

In dem hier vorliegenden fünften Teil der Artikelserie „Gehör-Mikrofon-Kopfhörer“ werden die gebräuchlichsten Mikrofone ausführlich beschrieben.

von Dr. Ivar Veit  
SENNHEISER electronic KG,  
3002 Wedemark

## 5. Mikrofone

Mikrofone sind Schallempfänger. Sie wandeln die von ihnen aufgenommene Schallenergie in elektrische Energie um (s. a. Teil 4 dieser Reihe). Man bezeichnet sie daher auch als elektroakustische Wandler. Mikrofone bilden stets den Anfang einer jeden elektroakustischen Übertragungsstrecke (s. Bild 1.1). Übertragungsmängel, die entweder auf eine unzureichende Qualität oder auch auf einen unsachgemäßen Einsatz der jeweils verwendeten Mikrofone zurückzuführen sind, können im nachfolgenden elektronischen Teil der Übertragungskette bestenfalls korrigiert aber nur selten behoben werden. Wer mit der Aufnahme von Schall und somit auch mit Mikrofonen zu tun hat, sollte daher die wichtigsten Eigenschaften und Unterscheidungsmerkmale der verschiedenen Mikrofonarten kennen. — Im folgenden fünften Teil dieser Aufsatzreihe wird über die am meisten verwendeten, bzw. am weitesten verbreiteten Schallempfänger und deren Eigenschaften berichtet. Das sind im wesentlichen Mikrofone, die a) nach dem elektrodynamischen und b) nach dem elektrostatischen Wandlerprinzip arbeiten, d. h. elektrodynamische und Kondensator- bzw. Elektretmikrofone.

Über die Einteilung von Mikrofonen — je nach Beurteilungskriterium — in Druck- und Druckgradientenempfänger, in Elongations- und Geschwindigkeitsmikrofone sowie in aktive und passive Wandler ist bereits in der vorangegangenen Folge berichtet worden. Zur Kennzeichnung der diversen Mikrofon-Eigenschaften gibt es eine Reihe von Begriffen und Bezeichnungen, von denen die wichtigsten nachfolgend noch an passender Stelle erwähnt und erläutert werden. Ansonsten ist die Lektüre der einschlägigen DIN-Normen\*) zu empfehlen, die eine sehr erschöpfende Auskunft über die diesbezügliche Terminologie geben.

Da der Hinweis auf ein Druck- oder ein Druckgradientenmikrofon auch einen Rückschluß auf die Richtwirkung des betreffenden Schallempfängers zuläßt, seien an dieser Stelle noch einige ergänzende

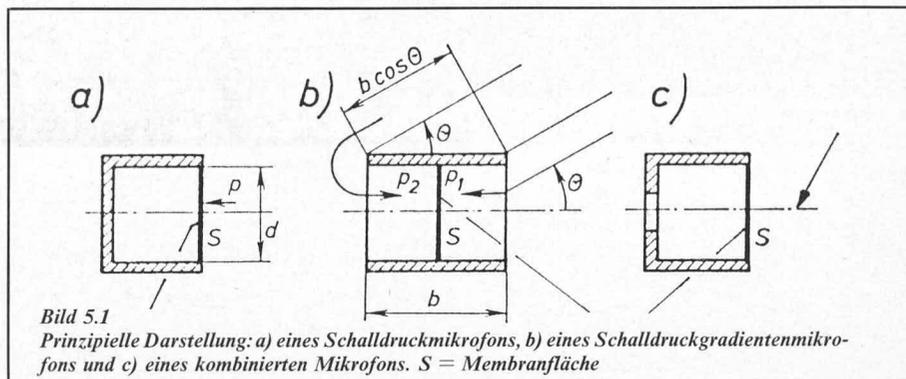


Bild 5.1  
Prinzipielle Darstellung: a) eines Schalldruckmikrofons, b) eines Schalldruckgradientenmikrofons und c) eines kombinierten Mikrofons. S = Membranfläche

Anmerkungen bezüglich der grundsätzlichen Unterschiede zwischen diesen beiden Mikrofontypen eingefügt. — Druckmikrofone unterscheiden sich rein konstruktiv von Gradientenempfängern dadurch, daß bei ihnen der einfallende Schall nur eine Seite der Membran erreicht. Zur Membranzurückseite hat der Schall keinen Zutritt, siehe Bild 5.1 a. Ein solches Mikrofon reagiert nur auf den Schalldruck. Der Schalldruck selbst ist bekanntlich eine ungerichtete (skalare) Größe. Sorgt man dafür, daß die geometrischen Abmessungen des Mikrofons, insbesondere aber des Membrandurchmessers d, klein gegenüber der kleinsten noch zu empfangenden Schallwellenlänge sind, so kann man davon ausgehen, daß der Schalldruck an allen Stellen der Membran mit gleicher Größe zur Wirkung kommt, unabhängig davon, aus welcher Richtung der Schall einfällt; der Schallempfang erfolgt ungerichtet. Die Richtcharakteristik (s. a. Teil 1) ist folglich eine Kugel und das Richtdiagramm ein Kreis (s. Bild 5.2 a). Der Richtungsfaktor  $\Gamma$  ist unabhängig vom Schalleinfallswinkel  $\theta$  gleich Eins.

Beim Druckgradientenempfänger werden beide Seiten der Mikrofonmembran vom einfallenden Schall getroffen. In diesem Falle wird die Membran durch die Druckdifferenz  $\Delta p = p_2 - p_1$  in Bewegung versetzt, die ihrerseits wiederum vom Schalldruckgradienten  $\text{grad } p$ , vom Schalleinfallswinkel  $\theta$  und von der kürzesten Entfernung b zwischen den beiden Mikrofonöffnungen abhängt:

$$\Delta p = |\text{grad } p| \cdot b \cdot \cos \theta \quad (\text{N/m}^2)$$

Die auf die Mikrofonmembran einwirkende Kraft F ergibt sich dabei aus dem Produkt der Druckdifferenz  $\Delta p$  und der Membranfläche S

$$F = S \cdot \Delta p \quad (\text{N})$$

Die Kraftwirkung ist am größten bei einem Schalleinfall in Richtung der akustischen Achse, d. h. bei  $\theta = 0^\circ$ . In diesem Falle erfährt die Membran die relativ größte Auslenkung. Bei akustisch völlig gleichartiger (= symmetrischer) Beschaffenheit der beiden Mikrofonöffnungen ist der Richtungsfaktor  $\Gamma = \cos \theta$ , d. h. das Richtungsdiagramm hat das Aussehen einer Acht, s. Bild 5.2 e. Bei seitlichem Schalleinfall ( $\theta = 90^\circ$ ) zeigt ein solches Mikrofon — im Idealfall — keine Reaktion; die Membran bewegt sich nicht.

Die vorstehend für das Gradientenmikrofon gemachten Aussagen gelten streng genommen nur für das ebene Wellenfeld, d. h. für den Fall, daß die Entfernung zwischen dem Mikrofon und der Schallquelle, z. B. dem Mund eines Sprechers oder Sängers, hinreichend groß ist. Verkleinert man den Abstand zur Quelle, so gelangt das Mikrofon zunehmend in den kugelförmigen Bereich des Schallfeldes, wo sich die Krümmung der Wellenfronten mehr und mehr bemerkbar zu machen beginnt. Die Wellenkrümmung ihrerseits bestimmt über die Druckdifferenz  $\Delta p$ , die zwischen der Vorder- und Rückseite der Mikrofonmembran wirksam wird, auch die Membranbewegung. Das hat zur Folge, daß die Mikro-

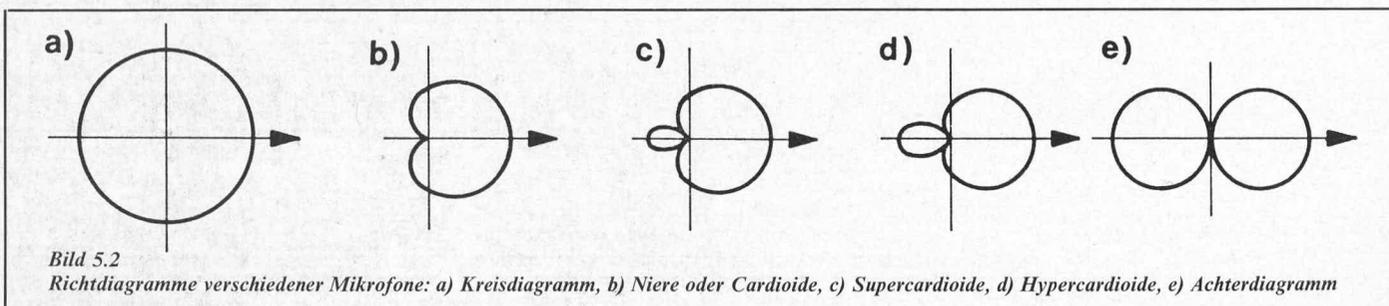


Bild 5.2  
Richtdiagramme verschiedener Mikrofone: a) Kreisdiagramm, b) Niere oder Cardioide, c) Supercardioide, d) Hypercardioide, e) Achterdiagramm

fonmembran bei sehr kurzen Besprechungsabständen im tieffrequenten Bereich ein überproportional stärkere Auslenkung erfährt als bei größeren Sprecherentfernungen. Bei der Nahbesprechung eines Gradientenmikrofons werden daher die tiefen Frequenzen stärker übertragen als bei der Beschallung aus größerer Entfernung (= Nahbesprechungseffekt). Zur Kompensation dieses Effekts werden Gradientenmikrofone häufig mit einem einschaltbaren Baßfilter ausgerüstet. Das im Bild 5.4 abgebildete elektrodynamische Gradientenmikrofon MD 441 besitzt z. B. einen derartigen Baßschalter mit 4 Stufen.

Verkleinert man eine der beiden Mikrofonöffnungen eines Gradientenmikrofons in geeigneter Weise (siehe Bild 5.1 c), so bekommt man einen gerichteten Schallempfänger mit nur einer Hauptempfangsrichtung. Bild 5.2 b bis d zeigt drei typische, auf diese Art erreichbare Richtdiagramme, die unter den Bezeichnungen Niere oder Cardioide (b), Superniere oder Supercardioide (c) und Hypercardioide (d) bekannt sind.

- \*) DIN 45590 Mikrofone — Begriffe, Formelzeichen, Einheiten
- DIN 45591 Mikrofon — Prüfverfahren
- DIN 45593 Eigenschaften von Mikrofonen
- DIN 45594 Mikrofone — Kennzeichen für austauschbare Mikrofone, Kontaktbelegung der Steckverbinder
- DIN 45599 Studiomikrofone

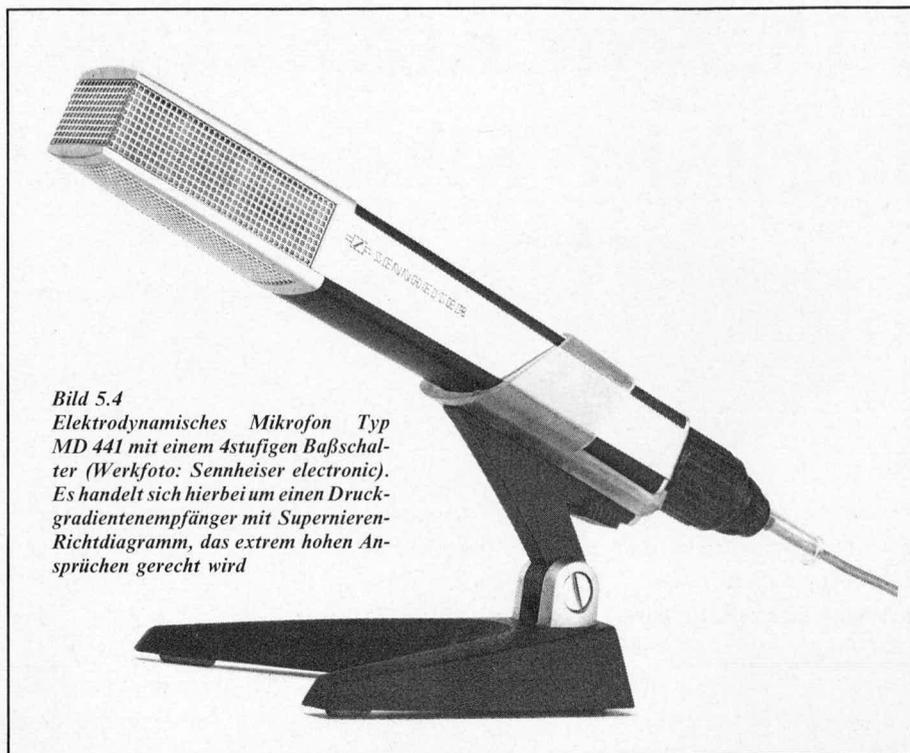
### 5.1 Elektrodynamische Mikrofone

Elektrodynamische (oder kurz — dynamische) Mikrofone arbeiten auf der Grundlage des Induktionsgesetzes. Wie im Teil 4 (Abschnitt 4.1.2) bereits ausgeführt wurde, bestehen dynamische Wandler stets aus einem Permanentmagneten und einem darin beweglich angeordneten elektrischen Leiter (z. B.: Bändchen bzw. Schwingspule), s. Bild 4.2. Betreibt man einen solchen Wandler als Mikrofon, so wird in dem Leiter eine elektrische Spannung induziert, sobald dieser durch einfallende Schallwellen bewegt wird. Die Höhe der induzierten EMK ist der Bewegungsgeschwindigkeit oder —schnelle des Leiters direkt proportional. Beschallt man ein dynamisches Mikrofon mit einem effektiven Schalldruck von  $\bar{p} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$  (Pascal), so ergibt die in seinem Leitergebilde induzierte Spannung  $\bar{u}$  (ebenfalls: Effektivwert) unmittelbar den Zahlenwert seines elektroakustischen Übertragungsfaktors  $B = \bar{u}/\bar{p}$  (in V/Pa) bzw. seines elektroakustischen Übertragungsmaßes

$$G = 20 \cdot \lg \frac{B}{B_0} \quad (\text{in dB})$$

( $B_0$  = Bezugs-Übertragungsfaktor) er beträgt im allgemeinen 1 V/Pa für die betreffende Schallfrequenz. Bestimmt man die Übertragungsgröße  $G$  für sämtliche Frequenzen des vom Mikrofonhersteller angegebenen Übertragungsbereichs, so erhält man den kompletten Frequenzgang des Übertragungsmaßes.

Will man im Übertragungsbereich eines Mikrofons einen ebenen Frequenzgang er-



**Bild 5.4**  
Elektrodynamisches Mikrofon Typ MD 441 mit einem 4stufigen Baßschalter (Werkfoto: Sennheiser electronic). Es handelt sich hierbei um einen Druckgradientenempfänger mit Supernieren-Richtdiagramm, das extrem hohen Ansprüchen gerecht wird

zielen, so ist durch geeignete Wahl der mechanischen Eigenresonanz des Wandlersystems dafür zu sorgen, daß zwischen dem einwirkenden Schalldruck und der durch ihn hervorgerufenen Bewegungsgeschwindigkeit des Leiters Proportionalität besteht. Das erreicht man beim dynamischen Druckmikrofon dadurch, indem man die Membranresonanz in die Mitte des Übertragungsbereichs legt und sie stark bedämpft. Durch eine konstruktive Vorrichtung von zusätzlichen gedämpften Resonatoren, deren Resonanzfrequenzen geschickt gewählt und zu beiden Seiten der Systemresonanz „plaziert“ werden, gelingt es, den Gesamtfrequenzgang eines solchen Mikrofons zu begradigen sowie nach beiden Seiten des Übertragungsbereichs zu erweitern. Gute Tauchspulenmikrofone besitzen heute einen Frequenzgang, der dem von Kondensatormikrofonen sehr nahe kommt. — Anders liegen die Verhältnisse beim dynamischen Richt- oder Druckgradientenmikrofon. Dort erzielt man einen ebenen Frequenzgang durch eine sogenannte „Tiefabstimmung“ des Wandlersystems. Darunter versteht man eine Verlegung der Systemresonanz unterhalb des geplanten Übertragungsbereichs, so daß das Mikrofon auf dem oberen abfallenden Teil seiner mechanischen Resonanzkurve arbeitet. Der Grund dafür ist folgender: Im ebenen Schallfeld nimmt der Druckgradient bzw. die Druckdifferenz  $\Delta p$  zwischen zwei Raumpunkten, z. B. zwischen den beiden Öffnungen eines Gradientenmikrofons, bei konstantem Schalldruck mit der Frequenz zu. Dieser Anstieg des Schalldruckgradienten wird von einem tiefabgestimmten Gradientenmikrofon kompensiert, und man erhält auf diese Weise den gewünschten ebenen Frequenzgang. Das Anwachsen des Druckgradienten mit der Frequenz erfolgt übrigens nicht endlos. Sobald der Abstand der beiden oben erwähnten Raum- oder Beobachtungspunkte gleich der halben Schall-

wellenlänge  $\lambda/2$  wird, strebt die für die Membranbewegung verantwortliche Schalldruckdifferenz  $\Delta p$  gegen Null. Der Übertragungsbereich dynamischer Gradientenmikrofone findet somit allein schon durch ihre Systemabmessungen nach oben hin eine physikalisch bedingte Grenze. Gute Druckgradientenmikrofone, wie z. B. das in Bild 5.4 abgebildete, können dennoch eine obere Übertragungsgrenze erreichen, die 20 kHz noch mit einschließen.

Das hinsichtlich seiner Entwicklung wohl älteste elektrodynamische Mikrofon ist das Bändchenmikrofon. Es wurde 1924 von E. Gerlach und W. Schottky entwickelt. Der bewegliche elektrische Leiter übernimmt bei diesem Mikrofon gleichzeitig die Funktion der Membran. Er besteht aus einer hauchdünnen, wenige  $\mu\text{m}$  starken und somit sehr leichten Aluminiumfolie, die zwischen den Polen eines kräftigen Permanentmagneten angeordnet ist, siehe Bild 5.3. Die elektrische Impedanz des Bändchens ist außerordentlich klein (ca. 0,1  $\Omega$ ); sie wird in aller Regel durch einen im Mikrofon eingebauten Übertrager auf 200  $\Omega$  hochtransformiert. Setzt man beide Seiten des Bändchens in gleicher Weise dem Schallfeld aus, so bekommt man einen Druckgradientenempfänger mit Achter-Richtdiagramm gemäß Bild 5.2 e. Da auch in diesem Falle eine Tiefabstimmung erforderlich ist, um einen ebenen Frequenzgang zu erzielen, ist ein solches Mikrofon wesentlich empfindlicher gegen Wind sowie gegen Erschütterungen jeglicher Art als andere Mikrofone. Verschließt man die Rückseite des Bändchens nach außen, so daß der Schall nur von einer Seite (= Vorderseite) einwirken kann, so erhält man einen Schalldruckempfänger. Bändchenmikrofone gibt es auch mit Nierencharakteristik. — Trotz ihrer unbestreitbaren Vorzüge haben Bändchenmikrofone auch eine Reihe von „Schwachpunkten“, so daß sie bis zum heutigen Tage nur eine beschränkte Verbreitung gefunden haben.

Fortsetzung folgt im „ELV journal“ Nr. 46 auf der Seite 18