

Widerstandsänderungen im Innern der Kohlekammer eines Kohlemikrophons.

(Mitteilung aus dem Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung in Berlin.)

Von Giordina Madia, Rom.

DK 621. 395. 613. 322.

Es ist bekannt, daß ein Kohlemikrophon derart arbeitet, daß der auftreffende Schalldruck unter Vermittlung einer schwingungsfähigen Membran auf einen losen Kontakt von Kohleteilchen einwirkt und hierdurch den elektrischen Widerstand dieses Kontaktes ändert. Wie aber die Schallbewegung von der Membran aus sich in die Kammer hinein fortpflanzt und welches infolgedessen die Rolle ist, die die einzelnen Kohleschichten hinsichtlich der Wirkung des Mikrophons spielen, ist bis jetzt unbekannt.

Einige Meßergebnisse, wie z. B. die Abhängigkeit der Mikrophonempfindlichkeit von der Frequenz bei gleicher Membranamplitude¹⁾ sowie Hysteresiserscheinungen zwischen Membranbewegung und Widerstandsänderung des Mikrophons²⁾, lassen vermuten, daß die Fortpflanzung der Bewegung in der Kohlekammer nicht in so einfacher Weise erfolgt, wie man zunächst annehmen könnte. Die Annahme einer Unterteilung der Kohleschichten in mehr oder weniger angesteuerte Schichten oder diejenige einer wellenförmigen Fortpflanzung der Schallbewegung im Innern der Kohlekammer sind wahrscheinlich, sie erfordern jedoch eine direkte experimentelle Bestätigung. Da die Bewegung der Kohleteilchen aus den Widerstandsänderungen ihrer Kontakte zu erkennen ist, wurde in der vorliegenden Arbeit die Verteilung dieser Widerstandsänderungen über die Kohlekammer gemessen. Die Messungen wurden an einem Postmikrophon³⁾ mit Kohlegrießfüllung ausgeführt, in das drei voneinander isolierte Elektroden eingeführt und als Sonden benutzt wurden.

Die Sonden bestehen aus dünnen Platindrähten, deren Enden ringförmig gebogen sind, um eine genügend breite Kontaktfläche mit dem Kohlepulver zu erzielen (s. Abb. 1). Die Kammerlänge

ist etwas größer als bei der normalen Ausführungsform.

Die Widerstandsänderungen der verschiedenen Schichten, die durch die Bewegung der Membran erfolgen, erzeugen entsprechende Wechselspannungen, die mit Hilfe eines Verstärkers, Gleichrichters und Anzeigeelementes gemessen werden. Das Anzeigeelement ist ein schreibendes Registrierinstrument, das erlaubt, jede Ablesung über eine längere Zeit zu verfolgen, eine

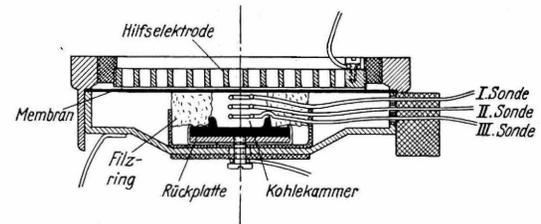


Abb. 1.

Maßnahme, die wegen der Inkonstanz des Mikrophons notwendig ist. Meist wird das Mikrophon bei jeder Ablesung ein wenig erschüttert. Beide Maßnahmen ergeben zusammen einigermaßen reproduzierbare Werte. Die Gleichstromwiderstände der verschiedenen Schichten lassen sich mit einem Gleichstromvoltmeter bestimmen. Der Ruhewiderstand des Mikrophons war etwa 500 Ohm. Um den Strom (in der Regel etwa 4 mA) konstant zu halten, lag ein großer Vorwiderstand in dem Speisekreis des Mikrophons. Vorversuche mit Betönung durch einen Lautsprecher zeigten, daß besonders bei tiefen Tönen die Mikrophonkapsel selbst durch Schall angeregt wurde und mitschwang; aus diesem Grunde wurde das Mikrophon elektrostatisch erregt.

Abb. 2 zeigt die für die Messungen benutzte Anordnung. Vor der Membran *M* ist in geringem Abstand eine starre, durchlöcherete Gegenelektrode angebracht, mit deren Hilfe man die Kohlemembran des Mikrophons über eine angelegte Gleich- und eine Wechselspannung erregen kann. Diese Vorrichtung erlaubt gleichzeitig, die Amplitude

¹⁾ von Braunmühl u. Weber, ETZ, H. 44, Nov. 1933.

²⁾ H. Salinger, ENT 6, H. 10, 1929.

³⁾ Für die freundliche Überlassung einer Reihe von Einzelteilen bin ich Herrn Dr. Droysen zu Dank verpflichtet.

der Membranbewegung mittels einer kapazitiven Hochfrequenzmethode (Verfahren der halben Resonanzkurve nach Riegger) zu messen. Zuerst wurde die Frequenzkurve der Membran aufgenommen. Das geschah in der Weise, daß zwischen

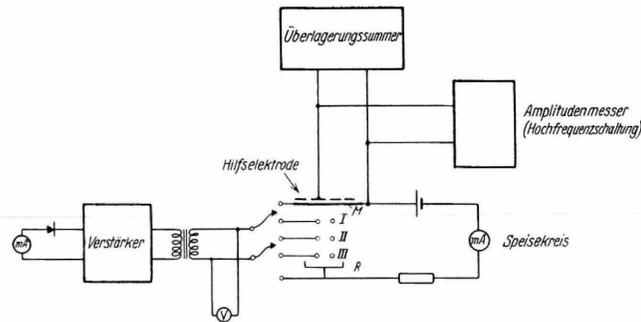


Abb. 2. Schaltschema der Meßanordnung.

Membran und Gegenelektrode eine für alle Frequenzen konstante Wechselspannung angelegt und die Amplitude am Ausgang der Hochfrequenzmeßanordnung als Ausschlag eines Röhrenvoltmeters abgelesen wurde. Das Resultat zeigt Abb. 3. Die Hauptresonanzfrequenz liegt bei etwa 1200 Hz. Die höheren Eigenperioden, bei denen die Membran sich unterteilt, werden durch die Art der Anregung und der Abnahme nicht richtig erfaßt.

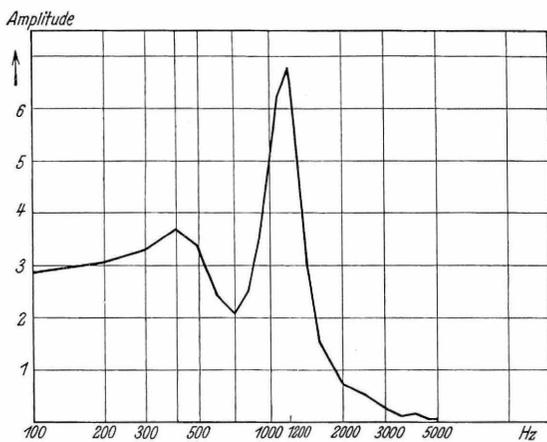


Abb. 3. Membranamplitude in Abhängigkeit von der Frequenz bei konstanter elektrostatischer Erregung.

Hält man bei verschiedenen Frequenzen den Ausschlag am Anzeigeeinstrument der Hochfrequenzanordnung konstant, so erregt man das Mikrophon mit konstanter Membranamplitude, wenigstens bis zu dem Bereich der Membrangrundperiode. Abb. 4 gibt für diesen Fall die entsprechende Aussteuerung des Mikrophons, d. h. es sind jeweils die Werte der am ganzen Mikrophon erzeugten Wechselspannung durch die am Mikrophon

liegende Gleichspannung aufgetragen. Die Kurven, die bei den verschiedenen Membranamplituden aufgenommen wurden, zeigen, daß die Aussteuerung, wie zu erwarten, bis zur Grundperiode der Membran, d. h. bis etwa 1200 Hz, einigermaßen konstant ist, daß aber oberhalb davon zwei Resonanzfrequenzen bei etwa 2000 und 3500 Hz auftreten. Ob diese Stellen auf Resonanzen in der Kohlekammer bzw. des umschließenden Gehäuses zurückgehen, oder ob sie, was wahrscheinlicher ist, auf der Art der Amplitudenmessung, die unter-

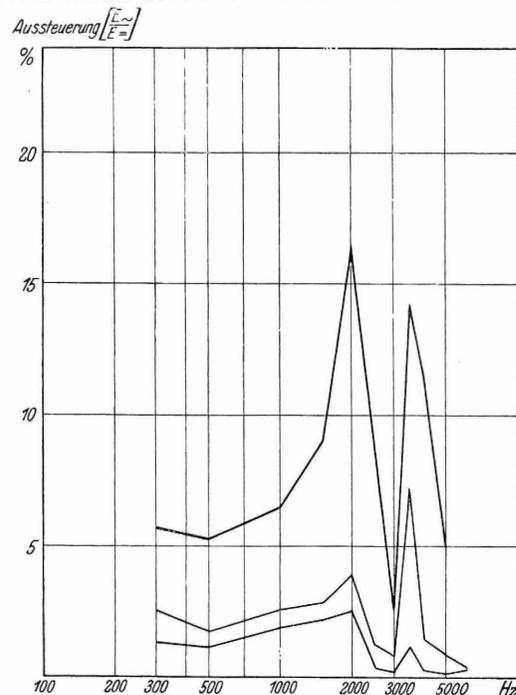


Abb. 4. Aussteuerung des Mikrophons bei verschiedenen Amplituden in Abhängigkeit von der Frequenz.

teilt schwingende Flächen wenig oder gar nicht anzeigt, beruhen, konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung in der zur Verfügung stehenden kurzen Zeit nicht geklärt werden⁴⁾. In der gleichen Weise wurde auch die Aussteuerung der Kohleschichten zwischen Membran und erster, Membran und zweiter bzw. dritter Sonde gemessen. Die Kurven sind für eine bestimmte Amplitude der Membranbewegung in Abb. 5 dargestellt, wobei als Abszisse die Sondenabstände, als Ordinate die zwischen Membran und jeweiliger Sonde gemessene Aussteuerung aufgetragen ist. Aus dieser Darstellung ist zu erkennen, daß die Aus-

⁴⁾ Truscott im I. E. E. 74, S. 91, 1934 findet übrigens gleichfalls bei Messungen mit konstanter Membranamplitude eine Vergrößerung der Empfindlichkeit bei 2000 Hz.

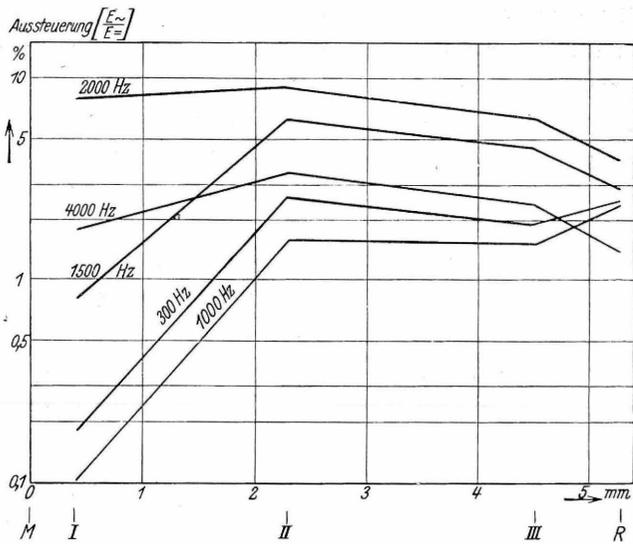


Abb. 5. Aussteuerung des Mikrophons bei verschiedenen Frequenzen.

steuerung der Kohleschichten nicht überall die gleiche ist; für tiefe Frequenzen ist sie in der

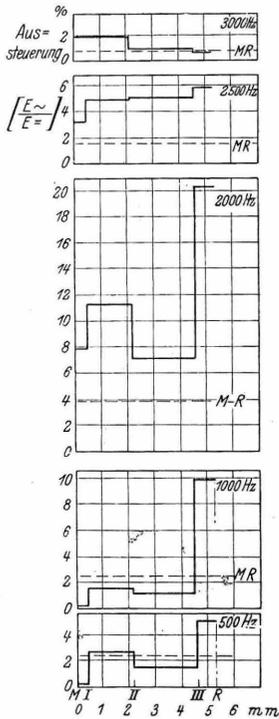


Abb. 6. Aussteuerung aufeinanderfolgender Schichten des Kohlemikrophons.

ersten Schicht (Membran — erste Sonde) sehr klein im Vergleich zu der des ganzen Mikrophons, während für höhere Frequenzen dies nicht zutrifft⁵⁾. Noch besser geht diese Tatsache aus einer Messung der verschiedenen unmittelbar aufeinanderfolgenden Schichten hervor. Man erhält hierbei die Kurven der Abb. 6, bei denen als Abszisse die Sondenabstände, als Ordinate die jeweilig zwischen den Sonden gemessene Aussteuerung, aufgetragen ist. Man kann auch hieraus erkennen, daß mit zunehmender Entfernung von der Membran die Widerstandsänderungen im allgemeinen zunehmen, aus-

genommen bei der Frequenz 3000 Hz, bei der im Gegenteil ein geringer Abfall vorhanden ist,

⁵⁾ Möglicherweise lagen hier besondere Verhältnisse vor, weil der Abstand Membran — 1. Sonde sehr klein und vergleichbar mit dem Kohlekorndurchmesser war.

wenngleich der Unterschied zwischen den Aussteuerungen der verschiedenen Schichten nicht groß ist. Ferner zeigt sich, daß für einige Frequenzen die Aussteuerung am ganzen Mikrophon (*MR*) kleiner ist, als sich aus den Werten an den Teilschichten ergeben müßte. Die Vermutung liegt daher nahe, daß Phasenunterschiede im Innern der Kohlekammer zwischen den einzelnen Teilspannungen auftreten.

Um dies festzustellen, wurden die Wechselspannungen nicht nur im Betrag, sondern auch im Phasenwinkel gemessen. Zu diesem Zweck wurde ein Kathodenstrahloszillograph (von Ardenne) mit zwei senkrecht zueinander stehenden Plattenpaaren benutzt. Das eine Plattenpaar erhielt die verstärkte Mikrophonspannung, am anderen lag eine Vergleichsspannung derselben Frequenz, entnommen aus dem Überlagerungssummeer, der gleichzeitig die Spannung zur elektrostatischen Anregung der Mikrophonmembran lieferte. Beide

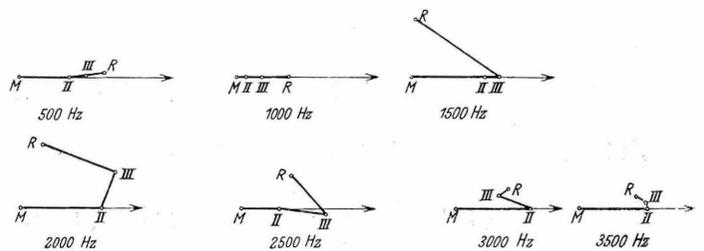


Abb. 7. Phasendifferenz der einzelnen Schichten des Kohlemikrophons.

Spannungen wurden der einfacheren Ablesung wegen gleich groß gemacht. Man erhält eine Ellipse auf dem Schirm der Braunschen Röhre, aus deren Achsenverhältnis die Phasendifferenz zwischen Vergleichs- und Mikrophonspannung folgt. Legt man der Reihe nach die einzelnen Teilspannungen des Mikrophons an, so kann man durch jeweiligen Vergleich mit der Normalspannung die Unterschiede gegeneinander ermitteln. Diese Phasenunterschiede ändern sich in Abhängigkeit von der Frequenz; in Abb. 7 sind die Teilspannungen vektoriell dargestellt. Bei tiefen Frequenzen sind Phasenunterschiede zwischen den verschiedenen Kohleschichten kaum bemerkbar. Das Kohlepulver schwingt in der ganzen Kammer praktisch gleichphasig. Die Phasenunterschiede nehmen mit steigender Frequenz bedeutend zu; bei 2000 Hz beispielsweise sind zwischen den aufeinanderfolgenden Schichten Phasenwinkel von

etwa 90° vorhanden. Auch hier läßt die benutzte Anordnung nicht entscheiden, woher diese Phasenunterschiede rühren. Sie können durch Ausbreitung einer Schallwelle in der Kohlekammer entstehen. Sie können aber auch durch Mitschwingen der Rückplatte oder ähnliche Erscheinungen hervorgerufen werden; diese Fragen werden sich nur mit besonderen Mikrophonkonstruktionen klären lassen. In der vorliegenden Arbeit lag der Hauptwert darauf, festzustellen, wie die praktisch in der Fernsprechtechnik verwendeten Mikrophone sich verhalten.

Aus der vorstehend beschriebenen Untersuchung hat sich als wichtigstes folgendes ergeben: Für die in der Praxis verwendete Mikrophonform zeigt sich, daß für die tiefen Frequenzen die Aussteuerung so ist, wie man zu erwarten hat. Bei gleicher Membranamplitude bleibt sie in Abhängigkeit von der Frequenz konstant; die einzelnen Schichten der Kohlekammer liefern zur Gesamtspannung

gleichphasige Anteile. Die Aussteuerung ist bei dem benutzten Mikrophonexemplar an der Rückplatte am stärksten.

Für die hohen Frequenzen treten komplizierte Erscheinungen auf, die z. T. mit der Unterteilung der Membran, z. T. mit Schwingungserscheinungen im Innern der Kohlekammer zusammenhängen dürften. Die einzelnen Teile der Kohlekammer schwingen nicht mehr gleichphasig; dadurch tritt eine erhebliche Verminderung der Mikrophonempfindlichkeit ein.

Die vorliegende Arbeit wurde als Gastarbeit im Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung an der Technischen Hochschule zu Berlin ausgeführt. Herrn Prof. Meyer, der die Anregung zu dieser Arbeit gab, und mich stets bereitwilligst mit seinem Rat unterstützte, spreche ich hiermit meinen ergebensten Dank aus.

(Eingegangen am 11. Juli 1934.)