar} = 1 \text{ dyn/cm}^2$). Die Spannungsmessergebnisse am Kondensatormikrofon und der hieraus abgeleitete Schalldruck sind in den Kurven 1 und 2 der Abb. 10 wiedergegeben.

Aus der Kurve der an dem Mikrofon gemessenen EMK (Kurve 1 in der Abb. 9) und aus der mit dem Kondensatormikrofon gemessenen Schalldruckkurve (Kurve 2 in Abb. 10) läßt sich dann die Empfindlichkeit des Mikrofons in Abhängigkeit von der Frequenz darstellen (Kurve 2 in Abb. 9).*)

Damit liegt das elektrische Uebertragungsmaß des Mikrofons in $\text{V}/\mu \text{ bar}$ fest, und es fehlt nur noch, den umgekehrten Vorgang, nämlich die Um-

wandlung der elektrischen in akustische Energie im Fernhörer zu untersuchen. Diese Prüfung beschränkte sich auf eine reine Schalldruckmessung mit dem geeichten Kondensator-Mikrofon bei konstanter Klemmenspannung am Fernhörer. Um die Unterschiede im Frequenzgang, die bei freier Schallabstrahlung und beim Drücken des Fernhörers an das Ohr entstehen, festzustellen, wurde einmal der Schalldruck bei freier Abstrahlung im Abstand von 21 mm gemessen. Bei einer zweiten Messung wurde der Raum zwischen dem Hörer und dem Kondensatormikrofon mit einer durchbohrten Filzscheibe ausgefüllt, die als akustischer Nebenschluß radiale Einschnitte hatte. Der Filzring war 14 mm dick, und seine Bohrung hatte einen Durchmesser von 30 mm. Die Kurve 1 in der Abb. 11 zeigt den Schalldruck bei freier Schallabstrahlung, während der Einfluß des Filzringes als künstlicher Gehörgang aus der Kurve 2 zu ersehen ist.

*) Anderwärts vorgenommene Messungen betrafen nur die Mikrofon-Kapsel ohne Gehäuse. Sie ergaben daher eine höhere Empfindlichkeit und eine gradlinigere Frequenzkurve. Solche Messungen geben aber natürlich kein Bild über die tatsächlichen Betriebsverhältnisse.

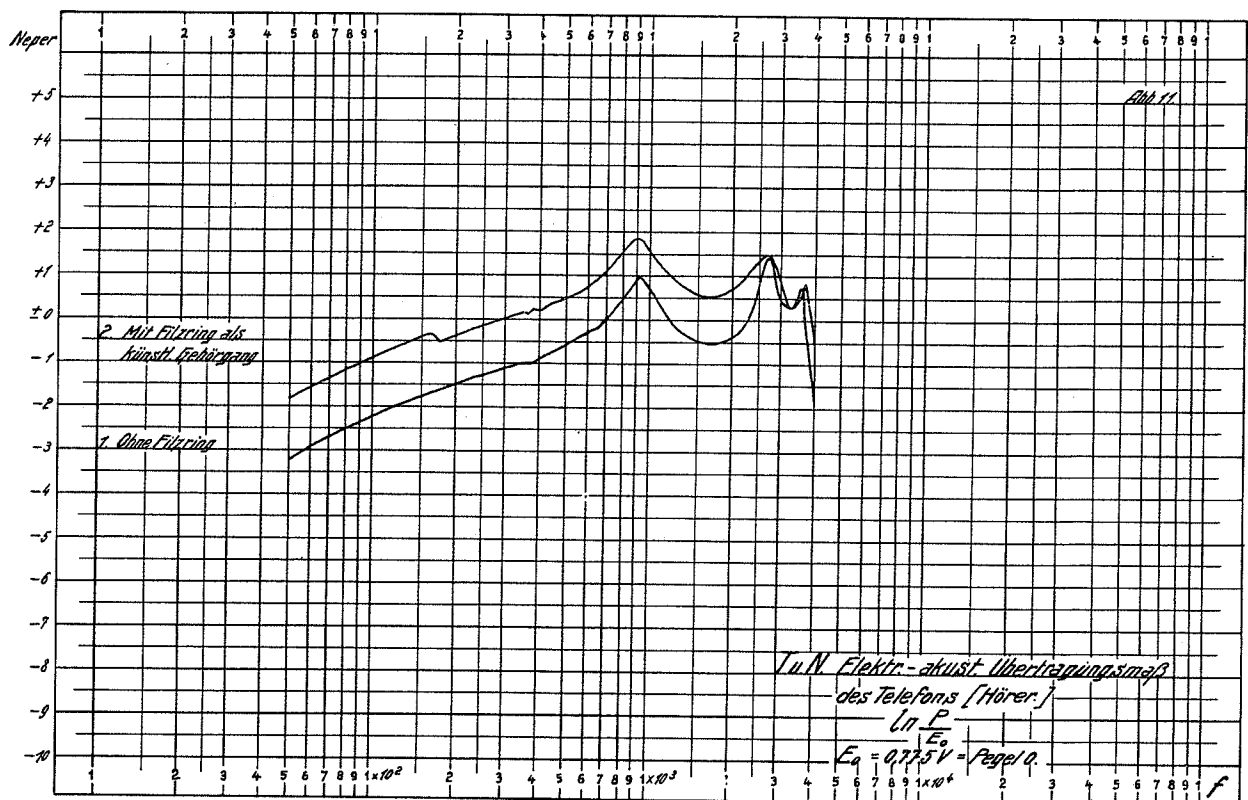


Abb. 11

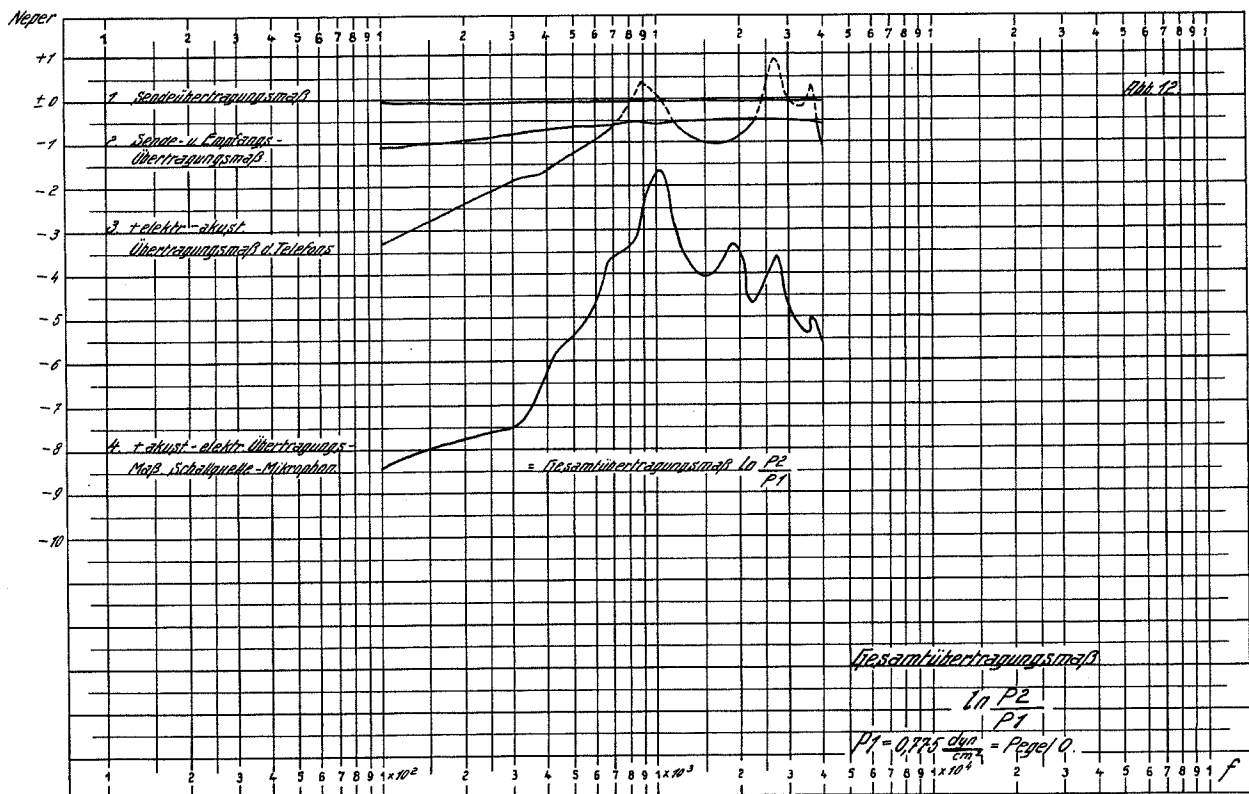


Abb. 12

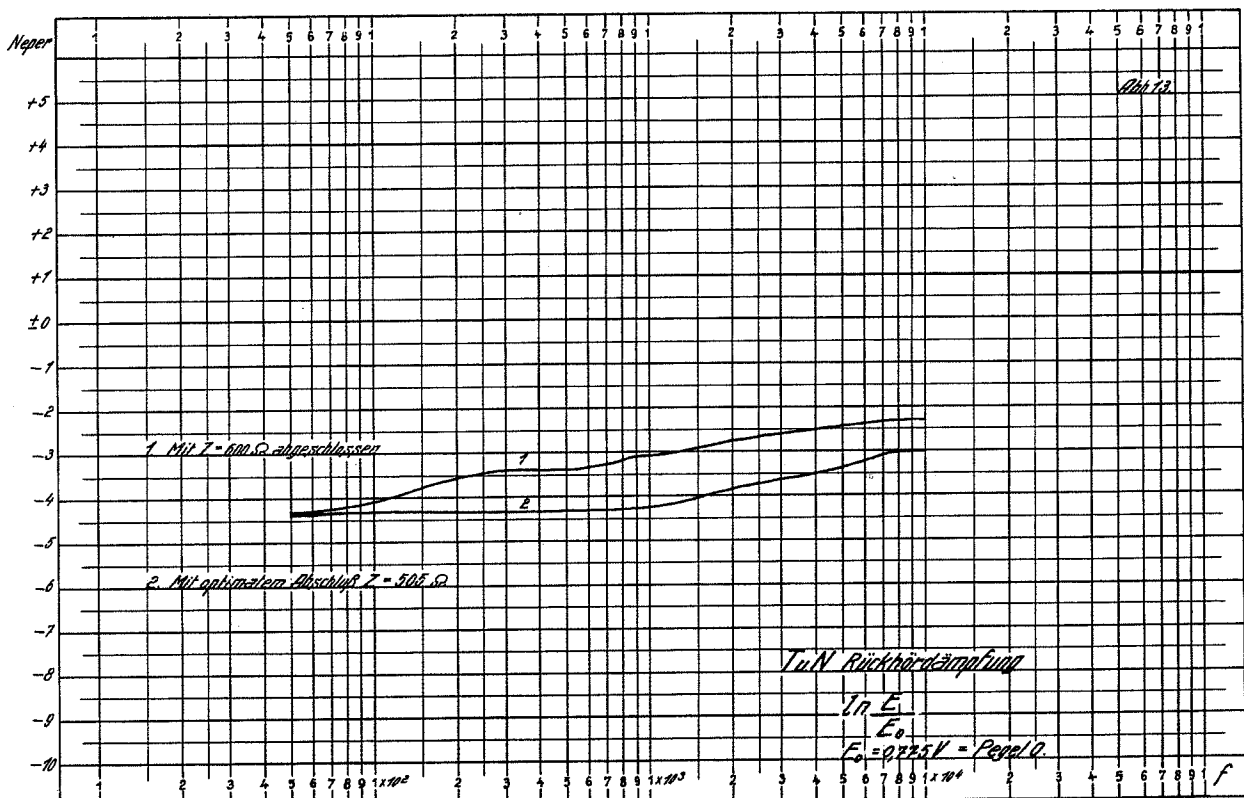


Abb. 13

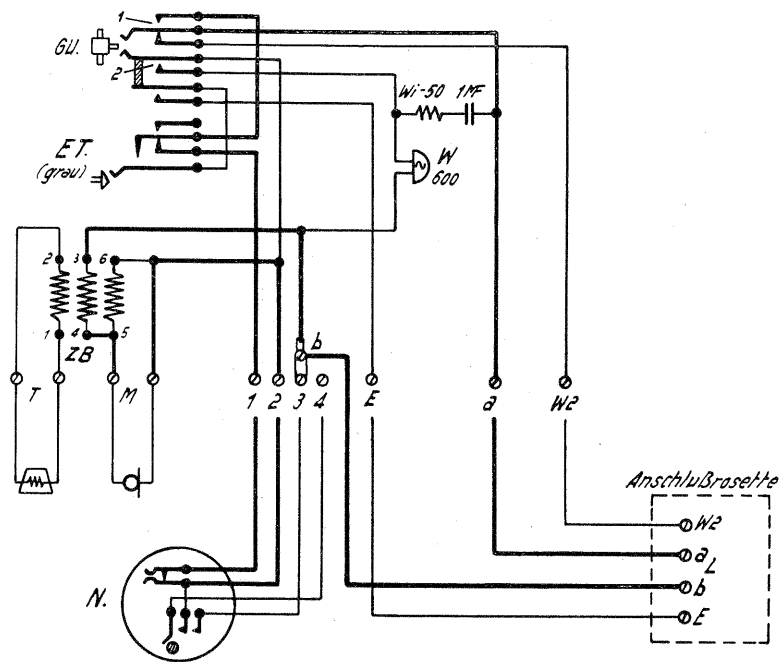


Abb. 14



Abb. 15

Um nun den Gesamtwirkungsgrad des Fernsprechers vom Schallsender am Mikrofon bis zum Hörer zu erhalten, ist lediglich eine Addition der gemessenen Einzelübertragungsmaße nötig. Dabei ergibt sich die Kurve 4 der Abb. 12. Die Kurve 1 für das Übertragungsmaß des Mikrofons ist hierbei, um in allen Fällen den Pegel 0 beim Wert 0,775 zu erhalten, auf einen Schalldruck von 0,775 dyn/cm² umgerechnet worden, und der Gesamtwirkungsgrad erscheint als der natürliche Logarithmus des Verhältnisses des Ausgangsschalldruckes zum Eingangsschalldruck von 0,775 dyn/cm², gemessen bei freier Schallabstrahlung des Fernhörers.

Es liegt in der Schaltung der üblichen Fernsprecher begründet, daß ein Teil der am Mikrofon auftretenden elektrischen Energie auch auf den eigenen Fernhörer wirkt und sich der sprechende Teilnehmer daher selbst hört. Durch besondere Schaltmaßnahmen, im allgemeinen durch eine Brückenschaltung, wird dieses „Rückhören“ zu einem großen Teil unterdrückt (Abb. 14). Ein Maß hierfür ist die sogen. Rückhördämpfung. Sie soll möglichst groß sein, hängt aber zum wesentlichen Teil vom Scheinwiderstand der angeschlossenen Leitung ab, die einen Brückenweig darstellt. Bei der Messung der Rückhördämpfung wurde als Scheinwiderstand der Leitung 600 Ohm angenommen und an den Fernsprecher angeschlossen. Das Mikrofon wurde wieder durch einen Tonfrequenzgenerator mit einem Innenwiderstand von 100 Ohm ersetzt. Das logarithmische Verhältnis der an den Fernhörerklappen gemessenen Spannung zur Generatorspannung ergibt dann die Rückhördämpfung (Kurve 1 in Abbildung 13).

Um den Wert des Leitungsscheinwiderstandes für die optimale Rückhördämpfung zu ermitteln, wurde der Widerstand bei der Generatorfrequenz 800 Hz so lange verändert, bis das Meßinstrument das Maximum der Dämpfung anzeigte. Dies trat bei einem Widerstand von $Z = 505$ Ohm ein. Die dazu gehörigen Werte der Rückhördämpfung sind aus der Kurve 2 der Abb. 13 ersichtlich.

Während sich die Hebung des Gesamtwirkungsgrades durch die elektroakustischen Fortschritte fast ausschließlich auf die Form des Handapparates ausgewirkt hat, haben neue Werkstoffe und Herstellungsverfahren sowie der Zusammenbau neuer Einzelteile den ganzen Fernsprechapparat geformt (Abb. 15).

Der Sockel und das Oberteil des Fernsprechgehäuses bestehen aus einem Stück und sind aus Isolierpreßstoff hergestellt. Das Oberteil nimmt die Nummernscheibe auf und trägt die Gabel für den Handapparat. Der Sockel enthält eine Platte aus Hartgewebe (Abb. 16), auf der der Wecker, der Kondensator, die Induktionsspule mit Rückdämpfung, die Kontaktfedern für den Gabelumschalter und die Erdtaste sowie die Anschlußklemmen für die beiden Schnüre nicht nur übersichtlich und leicht zugänglich, sondern auch so angeordnet sind, daß sie möglichst kurze Drahtverbindungen erfordern. Die Platte (Abb. 17) kann nach Lösen von drei Schrauben so weit herausgenommen werden, daß bequem an allen ihren Teilen gearbeitet werden kann. Sie ist über eine kleine Schnur mit der Nummernscheibe verbunden. Die Kontaktgabe der Nummernscheibe besitzt einen Rundfunkstörschutz (Abb. 14), der den im Weckerstromkreis liegenden Kondensator mitbenutzt. Der Wecker spricht sowohl auf 25 als auch auf 50 Hz laut und sicher an.

Alle Schnüre sind Nonhygro-schnüre und behalten daher auch in feuchten Gegenden ihre hohe Isolation bei.

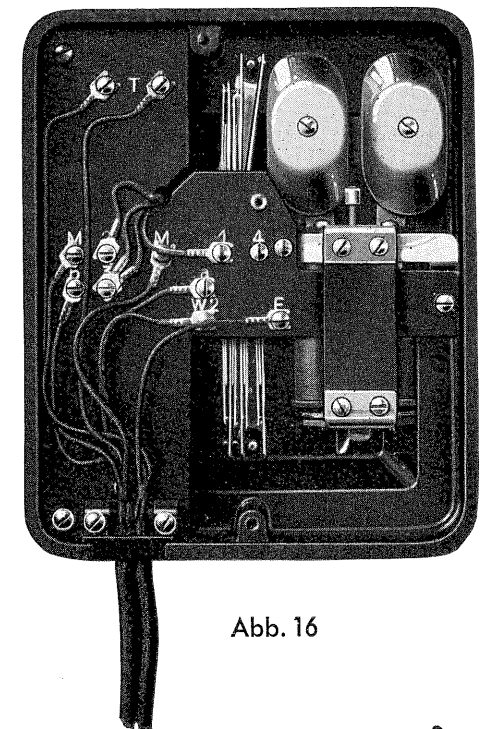


Abb. 16

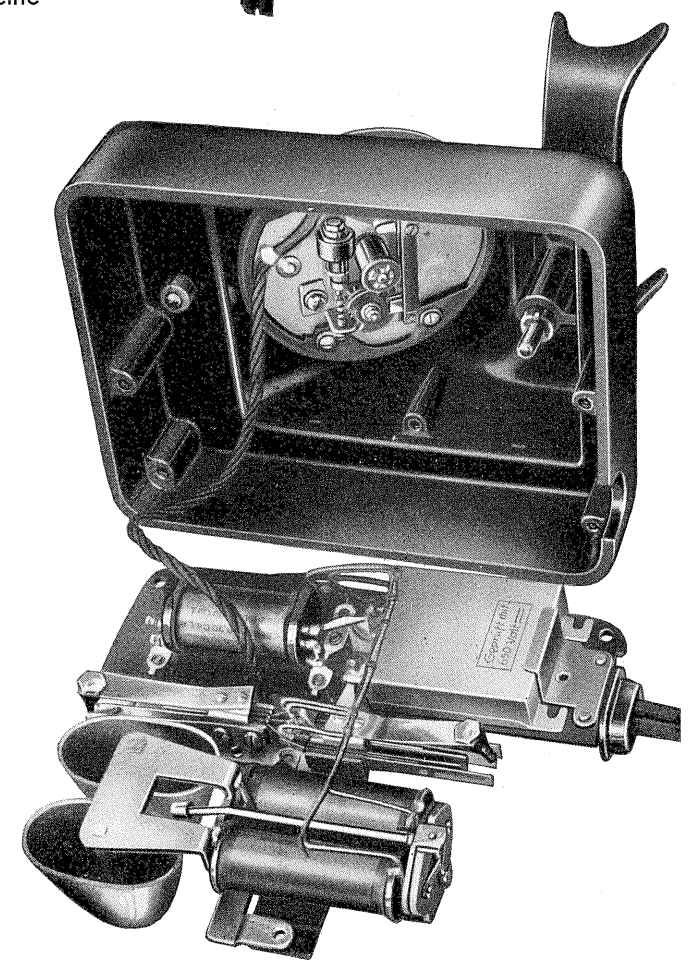


Abb. 17