**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

**Band:** 32 (1954)

**Heft:** 1

**Artikel:** Untersuchungen zur Konstruktion eines eindimensionalen Richtmikrophons

**Autor:** Kurtze, G.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-874456

**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:** 09.12.2025

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

BIBLIOGRAPHIE

[1] *W. Amrein.* Eine neuartige mechanische Abtastvorrichtung. Bull. Schweiz. Elektrotechn. Vereins **29** (1938), 596.

[2] *N. Schaetti.* Eine Bildzerlegerröhre ohne Speicherung für Filmabtastung. Bull. Schweiz. Elektrotechn. Vereins **40** (1949), 569.

[3] *Rolf Möller.* Mehrfach-Filmabtastung. Hausmitteilungen der Fernseh G.m.b.H., Berlin, **2** (1942), 129.

[4] *A. G. Jensen.* Film Scanner for use in television transmission tests. Proc. Inst. Radio Eng. **29** (1941), 243.

[5] *F. Schröter.* Die Bedeutung des Bildausgleichs-Projektors als Fernsehgeber. Telegraphen- und Fernsprechtechnik **27** (1938), 534.

[6] *A. Ehrenhaft* and *F. G. Back.* A non-intermittent Motion Picture Projector. J. Soc. Motion Picture Eng. **34** (1940), 223.

[7] *G. Schwesinger.* Reducing Aberrations in Rotating-Prism. Compensators for Nonintermittent Motion Pictures. J. Optical Soc. Am. **42** (1952), 923.

[8] *Harry S. Bamford.* A New Television Film Projector. Electronics **11** (1938), 25.

[9] *L. Burmester* und *E. Mechau.* Untersuchungen der mechanischen und optischen Grundlagen des Mechau-Projektors. Kinotechnik **10** (1928), 395.

[10] *A. G. Jensen, R. E. Graham* and *C. F. Mattke.* Continuous Motion Picture Projector for Use in Television Film Scanning. J. Soc. Motion Picture and Television Eng. **58** (1952), 1.

# Untersuchungen zur Konstruktion eines eindimensionalen Richtmikrophons

Von *G. Kurtze,* Bern

621.395.613.385.1

**Zusammenfassung.** *Es wird ein neuartiges eindimensionales Richtmikrophon beschrieben, bei dem der von ausserhalb der Richtkeule einfallende Schall durch Interferenz unterdrückt wird. Das wesentliche Element ist ein geschlitztes Rohr, das einem normalen Mikrophon vorgeschaltet wird. Die Richtcharakteristik solcher Mikrophone ist normalerweise frequenzabhängig, jedoch wird auch eine Variante dieses Mikrophons beschrieben, die eine in gewissen Grenzen frequenzunabhängige Charakteristik aufweist. Sowohl die berechneten, als auch die praktisch gemessenen Richtdiagramme sind wiedergegeben.*

**Résumé.** *L'auteur décrit un nouveau microphone à caractéristique directionnelle dans lequel le son incident provenant d'une zone extérieure à la zone de haute sensibilité est supprimé par interférence. L'élément essentiel en est un tube fendu monté devant un microphone ordinaire. Normalement, la caractéristique directionnelle de ce genre de microphone dépend de la fréquence, mais l'auteur parle aussi d'une variante qui présente une caractéristique indépendante de la fréquence dans certaines limites. L'article est illustré de diagrammes polaires calculés ou mesurés dans la pratique.*

## *Einleitung*

Richtungsempfindliche Mikrophone werden für Übertragungsanlagen aller Art, insbesondere für Film und Fernsehen, wo das Mikrophon nicht an den Ort des Sprechers gebracht werden kann, immer wieder benötigt. Dabei ist meist eine 8-Charakteristik (Schnelleempfänger) oder eine Cardioid-Charakteristik (Schnelle- + Druckempfänger) nicht ausreichend. Eine über diese Charakteristiken hinausgehende Richtwirkung verlangt aber Lineardimensionen des Empfängers, die gross gegen die Wellenlänge des zu empfangenden Schalles sind, das heisst, man muss eine gewisse Unhandlichkeit der Mikrophone in Kauf nehmen. Um eine Empfindlichkeit in nur einer Richtung zu erzielen, braucht man entweder eine entsprechend grosse Empfangsfläche senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Schalles oder aber einen eindimensionalen Empfänger in Fortpflanzungsrichtung. Die erste Möglichkeit wird, wie auch im elektrischen Analogon, heute fast ausschliesslich angewandt, zum Beispiel in Gestalt eines Parabolspiegels mit einem Mikrophon im Brennpunkt. Sie hat den Vorteil grosser Empfindlichkeit, da durch die Bündelung des Schalles eine Anhebung des Nutzpegels erfolgt, während beim zweiten Typ, dessen elektrisches Analogon die Beverage-Antenne ist, die Richtwirkung durch Senkung des Störpegels erzielt wird. Immerhin hat aber das eindimensionale Mikrophon den Vorteil wesentlich geringeren Raumbedarfes, der die geringere Empfindlichkeit sicher oft aufwiegt.

Das erste brauchbare Mikrophon dieser Art ist das Röhrenmikrophon von *Mason* und *Marshall* [1]. Das bereits von *Rayleigh* [2] beschriebene Prinzip dieser Mikrophone ist die Interferenzauslöschung (bzw. -schwächung) aller nicht in Achsenrichtung einfallenden Schallwellen am Mikrophon. Mason und Marshall erreichten das mit Hilfe eines Bündels von 50 verschieden langen Aluminiumröhren, das einem normalen Mikrophon vorgeschaltet wird. Die grosse Anzahl von Röhren ist erforderlich, da die Längendifferenz zwischen zwei Röhren kleiner als die kürzeste zu empfangende Wellenlänge sein muss.

Grundsätzlich kann der gleiche Effekt natürlich auch mit einem einzigen Rohr mit entsprechend vielen Öffnungen erzielt werden. Es ist dabei jedoch zu bedenken, dass jede Öffnung einen Sprung im Wellenwiderstand des Rohres zur Folge hat, wodurch die Verhältnisse im Rohr sehr unübersichtlich werden. Aus diesem Grunde gingen Mason und Marshall zu 50 Röhren über. Andererseits führt die Tatsache, dass die Qualität des Rohres mit der Zahl der Öffnungen zunimmt, konsequenterweise zu einem geschlitzten Rohr, in dem das Schallfeld durchaus übersichtlich ist. Allerdings muss hier die im Falle des Röhrenmikrophons vernachlässigbare Dämpfung im Rohr berücksichtigt werden. Da das Prinzip verlangt, dass alle «Schallanteile», ohne Rücksicht auf die «Eintrittsstelle» in das Rohr, mit gleicher Amplitude am Mikrophon ankommen, muss dem Schlitz ein Strömungswiderstand vorgeschaltet werden, dessen Betrag zum Mikrophon hin monoton zunimmt.

Das «Schlitzmikrophon», das nun im folgenden näher untersucht werden soll, hat gegenüber dem Röhrenmikrophon schon rein äusserlich den Vorteil, an Gewicht wesentlich leichter und zudem einfacher und billiger herstellbar zu sein. Um zu zeigen, welche Richtwirkung von einem solchen Mikrophon erwartet werden kann, sei zunächst die Berechnung der Richtcharakteristik kurz wiedergegeben.

*Richtcharakteristik des Schlitzmikrophons*

Der Schalldruck p in einer unter dem Winkel $\alpha$ zur Mikrophonachse einfallenden Schallwelle sei am Ort des Mikrophons M (Fig. 1) im freien Schallfeld gegeben durch $p_o = p_o' e^{i\omega t}$. Für die Erregung an

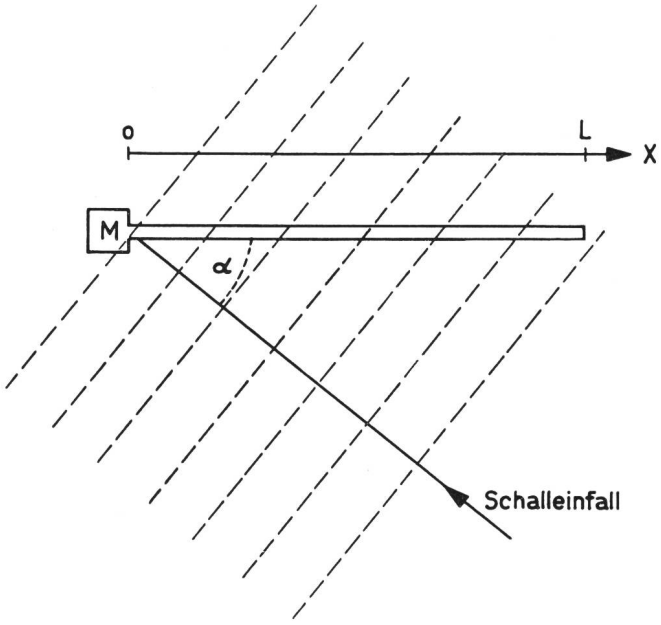



Fig. 1

einer beliebigen Stelle x des Schlitzes gilt dann

$$p(x) = p_o' e^{i\omega t} e^{-\frac{2\pi x}{\lambda}\cos\alpha}.$$

Unter der Annahme, dass sich die Erregung an der Stelle x ohne Dämpfung im Rohr zum Mikrophon hin fortpflanzt, ergibt die Mittelwertbildung über die Schlitzlänge L unter Berücksichtigung der Weglänge im Rohr den Schalldruck am Mikrophon zu

$$p_M = p_o' e^{i\omega t} \frac{1}{L} \int_0^L e^{i(1-\cos\alpha)\frac{2\pi x}{\lambda}} dx$$

$$p_M = p_o \frac{e^{i(1-\cos\alpha)\frac{2\pi L}{\lambda}} - 1}{i(1-\cos\alpha)\frac{2\pi L}{\lambda}} \; ; \quad (1-\cos\alpha)\frac{2\pi L}{\lambda} = \theta$$

$$\frac{\overline{p_M}}{p_o} = \frac{1}{\theta}[\sin\theta + i(1-\cos\theta)].$$

Der Radiusvektor $\overline{p_M/p_o}$ durchläuft als Funktion von $\theta$ in der komplexen Ebene eine Spirale (Fig. 2).

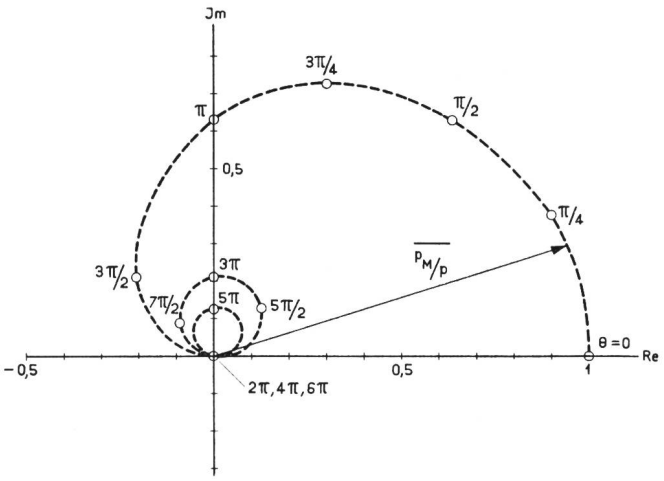



Fig. 2. Schalldruck am Mikrophon als Funktion der Grösse $\theta$ in der komplexen Ebene aufgetragen

$$\overline{p_m/p} = 1/\theta \cdot [\sin\theta + i(1-\cos\theta)] \; ; \; \theta = 2\pi \frac{L}{\lambda}(1-\cos\alpha).$$

Man erhält ein Hauptmaximum bei $\theta = 0$ ($\alpha = 0$) zwischen $\theta = \pm\pi$ (4 dB Abfall) und Nebenmaxima für $\theta = 3\pi, 5\pi, 7\pi \ldots$, in denen die Phasenver-

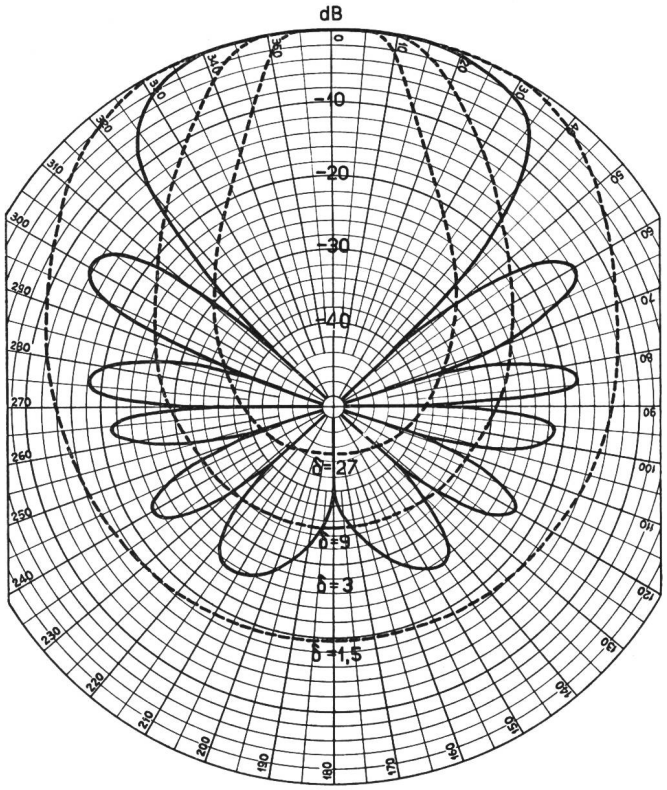



Fig. 3. Berechnete Richtcharakteristiken: $|p_m/p| = \frac{\sqrt{2[1-\cos 2\pi\delta(1-\cos\alpha)]}}{2\pi\delta(1-\cos\alpha)}$, $\delta = L/\lambda$

$\delta = 1{,}5$ entspricht 500 Hz bei L = 1 m (Einhüllende der Maxima)
$\delta = 3$ entspricht 1000 Hz bei L = 1 m (detaillierte Charakteristik)
$\delta = 9$ entspricht 3000 Hz bei L = 1 m (Einhüllende der Maxima)
$\delta = 27$ entspricht 9000 Hz bei L = 1 m (Einhüllende der Maxima)

schiebung 90° beträgt und deren Beträge wie $2/3\,\pi$, $2/5\,\pi$, $2/7\,\pi \ldots$ abnehmen. Minima ($p_M/p_o = 0$) ergeben sich für $\theta = 2\pi, 4\pi, 6\pi \ldots$

Der Phasenwinkel ist für das Mikrophon nur von sekundärem Interesse. Für den Betrag gilt

$$\left|\frac{p_M}{p_o}\right| = \frac{1}{\theta}\sqrt{2\,(1-\cos\theta)} = \frac{\sqrt{2\,[1-\cos 2\pi\, L/\lambda \cdot (1-\cos\alpha)]}}{2\pi\, L/\lambda \cdot (1-\cos\alpha)}$$

Figur 3 zeigt die daraus berechnete Richtcharakteristik für $L/\lambda = 3$ ($\approx$ 1000 Hz bei L = 1 m) und die Einhüllenden der Maxima für verschiedene andere Werte von $L/\lambda$ im Polardiagramm in logarithmischem Maßstab.

Man kann also mit einem solchen Mikrophon Richtcharakteristiken erzielen, die weit günstiger sind als die von Mason und Marshall praktisch erreichten Werte und die auch von einem Parabolspiegel mit der Länge L als Durchmesser nicht übertroffen werden, so dass es durchaus lohnend erscheint, sich mit dem Schlitzmikrophon eingehender zu beschäftigen.

*Konstruktion des Schlitzrohres*

Für die Funktion des Mikrophons müssen folgende Forderungen erfüllt sein:

1. Im Rohr dürfen nur fortschreitende Wellen auftreten, das heisst, das Rohr muss beiderseits mit dem Wellenwiderstand abgeschlossen sein.
2. Die Dämpfung muss auf allen Schallwegen zum Mikrophon gleich sein.

Für die Praxis sollte ferner die Dämpfung möglichst klein und frequenzunabhängig sein, um eine glatte Frequenzkurve neben möglichst grosser Empfindlichkeit zu erzielen. Für ein Versuchsmodell wurde ein Aluminiumrohr mit einer lichten Weite von 10 mm und 1,5 mm Wandstärke gewählt. Der Durchmesser ist klein genug, um ebene Wellen bis zu 10 kHz zu garantieren, und so gross, dass die Dämpfung der tiefsten Frequenzen im ungeschlitzten Rohr noch vernachlässigbar ist. Der Schlitz wurde 1 mm breit gewählt und ist damit noch gross gegen die Dicke der akustischen Grenzschicht.

Die einzige Schwierigkeit liegt in der Bestimmung des Strömungswiderstandes R(x) der Schlitzabdekkung. Diese soll den in das Rohr eintretenden Schall so dämpfen, dass, gemäss Forderung 2, die Summe aus Eintrittsdämpfung $\gamma(x)$ und Dämpfung im Rohr unabhängig von der Eintrittsstelle x in das Rohr wird. Dabei ist die Dämpfung $\beta(x)$ im Rohr ausschliesslich durch R(x) bestimmt.

Die Dämpfung im Rohr von der Stelle x bis zum Mikrophon ist gegeben durch

$$p = p_o\, e^{-\int_o^x \beta(\xi)\, d\xi}.$$

Da die kleinstmögliche Gesamtdämpfung gleich der Dämpfung auf der Gesamtlänge L des Rohres ist (Eintrittsdämpfung $\gamma(L) = 0$), lautet die Forderung für die Dämpfungskoeffizienten

$$\int_o^x \beta(\xi)\, d\xi + \gamma(x) = \int_o^L \beta(\xi)\, d\xi,$$

$$\gamma(x) = \int_x^L \beta(\xi)\, d\xi.$$

Zur Lösung dieser Gleichung müssen $\beta(x)$ und $\gamma(x)$ auf den Strömungswiderstand R der Schlitzabdekkung zurückgeführt werden. Während die Schlitzdämpfung $\gamma(x)$ diesem direkt proportional ist, $\gamma(x) = k_1 R(x)$, ergaben Messungen, dass für $\beta(x)$ in dem interessierenden Bereich die Beziehung $\beta(x) = k_2/R(x)$ eine brauchbare Näherung darstellt. Man erhält damit

$$R(x) = K^2 \int_x^L \frac{d\xi}{R(\xi)}, \text{ mit } K^2 = k_2/k_1$$

und daraus die Differentialgleichung

$$\frac{dR(x)}{dx} + \frac{K^2}{R(x)} = 0$$

mit der Lösung

$$R(x) = K\sqrt{L-x}.$$

Bei einer solchen Schlitzabdeckung ergibt sich eine stark zunehmende Dämpfung im Rohr gegen x = L, so dass der Abschluss mit dem Wellenwiderstand an dieser Seite automatisch gegeben ist. Mikrophonseitig ist ein Abschluss mit einem entsprechenden Strömungswiderstand, wie er bei Sondenmikrophonen üblich ist, völlig ausreichend. Es lässt sich also jedes Sondenmikrophon durch Vorsetzen eines solchen Rohres an Stelle der Sonde leicht in ein Richtmikrophon verwandeln, dessen Richtwirkung etwa der eines Parabolspiegels mit der Rohrlänge als Durchmesser entspricht.

*Praktische Ergebnisse*

Ein Versuchsmodell mit 1,0 m Schlitzlänge, bei dem zur Schlitzabdeckung Baumwollgewebe verwendet wurde, zeigt folgende Eigenschaften:

Der Empfindlichkeitsverlust im Maximum der Richtcharakteristik (0° Inzidenz) beträgt etwa 5 dB.

Die Frequenzkurve für 0° Inzidenz ist glatt innerhalb 5 dB von 30 Hz bis 8 kHz.

Die gemessene Richtcharakteristik für verschiedene Frequenzen zeigt Figur 4. Die Messungen wurden in einem für diese Zwecke nur bedingt geeigneten schallgedämpften Raum ausgeführt. Obwohl die Schlitzabdeckung bei dem Versuchsmodell nur eine rohe Annäherung an die Sollkurve darstellt, kommt die Richtwirkung schon ziemlich nahe an die theoretisch möglichen Werte heran. Ein Unterschied gegenüber dem Parabolspiegel besteht darin, dass hier die Empfindlichkeit in den Minima wirklich Null ist, während sie beim Parabolspiegel durch den Schalldruck am Ort des Mikrophons nach unten begrenzt ist, da das Mikrophon im Brennpunkt des Spiegels frei steht. Erst bei einer Inzidenz > 90° befindet es

sich im Schallschatten des Spiegels, aber auch dann noch im «hellen Fleck» der Beugungsfigur des Spiegelrandes.

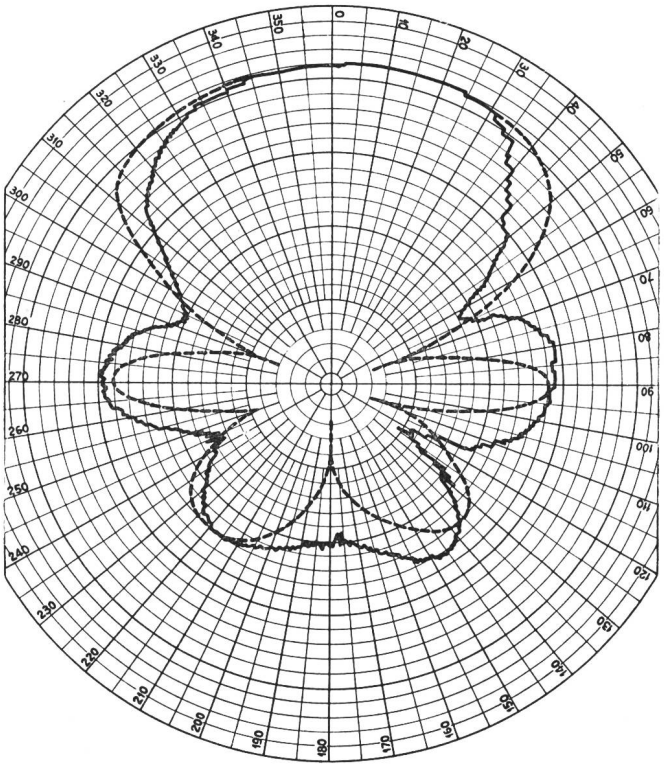
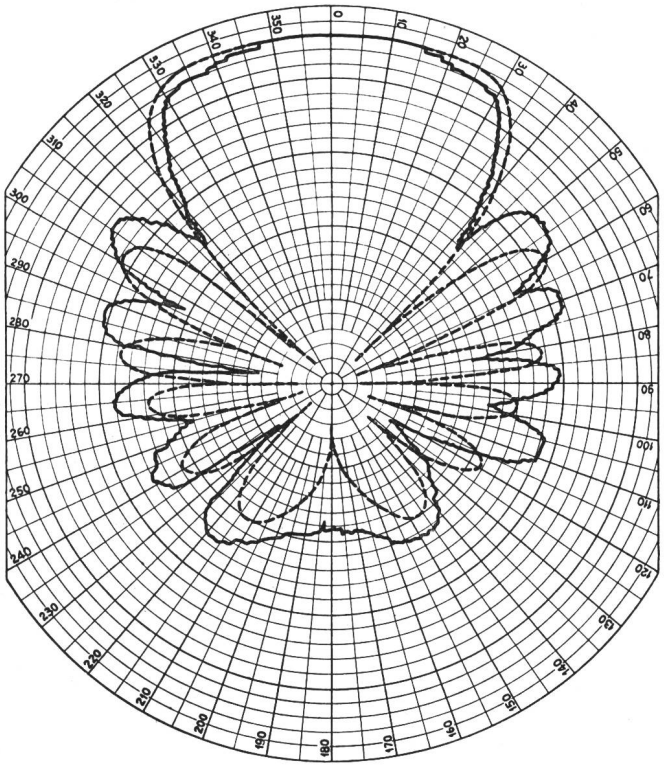
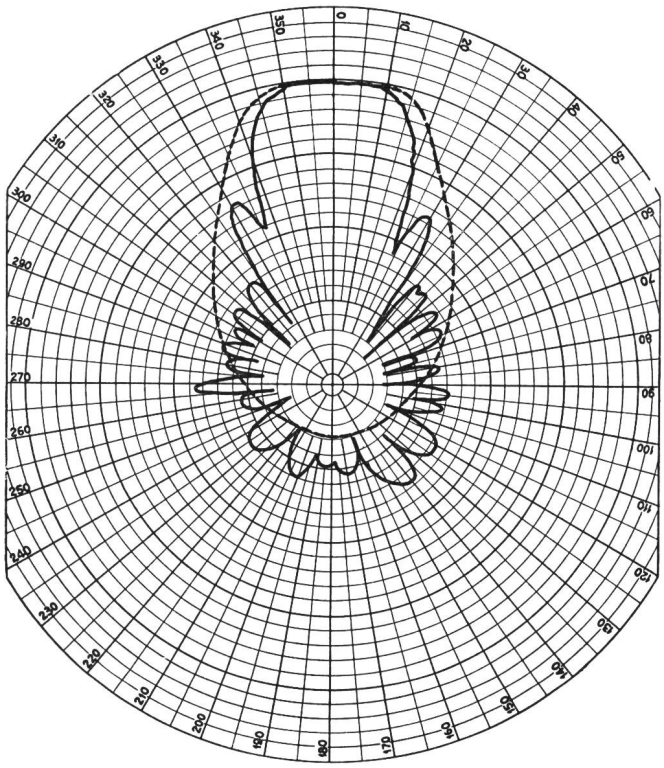


Fig. 4. Vergleich der gemessenen mit den berechneten Richtcharakteristiken (gestrichelte Linien)
a) $\delta = 1{,}5$ (500 Hz bei L = 1 m)



b) $\delta = 3$ (1000 Hz)



c) $\delta = 9$ (3000 Hz)

*Schlitzmikrophon mit frequenzunabhängiger Richtcharakteristik*

Bei allen Richtempfängern oder -sendern, bei denen die Richtwirkung durch grosse Lineardimensionen erzielt wird, ist die Richtcharakteristik frequenzabhängig. Bei einem Mikrophon wirkt das insofern störend, als der unter kleinem Winkel gegen die Richtachse einfallende Schall verzerrt, das heisst nach hohen Frequenzen hin stark beschnitten wiedergegeben wird. So klingen zum Beispiel bei einer Aufnahme mit einem Richtmikrophon dieser Art alle Nebengeräusche dumpf, was auch bei einwandfreier Wiedergabe des Nutzschalles als störend empfunden wird. Bei Richtlautsprechern (Zeilen), wo natürlich der gleiche Effekt auftritt, hilft man sich damit, dass man für hohe und tiefe Frequenzen verschieden lange Zeilen verwendet und damit wenigstens in gewissen Grenzen einen Ausgleich erzielt. Ein ähnliches Verfahren kann man bei einem Parabolspiegel anwenden, indem man diesen von der Mitte nach aussen mit einer zunehmend starken Schicht aus porösem Schluckstoff belegt und so bei tiefen Frequenzen einen grösseren wirksamen Spiegeldurchmesser erhält als bei hohen. Analog dazu erzielt man den gleichen Effekt beim Schlitzmikrophon durch Einbringen einer entsprechenden frequenzabhängigen Dämpfung in den vorderen Teil des Rohres, zum Beispiel in Form eines Streifens aus porösem Schluckstoff. Die für die Richtcharakteristik massgebende wirksame Länge L des Rohres nimmt dadurch mit zunehmender Frequenz ab, und man kann erreichen, dass $L/\lambda$ annähernd konstant bleibt. Figur 5

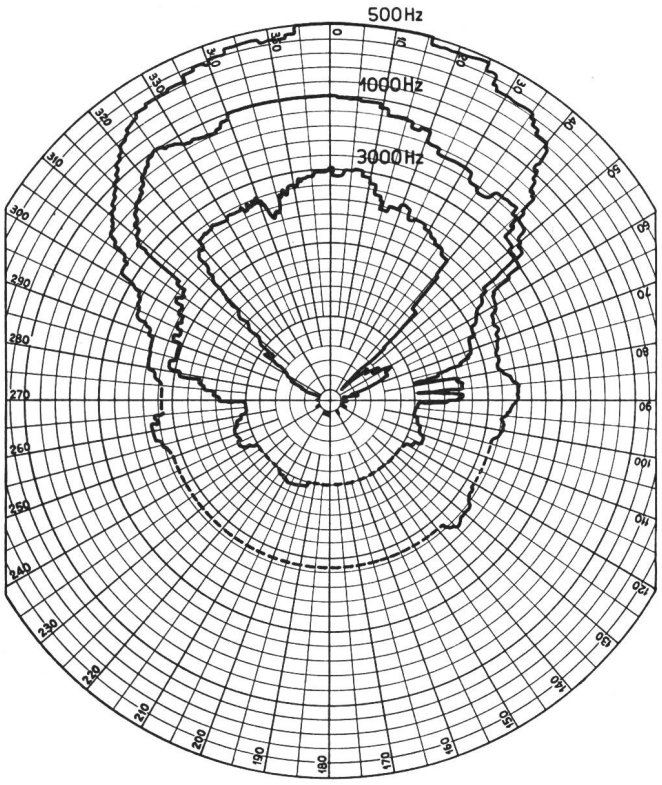



Fig. 5. Richtcharakteristiken für ein Mikrophon mit 1 m Schlitzlänge. Zur Erzielung einer möglichst frequenzunabhängigen Charakteristik wurde das Rohr mit einer geeigneten Dämpfung versehen. (Absolutwerte der Übersichtlichkeit halber um 10 dB gegeneinander verschoben.)

zeigt die mit einem solchen Rohr von 1 m Schlitzlänge im Freien aufgenommenen Richtcharakteristiken bei 500, 1000 und 3000 Hz. Ein gewisser Kompromiss muss natürlich geschlossen werden, um die Richtwirkung nicht zu sehr zu verschlechtern, indem man beispielsweise die Charakteristik bei 500 Hz zugrunde legt und unterhalb dieser Grenze die Frequenzabhängigkeit bestehen lässt, wie das bei dem Mikrophon in Figur 5 etwa der Fall ist. Die Qualitätsverschlechterung bei Musik- und Sprachaufnahme ausserhalb des Hauptmaximums ist hier zwar noch merklich, aber nicht mehr störend. Das gilt natürlich um so mehr, wenn diese Schallanteile nur eine Geräuschkulisse für die eigentliche Aufnahme bilden.

*Anwendungen*

Ein wichtiges Anwendungsgebiet für Richtmikrophone sind Lautsprecheranlagen, bei denen Mikrophon und Lautsprecher nicht akustisch voneinander getrennt sind. Zahlenangaben können hierzu nicht gemacht werden, da in jedem Fall die Raumverhältnisse eine entscheidende Rolle spielen, aber es ist einleuchtend, dass mit einem Richtmikrophon die Verstärkung bei geeigneter Aufstellung wesentlich höher gewählt werden kann, ohne dass Rückkopplung eintritt, als bei Verwendung eines normalen, allseitig empfindlichen Empfängers. So konnte zum Beispiel in einem relativ ungedämpften Laborraum bei 1 m Abstand des Sprechers vom Mikrophon erreicht werden, dass der Sprecher selbst die Wiedergabe lauter empfand als die eigene Stimme.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten bestehen überall dort, wo der Ort des Sprechers oft wechselt, wie auf Theaterbühnen, bei Vorträgen, Konferenzen oder Kongressen usw. In den meisten Fällen dürfte hierbei dem handlicheren und leichten eindimensionalen Rohrmikrophon der Vorzug zu geben sein, dessen Empfindlichkeit ja immer noch praktisch die gleiche wie die eines ungerichteten Mikrophons ist.

**Bibliographie**

[1] *Mason, W. P., Marshall, R. N.* J. Acoust. Soc. Am. **10** (1939), 206.

[2] *Lord Rayleigh.* Theory of Sound. London, 1896, 2. Aufl., II, 117.

# Der koaxiale Leitungsverstärker *

Von *J. Bauer*, Bern

621.395.645:621.315.212.029.6

**Zusammenfassung.** *Die Leitungsverstärker koaxialer Kabel übertragen gleichzeitig 960 Gespräche. Weil sie aus diesem Grunde sehr betriebssicher aufgebaut sein müssen, besteht jeder Verstärker aus zwei unabhängigen Einheiten. Neben den eigentlichen Röhrenschaltungen enthalten sie Entzerrer, künstliche Kabelverlängerungen, Temperaturkorrektoren und Frequenzweichen mit Speiseeinrichtungen. Diese erlauben die Trennung der hochfrequenten Träger- und Speiseströme, welche gleichzeitig über die koaxialen Röhren übertragen werden.*

**Résumé.** *Les répéteurs coaxiaux transmettent simultanément 960 conversations. Leur fonctionnement doit donc être très sûr, aussi chaque répéteur est-il double. Outre les tubes de couplage, ces répéteurs comportent des correcteurs d'affaiblissement, des lignes artificielles complémentaires, des correcteurs de température et des filtres d'aiguillage avec dispositifs d'alimentation. Ces filtres servent à séparer les courants porteurs à haute fréquence des courants d'alimentation, qui sont transmis simultanément par les câbles coaxiaux.*

Bei der Planung koaxialer Systeme muss die Betriebssicherheit im Vordergrund stehen, denn ein einziges ungenügendes Element könnte unter Umständen 960 Kanäle gleichzeitig unterbrechen. Besondere Bedingungen bezüglich Betriebssicherheit müssen die Linienverstärker erfüllen, weil sie bei den grossen Distanzen, für welche koaxiale Kabel geplant werden, in beträchtlicher Zahl vorgesehen werden müssen. Das unsicherste Element ist heute noch die Elektronenröhre, insbesondere dann, wenn sie, wie es für Breitbandverstärker nötig ist, hochgezüchtete Eigenschaften besitzen muss, arbeitet man doch mit Steilheiten von 9 mA/V.

Um die Verstärker unempfindlich zu machen gegen das Ausfallen von Röhren, kommen zwei Verfahren in Frage; entweder verwendet man in jeder Ver-

* Kurzvortrag, gehalten an der 12. Schweizerischen Tagung für elektrische Nachrichtentechnik am 18. Juni 1953 in Bern.