

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 26 (1935)

**Heft:** 25

**Artikel:** Mikrophone für Rundspruchzwecke

**Autor:** Furrer, W.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060352>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Mikrophone für Rundspruchzwecke.

Von W. Furrer, Bern.

621.395.613.3

*Die elektro-akustischen Eigenschaften von vier modernen Mikrofonen, die für Rundspruchzwecke Verwendung finden, werden an Hand von Messresultaten diskutiert. Für die Bedürfnisse des Betriebes sind naturgemäß nicht einzig die gemessenen Eigenschaften wichtig, sondern die praktischen Fragen der Betriebssicherheit, einfachen Bedienung usw. spielen auch ihre Rolle. Da sich diese beiden Forderungen oft diametral entgegenstehen, muss nach einem zweckmässigen Kompromiss gesucht werden. Für den Studiobetrieb scheint dieser Kompromiss heute beim Geschwindigkeitsempfänger zu liegen, während für Außenübertragungen das Moving Coil-Mikrofon zweifellos am besten geeignet ist.*

Im Verlaufe der letzten 2 bis 3 Jahre kamen eine Anzahl prinzipiell neuer Mikrophontypen zur praktischen Verwendung, so dass es wünschenswert schien, sich durch experimentelle Untersuchungen ein möglichst klares Bild über ihre praktischen Verwendungsmöglichkeiten zu verschaffen.

Die *Forderungen*, die an ein Mikrofon für Rundspruchzwecke gestellt werden, sind sehr vielseitig. Das Mikrofon hat zusammen mit dem Lautsprecher und dem sie verbindenden Uebertragungssystem die Aufgabe, die Grössen eines an einem Orte A existierenden Schallfeldes an einen Ort B zu übertragen. Da für einen Punkt das dort herrschende Schallfeld entweder durch den zeitlichen Verlauf des Schalldruckes oder der Schallschnelle an dieser Stelle bestimmt ist, ergeben sich prinzipiell zwei Möglichkeiten für die Konstruktion eines Mikrofons: Ansprechen auf Schalldruck oder auf Schallschnelle.

Neben dieser rein akustischen Unterteilung der Mikrofone in Druckempfänger und Geschwindigkeitsempfänger bestehen grundsätzliche Unterschiede elektrischer Art. Zur praktischen Verwendung für Rundspruchzwecke gelangen Kontakt- oder Kohlemikrophone, elektrostatische Mikrophone, elektrodynamische Mikrophone und piezoelektrische Mikrophone.

Ganz allgemein arbeitet ein Mikrofon dann verzerrungsfrei, wenn seine Klemmenspannung (oder diejenige des dazugehörigen Verstärkers) proportional dem in der freien, ungestörten Schallwelle vorhandenen Schalldruck (Schallschnelle für Geschwindigkeitsempfänger) ist. Der Proportionalitätsfaktor muss dabei von der Frequenz unabhängig sein.

Wenn die Klemmenspannung dem Schalldruck oder der Schallschnelle nicht proportional ist, spricht man von *nichtlinearen Verzerrungen*. Trotz eines sinusförmigen Schalldruckes ist dann die Spannung nicht mehr sinusförmig, sondern neben der Grundschwingung sind noch die durch die Nichtlinearität des Mikrofons entstandenen Oberschwingungen vorhanden. Als Mass der nichtlinearen Verzerrungen dient der *Klirrfaktor*, der als das Verhältnis des Effektivwertes aller Oberschwingungen zum Effektivwert der Grundschwingung definiert ist.

*L'auteur examine, sur la base de mesures faites, les propriétés électro-acoustiques de quatre types de microphones modernes destinés aux émissions radiophoniques. Il est clair que, pour les besoins de l'exploitation, les propriétés mesurées n'entrent pas seules en considération, mais que les côtés pratiques, tels que la sécurité en service, la simplicité de maniement, etc., jouent également leur rôle. Ces deux exigences étant souvent diamétralement opposées, il faut chercher un compromis acceptable. Pour le studio, il semble que la bonne solution est le microphone à ruban, tandis que pour les émissions en plein air, c'est sans doute le microphone du type «moving coil» qui se prête le mieux.*

Wenn der Proportionalitätsfaktor zwischen Schalldruck oder Schallschnelle und Klemmenspannung frequenzabhängig ist, spricht man von *linearen Verzerrungen*. Es ist dabei wesentlich, dass nicht auf den tatsächlich auf das Mikrofon wirkenden Schalldruck bezogen wird, sondern auf den Schalldruck, der in der freien, ungestörten Welle (ohne das «störende» Mikrofon) vorhanden wäre. Da die linearen Abmessungen der meisten Mikrophone sich mit steigender Frequenz der Schallwellenlänge nähern, erzeugt das Mikrofon im Schallfeld eine Drucktransformation (Druckerhöhung durch Beugungsscheinungen), die die Wiedergabe bei diesen Frequenzen fälscht.

Der Proportionalitätsfaktor zwischen Schalldruck und Klemmenspannung des Mikrofons wird *Empfindlichkeit* genannt und in mV/ $\mu$ Bar ausgedrückt.

Die nichtlinearen Verzerrungen sind bei den elektrodynamischen, elektrostatischen und piezoelektrischen Mikrofonen außerordentlich klein. Für ein Kondensatormikrofon beträgt der Klirrfaktor beispielsweise nur 0,09 % bei 50 Per./s und 100  $\mu$ Bar. Ein Bändchen-Mikrofon ergibt unter den gleichen Bedingungen 0,12 %<sup>1)</sup>. Da bei einem modernen Grosssender der Klirrfaktor bei voller Aussteuerung aus wirtschaftlichen Gründen nicht kleiner gemacht wird als 4 % und selbst gute Empfänger sogar bis zu 10 % Klirrfaktor aufweisen, fallen die nichtlinearen Verzerrungen der erwähnten Mikrofone gar nicht in Betracht.

Bei Kontaktmikrofonen sind die Verhältnisse vollständig anders. Selbst ein hochwertiges Kohlemikrofon kann bei nur 12  $\mu$ Bar Schalldruck schon 9 % Klirrfaktor aufweisen<sup>2)</sup>. Ungünstig ist weiter der Umstand, dass die Kohlemikrofone mit einer Reizschwelle behaftet sind, d. h. sie reagieren erst von einem bestimmten minimalen Schalldruck an, der in der Gegend von etwa 0,01  $\mu$ Bar liegt<sup>2)</sup>. Ein Schalldruck von 0,01  $\mu$ Bar ruft jedoch bei 1000 Per./s bereits eine Lautstärke-Empfindung von 30 Phon hervor. Das Vorhandensein der Reizschwelle führt zu einer Verstümmelung der feinsten Abklingvorgänge und gibt dem Klang etwas Stumpfes, was häufig durch eine gewisse Ueberakustik des Studios auszugleichen versucht wird<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> C. A. Hartmann, Z. techn. Physik, 1932, S. 9.

<sup>2)</sup> C. A. Hartmann, Elektr. Nachr. Techn. 1928, S. 344.

Die nichtlinearen Verzerrungen sind neben dem unvermeidlichen Grundgeräusch und der Empfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeit der Hauptgrund, warum Kohlemikrophone trotz ihrer überaus einfachen Konstruktion heute für Qualitätsübertragungen kaum mehr verwendet werden.

Die elektrodynamischen, elektrostatischen und piezoelektrischen Mikrophone sind, wie gesagt, fast völlig frei von nichtlinearen Verzerrungen.

Die für ihre praktischen Verwendungsmöglichkeiten hauptsächlich noch ins Gewicht fallenden Unterschiede liegen also bei den verschiedenen Empfindlichkeiten und den linearen Verzerrungen (d. h. dem Frequenzgang), deren Messung Gegenstand der vorliegenden Arbeit bildet.

### Gang der Messungen.

Folgende Mikrophone wurden untersucht:

1. Ein Moving Coil-(Tauchspulen-) Mikrophon der Standard Telephones and Cables, London (Konstruktion der Western Electric), elektrodynamischer Druckempfänger (Fig. 1).
2. Ein Kondensatormikrophon von Telefunken, Berlin, elektrostatischer Druckempfänger (Fig. 3).
3. Ein Ribbon-(Bändchen-) Mikrophon von British Broadcasting Corp.-Marconi, London, elektrodynamischer Geschwindigkeitsempfänger (Fig. 5).
4. Ein Kristallmikrophon der Brush Development Co., Cleveland U. S. A., piezoelektrischer Druckempfänger (Fig. 7).

Bei allen diesen Mikrofonen wurde innerhalb eines Frequenzbereiches von 100 bis 9000 Per./s und Schalleinfalls winkeln von 0 bis 180° die relative Empfindlichkeit, bezogen auf 1000 Per./s und 0°, gemessen. Für die Messungen wurde ein kontinuierlich ablaufender Schwebungssummen und ein mit ihm synchron laufendes, logarithmisch anzeigen des Registrierinstrument benutzt (Pegelschreiber von Siemens & Halske).

Als Tonquelle diente für den Frequenzbereich 100 bis 4000 Per./s ein gewöhnlicher elektrodynamischer Lautsprecher. Da der Messraum bei den tiefen Frequenzen noch ausgeprägte, stehende Wellen aufwies, wurde innerhalb dieses Bereiches mit Heultönen ± 50 Per./s gemessen.

Für den Bereich von 3000 bis 10 000 Per./s, der für die vorliegende Untersuchung hauptsächlich wichtig war, wurde als Tonquelle ein besonderer elektrodynamischer Hornlautsprecher mit Aluminiummembranen verwendet <sup>3)</sup>. Bei diesen Frequenzen war auch die Dämpfung des Messraumes so gross, dass der Schalldruck bis zu Entfernung von mehr als 50 cm vom Lautsprecher genau nach  $1/r$  abfiel. Es konnten daher zur Messung reine Töne verwendet werden. Die Entfernung Mikrophon-Lautsprecher betrug dabei 40 cm, was bei 3000 Per./s immer noch mehr als  $3 \lambda$  ausmacht, so dass mit sehr guter Annäherung ebene Schallwellen vorausgesetzt werden können.

<sup>3)</sup> L. G. Bostwick, J. Acoust. Soc. Amer. 1930, S. 242.

Der Frequenzgang der zur Messung verwendeten Lautsprecher wurde mit einem Messmikrophon bestimmt, das mit Hilfe einer Rayleigh-Scheibe absolut geeicht worden war. Durch Vergleich mit andern absolut geeichten Mikrofonen konnte eine sehr gute Übereinstimmung für Frequenzen von 50 bis 3000 Per./s festgestellt werden, während oberhalb von 4000 Per./s Abweichungen bis zu etwa 0,5 Neper auftraten. Der absolute Verlauf der gemessenen Kurven kann also für Frequenzen oberhalb von 4000 Per./s um etwa 0,5 Neper von der Wirklichkeit abweichen. Die relativen Lagen der einzelnen Kurven für verschiedene Einfallsinkel sowie die absoluten Empfindlichkeiten bei 1000 Per./s waren jedoch bis auf etwa 0,1 Neper genau bestimmbar.

Fig. 5 bis 8 sind graphische Darstellungen der gemessenen Werte sowohl in Funktion der Frequenz als auch des Einfallsinkels. Zu den Polardiagrammen ist zu bemerken, dass die meisten Kurven zwischen 90° und 180° in Wirklichkeit nicht so glatt verlaufen, wie sie gezeichnet sind, sondern infolge Interferenzerscheinungen mit den gebogenen Schallwellen kleine Minima und Maxima (bis zu ± 0,1 Neper) aufweisen, die aber für die Beurteilung der praktischen Verwendbarkeit des Mikrofons nicht in Betracht fallen.

### Diskussion der Resultate.

Je nach der relativen Stellung des Mikrofons zum Klangkörper trifft der direkte Schall unter einem mehr oder weniger grossen Einfallsinkel auf das Mikrophon. Man kann annehmen, dass sich im allgemeinen alle Schallquellen innerhalb eines Winkelraumes von ± 45° in bezug auf eine Senkrechte zum Mikrophon befinden. Für den direkten Schall ist also der mittlere Frequenzgang für Einfallsinkel von 0° bis 45° massgebend, vorausgesetzt, dass das Mikrophon «en face» zum Klangkörper steht.

Für die Wiedergabe des reflektierten Anteils muss jedoch der mittlere Frequenzgang für alle Einfallsinkel, d. h. von 0° bis 180° betrachtet werden. Es ist also wichtig, dass man sich darüber klar ist, wie sich der Anteil des direkten Schalles zum Anteil des reflektierten Schalles verhält.

Das folgende Zahlenbeispiel gibt darüber Aufschluss:

#### Annahmen.

Studio-Dimensionen . . . . .	20 m, 12 m, 8 m
Rauminhalt V . . . . .	1920 m <sup>3</sup>
Totale Oberfläche S . . . . .	992 m <sup>2</sup>
Mittl. Absorptionskoeffizient $\alpha$	0,25
Nachhallzeit T . . . . .	1,08 s
Orchester, auf eine Tiefe von 6 m aufgestellt	
Mikrophon, 2 m vor dem vordersten Musiker,	
5 m von der Mitte des Orchesters entfernt.	

Eine nicht gerichtete Schallquelle mit der Leistung  $E$  erg/s erzeugt im Raum eine mittlere Energiedichte:

$$I = \frac{4 E (1 - a)}{S \cdot \alpha \cdot c} \text{ erg/m}^3.$$

Dabei wird  $E (1 - a)$ , d. h. nur die nach der ersten Reflexion noch vorhandene Schall-Leistung eingesetzt, da einzig der reflektierte Anteil erfasst werden soll.

Die Energiedichte des direkten Schalls in einem Abstand  $r$  von der Schallquelle beträgt:

$$I_r = \frac{E}{4 \pi r^2 c} \text{ erg/m}^3.$$

Durch Einsetzen in die Formeln ergeben sich für die angenommene Mikrophonaufstellung die folgenden Schalldruck-Verhältnisse von direktem Schall zu reflektiertem Schall:

Für einen Solisten (Distanz 1 m) . . . 2,5 : 1

Für die vordersten Musiker (Dist. 2 m) 1,3 : 1

Für die Mitte des Orchesters (Dist. 5 m) 1 : 2

Für die hintersten Musiker (Distanz 8 m) 1 : 3,1

Im vorliegenden Fall überwiegt für alle Schallquellen, die näher als 2,6 m vom Mikrofon stehen, der direkte Schall. Für diese Schallquellen kommt also vorwiegend der Frequenzgang des Mikrofons für kleine Einfallsinkel in Frage.

Für die Schallquellen, die weiter als 2,6 m vom Mikrofon entfernt sind, überwiegt der reflektierte Schall und damit muss der mittlere Frequenzgang für alle Einfallsinkel zwischen 0° und 180° in Betracht gezogen werden.

Diese Werte gelten unter der Voraussetzung, dass alle Oberflächen des Raumes gleichmäßig absorbieren.

In Amerika ist man nun dazu übergegangen, die Hälfte des Studios, in der sich das Orchester befindet, stark reflektierend, die andere Hälfte dagegen stark absorbierend zu machen, das absorbierende Material also sehr ungleichmäßig zu verteilen<sup>4)</sup>. Das Mikrofon wird dann in der gedämpften Hälfte des Raumes, also in beträchtlicher Entfernung vom Orchester aufgestellt. Damit wird erreicht, dass im wesentlichen nur der Frequenzgang des Mikrofons für Einfallsinkel von ± 45° in Frage kommt, da von hinten infolge der absorbierenden Oberflächen nur sehr wenig Schall auf das Mikrofon reflektiert wird. Als Nachteil dieser Anordnung ist zu erwähnen, dass sich ein solches Studio nur für ein bestimmtes Orchester eignet; sobald jedoch Chöre und andere Komplikationen des normalen Orchesterbetriebes dazu kommen, treten Schwierigkeiten auf.

### 1. Das Moving Coil-Mikrofon.

Für kleine Einfallsinkel ist der mittlere Frequenzgang im wesentlichen flach. Mit zunehmendem Winkel werden jedoch die höheren Frequenzen benachteiligt, für grössere Winkel als 60° ist der Frequenzgang ungenügend. Das Verhalten dieses Mikrofons ist damit bestimmt:

<sup>4)</sup> G. T. Stanton und F. C. Schmid, J. Acoust. Soc. Amer. Juli 1932.

Sehr gute Wiedergabe für direkten, frontal einfallenden Schall; etwas dumpfe Wiedergabe des von allen Seiten einfallenden reflektierten Schalls. Dazu kann sich noch der Einfluss einer mangelhaften Studioakustik (zu grosser Nachhall bei tiefen Frequenzen) gesellen, so dass dann das Gesamtbild ausgesprochen dumpf wird.

Mit der in Amerika bevorzugten Gestaltung der Studios (siehe oben) wird das für die hohen Frequenzen stark abgeflachte Polardiagramm kaum störend in Erscheinung treten. Durch Verkleine-

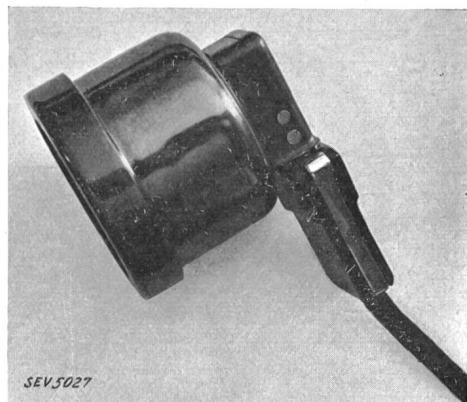


Fig. 1.  
Moving Coil-Mikrofon.

rung der mechanischen Abmessungen des Mikrofons liesse sich sein Polardiagramm verbessern, jedoch auf Kosten der Empfindlichkeit. Bei Verwendung einer der neuen, hochwertigen Magnet-

stähle könnte jedoch dieser Nachteil weitgehend kompensiert werden. Es wird in dieser Richtung gearbeitet.

Das Moving Coil-Mikrofon ist hauptsächlich in Amerika, Australien, Skandinavien, Holland und Belgien sehr verbreitet; auch in der Schweiz wird es häufig benutzt. Es ist infolge seiner äußerst robusten, unempfindlichen Bauart und dem Umstand, dass es weder eine Stromquelle noch einen direkt angebauten Verstärker benötigt, besonders für Außenübertragungen sehr gut geeignet.

Die Empfindlichkeit des Mikrofons beträgt bei 1000 Per./s 0,1 mV/μBar, seine Impedanz 25 Ohm. Dadurch ist der kleinste Schalldruck, der unter Berücksichtigung des Störpegels noch einwandfrei wiedergegeben werden kann, bestimmt.

Der absolut kleinste Störpegel, das «Rauschen», ist hauptsächlich durch die Wärmebewegung im Gitterkreis der ersten Röhre bestimmt. Der Schottky-Effekt und die Wärmebewegung im Anodenkreis spielen nur bei sehr kleinen Gitterwiderständen eine Rolle. Die durch die Wärmebewegung im Gitterkreis erzeugte Spannung kann für den vorliegenden Fall (25 Ohm und einen Frequenzbereich von 10 000 Per./s) auf  $6 \cdot 10^{-8}$  Volt geschätzt werden<sup>5)</sup>. (Die am Gitter liegende Impedanz beträgt etwa

<sup>5)</sup> G. L. Pearson, Bell Syst. Techn. J., Oct. 1934, S. 634.

28 000 Ohm, da das Mikrophon über einen Uebertrager 1 : 32 an das Gitter gelegt ist, so dass als Ursache des Rauschens nur die Wärmebewegung im Gitterkreis in Frage kommt).

Die Rauschspannung von  $6 \cdot 10^{-8}$  Volt ist gleichmäßig über den ganzen Frequenzbereich verteilt. Für die Beurteilung der kleinsten übertragbaren Lautstärke ist jedoch der Frequenzgang der Ohrempfindlichkeit, ungefähr bei der Reizschwelle, zu berücksichtigen. Eine von 30 bis 10 000 Per./s gleichmäßig verteilte Spannung vermindert sich beim Dazwischenschalten eines Filters, das die Fre-

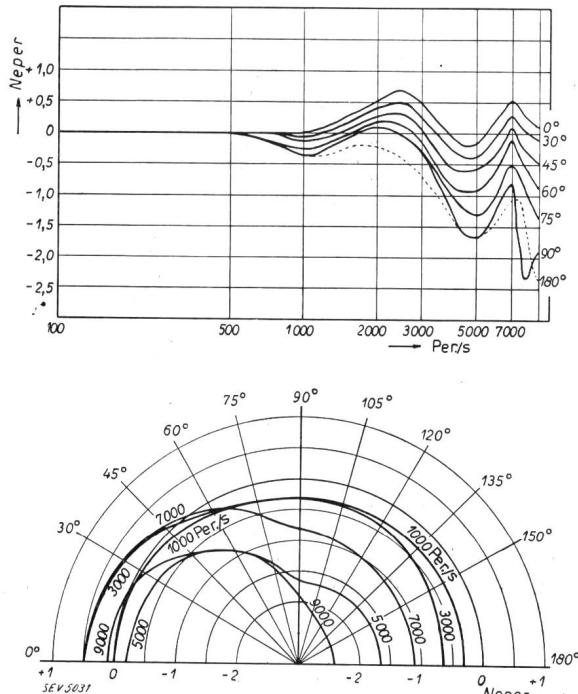


Fig. 2.  
Moving Coil-Mikrophon.  
Standard Telephone & Cables, 4017 A (Nr. 328).

quenzabhängigkeit der Reizschwelle des Ohres nachbildet (definiert im CCIF-Rotbuch) ungefähr um den Faktor 1,43. Die massgebende Störspannung beträgt also für den vorliegenden Fall  $4,2 \cdot 10^{-8}$  Volt und die kleinste Nutzspannung, die noch einwandfrei übertragen wird, darf nicht weniger als ungefähr dreimal diesen Wert =  $1,26 \cdot 10^{-7}$  Volt betragen. Bei einer Mikrophonempfindlichkeit von 0,1 mV/ $\mu$ Bar ergibt sich daraus ein kleinster zulässiger Schalldruck von  $1,26 \cdot 10^{-3}$   $\mu$ Bar.

Bei 1000 Per./s liegt dieser Wert 12 Phon über der Ohr-Reizschwelle (0,000 316  $\mu$ Bar, definiert durch den AEF).

## 2. Das Kondensatormikrophon.

Für kleine Einfallswinkel ist der Frequenzgang gegen die hohen Frequenzen stark ansteigend. Dieser Anstieg ist bedingt durch die Drucktransformation, welche das Mikrophon im Schallfeld erzeugt und durch die Hohlraumresonanz. Es wäre leicht möglich, den Frequenzgang mit elektrischen Mitteln flach zu machen, was jedoch absichtlich

unterlassen wurde, da mit Vergrößerung des Einfallwinkels die Empfindlichkeit bei den hohen Frequenzen rasch abnimmt. Durch den Anstieg des Frequenzganges bei kleinen Einfallwinkeln wird



Fig. 3.  
Kondensatormikrophon.

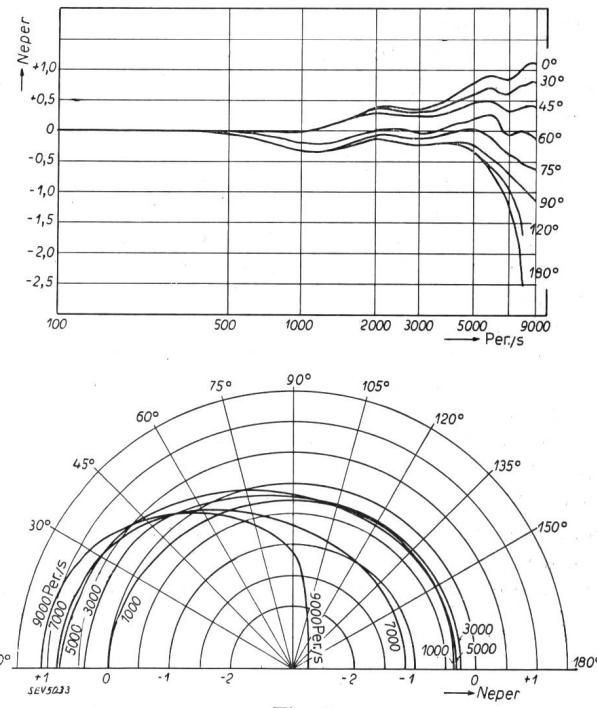


Fig. 4.  
Kondensatormikrophon.  
Telefunken ELA M 14 (Kapsel CM 5 Nr. 55).

der für die Wiedergabe des reflektierten Schalles massgebende Frequenzgang für den ganzen Winkelraum verbessert.

Diese Kompensation des totalen Frequenzganges durch ein starkes Ansteigen bei kleinen Einfallwin-

keln zeigt jedoch den Nachteil, dass alle Schallquellen, für die der direkte Schallanteil überwiegt, mit der ansteigenden Charakteristik wiedergegeben werden, was sich z. B. bei Violinen unangenehm bemerkbar macht. Für einen einzelnen Solisten, der sich nahe dem Mikrophon befindet, muss es um ca. 60° gedreht werden; dann ist der Frequenzgang weitgehend geradlinig. Wenn der Aufstellung des Mikrophons die nötige Aufmerksamkeit geschenkt wird, lassen sich damit sehr gute Resultate erzielen. Die deutsche Reichsrundfunk-Gesellschaft benützt es heute für alle ihre Studio-Uebertragungen.

Die Empfindlichkeit des Mikrophons beträgt mit dem angebauten Verstärker bei 1000 Per./s 0,5 mV/ $\mu$ Bar, die Ausgangsimpedanz des Verstärkers ist 200 Ohm. Die kleinste zulässige Lautstärke, die noch genügend über dem durch die Wärmebewegung im Gitterkreis definierten Störpegel liegt, beträgt bei 1000 Per./s ca. 15 Phon.

### 3. Das Ribbon-(Bändchen-)Mikrophon.

Im Unterschied zum Bändchen-Mikrophon von Siemens & Halske, das als Druckempfänger konstruiert ist, arbeiten die neuern Bändchen-Mikrophone der Radio Corporation of America (RCA) oder von Marconi als Geschwindigkeitsempfänger. Ein reiner Geschwindigkeitsempfänger würde ein «8»förmiges Polardiagramm haben, d. h. Schall mit einem Einfallwinkel von 90° (in der Ebene des Bändchens) ruft gar keine Wirkung her vor. Ueberdies wäre die Empfindlichkeit für irgendeinen Einfallwinkel vollständig frequenzunabhängig.

Es ist nun in der Praxis nicht möglich, einen absolut reinen Geschwindigkeitsempfänger zu bauen, da sich die linearen Abmessungen des Bändchens und der Polschuhe bei den hohen Frequenzen immer den Wellenlängen nähern.

Die beiden genannten Konstruktionen weisen nahezu das ideale «8»förmige Polardiagramm auf. Auch die Frequenzunabhängigkeit ist weitgehend vorhanden. Beim British Broadcasting Corporation (BBC)-Marconi Mikrophon wurde durch besondere Formgebung der Polschuhe und durch Entzerrer im Vorverstärker erreicht, dass der Frequenzgang von 1000 bis 9000 Per./s um ca. 0,6 Neper ansteigt. Diese Massnahme wird von der BBC mit dem Verhalten der normalen Radioempfänger begründet, deren Frequenzgang zur Erreichung der nötigen Trennschärfe mit steigender Frequenz immer ab-

fällt. Ferner ist heute fast jeder Radioempfänger mit einer Tonblende ausgerüstet, so dass sich der Hörer damit einen geradlinigen Frequenzgang einstellen kann.

Das «8»förmige, frequenzunabhängige Polardiagramm bietet nun sehr grosse betriebstechnische Vorteile. Besonders einfach wird die Aufstellung eines grossen Orchesters. Die Instrumente werden je nach der Lautstärke, die sie im Gesamtbild erzeugen sollen, unter verschiedenen Winkeln in bezug auf das Mikrophon aufgestellt. Für ein Orchester wird gewöhnlich nur die eine Seite des Polardiagramms benützt, während die andere Seite vorteilhaft für einen Solisten gebraucht werden kann.

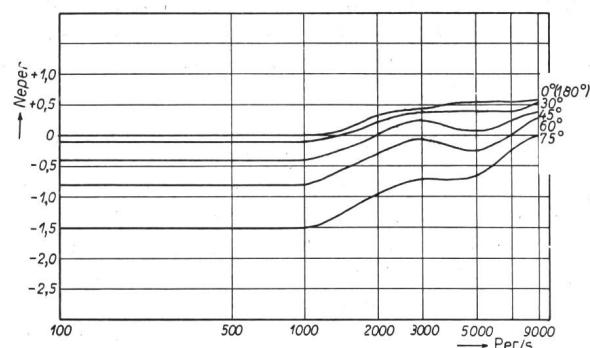


Fig. 5.  
Bändchen-Mikrophon.

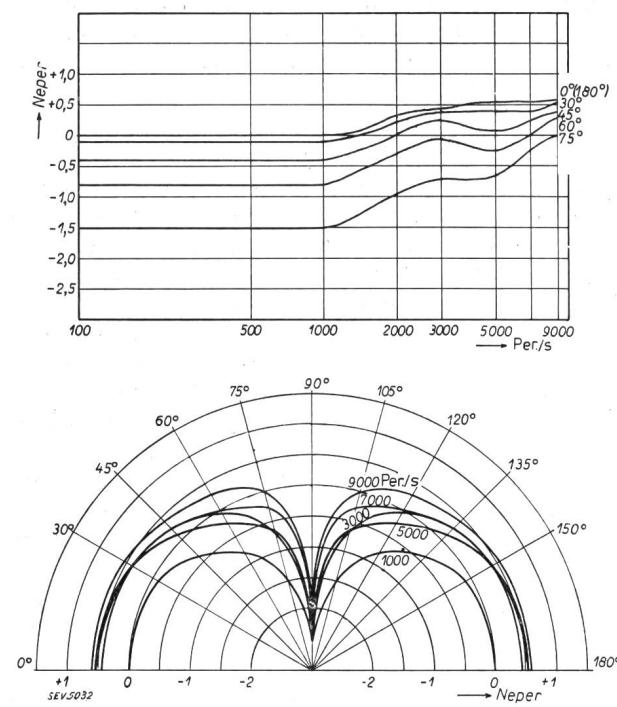


Fig. 6.  
«Ribbon-(Bändchen-)Mikrophon.  
BBC-Marconi (Nr. 19 409).

Dadurch, dass eine ganze Raumzone für das Mikrophon «tot» ist, lassen sich oft in akustisch mangelhaften Studios unerwünschte Raumeffekte eliminieren.

Für gewisse Zwecke, z. B. in Theatern, wäre es oft vorteilhaft, über ein Mikrophon zu verfügen, das nur einseitig empfindlich ist. Durch Kombinieren eines kreisförmigen Polardiagramms (Druckempfänger) mit einem «8»förmigen (Geschwindigkeitsempfänger) lässt sich ein einseitiges Polardiagramm erzeugen. Ein Bändchen-Mikrophon, dessen Bändchen teilweise als Geschwindigkeitsempfänger, teilweise als Druckempfänger arbeitet, hat ein solches Polardiagramm<sup>6)</sup>. Doch scheint diese Lösung bisher in der Praxis keine Anwendung gefunden zu haben.

Bändchen-Mikrophone als Geschwindigkeitsempfänger werden sowohl in Amerika als auch in Eng-

<sup>6)</sup> Weinberger, Olson und Massa, J. Acoust. Soc. Amer., Oct. 1933.

land in steigender Zahl in den Studios verwendet. Die BBC benützt heute für Studioübertragungen hauptsächlich Bändchen-Mikrophone. Auch im Studio Zürich wurden damit sehr gute Erfahrungen gemacht.

Das Bändchen allein hat bei 1000 Per./s eine Impedanz von 0,1 Ohm, die durch einen eingebauten Transformator auf 200 Ohm gebracht wird. Die Empfindlichkeit, am 200 Ohm-Ausgang gemessen, beträgt ca. 0,1 mV/ $\mu$ Bar. Die kleinste zulässige Lautstärke ergibt sich damit zu 22 Phon bei 1000 Per./s. Dieser Wert ist schlechter als der für das Moving Coil- und das Kondensator-Mikrophon. Da jedoch das Geschwindigkeitsmikrophon hauptsächlich in grossen Räumen verwendet wird, in denen auch die Raumgeräusche lauter sind, ist diese etwas kleinere Empfindlichkeit ohne grosse praktische Bedeutung.

#### 4. Das Kristallmikrophon.

Die piezoelektrischen Eigenschaften des Seignette-Salzes (Kalium-Natrium-Tartrat) können für die Konstruktion von Mikrofonen ausgenutzt werden. Ein solches Mikrophon besteht aus einer Anzahl «Zellen», die in geeigneter Weise serie-parallel geschaltet sind. Der aktive Teil einer Zelle, der eigentliche Kristall, ist sehr klein, er hat ungefähr 6 mm Seitenlänge. Es ist deshalb zu erwarten, dass sich erst bei relativ

hohen Frequenzen Drucktransformation bemerkbar machen wird.

Aus den Messresultaten ist ersichtlich, dass das Polardiagramm in der Tat bis 4000 Per./s ein Kreis ist. Oberhalb dieser Frequenz nimmt die Empfindlichkeit für

kleine Einfallsinkel zu, da man sich der Eigenfrequenz des Kristalls nähert, die zwischen 10 000 und 15 000 Per./s liegt. Zwischen 4000 und 9000 Per./s ist das Polardiagramm bei 90° deutlich eingeschnürt, was jedenfalls teilweise auch der Art der Befestigung der einzelnen Kristalle zuzuschreiben ist.

Das Moving Coil-Mikrophon und das Kondensator-Mikrophon sind in bezug auf die senkrecht zur Membrane stehende Axe symmetrisch; das dar-

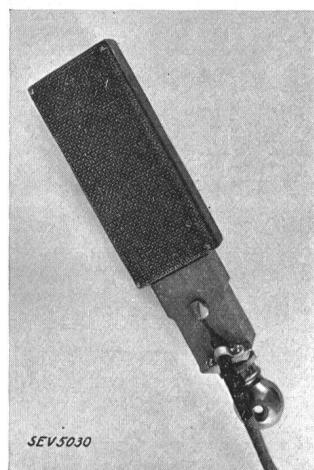


Fig. 7.  
Kristallmikrophon.

gestellte Polardiagramm gilt also für jede beliebige durch diese Axe gelegte Ebene. Auch beim Bändchen-Mikrophon bleibt das «8»förmige Polardiagramm für Schalleinfallsrichtungen in beliebigen Ebenen erhalten.

Beim Kristallmikrophon ist das jedoch nicht der Fall. Für Schalleinfallsrichtungen, die in Ebenen liegen, welche nicht senkrecht zur Längsaxe des Mikrofons (vgl. Fig. 7) stehen, schnürt sich bei den hohen Frequenzen das Polardiagramm bedeutend mehr ein. Deshalb ist das mittlere «räumliche» Polardiagramm weniger günstig als das dargestellte, das für die zur Mikrophonaxe senkrecht stehende Ebene gilt.

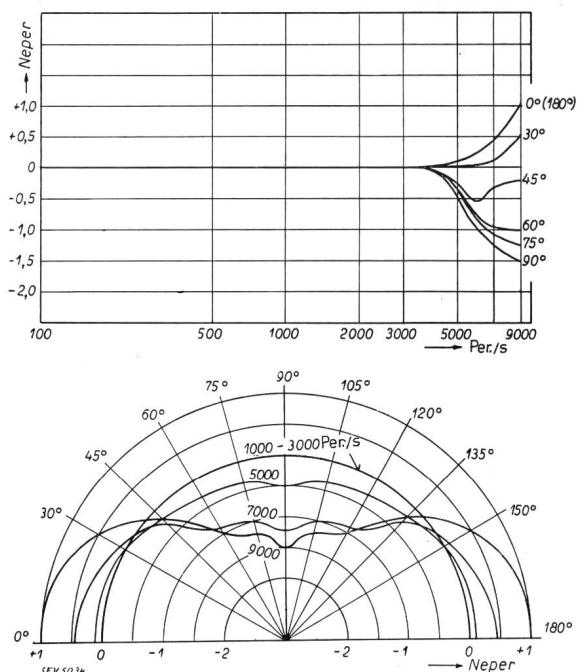


Fig. 8.  
Kristall-Mikrophon.  
«Brush», Typ G 4 S 6 P.

Kristallmikrofone wurden bis heute in den Rundspruchbetrieben der europäischen Länder nicht oder nur versuchsweise verwendet. Ihre sehr hohe Impedanz, dargestellt durch die kleine Kapazität der Zellen, bringt es mit sich, dass sie direkt an das Gitter der ersten Verstärkerröhre gelegt werden müssen, so dass lange Leitungen nicht zweckmäßig sind. Es muss deshalb ähnlich wie das Kondensatormikrophon mit einem Verstärker zusammengebaut werden, um einen einwandfreien Betrieb zu gewährleisten. Die Vorteile des Kristallmikrofons gegenüber dem Kondensatormikrophon sind nicht derart gross, dass das Kondensatormikrophon verdrängt würde.

Die Empfindlichkeit beträgt 0,25 mV/ $\mu$ Bar.