



# Mikrofone

Akustik-Serie Teil 5

## Vom Studio- bis zum Subminiaturmikrofon

Im vorigen Teil dieser Reihe wurden elektroakustische Wandler, ihre Prinzipien und Gesetze behandelt. Im nachfolgenden Beitrag sind ausschließlich Mikrofone Gegenstand der Betrachtungen, und zwar sowohl allgemein übliche Standardmikrofone als auch Spezialausführungen, beispielsweise Lavaliermikrofone, Boundary- oder Grenzflächenmikrofone, drahtlose Mikrofone oder auch Kleinstmikrofone, wie sie z. B. bei Hörhilfen zum Einsatz kommen. Natürlich gehört zu diesen Betrachtungen unter anderem auch ein Hinweis auf die in der Praxis üblichen elektrischen Speisarten bei Mikrofonen.

### Elektrodynamische Studio- und andere Mikrofone

Bei Aufnahmemikrofonen kommen heute im Wesentlichen nur das elektrodynamische und das elektrostatische Wandlerprinzip zur Anwendung. Bei Hörgeräte-Mikrofonen ist es heute ausschließlich das elektrostatische Prinzip, und zwar in Form von Elektretmikrofonen. Vor über 40 Jahren kamen dort auch noch elektromagnetische und piezokeramische Kleinstmikrofone zum Einsatz.

Beginnen wir diesen Beitrag zunächst mit einem sehr bekannten, elektrodynamischen Studio-Richtmikrofon, dem MD 441 (von Sennheiser), an dessen Beispiel die wichtigsten Eigenschaften dieses Mikrofontyps erläutert werden können, siehe dazu [Bild 1](#).

Das elektro-dynamische Wandlerprinzip wurde bereits im vierten Teil dieser Beitragsserie erläutert. Das Thema Richtmikrofone wurde bisher aber noch nicht behandelt; daher hier ein kleiner Nachtrag. Elektrodynamische Mikrofone sind meist als sogenannte Tauchspulmikrofone im Einsatz. Diese Bezeichnung rührt her vom Aufbau derartiger Mikrofone. Sie be-

stehen im Wesentlichen aus einer leichten, durch kugelsegmentförmige Pressung versteiften Membran (z. B. aus Aluminiumfolie) mit einer daran befestigten, freitragenden Schwingspule, die in den Luftspalt eines permanenten Topfmagneten eintaucht. Spule und Membran bilden gemeinsam ein schwingfähiges System mit einer Eigenresonanz  $f_{res}$ .

Im vorherigen Teil dieser Beitragsserie wurde bereits darauf hingewiesen, dass man Schallempfänger, also Mikrofone, neben dem Wandlerprinzip auch noch nach derjenigen Schallfeldgröße unterscheidet, die eine Kraft auf die Mikrofonmembran ausübt, und das kann entweder der Schalldruck  $p$  sein oder der Schalldruckgradient  $grad p$ .

Demzufolge unterscheidet man Mikrofone auch als (Schall-)Druckempfänger oder aber als (Schall-)Druck-Gradientenempfänger. Letztere sind stets Richtmikrofone. Druckmikrofone unterscheiden sich rein konstruktiv von Gradientenempfängern dadurch, dass bei ihnen der Schall nur eine Seite der Membran erreicht, siehe [Bild 2a](#).

Sorgt man dafür, dass die geometrischen Abmessungen des Mikrofons, insbesondere des Membrandurchmessers, klein gegenüber der kleinsten noch zu empfangenden Schallwellenlänge  $\lambda$  sind, so hat der aus allen Richtungen einfallende Schall die gleiche Wirkung auf die Membran. Der Schallempfang erfolgt somit ungerichtet. Die Richtcharakteristik ist folglich eine Kugel, und das (zweidimensionale) Richtdiagramm hat die Form eines Kreises.



## Zur Information:

In leicht verständlicher Form wollen wir in den kommenden Ausgaben eine **Einführung in die Arbeitsgebiete der technischen Akustik – einschließlich Schwingungstechnik – und der Elektroakustik** vermitteln.

Diese Themengebiete werden wir beleuchten:

- Akustische Grundbegriffe – Schallfeldgrößen, Pegel, Resonatoren
- Schallausbreitung – Reflexion, Beugung, Brechung und Absorption
- Elektromechanische Analogien – Analogie erster und zweiter Art, Ersatzschaltbilder
- Elektroakustische Wandler – Wandlerprinzipien und ihre Gesetze
- **Mikrofone – vom Studiomikrofon bis zum Subminiaturmikrofon**
- Kopfhörer – elektrodynamische und elektrostatische Kopfhörer
- Lautsprecher – von den Anfängen bis zur Bassreflexbox
- Beschallungstechnik – gerichtete Schallabstrahlung, Linienstrahler
- Raum- und Bauakustik – Sabinesches Gesetz, Nachhallzeit und äquivalente Absorptionsfläche
- Gehör – Lautstärke, Lautheit, Hörverlust, Hörgeräte, Audiometrie
- Persönlicher Schallschutz – von passiven Gehörschutzmitteln bis zum aktiven Schallschutz mittels „Antischall“
- Akustische Messräume – reflexionsarme Räume, Messboxen und Hallräume
- Körperschall und Vibrationen – Accelerometer und Ladungsverstärker
- Wasserschall – Schallausbreitung im Wasser, Hydrofone und Wasserschall-Messtanks
- Ultraschall und Infraschall – natürliche und industrielle Quellen

Theoretische Zusammenhänge werden nur so weit vertieft, wie es für das Verständnis des Stoffs notwendig ist. Auf mathematische Ausdrücke (Gleichungen, Formeln) wird im Text so weit wie möglich verzichtet. Anschauliche Illustrationen unterstützen diese Beiträge. Autor dieser Serie ist Prof. Dr.-Ing. Ivar Veit.

### Richtmikrofone

Beim Gradientenmikrofon dagegen werden beide Seiten der Mikrofonmembran vom einfallenden Schall gleichermaßen getroffen, siehe [Bild 2b](#). Die Membran wird somit nur durch die Druckdifferenz  $\Delta p = p_2 - p_1$  in Bewegung versetzt. Die Kraftwirkung ist dabei am größten bei einem Schalleinfall in Richtung der akustischen Achse, d. h. bei  $\theta = 0^\circ$  und  $180^\circ$ . Bei seitlichem Schalleinfall ( $\theta = 90^\circ$  und  $270^\circ$ ) zeigt ein solches Mikrofon – im Idealfall – keine Reaktion; die Membran bewegt sich nicht. Das Richtdiagramm hat die Form der Zahl Acht. Man spricht hier auch von einem Achterdiagramm.

Verkleinert man eine der beiden Schalleintrittsöffnungen in geeigneter Weise ([siehe Bild 2c](#)), so bekommt man einen gerichteten Schallempfänger mit nur einer Hauptempfangsrichtung. Das [Bild 2d](#) zeigt drei typische, auf diese Art erreichbare Richtdiagramme, die unter der Bezeichnung a) Niere oder Cardioid, b) Superniere oder c) Hypernieren bekannt sind. Durch Hinterlegung des hinteren Schalleintritts mit Dämpfungsmaterial kann des Weiteren Einfluss auf die Form des Richtdiagramms genommen werden.

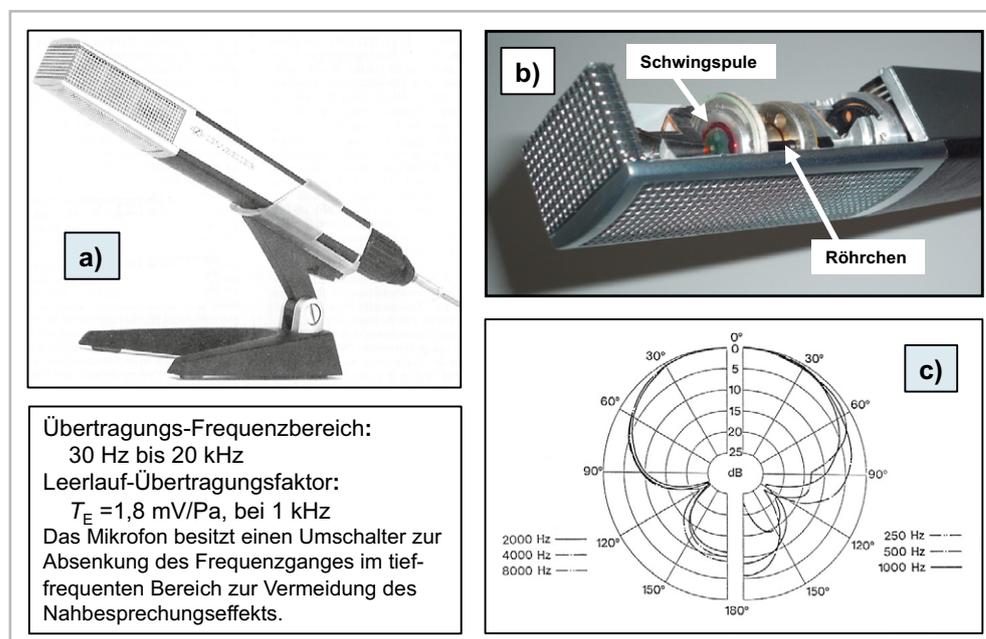
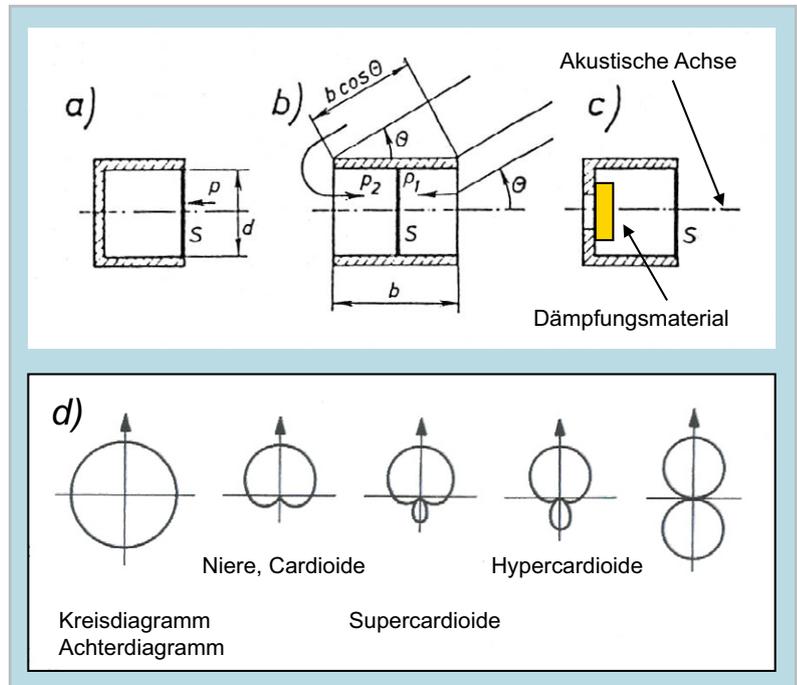


Bild 1: Elektrodynamisches Mikrofon (Typ MD 441; Sennheiser) mit Supernieren-Richtdiagramm  
a) Gesamtansicht  
b) Teilansicht (geöffnet). Man erkennt darin die Schwingspule und ein Röhrrchen zur Begradigung des Frequenzganges.  
c) Richtdiagramme für Frequenzen zwischen 250 Hz und 8 kHz



- Bild 2: Prinzipielle Darstellung
- eines Schalldruck-Mikrofons (omnidirektionales Kreisdiagramm),
  - eines Schalldruckgradienten-Mikrofons (Achterdiagramm) und
  - eines kombinierten Richtmikrofons (Kardioid, Supercardioid, Hypercardioid).
- d) Typische Diagrammformen. Trägt man die gerichteten Diagramme in logarithmischem (dB-)Maßstab auf, so erfährt ihr Aussehen optisch eine gedrängtere Form, siehe Bild 1c.  
 $S$  = Membranfläche



Übrigens, trägt man die Richtdiagramme, mit Ausnahme des Kreisdiagramms, in einem logarithmisch geteilten dB-Maßstab auf, so erfährt ihr Aussehen eine leicht gedrängte Form, siehe Bild 1c.

Bevorzugten Einsatz finden Richtmikrofone bei der Schallübertragung in geschlossenen Veranstaltungsräumen, um akustische Rückkopplungen zu vermeiden. Ferner ist die mit ihnen aufgenommene Sprache, aber auch Musik, weitgehend befreit von störenden Nebengeräuschen.

## Frequenzgang

Von allen Mikrofonen, unabhängig vom Wandlerprinzip, erwartet man, dass ihr Übertragungs-Frequenzgang frequenzunabhängig ist. Das gilt natürlich auch für Tauchspulmikrofone. Bei elektrodynamischen Druckempfängern legt man die stets gedämpfte Eigenresonanz ( $f_{res}$ ) des schwingfähigen Systems in die Mitte des Übertragungsbereichs. Im Gesamtfrequenzgang des Mikrofons ist diese Resonanz nicht oder nur wenig zu erkennen, da die Membran durch davor und dahinter angeordnete, teilweise durch Schlitze oder Bohrungen angekoppelte Lufträume zu weiteren gedämpften Resonanzen gezwungen wird, siehe Bild 1b und Bild 3. Diese Resonanzen, im Bild 3 z. B. bei  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$ , begraden und erweitern den Frequenzgang nach unten und nach oben. Es gibt Tauchspulmikrofone, deren Frequenzgang demjenigen von Kondensatormikrofonen nahekommt.

Bei elektrodynamischen Druckgradientenmikrofonen dagegen, d. h. bei elektrodynamischen Richtmikrofonen, legt man die Eigenresonanz  $f_{res}$  des schwingfähigen Systems an das untere Ende des Übertragungsbereichs. Man spricht in diesem Falle auch von einer „Tiefabstimmung“. Der mit zunehmender Frequenz ansteigende Schalldruckgradient  $grad p \sim f$  sorgt nämlich letztlich wieder für den gewünschten geradlinigen Frequenzgang des Tauchspul-Richtmikrofons.

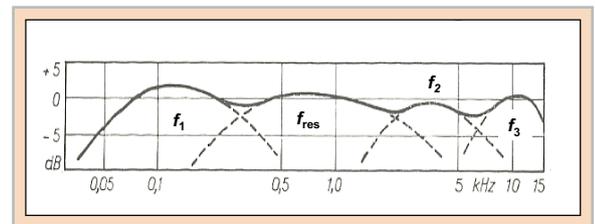


Bild 3: Schematischer Frequenzgang eines Tauchspul-Druckmikrofons mit seiner mechanischen Eigenresonanz  $f_{res}$  in der Mitte des Übertragungsbereichs  
 $f_{res}$  = gedämpfte Eigenresonanz des aus Schwingspule und Membran bestehenden schwingenden Systems  
 $f_1$  bis  $f_3$  = Resonanzen angekoppelter Luftvolumina

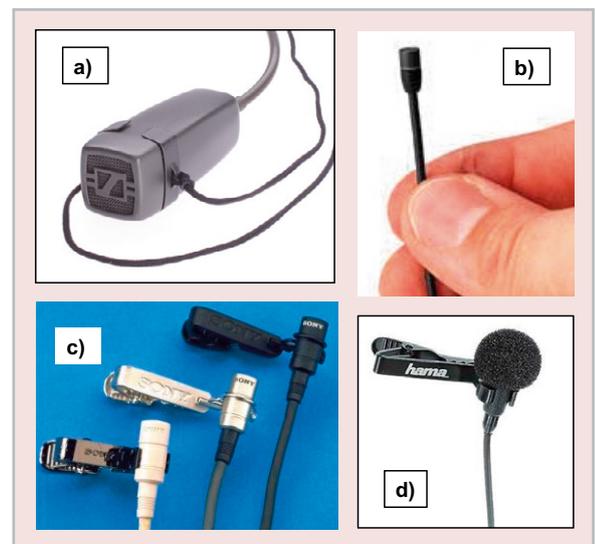


Bild 4: Lavaliermikrofone:  
a) Tauchspul-Mikrofon MD 214 Sennheiser (1960er-Jahre) – Weitere Lavalier-Ansteckmikrofone, allerdings mit Elektretmikrofonkapsel  
b) Sennheiser (heute)  
c) Sony  
d) Hama  
Die Mikrofone b), c) und d) enthalten Elektretkapseln.

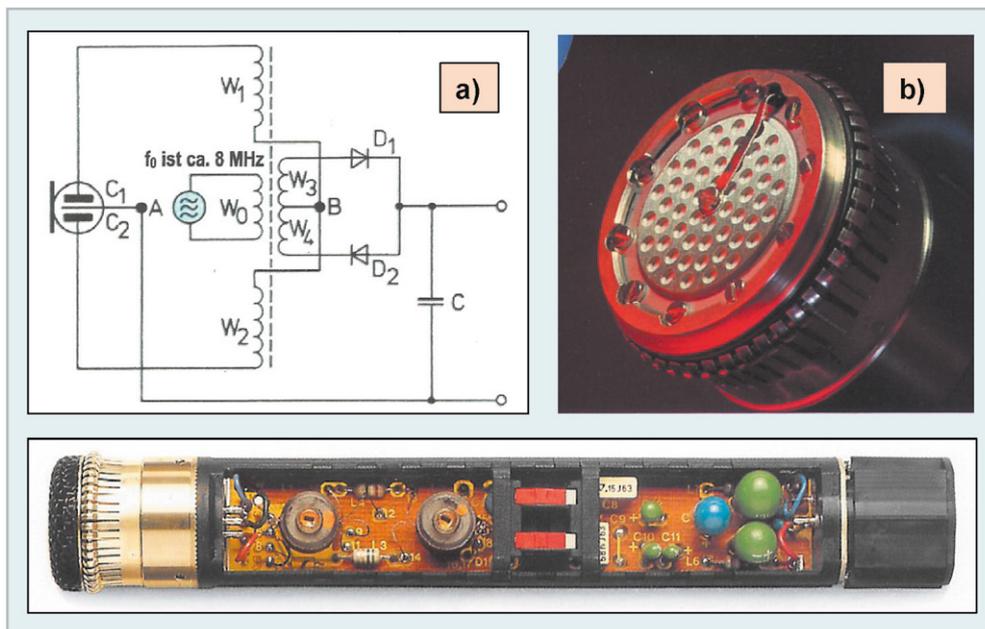


Bild 5: Hochfrequenz-Kondensatormikrofon  
 a) Prinzipielles Schaltbild. Die sich bei Beschallung im Rhythmus der Schallfrequenz ändernde Kapselkapazität lässt ein frequenzmoduliertes HF-Signal entstehen, das noch innerhalb des Mikrofons wieder demoduliert ( $D1/D2$ ) wird.  
 b) Gegentakt-Mikrofonkapsel mit einer Membran und zwei Gegenelektroden  
 c) Blick in das Innere eines HF-Kondensatormikrofons mit deutlich erkennbarem HF-Teil (links) und NF-Teil (rechts)

## Ansteckmikrofone

Ein anderes Tauchspulmikrofon, welches ein reiner Druckempfänger ist, war das seit den frühen 1960er-Jahren gern verwendete, elektrodynamische Lavaliermikrofon, siehe Bild 4a. Das war ein Druckempfänger, der heute von sehr kleinen und viel handlicheren Ansteck-Elektretmikrofonen abgelöst worden ist, siehe Bild 4b bis d. Es handelt sich dabei um ein Mikrofon kleiner Baugröße mit kugelförmiger Richtcharakteristik, d. h. ohne Richtwirkung, das im Fernsehen, bei Live-Moderationen, im Theater etc. verwendet wurde bzw. immer noch verwendet wird. Anfangs wurde es mittels einer Kordel um den Hals getragen (Bild 4a), heute sind das durchweg Ansteckmikrofone. Lavaliermikrofone können an oder unter der Kleidung relativ unauffällig getragen werden. Der Sprecher hat dadurch beide Hände frei. Wichtig ist dabei eine möglichst geringe Empfindlichkeit gegen Körperschall (z. B. Reibegeräusche an der Kleidung etc.).

Lavaliermikrofone, die vor der Brust getragen werden, müssen besondere Anforderungen erfüllen, und zwar hinsichtlich ihres Frequenzgangs. Lediglich zwei Korrekturen sind erforderlich, und zwar eine Tiefenabsenkung (um etwa 5 dB bei ca. 700 Hz), um den Einfluss der Brustraumresonanz zu mindern. Zum anderen ist eine Höhenanhebung (oberhalb von 4 kHz) um etwa den gleichen Betrag notwendig, um, trotz der ungünstigen Position des Mikrofons, bezogen auf den Mund des Sprechers, die

Stimme mit möglichst natürlichem Klang aufzunehmen. Die Bezeichnung „Lavalier“ kommt übrigens aus dem Französischen, man bezeichnete damit ursprünglich eine meist mit Edelsteinen besetzte Halskette.

Abschließend zu diesem Abschnitt noch ein wichtiger Begriff, den man kennen sollte, wenn man mit Richtmikrofonen arbeitet, nämlich der Nahbesprechungseffekt. Schon im ersten Beitrag dieser Reihe wurde erwähnt, dass das kugelförmige Schallfeld um eine Schallquelle herum aus einem Nahfeld und einem Fernfeld besteht. Im Nahfeld nimmt der Schalldruck  $p$  umgekehrt proportional zur Entfernung von der Quelle  $r$  ab ( $p \sim 1/r$ ), die Schallschnelle  $v$  dagegen ändert sich dort heftiger, nämlich proportional zu  $1/r^2$ . Das hat zur Folge, dass Gradientenmikrofone in diesem Bereich tiefe Frequenzen überproportional stärker aufnehmen und übertragen. Aus diesem Grunde besitzen gute Richtmikrofone Umschalter, um tiefe Frequenzen je nach Bedarf abzusenken. Bei Gesangdarbietungen, bei denen das Mikrofon sehr nahe am Mund gehalten

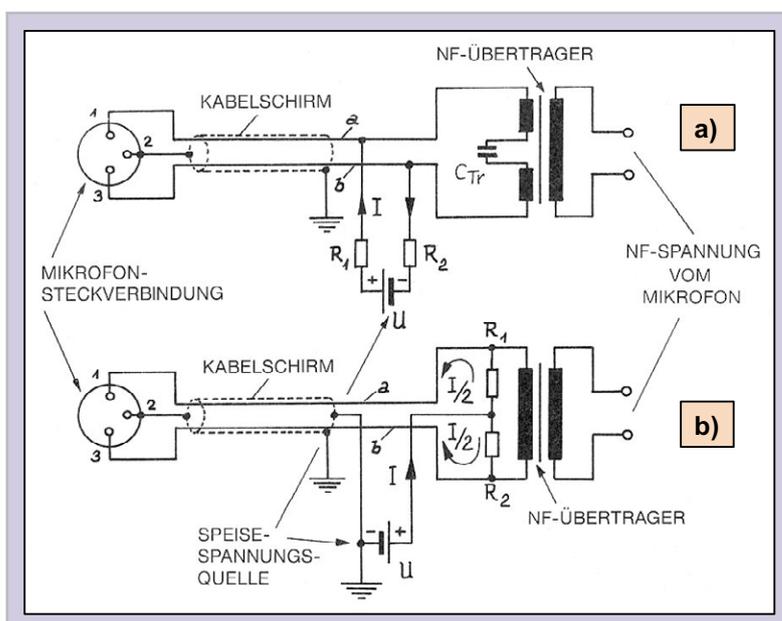


Bild 6: Speisemöglichkeiten für Mikrofone mit eingebauter Elektronik  
 a) Tonaderspeisung (nach DIN 45 595);  $U = 12\text{ V} (\pm 1\text{ V})$   
 b) Phantomspeisung (nach DIN 45 596);  $U = 12\text{ V} (\pm 1\text{ V})$ ,  
 $U = 24\text{ V} (\pm 4\text{ V})$ ,  
 $U = 48\text{ V} (\pm 4\text{ V})$



wird, würden tiefe Frequenzen sonst unnatürlich stark übertragen werden, siehe dazu auch [Bild 12](#).

### Elektrostatische Studio- und andere Mikrofone

Die Grundlagen elektrostatischer Schallempfänger, betrieben in klassischer NF-Schaltung, wurden bereits in [Teil 4](#) dieser Reihe behandelt, sodass auch hier, genau wie im vorausgegangenen Abschnitt, nur einige besonders interessante Mikrofon-Ausführungen behandelt werden sollen. Das sind konkret klassische Kondensatormikrofone, auch ohne Gleichfeld (d. h. in HF-Schaltung) und Elektretmikrofone (in sehr kleinen Ausführungen).

Eine nicht nur hochinteressante, sondern auch qualitativ außerordentlich hochwertige Kategorie von elektrostatischen Schallempfängern stellen Hochfrequenz-Kondensatormikrofone dar. Ihre Funktion ist im Prinzip folgende: Ein – meist quarzstabilisierter – HF-Generator schwingt mit einer bestimmten Frequenz, z. B. mit 8 MHz. Die Kapazität  $C$  der Mikrophonkapsel ist dabei in den Oszillatorschwingkreis mit einbezogen, sodass die bei Beschallung auftretenden Kapazitätsschwankungen die Frequenz des HF-Oszillators entsprechend modulieren. Die unmittelbar darauffolgende Demodulation liefert an ihrem Ausgang das gewünschte NF-Signal, [Bild 5](#). Für die praktische Ausführung gibt es verschiedene schaltungstechnische Varianten, allen gemeinsam ist jedoch die Steuerung eines HF-Oszillators durch eine beschallte Kondensatormikrophonkapsel mit nachfolgender Demodulation. Gegenüber der klassischen NF-Schaltung bietet das HF-Prinzip eine Reihe von Vorteilen. Neben dem Wegfall der Polarisationsspannung und damit spürbar geringeren Anforderungen an den Isolationsaufwand der Kapsel, sowie des übrigen Schaltungsaufbaus, können mit HF-Kondensatormikrofonen sehr tiefe Frequenzen übertragen werden. Zu den weiteren Vorteilen dieses Prinzips gehören u. a. ein extrem niedriges Eigenrauschen und hohe, verzerrungsfreie Aussteuerbarkeit.

### Stromversorgung für die HF-Schaltung

Zum Betrieb der HF-Schaltung ist allerdings eine Stromversorgung erforderlich. Da man bei Transistormikrofonen von Anfang an bestrebt war, nur ein zweiadriges abgeschirmtes Kabel zu verwenden, musste ein Weg gefunden werden, um den speisenden Gleichstrom über die zur Verfügung stehenden Leitungsadern zu leiten, gegebenenfalls auch unter Einbeziehung der Kabelabschirmung. Heute gibt es zwei Speisungsarten, die auch durch DIN-Vorschriften festgeschrieben sind. Es sind dies a) die Tonaderspeisung (DIN 45 595) und b) die Phantomspeisung (DIN 45 596), siehe [Bild 6](#). Bei der Tonaderspeisung wird die Speisespannungsquelle über zwei gleichgroße Vorwiderstände  $R_1$  und  $R_2$  an die Tonadern  $a$  und  $b$  angeschlossen. Zwischen beiden Tonadern liegt somit die volle Speisespannung. Die Primärseite des im [Bild 6](#) dargestellten NF-Übertragers ist daher durch einen Trennkondensator  $C_T$  gleichstrommäßig unterbrochen. Im Gegensatz zur Tonaderspeisung wird bei der Phantomspeisung der Gesamtstrom  $I$  je zur Hälfte



*Bild 7: Drahtloses Hochfrequenz-Mikrofon (SKM 4031, Sennheiser). Es besteht aus einem Elektretmikrofon mit frequenzmoduliertem HF-Sender und kurzer Antenne.*

( $I/2$ ) über jede der beiden Tonadern zum Mikrofon geleitet. Die Rückleitung erfolgt über den Kabelschirm, siehe [Bild 6 b](#). Beide Tonadern liegen auf gleichem Potential. An phantomgespeisten Mikrofonanschlüssen können daher auch andere Mikrofone betrieben werden, die normalerweise keine Speisung benötigen, z. B. elektrodynamische Mikrofone.

Kondensatormikrofone nach dem HF-Prinzip gehören heute zu den hochwertigsten Studiomikrofonen.

### Funkmikrofone

Neben den soeben behandelten Mikrofonen, bei denen Hochfrequenz zum Umwandlungsvorgang von Schall in ein weiter verwertbares NF-Signal benutzt wird, gibt es auch noch HF-Mikrofone, bei denen Hochfrequenz zur drahtlosen Überbrückung, z. B. der Strecke zwischen Mikrofon und Mischpult, zum Einsatz kommt. Bekannte Beispiele dafür sind Hörfunk und Fernsehen, wo der Wegfall von Anschlusskabeln Sängern oder Reportern die erforderliche Befreiheit gibt. Drahtlose Mikrofone enthalten neben dem eigentlichen Mikrofon auch noch einen HF-Sendeteil. In der Anfangszeit waren das frequenzmodulierte HF-Sender mit Trägerfrequenzen zwischen 30–45 MHz, 138–250 MHz und später sogar 460–960 MHz, mit einer sehr kurzen Antenne, siehe [Bild 7](#). Inzwischen hat sich auf diesem Gebiet sehr viel geändert. Hinsichtlich der Frequenzen ist heute die GHz-Grenze bereits überschritten. Bleiben wir hier aber weiter bei der Akustik.

### Elektretmikrofone

Neben den klassischen Kondensatormikrofonen mit Luftdielektrikum gehören heute Elektretmikrofone zu gleichberechtigten Aufnahmewandlern nach dem elektrostatischen Wandlerprinzip. Über die Funktion von Elektretmikrofonen wurde im vorherigen Beitrag bereits berichtet. Die nachfolgenden Betrachtungen befassen sich mit praktischen Ausführungen elektrostatischer Mikrofone. Einige Beispiele wurden bereits im [Bild 4](#) vorgestellt. Auch bei Elektretmikrofonen gibt es gerichtet empfangende Kapseln. Das im [Bild 7](#) gezeigte Mikrofon besitzt z. B. ein derartiges Super-nieren-Richtdiagramm, welches ihm eine sehr gute Rückkopplungssicherheit verleiht.

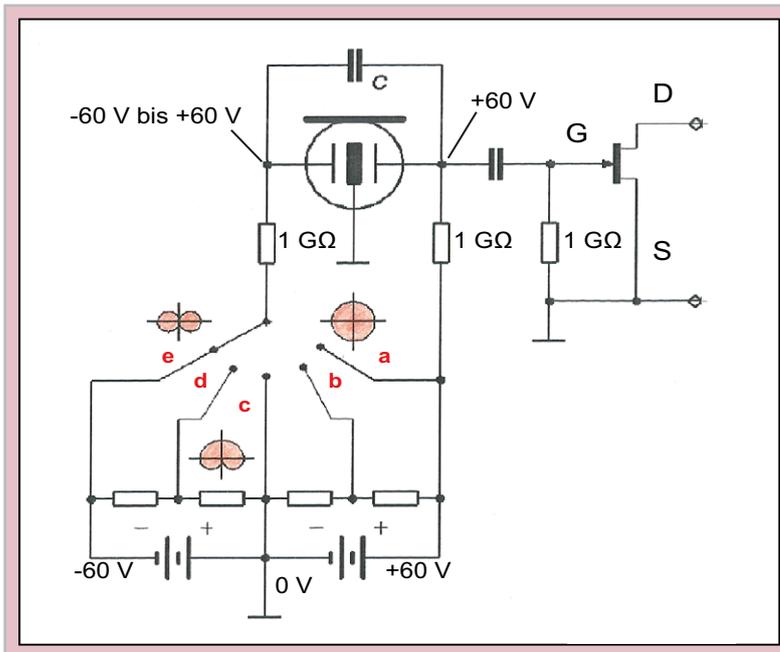


Bild 8: Prinzipschaltung eines Kondensator-Mikrofons mit zwei Membranen und elektrisch umschaltbarem Richtdiagramm, vom ungerichteten Kreisdiagramm über drei verschiedene Cardioiden bis hin zum Achterdiagramm

Es gibt aber auch Richtmikrofone mit umschaltbarem Richtdiagramm. Wie die Umschaltbarkeit funktioniert, zeigt das Bild 8 sehr anschaulich. Es handelt sich hierbei um eine Mikrophonkapsel mit zwei Membranen und einer gemeinsamen Gegenelektrode. Beide Teilmikrofone besitzen eine Cardioid- oder Nierencharakteristik. Die an beiden Membranen bei Beschallung entstehenden Wechselspannungen werden über den Kondensator  $C$  parallelgeschaltet, siehe Bild 9. Steht der Schalter in der Mitte (Stellung „c“;  $\pm 0$  V), so liefert die linke Kapselhälfte keinen zusätzlichen Spannungsbeitrag: Das Mikrofon besitzt die gleiche Nierencharakteristik wie die rechte Kapselhälfte. In der Schalterstellung „a“ (+60 V) sind bei Beschallung beide entstehenden Wechselspannungen parallelgeschaltet (Resultat: Kreisdiagramm), während in der Schalterstellung „e“ (-60 V) beide Wechselspannungen gegeneinandergeschaltet sind (Resultat: Achterdiagramm). Anstelle des Umschalters kann die Wahl des gewünschten Richtdiagramms auch kontinuierlich mittels eines Potentiometers vorgenommen werden.

Eine der wichtigsten Ausführungen von ungerichtet empfangenden, elektrostatischen Schallempfängern bilden Messmikrofone, deren typischen Aufbau das Bild 10 zeigt. Damit der damit gemessene Schalldruck unabhängig ist vom äußeren Luftdruck, haben Messmikrofone ein dünnes Kapillarröhrchen, das die hinter der Membran eingeschlossene Luft mit der Außenluft verbindet. Der Durchlasswiderstand dieses Röhrchens wird meist mittels eines Silberdrahtes so justiert, dass die untere Grenz-

frequenz des Mikrofons den im Datenblatt des jeweiligen Herstellers versprochenen Wert, z. B. von 2 Hz, einhält. Diesen Wert muss natürlich auch der nachfolgend notwendige Vorverstärker erreichen und einhalten. Andere Messmikrofone, z. B. zur Messung von Richtcharakteristiken anderer Schallwandler, oder für Messungen in der Raum- und Bauakustik mit rotierenden Befestigungen, folgen in einem weiteren Teil dieser Reihe.

### Grenzflächen- und Elektret-Kleinstmikrofone

Aus der Vielzahl weiterer, interessanter Mikrofonvarianten, z. B. Stereomikrofone, seien hier nur noch das sogenannte Grenzflächenmikrofon (Boundary-Layer-Microphone) und Elektret-Kleinstmikrofone erwähnt und vorgestellt.

Im Idealfall bestehen Grenzflächenmikrofone aus einer sehr kleinen Mikrophonkapsel mit kugelförmiger Richtcharakteristik, die in einer sehr großen, schallharten Fläche eingelassen ist. Damit möchte man die Tatsache ausnutzen, dass Schallwellen direkt oberhalb einer schallharten Oberfläche, infolge von Reflexionen, eine Verdopplung des Schalldrucks  $p$  bzw. eine Erhöhung des Schallpegels  $L_p$  um bis zu +6 dB erfahren können, und zwar im Vergleich zum freien Schallfeld. Außerdem stören dabei keinerlei Reflexionen an anderen Raumbegrenzungsflächen und man vermeidet somit die Ausbildung von Kammfiltereffekten. Grenzflächenmikrofone finden ihren Einsatz z. B. an Bühnenwänden im Theater oder bei Orchesteraufnahmen. Es gibt sie heute in handlicher Größe fertig ausgeführt von diversen Herstellern, siehe Bild 11.

Nun noch ein Blick auf Elektret-Mikrofone in Kleinstausführung, und zwar zunächst mit Achterdiagramm. Ein Beispiel dafür zeigt Bild 12. Alles wichtige dazu steht in der Bildunterschrift, so z. B. die Wirkung des weiter oben schon erwähnten Nahbesprechungseffekts. Ein weiteres Beispiel für Elektret-Kleinstmikrofone, und zwar für Hörgeräte, findet man im Bild 13. Auch hier ist alles wichtige in der Bildunterschrift zu finden.

Als Letztes noch ein Blick auf die Einzelteile eines sehr kleinen und extrem einfach aufgebauten Elektretmikrofons, Bild 14. Auch hier steht alles Wissenswerte in der Bildunterschrift. Die messtechnische Prüfung und Bewertung von Mikrofonen wird in einem späteren Beitrag behandelt.

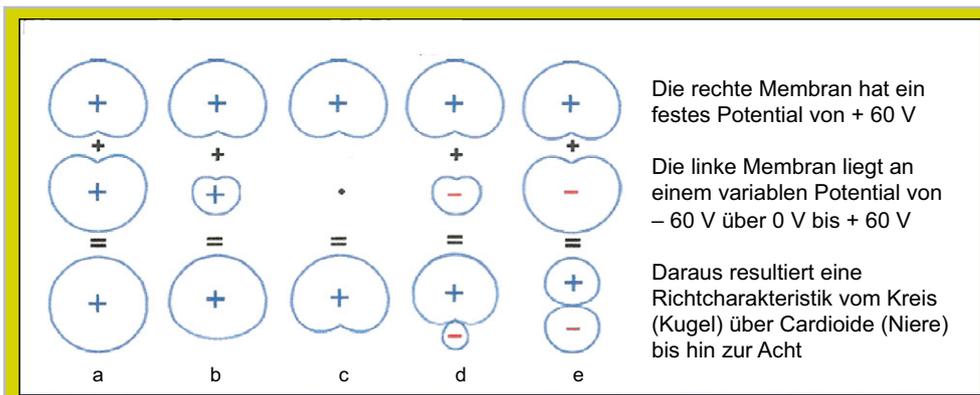


Bild 9: Mit einem einzigen Mikrophon gemäß Bild 8 durch Überlagerung von zwei Cardioiden (obere beide Bildreihen) herstellbare Richtdiagramme bzw. Richtcharakteristiken (untere Bildreihe). In sehr diffusen Schallfeldern mit großen Nachhallzeiten verliert jedes Mikrophon seine Richtwirkung.

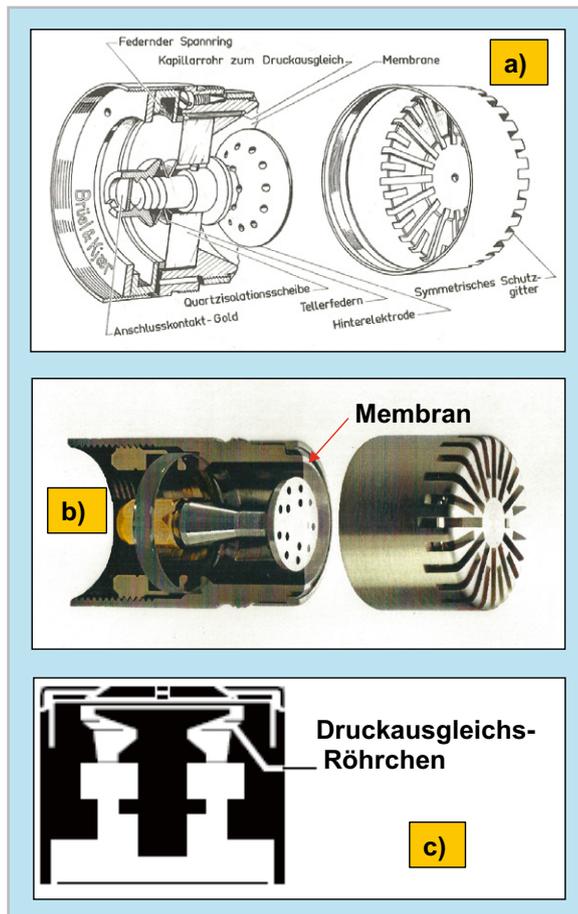


Bild 10: 1/2-Zoll-Kondensator-Messmikrofon mit kugelförmigem Richtdiagramm. Leerlauf-Übertragungsfaktor  $T_e$  je nach Ausführung: 12–50 mV/Pa, bei 1 kHz.

- a) Aufbau einer typischen Messmikrofonkapsel (Zeichnung) mit abschraubbarem Schutzgitter, ausgelegt für eine Polarisationsspannung von 200 Volt, die hier über einen vergoldeten Kontakt von außen zugeführt wird. Die Membran besteht aus nur wenige  $\mu\text{m}$  dickem Nickel, die zusammen mit der Gegenelektrode einen Kondensator bildet, dessen Kapazität sich bei Auslenkung (Beschallung) der Membran ändert
- b) Aufbau einer typischen Messmikrofonkapsel (Foto) mit abgeschraubtem Schutzgitter
- c) Kapillarröhrchen zum Ausgleich des statischen Luftdrucks

### Ausblick

Der hier vorliegende Beitrag befasste sich mit dem Thema Mikrofone, wobei nur das elektrodynamische und das elektrostatische Wandlerprinzip betrachtet wurden, einschließlich Elektretmikrofone. Behandelt wurden sowohl ungerichtet als auch gerichtet empfangende Mikrofone. Im nächsten, sechsten Teil dieser Serie sind Kopfhörer das zentrale Thema. Auch da wird im Wesentlichen nur von elektrodynamischen und von elektrostatischen Kopfhörern die Rede sein, und zwar sowohl in akustisch geschlossener als auch akustisch offener Ausführung. Natürlich wird auch über Kopfhörer mit aktiver Lärmkompensation berichtet. Selbstverständlich gehören auch die messtechnische Prüfung und Beurteilung der Übertragungseigenschaften von Kopfhörern zum Inhalt des nächsten Beitrages. Des Weiteren wird die Messung des Übertragungsfrequenzgangs, einschließlich des Übertragungsmaßes, sowie die Bestimmung und Beurteilung des Verzerrungsverhaltens, ausgedrückt durch den Klirrfaktor bzw. durch die Klirrdämpfung, im nächsten Beitrag behandelt. Erörtert wird auch die Messung mittels Messkuppler.

ELV



Bild 11: Grenzflächenmikrofon, auch: Pressure Zone Microphone (PZM) oder Boundary Layer Microphone (BLM) (Hier im Bild: BLM, Typ U851R, Audio Technica)

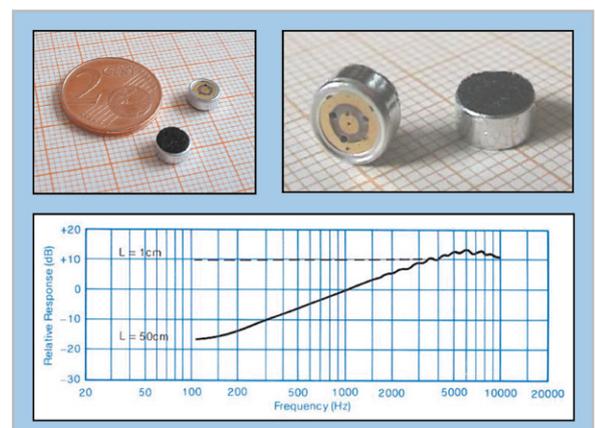


Bild 12: Kleines Elektretmikrofon mit achtförmigem Richtdiagramm (Panasonic, Typ WM 66 EC-103), Abmessungen:  $\phi 6,0 \times 2,7 \text{ mm}$ . Man erkennt hier gut die rückwärtigen Schalleinlassöffnungen. L = Abstand zum Mikrofon



Bild 13: Beispiele für Subminiatur-Elektretmikrofone für Hörgeräte von der Firma Knowles Electronics (Illinois), aufgeklebt auf Werbematerial. Man erkennt bei allen Mikrofonen sehr deutlich die drei für Elektretmikrofone typischen elektrischen Anschlüsse.

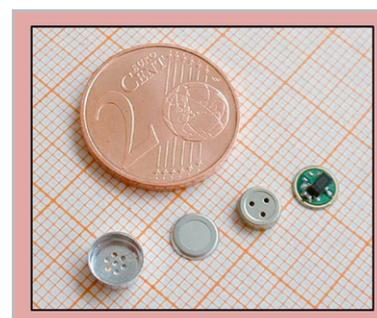


Bild 14: Bestandteile eines sehr kleinen, einfach aufgebauten Elektretmikrofons der Firma Hyesung, Typ HCM 6022