

# FUNKTECHNIK

## *in Briefen*

### **Mikrofone und ihre Anwendung**

Von R. Forberger

**Das Schallfeld / Die physikalischen Größen des Schallfeldes / Ohr, Lautstärke, Phon / Allgemeines über den Aufbau von Mikrofonen / Kontakt- (Kohle-) Mikrofone / Das Zentral-Batterie-Mikrofon / Das Kammermikrofon / Das Stielmikrofon / Dynamische Mikrofone / Bändchen-Mikrofon / Mikrofonvorverstärker Kondensatormikrofone / Zubehör / Aufstell- und Aufhängevorrichtungen / Kristall-Mikrofone / Der Aufnahmeraum / Aufnahmetechnik / Aufnahme eines einzelnen Redners oder eines Musikinstrumentes / Mikrofonaufnahmen in Räumen mit besonders großem Störspiegel / Aufnahme eines großen Orchesters Solist und Klavier / Sänger, Klavierspieler, Begleitorchester Aufnahme auf Bühnen / Uebertragung aus Gaststätten / Zwiegespräche / Aufnahme aus stark hallenden Räumen / Aufnahme bei Anwesenheit von Lautsprechern / Mischeinrichtungen / Anschalten von Mikrofonen an Verstärker / Anschluß niederohmiger Kohlemikrofone / Anschluß hochohmiger Kohlemikrofone / Anschluß des Bändchenmikrofons / Anschluß von Kondensatormikrofonen**

Bei jeder Wiedergabe von Sprache und Musik über Lautsprecher oder Kopfhörer muß, gleichgültig, ob es sich um ein Ferngespräch, um einen Tonfilm, um Rundfunk- oder Schallplatten-Musik oder aber um eine direkte Übertragung handelt, als erstes elektro-akustisches Gerät ein Mikrophon gearbeitet haben. Ihm fällt nämlich die Aufgabe zu, aus dem Schallfeld Schallenergie aufzunehmen und in elektrische Energie umzuwandeln.

Diese Aufgabe ist nicht einfach zu erfüllen und stellt große Anforderungen an den mechanischen und elektrischen Aufbau der Mikrofone. Um nur auf eines hinzuweisen: Die Schallenergie, die vom Mikrophon in elektrische umzusetzen ist, beträgt bei der Aufnahme einer Pianissimostelle eines Musikstückes oft nur den millionsten Teil der Energie, die das Mikrophon bewältigen muß, wenn es bei einer Reportage von einem Autorennen die Motorgeräusche zu übertragen hat. Und dieser ungeheure Bereich muß ohne merkbare Verzerrungen vom Mikrophon beherrscht werden. Welch umfassendes Instrument so ein Mikrophon ist, geht aus dem Vergleich mit einem elektrischen Meßinstrument, z. B. einem Voltmeter hervor, das einen Spannungsbereich von vielleicht 1:100 oder höchstens 1:1000 aufweist.

Das Mikrophon ist also das erste Gerät, das bei einer elektroakustischen Übertragung mitwirkt. Deshalb ist leicht einzusehen, daß von seiner Güte die Güte der Übertragung sehr stark abhängt, denn was das Mikrophon nicht aufgenommen hat, kann in den darauffolgenden Verstärkern, Lautsprechern usw. nicht mehr hinzugefügt werden. Hier ist es nur möglich, Unbrauchbares bis zu einem gewissen Grade auszumerzen. Daraus ergibt sich ohne weiteres die Folgerung, daß in einer Übertragungsanlage, wenn eine gute Qualität erzielt werden soll, niemals beim Mikrophon gespart werden darf. Wenn irgendwo der Satz gilt, daß nur das Beste gut genug ist, so bei der Auswahl des Mikrofons.

### Das Schallfeld

Das Verständnis der Arbeitsweise der Mikrofone hängt zum guten Teil von der Kenntnis einiger physikalischer Vorgänge ab. Aus diesem Grunde wollen wir auch zuerst die wichtigsten Erscheinungen der Schallfelder besprechen, wobei wir uns selbstverständlich auf das für die Mikrofontchnik Notwendige beschränken.

Der Mensch hört Schwingungen von etwa 16 bis 20 000 Hz<sup>2)</sup>, wobei zu beachten ist, daß die Empfindlichkeit für hohe Frequenzen mit dem Alter abnimmt. Alte Menschen hören hohe Töne, wie z. B. das Zirpen der Grillen, nicht mehr. Uns interessieren vor allem die Töne von etwa 30 bis 12 000 Hz, die dem Bereich der menschlichen Sprache und der Musikinstrumente entsprechen (Bild 1, Frequenzumfang der menschlichen Stimme und der Musikinstrumente).

Schallwellen sind Schwingungen der Luftteilchen. In Gasen, also auch in der Luft können sich nur longitudinale Schwingungen ausbilden im Gegensatz zu festen Körpern, wo auch andere Wellen, so z. B. transversale möglich sind. Unter einer longitudinalen Welle versteht man eine solche, bei der die Schwingungen der Teilchen in der Fortpflanzungsrichtung vor sich gehen zum Unterschied von der transversalen Welle, bei der die Teilchen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung schwingen (Bild 2 longitudinale und transversale Schwingungen).

Es ist gut, wenn man sich die Entstehung einer Schallwelle einmal an einem ganz einfachen Beispiel klar macht. In Bild 3 wird eine Fläche aus der Stellung A in die Stellung B bewegt. Geschieht dies genügend rasch, so haben die an der Vorderseite befindlichen Luftteilchen keine Gelegenheit, auszuweichen und es entsteht dort eine Verdichtung der Luft. Eine Verdichtung der Luft ist aber in Gasen bekanntlich

immer mit einer Druckerhöhung verbunden. Diese Druckerhöhung sucht sich auszugleichen und stößt

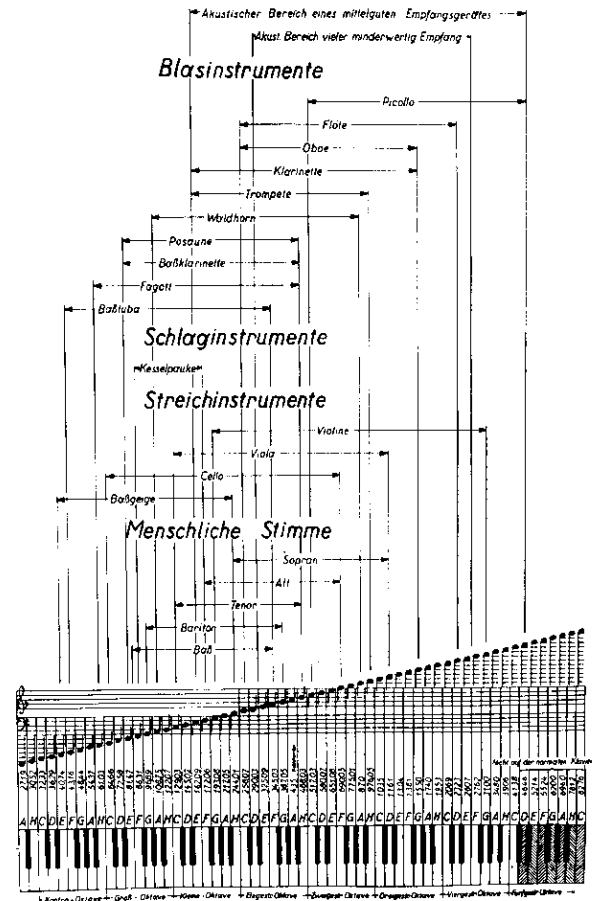


Bild 1. Frequenzbereich der menschlichen Stimme und der Musikinstrumente.

auf die weiter rechts gelegenen Luftteilchen. Diese geraten in Bewegung nach rechts und Verdichtung und Druckerhöhung pflanzen sich damit auch nach rechts weiter. Auf der anderen Seite der Fläche ist

<sup>2)</sup> Hz = Hertz  
 10 Hz bedeuten 10 Schwingungen in der Sekunde,  
 20 Hz „ 20 „ „ „ „ „ usw.

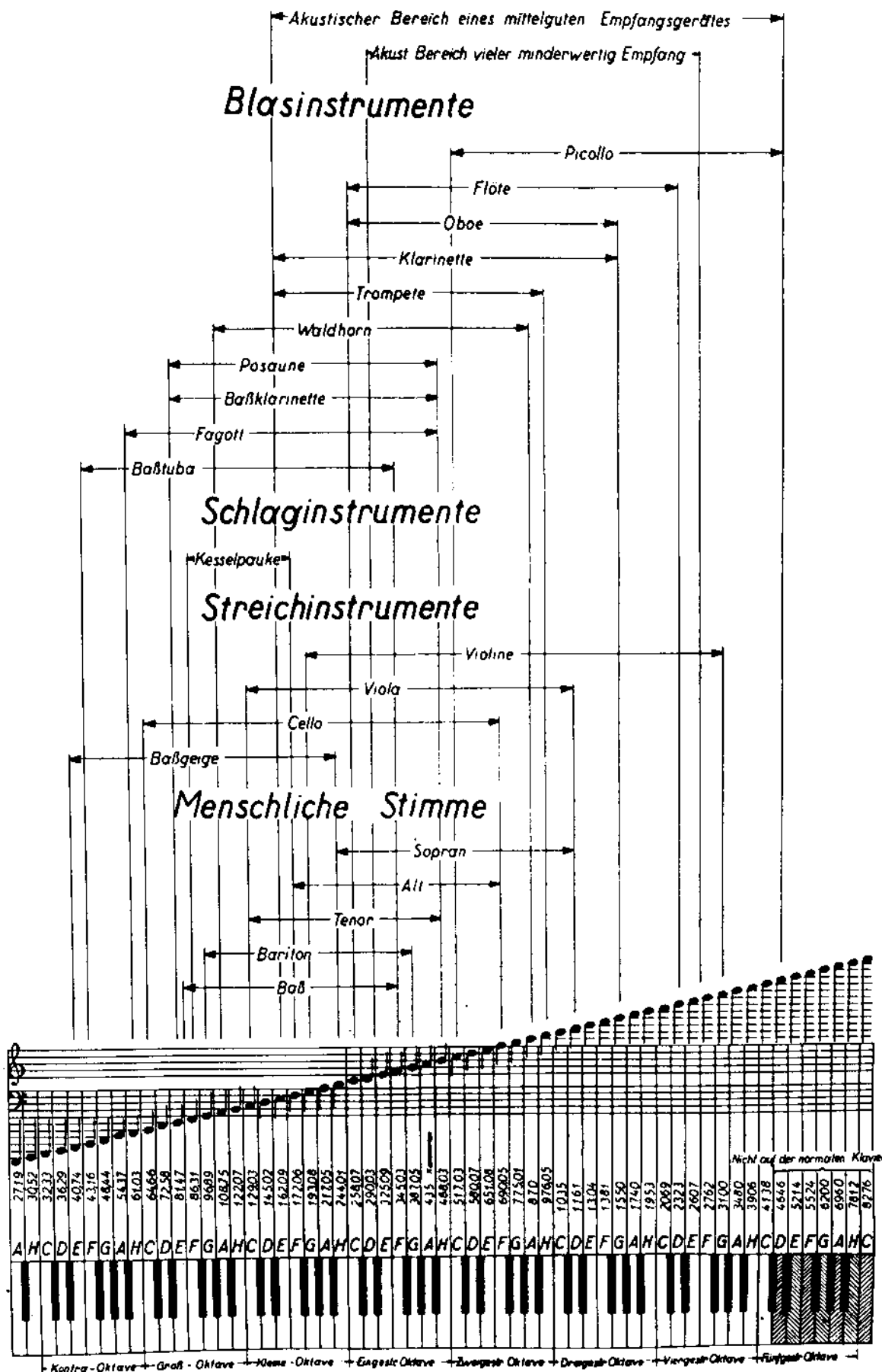


Bild 1. Frequenzbereich der menschlichen Stimme und der Musikinstrumente.

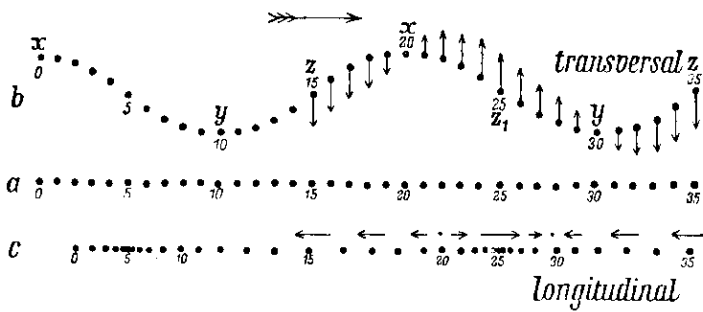


Bild 2. Longitudinale und transversale Schwingungen.

genau dasselbe geschehen, nur daß dort eine Verdünnung der Luft erzeugt wurde und damit eine Druckverminderung sich in genau derselben Weise nach links wie die Druckerhöhung auf der anderen nach rechts fortpflanzt. Schwingt die Fläche wie ein Pendel sinusförmig hin und her, so entstehen abwechselnd auf jeder Seite der Fläche sinusförmige, in der geschilderten Weise sich fortpflanzende Verdichtungen und Verdünnungen, die wir Schallwellen oder kurz Schall nennen.

Schallwellen breiten sich geradlinig wie das Licht aus und werden auch genau so wie das Licht von Wänden, Häusern usw. reflektiert, wobei ebenfalls wie beim Licht der Ausfallswinkel gleich dem Einfallswinkel ist. Allerdings darf man dabei nicht vergessen, daß beim Schall Beugungserscheinungen — darunter verstehen wir, daß eine Welle ganz oder teilweise um ein Hindernis herumgeht — auftreten,

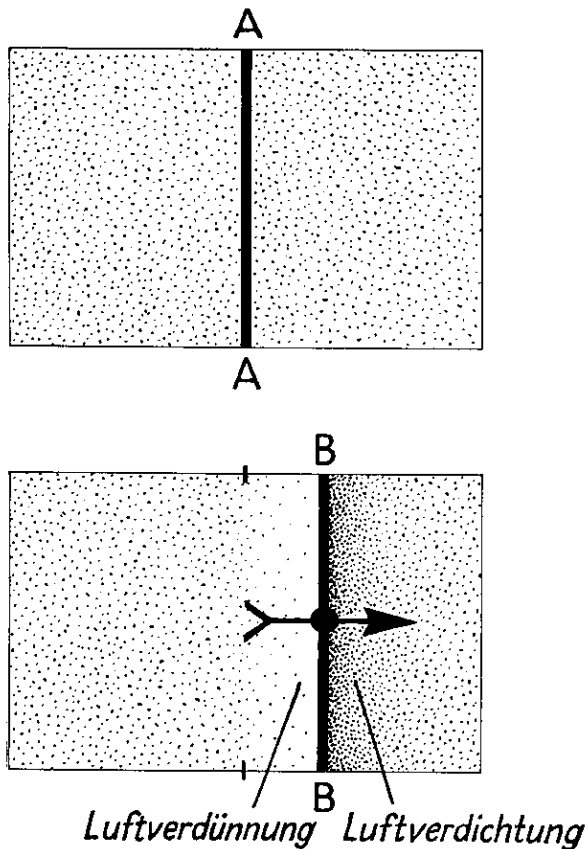


Bild 3. Entstehung einer Schallwelle.

wie wir sie beim Licht nicht gewöhnt sind. Sie treten besonders in Erscheinung, wenn die Wellenlänge groß ist im Vergleich zum Hindernis. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit beträgt in der Luft von 0 Grad C etwa 330 m und wächst mit jedem Grad C um etwa 0,6 m.

Hier wollen wir einfügen, daß wir unter Wellenlänge den Abstand von zwei gleichen Zuständen in der Welle verstehen, wie aus Bild 4 hervorgeht.

Wellenlänge, Frequenz und Fortpflanzungsgeschwindigkeit hängen nach der wichtigen Formel zusammen:

$$C \text{ cm sec}^{-1} = \lambda \text{ cm } f \text{ sec}^{-1}$$

Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist = Wellenlänge mal Schwingungszahl in der Sekunde.

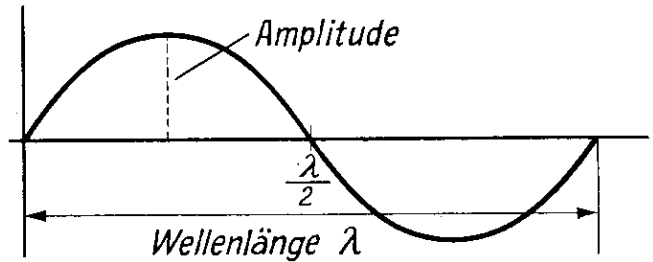


Bild 4. Begriff der Wellenlänge.

Daraus können wir uns die Wellenlängen des uns interessierenden Schallbereiches berechnen: Für 30 Hz beträgt die Wellenlänge etwa 10 m, für 10000 Hz etwa 3 cm. Wir können nun schließen, daß die tiefen Töne um Mikrofone normaler Größe ohne weiteres herumgehen, während dieselben Mikrofone für die hohen Töne ein Hindernis bilden, das einen Schallschatten wirft, das ist eine Stelle, wohin kein Schall gelangt.

Die Schallfelder können verschiedenes Aussehen haben. Breitet sich der Schall von einem Punkt nach allen Richtungen gleichmäßig aus, so spricht man von einer Kugelwelle. Theoretisch erhält man ein solches Schallfeld durch eine Kugel, die im Rhythmus des Schalles sich aufbläht und wieder zusammenschrumpft. Praktisch finden wir Kugelwellen bei jeder im Verhältnis zur abgestrahlten Schallwelle kleinen Schallquelle, nur in der unmittelbaren Nähe der Schallquelle sieht das Schallfeld anders aus. Eine solche Kugelwelle heißt Kugelwelle O. Ordnung zum Unterschied von anderen Kugelwellen z. B. erster Ordnung, die dann entstehen, wenn eine Kugel hin- und herbewegt wird. Je größer die Entfernung von der Schallquelle, desto geringer wird die Krümmung der Wellenfront, bis schließlich die Welle ganz eben ist. Man spricht dann von einer ebenen Welle. Treffen zwei Wellenzüge aufeinander, kommt es zur Überlagerung oder Interferenz. Beim Schall erfolgt die Überlagerung ohne gegenseitige Beein-

flussung (Bild 5), die Luftteilchen machen beide Bewegungen in einfacher Zusammensetzung mit. Am interessantesten ist die Überlagerung zweier Wellenzüge gleicher Frequenz und gleicher Stärke, aber entgegengesetzter Richtung, die eine sog. stehende Welle ergibt (Bild 6). Der Name rührt davon her, daß die Schwingungen der Luftteilchen sich nicht mehr von einer Stelle zur anderen fortpflanzen, sondern ein örtlich gleichbleibendes, nur mit der Zeit veränderliches Bild ergeben. In einer stehenden Welle bilden sich Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche. In den Schwingungsknoten bleiben die Teilchen vollkommen ruhig, in den Schwingungsbäuchen ist die Schwingungsweite am größten. Stehende Wellen bilden sich gern in Räumen mit glatten Wänden aus durch Überlagerung der ursprünglichen mit der reflektierten Welle.

Schwebungen entstehen, wenn zwei Wellenzüge von wenig verschiedener Frequenz aufeinander treffen (siehe auch Bild 5). Die beiden Wellen wirken an

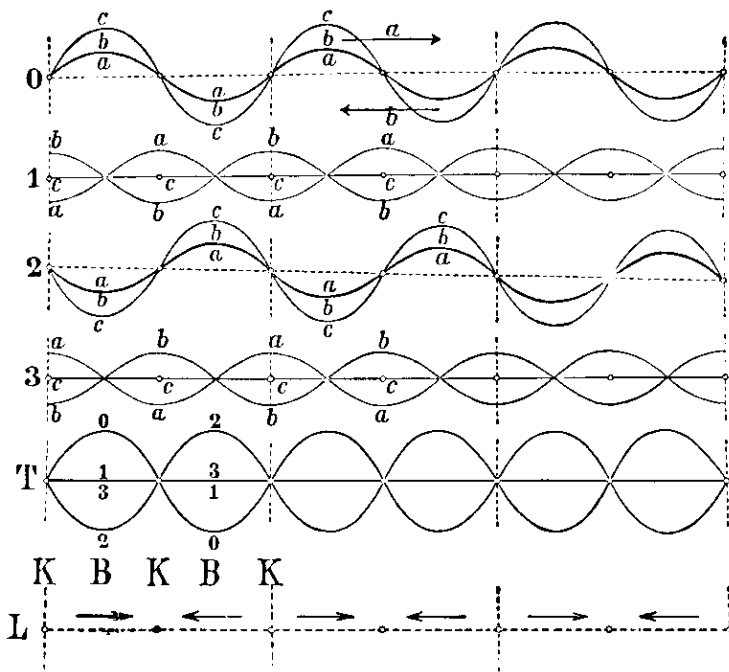


Bild 6. Stehende Wellen.

den Stellen 1, 3, 5 im gleichen Sinn, an den Stellen 2, 4, 6 einander entgegengesetzt. Die Schwingungsweite der Gesamtwellen wächst daher an den Stellen 1, 3, 5 auf das Doppelte, während sie an den Stellen 2, 4, 6 auf 0 herabgeht. Dazwischen liegen entsprechende Mittelwerte. Schwebungen schreiten im Raum wie gewöhnliche Wellen fort.

Gelangt Schall, der an einer Fläche zurückgeworfen wurde, nochmals an unser Ohr bzw. an das Mikrophon, so sprechen wir vom Echo. Der Zeitunterschied zwischen ursprünglichem Schall und Echo hängt von

der Entfernung der echobildenden Fläche ab und kann aus der Schallgeschwindigkeit und der Entfernung ohne weiteres errechnet werden (Bild 7) Wird diese Entfernung so klein, daß das Echo schon wieder das Ohr trifft, bevor der Originalschall verklungen, geht das Echo in den Nachhall über.

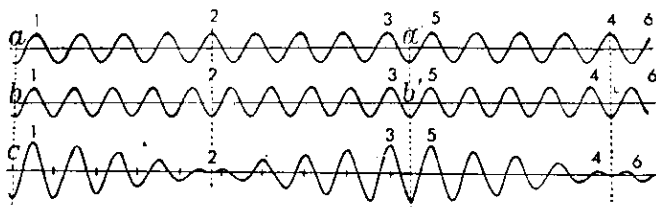
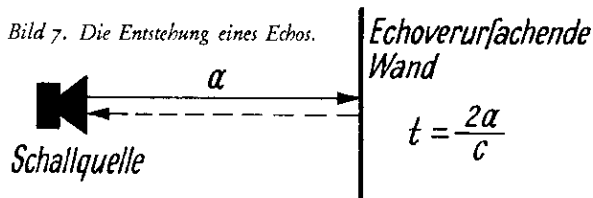


Bild 5. Überlagerung zweier Wellen annähernd gleicher Schwingungszahl.

Der Nachhall spielt eine besondere Rolle in dem für Mikrofonaufnahmen sehr wichtigen Schallfeld geschlossener Räume mit reflektierenden Wänden. Hier ist, so wird wenigstens für die Theorie angenommen, der Raum gleichmäßig mit Schallenergie erfüllt, und zwar kommen die Schallwellen nach jedem Punkt aus allen Richtungen. Ein in einem solchen Raum erzeugter Schall klingt nicht sofort ab, weil er auf Umwegen durch Reflexionen mehrmals wieder zum Ohr gelangt. Diese Eigenschaft des Raumes, der Nachhall hängt ab von der Größe des Raumes und der in ihm befindlichen schallschluckenden Stoffe\*) und wird gekennzeichnet durch die sog. Nachhallzeit, das ist jene Zeit, in der die Schallenergie auf den zehnmillionsten Teil absinkt. Die theoretische Annahme der gleichmäßigen Energieverteilung trifft allerdings praktisch nicht zu. Man findet neben der gleichmäßig verteilten Schallenergie stehende Wellen, mehr oder weniger ausgesprochene Echobildungen, Schwebungen usw., kurz ein äußerst kompliziertes Durcheinander der verschiedensten Wellenarten.

Im Freien sind die Schallfelder meist wesentlich einfacher als in geschlossenen

Bild 7. Die Entstehung eines Echos.



Räumen, weil die echobildenden und reflektierenden Wände usw. eine viel geringere Rolle spielen.

\*) Darunter verstehen wir solche, die den Schall, der auf sie auftrifft, stark geschwächt zurückwerfen. Man benutzt sie zur Verbesserung der Akustik in Räumen mit zu großem Nachhall, um die Nachhallzeit zu verkürzen.

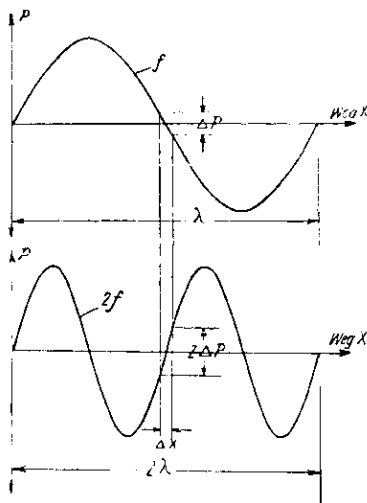


Bild 8. Der Druckgradient bei den Frequenzen  $f$  und  $2f$ .

## Die physikalischen Größen des Schallfeldes

In jeder einfachen Schallwelle schwingen die Luftteilchen nach einem Sinusgesetz mit einer bestimmten Ausschlagsweite hin und her. Wir nennen diese Ausschlagsweite Schallamplitude oder Schallausschlag. Die Bewegung erfolgt mit einer Geschwindigkeit, die wir Schallschwindigkeit nennen zum Unterschied von der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit. Die Folge dieser Schwingungen sind örtliche Druckänderungen, die Schalldruck heißen.

Besonders wichtig ist der Schalldruck, der gewöhnlich in  $\mu\text{bar}$  gemessen wird, weil auf ihn die meisten Mikrofone ansprechen.

Das Verhältnis von Schalldruck und Schallschnelle wird Schallwiderstand genannt.

Ähnlich wie in der Elektrotechnik Strom und Spannung phasengleich oder phasenverschoben sein können, ist das auch bei Schalldruck und Schallschnelle der Fall. Das hängt von der Art des Schallfeldes ab. In einer ebenen Welle sind beide phasengleich und der obengenannte akustische Widerstand ist unabhängig von der Entfernung der Schallquelle und von der Wellenlänge.

Bei allen Wellen, die gekrümmte Wellenfronten aufweisen, tritt eine Phasenverschiebung ein. Je größer die Krümmung (bei der Kugelwelle also je näher die Schallquelle ist) und je niedriger die Frequenz, desto größer wird die Phasenverschiebung.

Unter dem Druckgradient verstehen wir den Druckunterschied zwischen zwei Punkten einer Welle, geteilt durch die Entfernung dieser beiden Punkte. Wie man aus der Zeichnung (Bild 8) sieht, steigt er bei gleicher Entfernung der betrachteten Punkte proportional mit der Frequenz an. Zwei weitere interessierende Größen sind die Schallintensität, das ist die in einer Sekunde durch einen  $\text{cm}^2$  hindurchtretende Energie und die Schalldichte, das ist die in jedem  $\text{cm}^3$  enthaltene Energie des Schalles.

## Ohr, Lautstärke, Phon

Das Ohr empfindet, wie bereits gesagt, Schwingungen der Luft von etwa 16—20 000 Hz.

Bei der Übertragung von Schall verzichtet man aber aus technischen und preislichen Gründen auf dieses breite Frequenzband und begnügt sich mit einem wesentlich schmälere. Zur naturgetreu erscheinenden Übertragung braucht man ein Band von mindestens 50 bis 10 000 Hz. Der Rundfunksender überträgt bis etwa 5000 Hz, und zur verständlichen Übertragung von Sprache, wie sie für das Telefon ausreicht, genügen etwa 200—2000 Hz. Da der Bau eines Mikrofons umso teurer ist, je breiter das verlangte Frequenzband und auch die Spannungsabgabe des Mikrofons gewöhnlich mit dem Breiterwerden des Frequenzbandes sinkt, ist das geforderte Frequenzband für die Konstruktion der Mikrofone von ausschlaggebender Bedeutung.

Die Lautstärke, die wir empfinden, hängt ab von der dem Ohr zugeführten Schallenergie. Nun steigt aber die Lautstärkeempfindung nicht proportional mit der Schallenergie, sondern es gilt hier wie überhaupt in der Physiologie das Weber-Fechner'sche Gesetz. Nach diesem Gesetz wächst die Empfindung (Lautstärke) mit dem Logarithmus des Reizes (Schallenergie), also die Lautstärke wesentlich langsamer als die Schallenergie. Weiter ist zu beachten, daß bei zwei Tönen gleicher Schallenergie, aber verschiedener Frequenz die Lautstärkeempfindungen durchaus nicht gleich groß sein müssen. Die Empfindlichkeit des Ohres ist am größten in der Gegend von 2000 Hz und fällt nach den hohen und tiefen Tönen stark ab. Bei 2000 Hz reicht schon der unvorstellbare kleine Druck von 0,0003  $\mu\text{bar}$ \*) aus, um einen Gehörseindruck zu hinterlassen. Bei 125 Hz braucht man schon mehr als 100 mal so großen Druck oder eine 10 000 mal so große Energie, um etwas zu hören. Bild 9 gibt einen Überblick über diese Verhältnisse. Auf der Abzisse sind die Frequenzen aufgetragen, auf der Ordinate die Schallenergien. Beides im logarithmischen Maßstab. Die unterste Kurve verbindet die Schalldrücke der verschiedenen Frequenzen, die im Ohr noch einen Gehörseindruck hinterlassen. Man nennt sie die Reizschwellekurve.

Steigen die Schalldrücke über ein bestimmtes Maß, so hören wir nicht mehr lauter, sondern empfinden einen Schmerz. Die Verbindung dieser Punkte ergibt die oberste Kurve des Bildes. Zwischen beiden Kurven liegt die sog. Hörfläche, die alles umschließt, was wir mit dem Ohr wahrnehmen.

Ohne weiteres ist einzusehen, daß es nicht leicht ist, für die Lautstärke ein Maß zu schaffen, das allen Anforderungen entspricht. Wegen der Frequenzabhängigkeit des Ohres darf das Maß zuerst nur für eine Frequenz festgelegt werden. Man hat dazu

\*) 1  $\mu\text{bar} = 1 \text{ dyn/cm}^2 = \frac{1}{1000} \text{ gr/cm}^2$ .

1000 Hz gewählt und als 0-Punkt die Energie  $E_0$  (bzw. den Druck  $p_0$ ), die der Reizschwelle zugeordnet ist. Um dem logarithmischen Empfinden des Ohres zu entsprechen, wählte man auch eine logarithmische Beziehung und definiert als Lautstärke für 1000 Hz in Phon.

$$L = 10 \log \frac{E}{E_0} \text{ Phon} = 20 \log \frac{P}{P_0} \text{ Phon.}$$

Worin  $E$  und  $p$  Schallenergie bzw. Schalldruck des Schalles sind, dessen Lautstärke wir festlegen wollen. Damit hat man eine Maßskala für 1000 Hz. Diese Skala entspricht nicht nur in der logarithmischen Steigerung unserem Gehörempfinden, sondern auch noch darin, daß man den Unterschied in der Lautstärke von 1 Phon gerade noch gut hören kann. Ein um 1 Phon lauterer Ton ist also für unser Empfinden gerade noch merklich lauter.

Um diese Skala auf die anderen Frequenzen zu erweitern, verglich man nun alle Töne in ihrer Lautstärke subjektiv mit den Tönen von 1000 Hz und zeichnete in die Hörfläche die Kurven gleicher Lautstärke ein. Jetzt ist man imstande, die Lautstärke der verschiedensten Geräusche und Klänge festzustellen. Eine Übersicht gibt die folgende Tabelle:

Leises Flüstern .....	17 Phon
Mittlere Sprache .....	57 „
Schr laute Sprache .....	77 „
Spitzenwerte bei sehr lauter Sprache ..	84 „

Uns interessiert besonders die Lautstärke des Tones von 1000 Hz bei einem Druck von 1  $\mu$ bar.

$$L_{1 \mu\text{bar}} = 20 \log \frac{1}{0,0003162} = 20 \log 3162 = 70 \text{ Phon.}$$

Diese Lautstärke ist für die Beurteilung der Mikrofone besonders wichtig, da bei den Messungen die Spannungsabgabe aller Mikrofone auf diesen Schalldruck von 1  $\mu$ bar bezogen wird und andererseits 70 Phon etwa die durchschnittliche Lautstärke ist, mit der normal ein Gespräch geführt wird.

## Allgemeines über den Aufbau von Mikrofonen

Zum Bau von Mikrofonen hat man schon die verschiedensten physikalischen Erscheinungen herangezogen. Größere Verbreitung haben bisher aber nur drei Mikrofonarten gefunden, nämlich die Kohlemikrofone, die dynamischen Mikrofone und die Kondensatormikrofone. In der letzten Zeit gewinnt noch eine vierte Mikrofonart, die Kristallmikrofone, Bedeutung. Doch sind hier noch nicht alle Schwierigkeiten überwunden.

Wenn auch das Prinzip, nach dem ein Mikrofon gebaut wird, nicht allein ausschlaggebend für die Güte ist, sondern auch noch die technischen Durchbildungen, so kann man doch ohne weiteres sagen, daß die

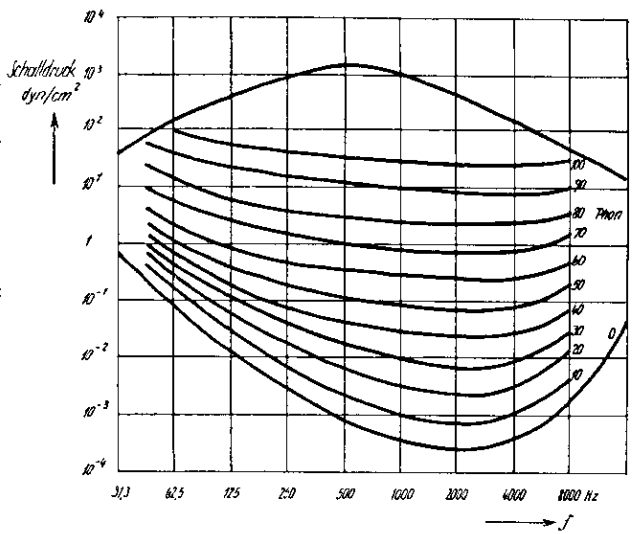


Bild 9. Die Hörfläche des menschlichen Ohres.

kapazitiven Mikrofone qualitativ die besten sind und wahrscheinlich auch noch lange Zeit bleiben werden. Für die Beurteilung eines Mikrofons sind folgende Größen wichtig:

1. die Empfindlichkeit  
Das ist die vom Mikrofon abgegebene Spannung bei 1  $\mu$ bar Schalldruck. Manchmal wird auch das „Übertragungsmaß“ angegeben, das ist die Spannung am Gitter der ersten Röhre, auch wieder für 1  $\mu$ bar Schalldruck.
2. die Frequenzkurve  
die angibt, wie sich die Empfindlichkeit mit der Frequenz ändert.
3. der Klirrfaktor  
Das ist das Verhältnis der im Mikrofon neu entstehenden Töne zum Grundton.
4. die Richtcharakteristik  
die die Empfindlichkeit des Mikrofons für die einzelnen Frequenzen in Abhängigkeit von dem Winkel angibt, unter dem der Schall auftrifft.

Zu diesen vier Punkten treten Betriebssicherheit, Abhängigkeit von Strom- und Spannungsquellen, Temperatur- und Feuchtigkeitsempfindlichkeit usw. Bei den Kohlemikrofonen sind noch weitere Faktoren beachtenswert, die wir aber erst in dem anschließenden Kapitel über diese Mikrofone besprechen wollen.

## Kontakt- (Kohle-) Mikrofone

Das Kontaktmikrofon ist nicht nur die älteste Mikrofonart, sondern hat auch im Kohlemikrofon als erstes eine technisch brauchbare Form und praktische Bedeutung gefunden. Auch heute noch übertrifft die Zahl der benutzten Kohlemikrofone bei weitem alle anderen Mikrofonarten zusammengenommen, denn in jedem Fernsprecher ist ein Kohlemikrofon eingebaut. Die Wirkungsweise der Kontaktmikrofone beruht auf der Änderung des elektrischen Widerstandes in

einem losen Kontakt bei Änderung des Kontaktdruckes. Bild 10 zeigt eines der ältesten Kohlemikrofone, das von Hughes. Ein zugespitzter Kohlestab wird von zwei mit entsprechenden Ausschnitten versehenen Kohlehaltern gehalten. Eine Batterie schickt einen elektrischen Strom durch die beiden Kohlehalter und den Kohlestab. Wird gegen diese Vorrichtung gesprochen, dann erschüttern die Schallwellen den Kohlestab. Stab und Halter bewegen sich gegeneinander, der Kontaktdruck wird geändert und damit der Übergangswiderstand, was wiederum eine Änderung des hindurchfließenden Stromes zur Folge hat. Da diese Änderungen im Rhythmus der Schallwellen erfolgen, hört man in einem Kopfhörer, durch den der so modulierte Gleichstrom der Batterie fließt, die auf das Mikrofon gesprochenen Worte.

Die Eigenschaft, beim Auftreten von Schallwellen die Größe seines Widerstandes zu ändern, besitzen nicht nur Kontakte aus Kohle, sondern lose Kontakte überhaupt. Umfangreiche Versuche haben aber ergeben, daß für Mikrofone Kohle das weitaus geeignetste Kontaktmaterial ist.

Bis ins Letzte ist noch nicht geklärt, was in einer solchen Kontaktstelle vorgeht. Man nimmt an, daß sich der Kontaktwiderstand aus zwei Teilen zusammensetzt, aus einem Übergangswiderstand an der Oberfläche der zwei kontaktbildenden Körper und dem Leitwiderstand im Innern dieser Körper.

Für den Mikrofoneneffekt ist wohl der Übergangswiderstand maßgebend. Er wird einer Gasschicht zugeschrieben, die sehr fest in der Oberfläche sitzt und beim Schwingen der Kontaktkörper wie ein elastisches Polster wirkt. Je größer der Druck zwischen zwei Kohlestücken ist, desto kleiner ist der Übergangswiderstand.

Einen solchen Kontakt kann man nur mit einer verhältnismäßig geringen Spannung belasten, und zwar bei Kohle noch am höchsten, nämlich bis etwa 1,5 Volt, während andere Kontakte nur wenige zehntel Volt vertragen. Über diese Spannung hinaus belastet, fängt der Kontakt an zu glühen, bakt zusammen und das Mikrofon wird unwirksam. Daß Kohle von allen Stoffen die höchste Kontaktspannung verträgt, ist mit der Hauptgrund, weshalb für Mikrofone ausschließlich Kohle als Kontaktmaterial benutzt wird.

Die heutigen Kohlemikrofone bestehen nun nicht aus einem einzigen solchen Kontakt, sondern meist aus Kohlegrieß. Der elektrische Strom durchfließt also nicht einen oder zwei Kontakte, sondern sehr viele. Je weniger Kontaktstellen der Strom durchfließen muß, desto empfindlicher ist das Mikrofon, wie man sagt, oder anders ausgedrückt, eine desto größere Spannung gibt es bei einem bestimmten Schalldruck ab.

Einen guten Überblick über die Strom- und Spannungsverhältnisse in einem Mikrofonkreis gibt das folgende Bild 11. Ist die Schallwelle sinusförmig, so

ändert sich der Widerstand (mit Einschränkungen, die wir später besprechen) auch sinusförmig und man kann setzen

$$R = R_0 + r \cdot \sin \omega t$$

daraus folgt ein Strom

$$I = \frac{E}{R_0 + r \sin \omega t}$$

$R_0$  bedeutet den Ruhewiderstand des Mikrofons  
 $r$  „ die Amplitude der Widerstandsänderung  
 $R$  „ den augenblicklichen Widerstand des Mikrofons.

Auf der Sekundärseite des gezeichneten Übertragers können den Stromänderungen entsprechende Spannungsänderungen abgenommen werden. Weil der sich sinusförmig ändernde Widerstand unten im Nenner steht, enthält der Strom bzw. die Spannung schon aus mathematischen Gründen außer der gewünschten Welle mit der gleichen Frequenz wie die Schallwelle auch noch Oberwellen. Ein Kohlemikrofon arbeitet also von vornherein nicht linear. Diese nichtlinearen Verzerrungen haben aber wenig Bedeutung im Vergleich zu jenen, die durch das einseitige Arbeiten der Membran bedingt sind. Es ist klar, daß eine Membran, auf deren einen Seite sich Luft und auf deren anderen sich Kohle befindet, nicht nach beiden Seiten gleich schwingen kann. Das hat große Verzerrungen zur Folge. Messungen haben ergeben, daß solche Verzerrungen besonders bei hohen Frequenzen und großen Schallstärken auftreten. Hier sind Klirrfaktoren bis zu 40% durchaus nicht ungewöhnlich.

Der hohe Klirrfaktor ist ein Grund, weshalb man bei besonders hochwertigen Übertragungen Kohlemikrofone nicht gern verwendet. Zwei weitere Gründe dafür sind das Kohlerauschen und die Reizschwelle. Der Widerstand der Kontaktstellen ändert sich durch verschiedene Ursachen, wie Erwärmung durch den hindurchfließenden Strom, zufällige Erschütterungen usw. ständig, was sich durch ein dauerndes Rauschen bemerkbar macht. Dieses Rauschen nimmt zu, wenn die Belastung des Mikrofons größer wird, man also eine höhere Spannung anlegt. Besonders unangenehm tritt das Rauschen der Kohlemikrofone in Erscheinung, wenn das Mikrofon überhaupt nicht oder nur

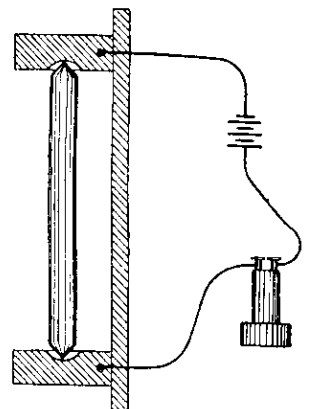


Bild 10.  
 Kohlestabmikrofon  
 von Hughes.



Bild 11. Wirkungsweise eines Kohlemikrofons.

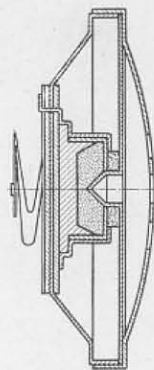
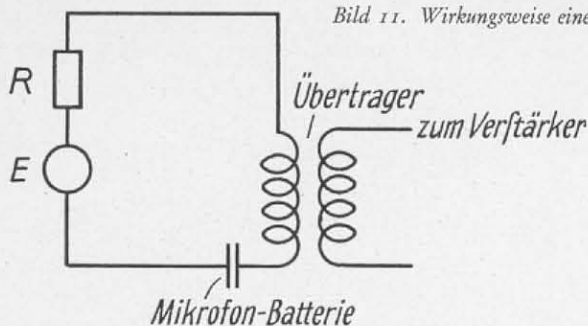


Bild 12. Schnitt durch ein ZB-(Zentral-Batterie)-Mikrofon.

sehr leise besprochen wird, weil dann das Rauschen stärker werden kann als der Nutzschaall.

Die dritte unangenehme Eigenschaft der Kohlemikrofone ist die Reizschwelle. Schall unterhalb einer gewissen Größe wird von Kohlemikrofonen überhaupt nicht aufgenommen, so daß sehr leise Stellen der Musik evtl. ganz verschwinden können und man nur das Kohlerauschen in der Übertragung hört.

Ogleich die Kohlemikrofone also eine Reihe grundsätzlicher Mängel aufweisen, sind sie die meistbenutzte Mikrofonart. Denn erstens gibt es heute schon Kohlemikrofone, bei denen das Kohlerauschen sehr wenig zu hören ist, die nur geringe nichtlineare Verzerrungen aufweisen und deren Reizschwelle sich kaum mehr bemerkbar macht. Ausschlaggebend für ihre häufige Verwendung ist aber die viel höhere Spannung, die sie im Vergleich zu anderen Mikrofonen abgeben, und der niedrige Preis. Ein Kohlemikrofon wirkt ähnlich wie ein Verstärker; aus seinen Klemmen kann wesentlich mehr Energie ent-

nommen werden als Schallenergie auf das Mikrofon auffällt. Man kann eine Verstärkung bis auf das tausendfache erzielen. Zum niedrigen Preis tritt noch der Umstand, daß der Aufbau einer Anlage mit einem Kohlemikrofon meist einfacher und damit billiger ist, weil der Vorverstärker erspart werden kann.

### Das Zentral-Batterie-Mikrofon

Bild 12 zeigt den Schnitt durch ein ZB-Mikrofon, die uns allen bekannte Telefonsprechkapsel.

Der Strom fließt von der Membran durch die Kohle zur Gegenelektrode. Die Eigenschwingungen der Membran liegen bei etwa 1000 Hz. Das würde noch nicht ausreichen, um eine gute Sprechverständlichkeit sicherzustellen. Deshalb werden die Lufträume im Sprechtrichter oder in der Einsprechkuppel des Telefons benutzt, um durch ihre Resonanz die Empfindlichkeit des Mikrofons für die höheren Frequenzen zu heben. Gerade in der letzten Zeit sind hier Fort-

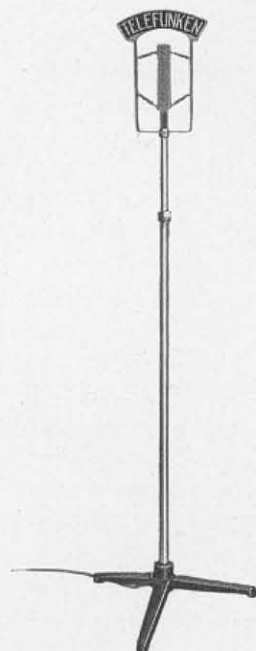
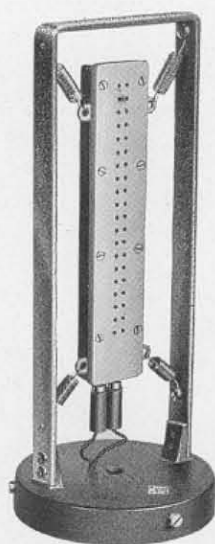


Bild 13, 14, 15.  
Telefunken-Kammermikrofon.  
Auf dem linken Bild mit Windschutz.

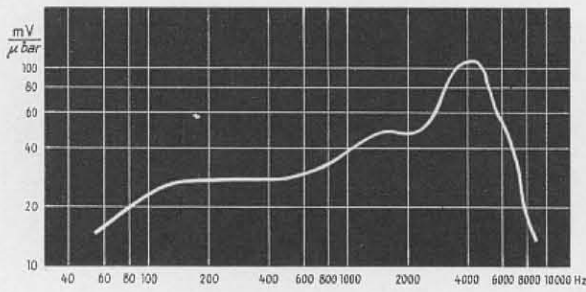


Bild 16. Frequenzkurve des Kammernmikrofons.

schritte erzielt und die Frequenzkurve bis etwa 3500 Hz erweitert worden, was schon eine sehr gute Verständlichkeit sicherstellt. Die Energieabgabe des ZB-Mikrofons ist so groß, daß ohne Verstärkung bis 100 km weit gesprochen werden kann.

Kapseln ähnlichen Aufbaus enthalten alle billigen Mikrofone, die zur Besprechung von Rundfunkgeräten und Verstärkern im Handel sind. Der Fuß dieser Mikrofone enthält gewöhnlich noch einen Übertrager, Taschenlampenbatterie und einen Aus- schalter.

### Das Kammernmikrofon

Als Beispiel für ein besonders hochwertiges Kohle- mikrofon wollen wir das sogenannte Kammern- mikrofon von Telefunken besprechen (Bild 13—15). Dieses Kohlemikrofon, mit dem man sogar Musik in aus- gezeichneter Güte übertragen kann, zeichnet sich gegenüber den anderen Mikrofonen seiner Klasse durch eine Reihe bemerkenswerter Vorzüge aus. Während sonst bei so hochwertigen Kohlemikrofonen fast immer eine Vorverstärkung notwendig ist, gibt das Kammernmikrofon hinter dem Übertrager eine so große Spannung ab, daß normale Verstärker ohne weiteres angesteuert werden. Das Frequenzband (Bild 16) ist sehr breit und umfaßt einen Bereich von mindestens 8 Oktaven; die nichtlinearen Ver- zerrungen sind ausnehmend klein und auch das Kohlerauschen konnte weitgehend unterdrückt wer-

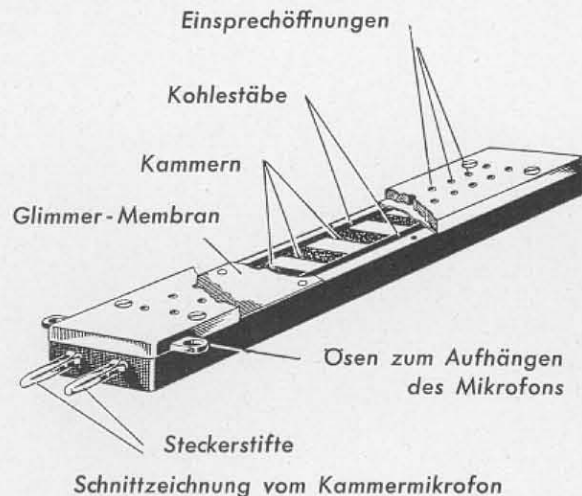


Bild 17. Innerer Aufbau des Kammernmikrofons.

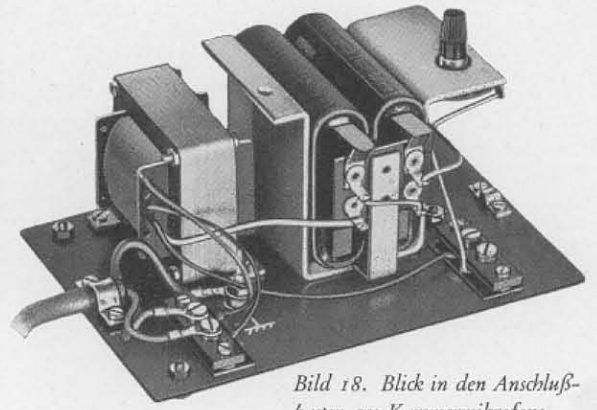


Bild 18. Blick in den Anschluß- kasten des Kammernmikrofons.

den. Erreicht wurden diese Eigenschaften in der Hauptsache durch eine Verteilung des Kohlegrießes auf 20 Kammern, nach welcher Bauart das Mikro- fon auch seinen Namen bekommen hat. Abbildung 17 zeigt den Aufbau.

Der Anschluß des Mikrofons an Verstärker erfolgt über einen besonderen Anschaltkasten (Bild 18 u. 19), der auch die beiden zum Betrieb des Mikrofons not- wendigen Taschenlampenbatterien enthält. Die Lei- tungslänge zwischen Mikrofon und Anschaltkasten darf bis zu 200 m betragen. Der Anschaltkasten da- gegen ist unmittelbar in der Nähe des darauffolgen- den Verstärkers unterzubringen. Zum Aufstellen des Mikrofons kann ein Tischständer oder in Verbindung mit einem besonderen Bügel auch der große verstell- bare Ständer benutzt werden.

### Das Stielmikrofon

Von den vielen Sonderkonstruktionen der Kohle- mikrofone, wie Mikrofone für Schwerhörige, Stark- strommikrofone für Kommandoanlagen, die bis zu mehreren Watt Sprechleistungen abgeben u. dgl., wollen wir ein ganz neues, das sogenannte Stiel- mikrofon näher beschreiben. Dieses Mikrofon dient hauptsächlich zur Übertragung von Sprache. Mit ihm ist es möglich, aus Räumen mit sehr großem Stör- spiegel, aus größter Nähe von starklärmenden Maschinen oder auch aus dem unmittelbaren Schall- feld eines mit dem Mikrofon an derselben Anlage angeschlossenen Lautsprechers zu übertragen, ohne daß dabei Störgeräusche oder akustische Rückkop- plungen die Verständlichkeit bei der Wiedergabe be-

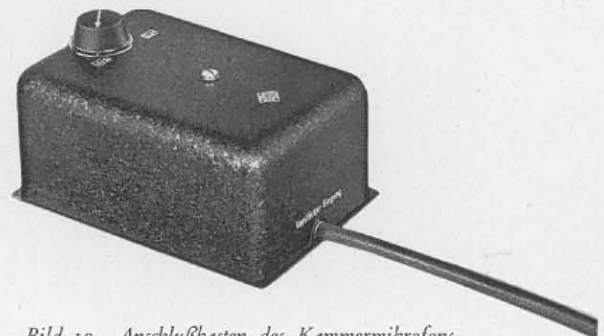


Bild 19. Anschlußkasten des Kammernmikrofons.

einträchtigen. Notwendig ist nur, daß das Mikrofon aus unmittelbarer Nähe besprochen wird. Die Mikrofonkapsel ist deshalb so gebaut, daß auch sehr große Schalldrücke, wie sie bei dieser Besprechungsart auftreten, nicht zur Übersteuerung des Kohlegrießes führen.

Wie das Mikrofon zu halten ist, zeigt Bild 20. Die Mikrofonkapsel darf nicht direkt von vorn besprochen werden, vielmehr ist die Membranebene in einen Winkel von etwa  $90^\circ$  zum Mund zu drehen und das Mikrofon mit der linken Hand in etwa 5 cm Abstand seitlich vom Mund zu halten. Durch Niederdrücken der Drucktaste (Bild 21) mit dem Daumen wird das Mikrofon während des Sprechens eingeschaltet und durch Loslassen nach dem Sprechen wieder ausgeschaltet. Da das Mikrofon hauptsächlich für Sprache bestimmt ist, bevorzugt es stark die hohen Frequenzen, wodurch die Silbenverständlichkeit erhöht wird.

Das Mikrofon (Bild 22) besteht aus der Sprechkapsel 1, dem Stiel 2 mit der Drucktaste 3, der Anschlußschnur 4 und einem Anschlußkasten (Bild 23), der den Übertrager und zwei hintereinander geschaltete Stabbatterien von je 1,5 Volt enthält.

Neben dem Hauptverwendungszweck als Mikrofon für Übertragungen aus Räumen mit großem Störspiegel dient es auch als sehr handliches, stetig griffbereites Mikrofon zur Ansage von Schallplatten, zur

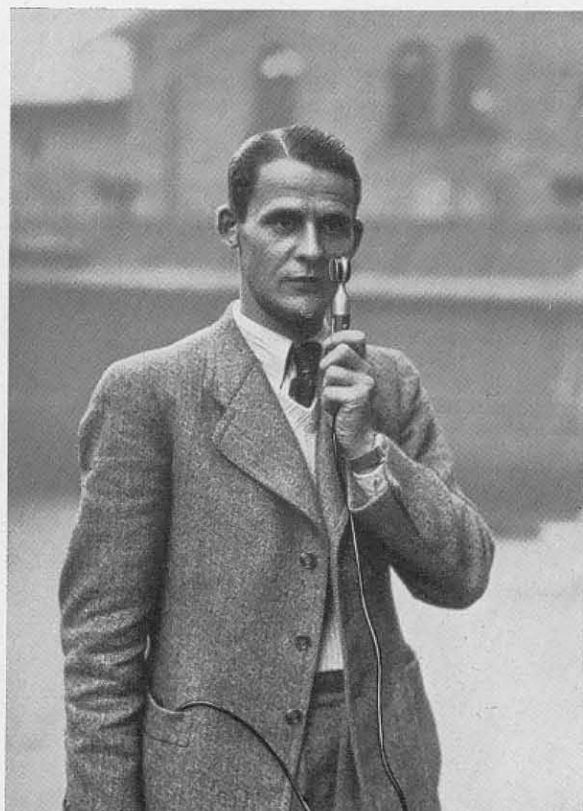


Bild 20. So muß das Stielmikrofon besprochen werden.



Bild 21. Telefunken-Stielmikrofon



Bild 22. Auseinandergeschraubtes Stielmikrofon.

Besprechung kleiner tragbarer und fahrbarer Anlagen, als Mikrofon für den Ansager in Kapellen und ähnliche Zwecke.

### Dynamische Mikrofone

Die zweite uns interessierende Gruppe bilden die dynamischen Mikrofone. Ihre Wirkungsweise ist die gleiche wie die jedes normalen Generators. Wird ein elektrischer Leiter in einem Magnetfeld bewegt, so entsteht an seinen Enden ein Potential-Unterschied (Bild 24). Die Spannung hängt ab von der Anzahl der in der Sekunde geschnittenen magnetischen Kraftlinien. Wenn  $l$  die Länge,  $v$  die Geschwindigkeit des Leiters und  $B$  die Stärke des magnetischen Feldes ist, dann beträgt die abgegebene Spannung  $e = l \cdot v \cdot B$ . Aus dieser Formel kann man gleich einen wichtigen Unterschied gegenüber den Kohlemikrofonen und, wie wir später sehen werden, auch gegenüber den Kondensatormikrofonen herauslesen. Die Kohle-



Bild 23. Anschlußkasten für das Stielmikrofon.



mikrofone sprechen auf Druckänderungen der Kontakte an. Dieser Druck ist selbstverständlich davon abhängig, wie weit die Membran von der Ruhelage abweicht, also von der Ausschlagweite oder Amplitude. Soll die Spannungsabgabe für zwei verschiedene Frequenzen gleich groß sein, muß auch der Ausschlag der Membran gleich groß sein.

Bei den dynamischen Mikrofonen gilt diese Regel nicht. Soll in der Formel  $e$  (die Spannung) gleich bleiben oder mit anderen Worten das Mikrofon eine gerade Frequenzkurve besitzen, so muß  $v$  für alle Frequenzen gleich groß sein, weil  $l$  und  $B$  gegebene Konstanten sind. Gleich großes  $V$  entspricht aber nicht einer gleichbleibenden Ausschlagweite. Angenommen, die Ausschlagweite sei für 100 und 200 Hz die gleiche, nämlich  $a$ , so legt die Membran einmal in der Sekunde den gleichen Weg hundert mal, das andere Mal aber 200 mal zurück oder mit anderen Worten, bei 200 Hz ist die Geschwindigkeit doppelt so groß wie bei 100 Hz. Daraus folgt, daß bei 200 Hz auch die abgegebene Spannung 2 mal so groß sein würde wie bei 100 Hz. Wie man sieht, muß die Ausschlagweite der Membran bei den dynamischen Mikrofonen mit der Frequenz geradlinig abnehmen, wenn das Mikrofon eine gerade Frequenzkurve besitzen soll. Wie wir noch sehen werden, ist das nicht so einfach zu erreichen, weshalb der Bau guter dynamischer Mikrofone eine ziemlich schwierige Sache ist. Zum besseren Verständnis des folgenden wollen wir an dieser Stelle eine kurze Betrachtung über die Schwingungen von Mikrofonmembranen einschalten. Unter einer Membrane verstehen wir ein dünnes Häutchen, das gewöhnlich erst durch eine Einspannvorrichtung die nötige Steifheit erhält. Die wichtigste, uns interessierende physikalische Eigenschaft solcher Membran ist ihre sog. Resonanzlage. Fällt Schall auf eine Membran, so gerät sie in Schwingungen. Läßt man die Stärke des Schalles gleich groß, ändert aber seine Frequenz, so schwingt die Membran nicht immer gleich weit aus ihrer Ruhelage heraus, sondern bei einer bestimmten Frequenz am stärksten. Diese Frequenz nennt man die Resonanzfrequenz der Membran. Sie hängt ab von der Masse und der

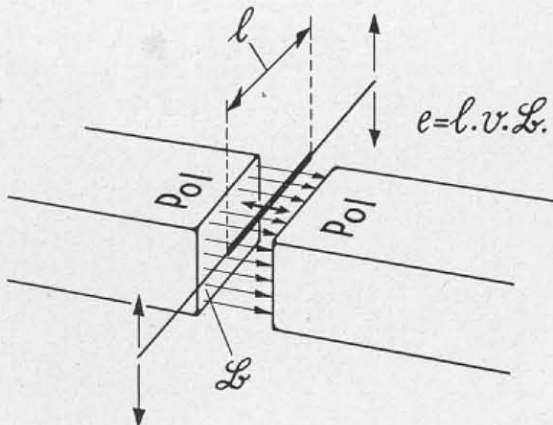


Bild 24. Wirkungsweise des dynamischen Mikrofons.



Bild 25. Telefunken-Bändchenmikrofon.

Elastizität der Membran (Rückstellkraft). Die Resonanzfrequenz liegt umso höher, je größer die elastische Kraft, d. h. die Einspannkraft ist und umso niedriger, je größer die Masse der Membran ist.

Uns interessieren drei Fälle:

1. Die Einspannung der Membran ist so straff, daß die Resonanzfrequenz oberhalb des Übertragungsbereiches liegt. Soll also bis etwa 10 000 Hz übertragen werden, wird in diesem Falle die Resonanzfrequenz oberhalb 10 000 Hz liegen. Eine solche Membran weist für alle Frequenzen unterhalb der Resonanzfrequenz — eine gleichbleibende Schallstärke vorausgesetzt — gleichgroße Ausschlagweiten auf. Solche Membranen werden verwendet für alle Mikrofone, bei denen zur Erzielung einer horizontalen Frequenzkurve gleichbleibende Ausschlagweiten notwendig sind, also für Kondensatormikrofone und hochwertige Kohlemikrofone. Wie wir gesehen haben, ist für dynamische Mikrofone eine gleichbleibende Ausschlagweite nicht brauchbar, weil die Frequenzkurve dann mit der Frequenz ansteigen würde. Das ließe sich durch eine elektrische Entzerrung leicht ausgleichen. Weit wichtiger ist hier, daß bei Membranen mit hochliegender Eigenfrequenz nur sehr große Schalldrücke so große Ausschläge hervorrufen, wie sie für dynamische Mikrofone notwendig sind. Aus dem gleichen Grunde verwendet man auch bei Kohlemikrofonen, bei denen es weniger auf das gute Frequenzband als auf die Größe der abgegebenen Spannung ankommt, lieber die zweite Membranart.

2. Bei diesen Membranen liegt die Resonanzfrequenz im übertragenen Frequenzbereich. Dadurch wird ein viel größerer Ausschlag und damit auch eine viel größere abgegebene Spannung erzielt. Leider aber nur für die Resonanzfrequenz und die Frequenzen in deren näheren Umgebung. Um doch noch eine halbwegs gleichmäßige Frequenzkurve zu erhalten, wird die Membran gedämpft, indem man sie in Gummi oder Filz einspannt oder sie Luft durch kleine Löcher treiben läßt, wodurch eine dämpfende Reibung entsteht. Die Dämpfung glättet zwar das Frequenz-

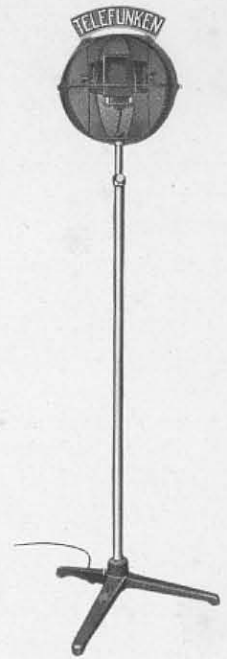


Bild 26, 27, 28. Telefunken-Bändchenmikrofon auf Ständern.  
Rechts mit Windschutz.

band, hat aber auch eine Verminderung der abgegebenen Spannung zur Folge.

3. Bei der dritten Membranart liegt die Resonanzfrequenz unterhalb des Übertragungsbereiches oder an dessen unterer Grenze. Die Bewegung solcher Membranen sind wesentlich größer als die der ersten Art. Die Schwingungsweite fällt mit steigender Frequenz, so daß man denken könnte, die richtige Membranart für dynamische Mikrofone gefunden zu haben. Leider aber fällt die Amplitude viel schneller als notwendig, so daß mit solchen Membranen nur ein begrenzter Frequenzbereich übertragen werden kann. Trotzdem werden solche Membranen für dynamische Mikrofone benutzt, und zwar wendet man einen besonderen Trick an, um doch noch eine gerade Frequenzkurve zu erhalten. Mit der Membran werden verschiedene Lufträume in dem Mikrofon verbunden — gekoppelt wie man sagt — die höhere Resonanzfrequenzen als die Membran besitzen und die, wenn sie in der Nähe ihrer Eigenschwingung erregt werden, die Membran mitnehmen. Die Kunst ist nun, die Eigenschwingungen der Hohlräume so über den gesamten Übertragungsbereich zu verteilen und sie so auf die Membran wirken zu lassen, daß die Frequenzkurve horizontal und gleichmäßig wird. Bei den dynamischen Mikrofonen kann der Leiter, in dem die Spannung induziert wird, entweder selbst als Membran ausgebildet werden, wie bei den Bändchenmikrofonen, oder aber die Leiter werden an einer besonderen Membran befestigt, wie es bei den Tauchspulenmikrofonen geschieht. Als Beispiel für ein dynamisches Mikrofon soll das in Europa verbreitetste dynamische Mikrofon, das Telefunken-Bändchenmikrofon beschrieben werden.

### Bändchen-Mikrofon Ela M 201/1

Das Bändchen-Mikrofon (Bild 25—28) trägt seinen Namen nach dem im Feld eines kräftigen Permanentmagneten hängenden Bändchen aus dünner Aluminiumfolie, das gleichzeitig als Membran und Leiter dient. Die induzierte Spannung ist klein. Deshalb ist ein Übertrager mit besonders hohem Übersetzungsverhältnis notwendig, um sie auf einen solchen Wert zu bringen, der es ermöglicht, sie über längere Leitungen zu schicken. Dieser Übertrager ist in das Mikrofon selbst eingebaut. Die Länge der Leitung zwischen Mikrofon und Vorverstärker kann bis zu 200 m betragen.

Das Bändchen-Mikrofon ist den Kohlemikrofonen in der Güte beträchtlich überlegen. Bei der Übertragung von Sprache und Musik macht sich vor allem das Fehlen der nichtlinearen Verzerrungen durch eine Erhöhung der Qualität bemerkbar. Das gleichmäßig übertragene Frequenzband umfaßt 8 Oktaven.

Das Mikrofon ist völlig rauschfrei und gegen Witte-rungseinflüsse sowie mechanische Beanspruchungen besonders unempfindlich. Alle diese Vorzüge machen es zu dem heute meistbenutzten dynamischen Mikro-

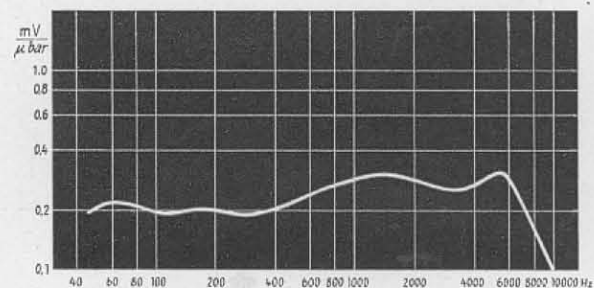


Bild 29. Frequenzkurve des Telefunken-Bändchen-Mikrofons.

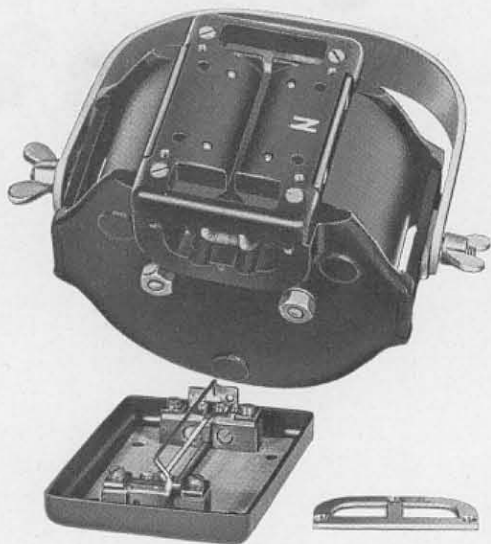


Bild 30. Aufbau des Bändchenmikrofons.  
Auswechselbarer Bändcheneinsatz.

fon in Musik- und Sprechübertragungsanlagen und Tonfilm-Ateliers.

Die Frequenzkurve (Bild 29) zeigt einige flache Wellen, die von den Hilfsresonanzen herrühren, die zur Erweiterung des Frequenzbandes dienen. Hierzu werden z. B. die Lufträume vor und hinter dem Bändchen verwendet.

Das Bändchen ist in einem besonderen Rahmen eingebaut (Bild 30), der nach Lösen von vier Schrauben und Abklemmen der Anschlüsse herausgenommen werden kann. Dadurch ist es möglich, bei Beschädigungen des Bändchens das Einsatzstück an Ort und Stelle auszutauschen.

Das Mikrofon kann drehbar in einem Bügel befestigt werden, der sich auf den großen verstellbaren Ständer Ela Mz 004/1 (Bild 26) oder den Tischständer Ela Mz 008/1 (Bild 27) aufschrauben läßt.

### Mikrofonvorverstärker Ela V 101/1

Dynamische Mikrofone, Kondensatormikrofone, Kristallmikrofone und auch manche Kohlemikrofone geben eine so geringe Spannung ab, daß mit ihr die



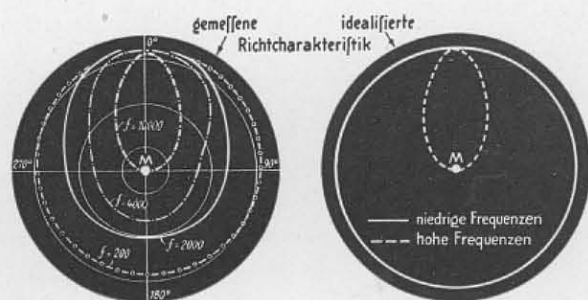
Bild 31.  
Mikrofonvorverstärker.

nachfolgenden Leistungsverstärker nicht angesteuert werden können. Deshalb muß zwischen Mikrofon und Leistungsverstärker ein sog. Mikrofonvorverstärker eingeschaltet werden. Bei diesen Mikrofonverstärkern ist besonderer Wert auf Störspannungsfreiheit zu legen und sie werden deshalb oft für Batteriebetrieb eingerichtet, oder, wie beim Telefunken-Mikrofonvorverstärker Ela V 101/1, für Batterie- und Netzbetrieb, wobei bei Netzbetrieb die bereits gleichgerichteten und gesiebten Spannungen für den Vorverstärker aus dem nachfolgenden Leistungsverstärker entnommen werden. Dadurch erspart man besondere Gleichrichter und Siebmittel für den Mikrofonvorverstärker. Bild 31 zeigt den Vorverstärker, der mit einer REN 904 Bi bestückt ist. Der Eingang ist an 200 Ohm angepaßt; der Ausgang ist hochohmig, weshalb die Entfernung zwischen Vorverstärker und Leistungsverstärker nicht größer als 1 bis 2 m sein darf.

### Kondensatormikrofone

Die Kondensatormikrofone sind heute zweifellos die Mikrofonart, die für hochwertige Übertragungen am häufigsten benutzt wird. Ihre Vorzüge, wie völliges Fehlen des Mikrofonrauschens, Fehlen der Reizschwelle, kaum meßbarer Klirrfaktor und das breite sehr ausgeglichene Frequenzband machen sie auch allen anderen Mikrofonarten überlegen. In neuerer Zeit haben sie noch weitere Bedeutung gewonnen, weil es gelungen ist, Kondensatormikrofone mit frequenzunabhängiger Richtcharakteristik bestimmter Form zu bauen, z. B. mit nieren- und achtförmiger Charakteristik. Diese Richtmikrofone ermöglichen es nicht nur, Aufnahmen besserer Qualität zu machen, sondern erleichtern auch dem Aufnahmetechniker seine schwierige Arbeit. Welch großen Fortschritt der Bau der kapazitiven Richtmikrofone\*) bedeutet, werden wir besonders in dem Kapitel über Aufnahmetechnik sehen.

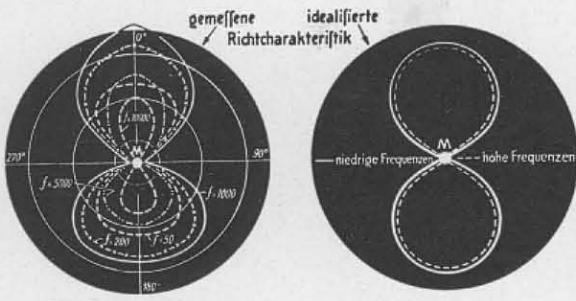
Wird nach der Richtcharakteristik eingeteilt, so unterscheiden wir unter den heute käuflichen Kondensatormikrofonen drei verschiedene Arten:



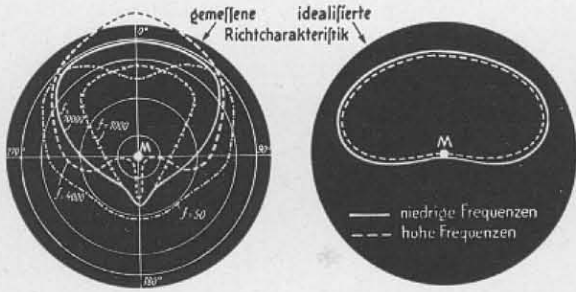
1. Mikrofone mit normaler Richtcharakteristik  
(Bild 32).

\*) Die Entwicklung dieser Mikrofone ist vor allem von Dr. v. Braunmühl gefördert worden.





2. Mikrofone mit achtförmiger Richtcharakteristik (Bild 33).



3. Mikrofone mit nierenförmiger Richtcharakteristik (Bild 34).

In der nächsten Zeit wird noch eine vierte Art der Kondensatormikrofone auf den Markt kommen, die sog. Kugelmikrofone. Diese weisen eine Charakteristik auf, bei der die Empfindlichkeit für alle Frequenzen vom Einfallswinkel unabhängig ist (Bild 35). Selbstverständlich ist es auch denkbar, Richtmikrofone nach anderen physikalischen Grundlagen zu bauen, teilweise ist dies auch schon geschehen. In Amerika erschien z. B. vor einigen Jahren ein dynamisches Achtermikrofon. Eine vollständige Reihe von Mikrofonen, die für alle in der Praxis vorkommenden Fälle das jeweils geeignetste Mikrofon enthält, gibt es vorerst aber nur bei den Kondensatormikrofonen, weshalb die Richtmikrofone bei dieser Mikrofonart besprochen werden sollen.

1. Kondensatormikrofon Ela M 301/1 mit normaler Richtcharakteristik (Bild 36). Vor einer festen ebenen Elektrode (Gegenelektrode) schwingt eine dünne mit Blattgold belegte Membran und bildet zusammen mit der Gegenelektrode einen



idealisierte Richtcharakteristik eines Kugelmikrofons

Bild 35.



Bild 36. Telefunken-Kondensatormikrofon mit normaler Richtcharakteristik auf Tischständer.



Bild 37. Unverwechselbarer Kupplungsstecker der Telefunken-Kondensatormikrofone.

veränderlichen Kondensator. Die durch den auftretenden Schall hervorgerufenen Membranbewegungen ändern die Kapazität dieses Kondensators und erzeugen Ladungs- und Entladungsströme, die wiederum an einem zwischen Gegenelektrode und Vorspannbatterie geschalteten Widerstand Spannungsschwankungen auftreten lassen. Diese Spannungsschwankungen werden in dem angebauten einstufigen Verstärker soweit verstärkt, daß die am Ausgangsübertrager des Mikrofons abgegebene Spannung (gemessen bei 800 Hz und Abschluß mit 200 Ohm): etwa  $1,2 \frac{\text{mV}}{\mu\text{bar}}$  beträgt.

Die abgegebene Spannung wird — gleichbleibenden Ausschlag der Membran vorausgesetzt — umso größer, je kleiner der Abstand zwischen Elektrode und Gegenelektrode ist, weil mit kleiner werdendem Abstand auch die prozentualen Änderungen des Kondensators und damit die Ladungs- und Entladungsströme größer werden. Soll ein Mikrofon eine brauchbare Spannung liefern, so darf der Abstand nur Bruchteile eines Millimeters betragen. Dieser außerordentlich geringe Abstand zwischen Membran und Gegenelektrode sowie die notwendige genaue Bemessung des dazwischen liegenden Luftpolsters machen einen mechanisch sehr sorgfältigen Aufbau der Kapsel erforderlich. Die Membran muß gegen mechanische Beschädigung durch ein kräftiges Drahtgitter und gegen das Eindringen von Staub und Tropfwasser durch feine Bespannungen geschützt werden.

Die Mikrofonkapsel ist in einen stromlinienförmigen Schraubkopf eingeschraubt, der als oberer Abschluß der Verstärkerflasche dient. Durch Schwenken dieses Schraubkopfes um seine waagerechte Achse kann die Kapsel beim Besprechen in die gewünschte Richtung gebracht werden. Die Mikrofonkapsel ist unmittelbar mit der Verstärkerflasche zusammengebaut, damit die Leitungen zwischen Kapsel und dem ersten Verstärkerrohr möglichst kurz werden. Diese kurzen Leitungen sind notwendig, weil sich sonst die Leitungskapazitäten störend bemerkbar machen würden. Als Verstärkerröhre dient eine RE 084 spezial, die, um die Kling- und Koppungserscheinungen zu vermeiden, vollkommen in Schwammgummi gelagert

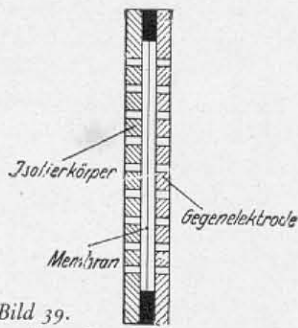


Bild 39.  
Aufbau des Kondensatormikrofons  
mit achtförmiger Richtcharakteristik.

Bild 38. Telefunken-Kondensatormikrofone mit  
acht- oder nierenförmiger Richtcharakteristik.

wird. Die Speisung des Verstärkers erfolgt aus Batterien.

Im unteren Teil der Verstärkerflasche ist ein Schauzeichen eingebaut, das mit dem Heizfaden der Röhre in Reihe geschaltet ist und anzeigt, wann der Verstärker und damit das Mikrophon betriebsbereit ist.

Die Verstärkerflasche endet in einem 5-poligen unverwechselbaren Kupplungsstecker (Bild 37), durch den die Betriebsspannungen dem Mikrophon zugeführt werden. Der Kupplungsstecker paßt zu mehreren Aufstell- und Aufhängevorrichtungen und wird mit diesen durch eine Überwurfmutter fest verbunden.

2. Kondensatormikrophon Ela M 303/1 mit achtförmiger Richtcharakteristik (Bild 38).

Das Mikrophon Ela M 303/1 ist ein ausgesprochenes Druckgradientenmikrophon (siehe Seite 6). Es besteht aus zwei gelochten Elektroden, zwischen denen eine Membran eingespannt ist (Bild 39). Für den Antrieb der Membran ist nur die Differenz des vor und hinter der Membran vorhandenen Schalldruckes maßgebend. Schall, der in Richtung der Membranebene das Mikrophon trifft, kann keine Druckdifferenz vor und hinter der Membran erzeugen, weshalb das Mikrophon in dieser Ebene unempfindlich ist. Senkrecht zur Membranebene ist die Empfindlichkeit auf beiden Seiten der Kapsel gleich groß, so daß sich eine Richtcharakteristik in Form einer Acht ergibt. Beim Ela M 303/1 sind die beiden festen Elektroden im Gegenakt geschaltet.

Der Aufbau des angebauten Verstärkers ist der gleiche wie bei dem Kondensatormikrophon Ela M 301/1, lediglich anstelle des Deckels mit Schraubkopf ist ein solcher mit einem Anschlußstutzen am Kopf der Verstärkerflasche angebracht. Die Mikrophonkapsel wird auf diesem Stutzen durch Bajonettverschluß befestigt.

3. Kondensatormikrophon Ela M 302/1 mit nierenförmiger Richtcharakteristik (Bild 38).

Die Mikrophonkapsel dieses Mikrofons besitzt zwei Membranen, zwischen denen sich eine Gegenelektrode befindet. Die Gegenelektrode ist mit durchgehenden Bohrungen versehen, so daß von beiden Membranen



Bild 40. Batteriekasten für Telefunken-Kondensatormikrophon  
(Ausführung in Holz).

ein Luftpolster eingeschlossen wird. Die Wirkungsweise der Mikrophonkapsel kann man sich am besten vorstellen, wenn man sich die Wirkung der Schallwellen in die des Schalldruckes und in die des Druckgradienten — d. i. die Druckdifferenz zwischen vorderer und hinterer Membran — zerlegt denkt. Auf die der Schallquelle zugekehrten Membran wirken Schalldruck und Schalldruckgradient im gleichen Sinne. Auf der anderen Membran heben sich dagegen die Wirkungen vom Druck und Druckgradient auf, so daß diese Membran in Ruhe bleibt.

Elektrisch wirksam ist immer nur eine Membran, und zwar die auf der Seite der Kapsel, auf der der Anschlußstutzen die Charakteristik eingraviert trägt. Das Mikrophon ist also auch im wesentlichen nur auf dieser Seite empfindlich. Die Richtcharakteristik des Mikrofons hat daher die Form einer Niere.

Die äußere Form der Mikrophonkapsel stimmt mit der der Kapsel des Kondensatormikrofons Ela M 303/1 überein, und auch die Befestigung auf dem Anschlußstutzen der Verstärkerflasche erfolgt wie bei diesem mittels Bajonettverschluß.

### Zubehör:

Für das Gelingen einer Mikrophonaufnahme ist es wichtig, nicht nur gute Mikrofone zu verwenden, sondern auch erstklassiges Zubehör. Vor allem wenn

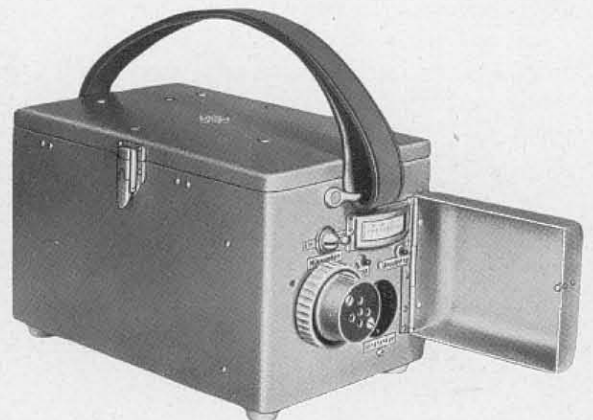


Bild 41. Batteriekasten für Telefunken-Kondensatormikrofone  
(Ausführung in Metall).



hochwertige Mikrofone benutzt werden, darf am Zuhörer nicht gespart werden. Hochwertige Mikrofone geben nur sehr geringe Spannungen ab und sind deshalb gegen Störeinflüsse besonders empfindlich. Es wäre z. B. sinnlos, ein Kondensatormikrofon an einen Vorverstärker anzuschließen, der eine Eingangsspannung hat, die in der Größenordnung der Mikrofonspannung liegt, oder zwischen einem hochwertigen Mikrofon und dem Verstärker eine ungeschützte Leitung zu verlegen.

Batteriekästen Ela MZ 017/1 und Ela MZ 018/1 (Bild 40 u. 41).

Zum Unterbringen und bequemen Anschluß der Batterien, die für den Betrieb der Kondensatormikrofone notwendig sind, dienen die Batteriekästen Ela MZ 017/1 und Ela MZ 018/1. Sie enthalten die Anodenbatterien, Heizakkumulatoren sowie die notwendigen Anschlußleisten, Klemmen und Stecker für die ankommenden und abgehenden Leitungen. Ela MZ 017/1 enthält außerdem noch ein Meßinstrument zum Messen der Heiz- und Anodenspannung.

### Aufstell- und Aufhängevorrichtungen

Damit die Mikrofone jederzeit in eine zur Schallquelle möglichst günstige Stellung gebracht werden können, benutzt man sie zusammen mit verschiedenen Ständern und Aufhängevorrichtungen. Der große zusammenlegbare Ständer Ela MZ 011/1 (Bild 42) ermöglicht es, die Mikrofonkapsel auf 1,3 bis 2,3 m Sprechhöhe einzustellen, der Tischständer Ela MZ 010/1 (Bild 36) dient zum Aufstellen auf Tischen, Pulten u. dgl., und der Aufhängenippel wird verwendet, wenn das Mikrofon aufgehängt werden soll.

In Theateranlagen und bei großen öffentlichen Übertragungen will man die Mikrofone möglichst versteckt und unauffällig aufbauen. Hierzu dienen die

Bild 42. Kondensatormikrofon auf großem zusammenlegbarem Ständer.



sog. Schwanenhälse, die auf die Verstärkerflasche der Kondensatormikrofone aufgeschraubt werden und es möglich machen, die Verstärkerflasche in den Boden einzulassen, so daß nur die Mikrofonkapsel zu sehen ist (Bild 43 u. 44).

### Kristall-Mikrofone

Wie bereits erwähnt, haben in der letzten Zeit die Kristall-Mikrofone größeres Interesse erlangt. Bei ihnen wird die Eigenschaft mancher Kristalle ausgenutzt, bei Beanspruchung auf Druck, Biegung usw. an gegenüberliegenden Flächen einen Potentialunterschied zu zeigen. Man hat schon lange gewußt, daß sich mit Hilfe dieses Piezoelektrischen Effektes gute Mikrofone bauen lassen müßten, wenn es gelänge, Kristalle zu züchten, die eine genügend große Spannung abgeben. Die in der Rundfunktechnik sonst benutzten Piezokristalle (Quarz und Turmalin) liefern aber bei einem Druck, wie er für Mikrofone in Betracht kommt, eine viel zu geringe Spannung. Im Seignettesalz ist nun ein Stoff gefunden worden, der eine genügend große Spannungsabgabe aufweist. Leider haben sich die daran geknüpften Hoffnungen noch nicht alle erfüllt, und die Schwierigkeiten beim Bau eines wirklich betriebssicheren Kristallmikrofons sind noch lange nicht überwunden.

Einmal ist es nicht leicht, die Kristalle rein zu züchten, was aber bestimmt kein unüberwindliches Hindernis bedeutet. Viel wichtiger ist, daß Seignettekristalle feuchtigkeitsempfindlich sind und nur Temperaturen bis gegen 50° C aushalten. Solche Temperaturen nehmen aber auch in unseren Breitengraden die Mikrofone bei direkter Sonnenbestrahlung, in der



Bild 43. Kondensator-Mikrofon auf kleinem Schwanenhals.

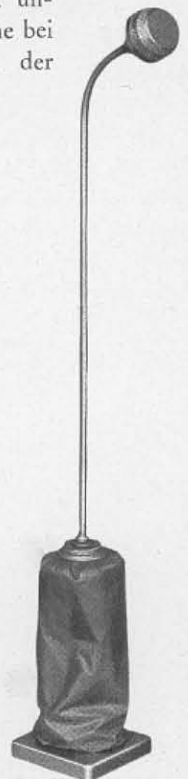


Bild 44. Kondensator-Mikrofon auf großem Schwanenhals.

Nähe eines Heizkörpers, bei Bestrahlung durch starke Bogenlampen im Filmatelier usw. leicht an und damit ist die Betriebssicherheit in Frage gestellt.

Für Mikrofone zerschneidet man den Seignettekristall in etwa 1 qcm große und nur Bruchteile eines Millimeters dicke Blättchen. Zwei solcher Blättchen werden unter Zwischenlage von Stanniol aufeinandergeklebt und auch die beiden Außenseiten erhalten einen Stanniolbelag, die miteinander verbunden werden.



Bild 45. Klangzelle eines Kristall-Mikrofons.

Eine solche Kombination weist, wenn sie auf Biegung beansprucht wird, eine Spannung zwischen der Außen- und der Innenbelegung auf. Gewöhnlich vereinigt man zwei dieser Kombinationen durch Zwischenlage eines kleinen Isolierstücks zu einer sog. Klangzelle (Bild 45), bei der das eingeschlossene Luftvolumen und die Elastizität der Kristallblättchen die Eigenschwingung bestimmen. Gewöhnlich wird diese über 10 000 Hz gelegt, so daß das Frequenzband allen Ansprüchen genügt (siehe Bild 46). Die Spannungsabgabe einer solchen Klangzelle beträgt etwa 0,12 mV/ $\mu$ bar, kann aber durch Hintereinanderschalten von mehreren Zellen vergrößert werden.

Ein wichtiger Vorteil der Kristallmikrofone ist ihre große Kapazität, die etwa 1000 cm je Zelle beträgt. Im Vergleich dazu ist die Leitungskapazität gewöhnlich klein, so daß direkt an das Mikrofon eine ziemlich lange Leitung ohne Beeinträchtigung der hohen Frequenzen angeschlossen werden kann. Durch das Hintereinanderschalten mehrerer Klangzellen wird allerdings die Kapazität entsprechend verkleinert. Das kann aber wieder dadurch ausgeglichen werden, daß mehrere Gruppen hintereinandergeschalteter Klangzellen parallel geschaltet werden. Bild 47 zeigt ein amerikanisches Kristallmikrofon mit insgesamt 24 parallel und hintereinandergeschalteten Zellen.

Ob es gelingen wird, die leider vorhandenen Schwierigkeiten im Bau der Kristallmikrofone ganz zu überwinden und die großen Vorteile, die das Mikrofon unstreitig besitzt (große Kapazität, einfache Bauweise, Unabhängigkeit von Stromquellen usw.) auszunutzen, ist heute noch nicht entschieden.

## Der Aufnahmeraum

Räume, in denen Mikrofonaufnahmen gemacht werden, müssen gewissen akustischen Bedingungen entsprechen, wenn die Aufnahmen gut sein und keinerlei Schwierigkeiten verursachen sollen. In erster Linie ist der Nachhall zu beachten. Jeder Raum besitzt eine bestimmte optimale Nachhalldauer, und zwar steigt diese mit der Raumgröße etwas an. Für kleinere Räume beträgt die günstigste Nachhallzeit 1—1,2 sec., für sehr große Räume etwa 2 sec. Dabei zeigt die Erfahrung, daß für Mikrofonaufnahmen die gün-

stigsten Nachhallzeiten etwas kleiner sind als für Musikwiedergabe. Auch schwankt die günstigste Nachhalldauer mit der Art der Aufnahme. Sprache und ähnliche Darbietungen, bei denen es im wesentlichen auf die Verständlichkeit ankommt, erfordern Räume mit geringerer Nachhallzeit als Unterhaltungsmusik und diese wiederum Räume mit geringerer Nachhallzeit als solche für getragene Musik.

Der Aufnahmeraum muß der Größe des Klangkörpers angepaßt sein. Ein zu kleiner Raum erschwert bei großen Orchestern nicht nur das Aufstellen, sondern macht sich auch im Klang nachteilig bemerkbar. Ebenso wird es schwer sein, in einem sehr großen Raum eine besonders gute Aufnahme von Hausmusik zu machen.

Ist die Nachhallzeit zu groß, so kann man sie durch den Einbau von dämpfenden Stoffen herabsetzen. Es wirkt sich dabei günstig aus, wenn man solche Stoffe wählt, die besonders in den Frequenzgebieten dämpfen, in denen die Nachhallzeiten des Raumes am längsten sind, wie überhaupt die Aufgabe der Nachhallverminderung nicht nur in der Herabsetzung der absoluten Dauer des Nachhalles besteht, sondern auch darin, ihn frequenzunabhängig zu machen.

## Aufnahmetechnik

Das Mikrofon „hört“ anders als das Ohr. Besonders auffällig wird diese Erscheinung in geschlossenen Räumen, wo Aufnahmen über Mikrofone viel hallender und verschwommener klingen als das direkt Gehörte. Im Freien ist der Unterschied weniger bemerkbar. Höchstens wird man manchmal feststellen können, daß wenn der Rundfunk eine Reportage von einer Veranstaltung macht, bei der eine Lautsprecheranlage benutzt wird, Echo und Doppelsprechen im Rundfunkgerät ausgeprägter erscheinen als an Ort und Stelle.

Die größere Halligkeit hat mehrere Ursachen. Zuerst einmal ist die Richtwirkung des Ohres größer als die normaler Mikrofone. Das kann durch Benutzung von Richtmikrofonen ausgeglichen werden, und in der Tat ergeben Aufnahmen über Nieren- oder Achtermikrofone ein wesentlich hallfreieres Klangbild. Daneben scheinen aber psychologische Auswahlvorgänge eine wesentliche Rolle zu spielen. Wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf etwas richten, hier also auf das zu verstehende Wort, so tritt dieses im Vergleich zu allen übrigen Schallerscheinungen, für unser Empfinden stark in den Vordergrund.

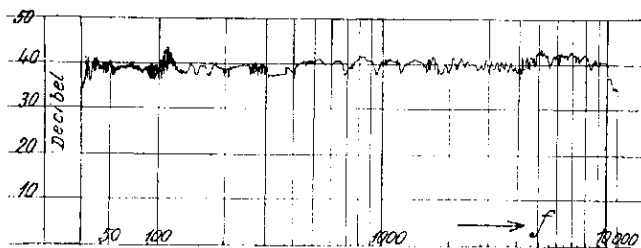


Bild 46. Frequenzkurve eines Kristall-Mikrofons.

Das macht sich ebenso in lärmgefüllten Räumen geltend, wo wir noch Sprache verstehen, die bedeutend schallschwächer ist als der Störschall, wie auch in halligen Räumen, wo der Nachhall als Störschall anzusehen ist.

Für die Mikrofonaufnahme ist demnach ein größeres Verhältnis von Nutzschaall zu Störschall erforderlich als beim direkten Hören. Ein gutes Bild von der Größe dieses Unterschiedes ergibt sich, wenn man einmal versucht, mit einem Mikrofon mit normaler Richtcharakteristik eine Aufnahme aus einer von der Bühne entfernt gelegenen Zuschauerreihe eines Theaters zu machen. Für den Zuschauer kann noch jedes Wort gut und deutlich zu verstehen sein, während die Aufnahme über das Mikrofon schon vollkommen unverständlich ist. Man muß sich bei jeder Aufnahme in geschlossenen Räumen ins Gedächtnis rufen, daß in Räumen mit normalem Nachhall schon in verhältnismäßig geringem Abstand von der Schallquelle der reflektierte Schall den direkten überwiegt, trotzdem für das Ohr fast noch keine Halligkeit festzustellen ist.

Zur größeren Klarheit des direkt gehörten Schallbildes trägt weiter das doppelohrige Hören bei. Dieses ist nicht nur die Ursache, daß wir plastisch hören, sondern es läßt auch die Halligkeit weniger empfinden. Ebenso bewirkt es, daß wir die stehenden Wellen nicht bemerken, die sich in fast jedem geschlossenen Raum ausbilden und die hinter dem Mikrofon genau wahrzunehmen sind.

Dem Überwiegen des reflektierten Schalles über den direkten kann man bei der Aufnahme durch Heran-

rücken des Mikrofons an die Schallquelle entgegenwirken. Allerdings wird damit die vom Mikrofon erfaßte Fläche kleiner und das Unterbringen größerer Orchester in ihr schwierig. Auch können Lautstärkebalance und Hallbalance leiden. Unter Lautstärkebalance versteht man das Zusammenwirken der Lautstärke der einzelnen Instrumente zu einem harmonischen Ganzen und unter Hallbalance den Eindruck, daß alle Instrumente in einem Raum (mit gleicher Halligkeit) spielen.

Es ist einer der vielen Vorzüge der neuen Richtmikrofone, insbesondere der Nierenmikrofone, hier Abhilfe zu schaffen. Wegen der Unempfindlichkeit auch gegen tiefe Frequenzen in gewissen Raumwinkeln, ist die Aufnahme mit ihnen weniger hallig oder anders gesagt, man kann bei gleicher zugelassener Halligkeit eine größere Entfernung zwischen Mikrofon und Schallquelle wählen. Damit wird von einem Mikrofon eine größere Fläche erfaßt (Bild 48). In dieser Richtung wirkt beim Nierenmikrofon auch noch die breit ausladende Richtcharakteristik. Der Fortschritt, der mit dem Nierenmikrofon erreicht wird, ist so bedeutend, daß mit einem einzigen Mikrofon große Orchester aufgenommen werden können, ohne daß irgendein Instrument benachteiligt werden muß. Die Musiker brauchen auch nicht mehr so eng zusammenzurücken und können wesentlich freier gesetzt werden als bei der Verwendung normaler Mikrofone.

Die frequenzunabhängige Richtcharakteristik schaltet aber noch einen anderen Fehler der normalen Mikrofone aus. Bei einem wie üblich gesetzten Orchester

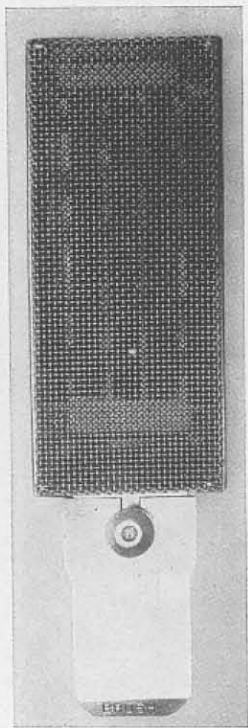
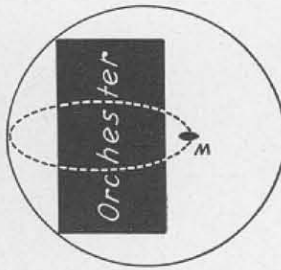
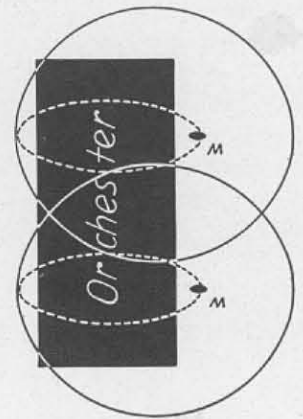


Bild. 47. Amerikanisches Kristall-Mikrofon mit 24 parallel- und hintereinandergeschalteten Zellen.

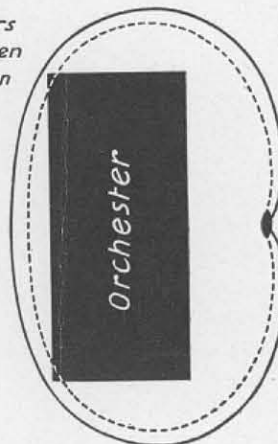


Aufnahme eines kleineren Orchesters mit einem normalen Kondensatormikrofon

— Tiefe Frequenzen  
 - - - - Hohe Frequenzen  
 M Mikrofon



Aufnahme eines größeren Orchesters mit zwei normalen Kondensatormikrofonen



Aufnahme eines größeren Orchesters mit einem Nierenmikrofon

Bild 48. Vorteil der Nierenmikrofone bei der Aufnahme ausgedehnter Klangkörper.

sitzen bei Verwendung normaler Mikrofone die Geiger in der Zone, die für die hohen Töne am empfindlichsten ist. Die übrigen Instrumente werden also in diesem Frequenzbereich benachteiligt, so daß das Gleichgewicht der Klangfarben im Orchester gestört wird. Das Ergebnis ist ein unnatürliches Hervortreten der Geigen oder, wenn man umsetzt, anderer Instrumente, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß das Umsetzen bei den Kapellen durchaus unbeliebt ist.

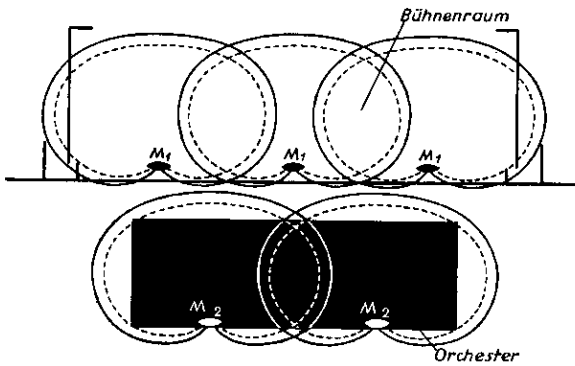


Bild 49. Aufnahme auf einer Bühne mit Nierenmikrofonen.

Die Richtmikrofone dagegen nehmen die Frequenzen gleichmäßig auf, unabhängig vom Platz des Instrumentes, so daß die Harmonie der Klangfarben gewahrt bleibt.

Die im vorigen Kapitel gewonnenen Kenntnisse wollen wir durch einige Beispiele vertiefen und erweitern:

### Aufnahme eines einzelnen Redners oder eines Musikinstrumentes.

Das ist der einfachste Fall einer Mikrofonaufnahme. Geeignet ist dafür jedes Mikrofon, vorausgesetzt, daß für den betreffenden Fall seine Frequenzkurve und seine Verzerrungsfreiheit ausreichen. Der Redner oder das Musikinstrument kann hier immer an die für die Aufnahme günstigste Stelle der Richtcharakteristik gebracht werden. Normalerweise ist das die Mittelachse, wo das Mikrofon für alle Frequenzen entsprechend der Frequenzcharakteristik genügend empfindlich ist. Die Entfernung zwischen Sprecher und Mikrofon soll etwa 40–60 cm betragen. Geht man zu nahe heran, ändert sich die Lautstärke schon bei geringen Bewegungen des Sprechers, wie sie bei einer lebhaften Rede unvermeidlich sind. Bei Kohlemikrofonen treten auch oft Übersteuerungen und damit Verzerrungen ein. Geht man zu weit weg, sinkt die vom Mikrofon abgegebene Spannung vielleicht unter das zur Aussteuerung des angeschlossenen Verstärkers notwendige Maß und bei Kohlemikrofonen wird das Mikrofonrauschen übermäßig laut hörbar. Wird in einem hallenden Raum gesprochen, wird mit größer werdender Entfernung die Sprache unverständlicher und, wenn auch Lautsprecher derselben Anlage im Raum aufgestellt sind, die Gefahr der akustischen Rückkopplung größer.

### Mikrofonaufnahmen in Räumen mit besonders großem Störspiegel.

In einem solchen Raum muß man das Mikrofon besonders nahe an den Mund bringen und sehr laut sprechen, damit die Störlautstärke im Verhältnis zum Nutzschaall klein bleibt. Normale Kohlemikrofone vertragen aber solche Schallamplituden nicht, Kondensatormikrofone und Bandmikrofone sind meist zu unhandlich, weshalb für diesen Zweck ein besonderes Mikrofon, das Stielmikrofon, entwickelt worden ist. Näheres siehe Seite 14.

### Aufnahme eines großen Orchesters

Früher wurden mehrere Mikrofone normaler Richtcharakteristik um das Orchester herum so aufgestellt, daß alle Instrumente ungefähr gleich gut aufgenommen wurden. Heute erreicht man dasselbe besser durch ein einziges Nierenmikrofon. Die Abbildungen 49 und 50 geben ein gutes Bild von dem erzielten Fortschritt: Wie man sieht, erfaßt die schmale, mittlere Zone, in der die älteren Mikrofone für alle Frequenzen genügend gleich empfindlich sind, immer nur einen bestimmten Ausschnitt aus dem Orchester. Soll dieses also gleichmäßig aufgenommen werden, muß man viele Mikrofone benutzen. Der Versuch, durch einen größeren Abstand zwischen Mikrofon und Orchester eine größere Gleichmäßigkeit der Aufnahme zu erzielen, wird meist an der zu großen Halligkeit scheitern, die dann die Aufnahme aufweist. Beim Nierenmikrofon sehen wir, daß die Zone der genügenden Gleichmäßigkeit vielfach ausgedehnter ist und man in ihr auch größere Orchester ohne Schwierigkeiten unterbringt, zumal man bei ihm die Entfernung vom Orchester erhöhen kann, ohne Gefahr zu laufen, die Halligkeit über das erlaubte Maß zu steigern.

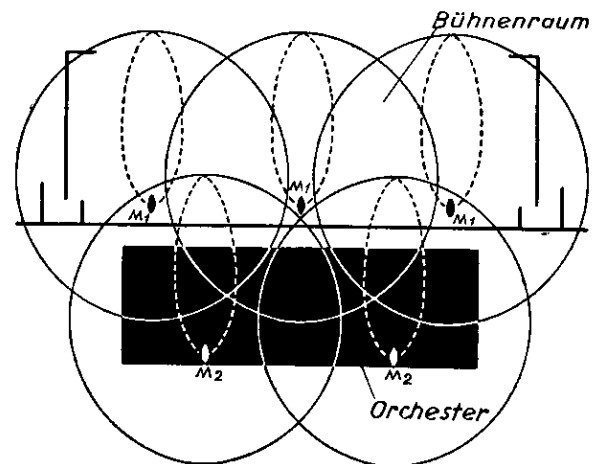


Bild 50. Aufnahme auf einer Bühne mit Mikrofonen normaler Richtcharakteristik.

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß die Aufnahme mit einem einzigen Mikrofon noch am besten dem Hören entspricht. Darüber hinaus bietet diese Art der Aufnahme aber noch eine Reihe weiterer Vorteile.

Einmal ist es nicht leicht, mehrere Mikrofone in der richtigen Weise gegeneinander abzugleichen. Eine besondere Schwierigkeit liegt dabei darin, daß gewisse Widersprüche entstehen können zwischen der besten Aufstellung für die Aufnahme der hohen Frequenzen und der besten Aufstellung für die Aufnahme der tiefen Frequenzen. Der Grund ist die Verschiedenartigkeit der Richtcharakteristiken für die hohen und tiefen Frequenzen. Als weiterer Punkt ist zu erwähnen, daß mehrere Mikrofone immer auch zum Regeln während der Aufnahme verleiten. Vom künstlerischen Standpunkt aus soll aber möglichst wenig geregelt werden und deshalb ist auch von dieser Seite her die Einführung der Mikrofone mit Richtcharakteristik zu begrüßen. Selbstverständlich gibt es auch Fälle, in denen man mehr als ein Nierenmikrofon anwenden muß; in solchen Fällen hätte man jedoch eine noch viel größere Anzahl normaler Mikrofone aufstellen müssen, deren Beherrschung bestimmt nicht leicht gewesen wäre. Daß man bei Richtmikrofonen wegen der für alle Frequenzen gleichen Richtcharakteristik die Übersicht über die Wirkungsweise der Mikrofone behält, ist eine nicht hoch genug zu schätzende Erleichterung bei der Arbeit.

### Solist und Klavier

Zu dieser Aufnahme benutzt man am besten ein Achtermikrofon, Bild 51. Die Möglichkeit, eine Seite des Mikrofons dem Solisten, die andere dem Klavierspieler zuzuordnen, erleichtert das Abgleichen der Lautstärken, das bei solchen Aufnahmen bekanntlich oft schwierig ist. Es braucht lediglich das Verhältnis der Entfernungen zwischen Mikrofon und Solist bzw. zwischen Mikrofon und Klavier geändert zu werden.

### Sänger, Klavierspieler, Begleitorchester

Kombiniert man die beiden vorhergehenden Beispiele, so hat man die ideale Mikrofonanordnung für Sänger, Klavierspieler und Begleitorchester (Bild 52). Soll das Begleitorchester ganz in den Hintergrund treten, so verzichtet man evtl. auf das Nierenmikrofon und ordnet das Orchester in der unempfindlichen

Zone des Achtermikrofons an. Das Orchester klingt dann wie aus großer Entfernung, aber doch so, daß noch alle Instrumente hörbar sind. Genau in der gleichen Weise kann natürlich auch die unempfindliche Seite des Nierenmikrofons zur Aufnahme aus scheinbar großer Entfernung benutzt werden (Bild 53).

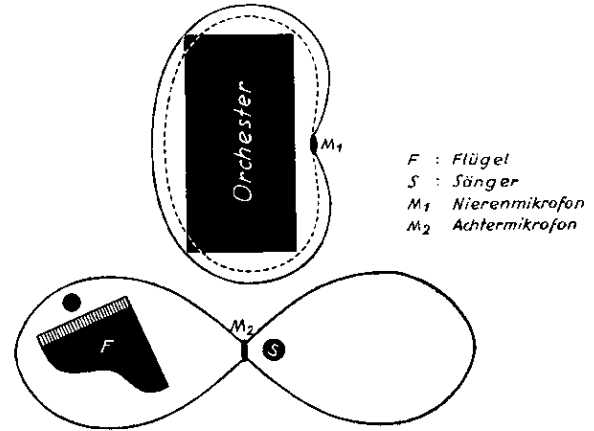


Bild 52. Aufnahme von Sänger, Klavier und Begleitorchester mit Achter- und Nierenmikrofon.

### Aufnahme auf Bühnen

Die vorteilhafteste Aufstellung der Mikrofone ist meist die nach Bild 49.  $M_1$  sind die Mikrofone für die Schauspieler,  $M_2$  die Mikrofone für das Orchester. Daß die Mikrofone für die Schauspieler nahe an das Orchester gestellt werden müssen, bringt bei normalen Mikrofonen Schwierigkeiten mit sich. Auch wenn die Mikrofone für das Orchester stark abgedrosselt werden, wird das Orchester noch immer von den Mikrofonen für die Schauspieler in unerwünschter Lautstärke aufgenommen, und zwar besonders die tiefen und mittleren Frequenzen, die die wesentlichsten Träger der Lautstärke sind. Zu erklären ist das wieder aus der Richtcharakteristik der Mikrofone. Verwendet man Nierenmikrofone, deren Rückseite für alle Frequenzen so gut wie unempfindlich ist, wird diese Schwierigkeit mit einem Schlag

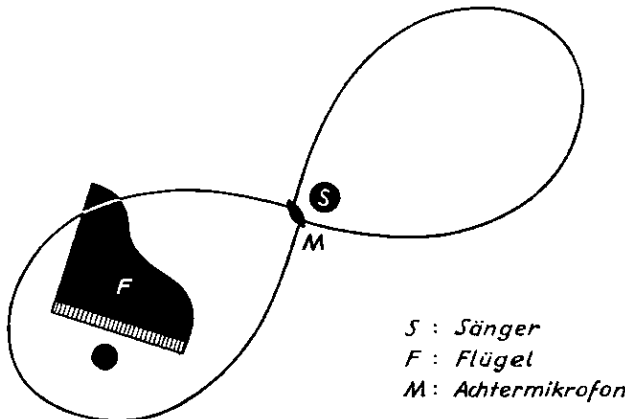
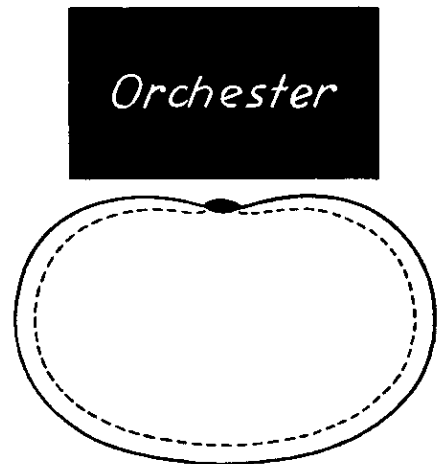


Bild 51. Aufnahme von Sänger und Klavier mit Achtermikrofon.



### Nierenmikrofon

Bild 53. Aufnahme eines Orchesters durch Nierenmikrofon mit der unempfindlichen Seite. Das Orchester klingt - scheinbar - in großer Entfernung.

beheben, und man kann die Lautstärke von Schauspielern und Orchester in beliebiger Weise regeln. Zur Aufnahme auf Bühnen hat sich auch in manchen Fällen ein vorn über der Bühne aufgehängtes Achtermikrofon bewährt, dessen Achse schräg nach unten auf den betreffenden Schauspieler gerichtet ist (Bild 54).

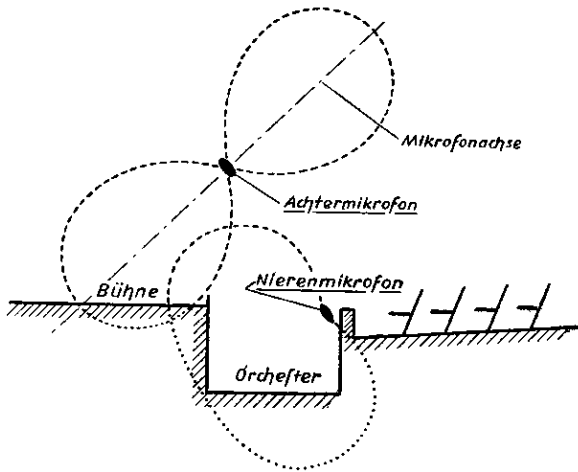


Bild 54. Mikrofonanordnung für Bühne und Orchester.

## Übertragung aus Gaststätten

Mit Hilfe des Nierenmikrofons lassen sich die Raumgeräusche, die in solchen Lokalen meist unliebsam stark auftreten, weitgehend unterdrücken. Die Anordnung der Mikrofone erfolgt immer so, daß der Kapelle die empfindliche und dem Raum die unempfindliche Seite des Mikrofons zugewendet wird. Auch wenn die Kapelle nicht, wie im Bild 55 angedeutet, an einer Seite des Saales, sondern in der Mitte sitzt, bringt das Nierenmikrofon in der genannten Anordnung eine merkbare Dämpfung der Störgeräusche.

## Zwiegespräche

Für Zwiegespräche sind die Achtermikrofone die gegebenen Aufnahmegeräte. Die Partner können beim Sprechen und Singen einander ansehen und brauchen nicht wie beim normalen Mikrofon beide ihr Gesicht der Mikrofonkapsel zuzukehren (Bild 56). Da auf

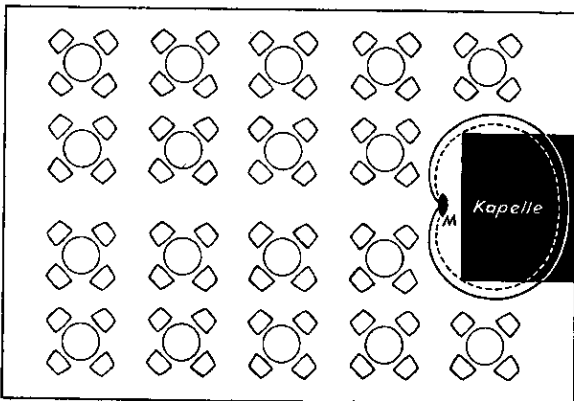


Bild 55. Unterdrückung der Raumgeräusche in der Aufnahme mit Hilfe eines Nierenmikrofons.

jeder Seite des Mikrofons nur eine Person steht, behindern sie einander auch nicht durch Gesten und Bewegungen.

## Aufnahme aus stark hallenden Räumen

In stark hallenden Räumen ist die Entfernung zwischen Redner und Mikrofon klein zu halten, damit der Anteil des direkten Schalles groß wird. Zu empfehlen ist die Verwendung von Richtmikrofonen, weil sie weniger Nachhallenergie aufnehmen. Bild 57 zeigt die empfehlenswerte Art der Aufstellung eines Nierenmikrofons in einer Kirche auf der Kanzel.

In Räumen mit glatten Wänden aus Stein oder ähnlichem Material ist der Nachhall meist bei den tiefen Frequenzen besonders stark. Das kann bis zu einem gewissen Grade gutgemacht werden, indem im Verstärker die tiefen Frequenzen geschwächt werden.

## Aufnahme bei Anwesenheit von Lautsprechern

Besonders schwierig werden Aufnahmen, wenn in demselben Raum Lautsprecher vorhanden sind, oder wenn das Mikrofon bei einer Veranstaltung im Freien innerhalb des von den Lautsprechern mit Schall versorgten Feldes aufgestellt werden muß. Zu den bisher besprochenen Schwierigkeiten tritt noch die der Gefahr akustischer Rückkopplung, die zu vermeiden oft großes Geschick und viel Erfahrung erfordert.

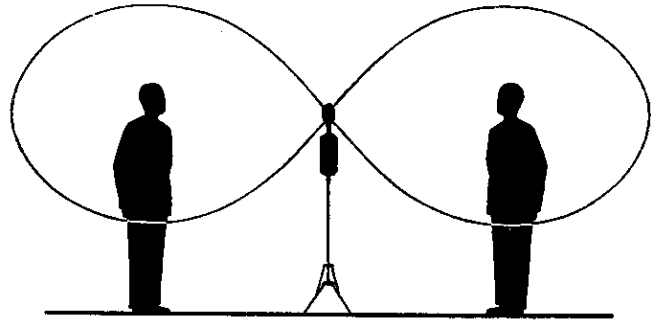


Bild 56. Aufnahme eines Zwiegesprächs mit Achtermikrofon.

Eine Regel, wie man in jedem Falle die akustische Rückkopplung unterdrücken kann, gibt es nicht. Wenn man aber die folgenden Punkte beachtet, wird sich immer ein Aufstellungsort für das Mikrofon finden lassen, der eine einwandfreie Aufnahme ermöglicht:

1. muß für die Aufstellung des Mikrofons ein Platz ausgewählt werden, auf dem die Schallintensität der Lautsprecher möglichst gering ist (Bild 58).
2. empfiehlt es sich, Richtmikrofone zu benutzen und sie so aufzustellen, daß die störenden Lautsprecher in den unempfindlichen Zonen liegen. Dabei merke man sich, daß die unempfindliche Zone bei den Nierenmikrofonen zwar ausgedehnter, dafür aber nicht so ausgeprägt wie bei den Achtermikrofonen ist.

1. Es muß der Eingang des Verstärkers eine genügend hohe Spannung bekommen. Dazu dienen Übertrager, die die Spannung nach oben übersetzen. Man findet sie entweder in dem Verstärkereingang eingebaut (dann ist der Verstärkereingang niederohmig) oder aber in sog. Anschließkästen, die vor einen hochohmigen Eingang des Verstärkers geschaltet werden.

4. Die über Leitungen geschickten Spannungen dürfen nicht so klein sein, daß die Störspannungen im Vergleich zu ihnen bemerkbar werden. Die Mikrofonleitungen sind deshalb geschützt zu verlegen. Soweit nicht Spezialkabel vorgeschrieben sind, verwendet man für bewegliche Leitungen NLHCJ-Kabel und für festverlegte Leitungen NJSU-Kabel oder Doppelbleimantelkabel.

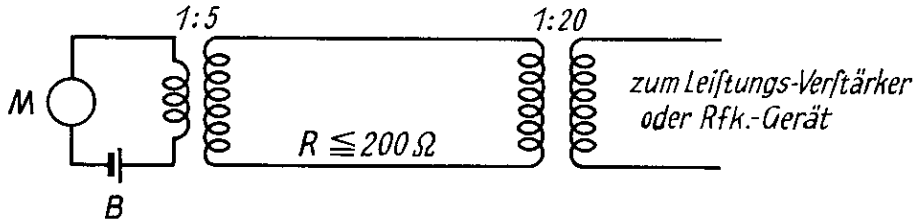


Bild 60.  
Anschluß niederohmiger Kohlemikrofone.

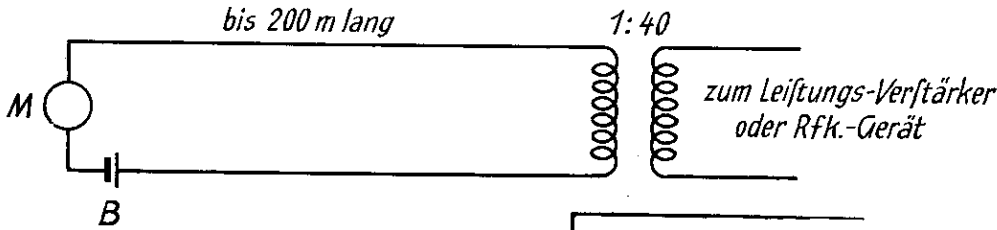


Bild 61.  
Anschluß hochohmiger Kohlemikrofone.

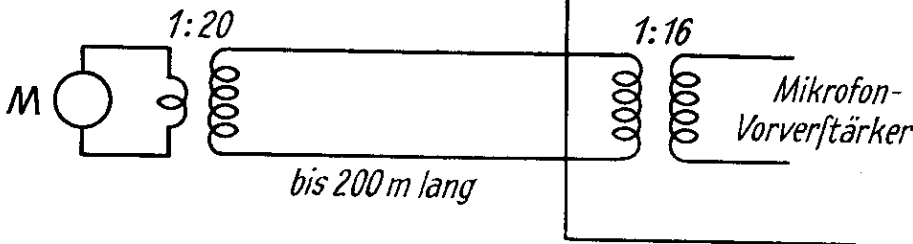


Bild 62.  
Anschluß eines Bändchenmikrophones.

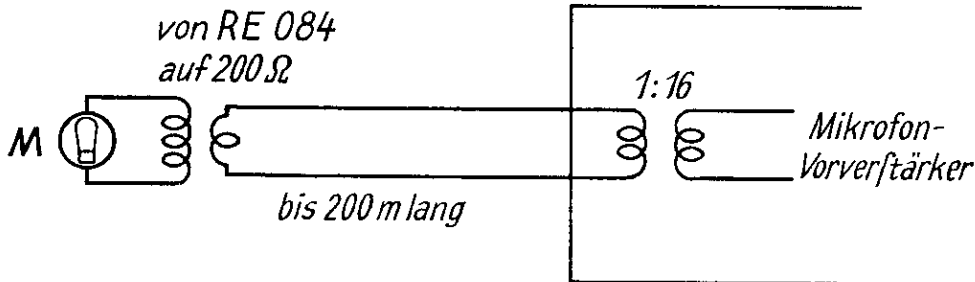


Bild 63.  
Anschluß von Kondensatormikrofonen.

2. Der Spannungsabfall in den Leitungen darf nicht zu groß werden. Das ist der Fall, wenn niederohmige Mikrofone über längere Leitungen arbeiten sollen. Dann baut man einen nach oben übersetzenden Übertrager gleich hinter das Mikrofon und paßt gewöhnlich an 200 Ohm Leitungswiderstand an, wie z. B. beim Bändchenmikrofon.

3. Darf die Leitungskapazität die hohen Frequenzen nicht kurzschließen. Das tritt ein, wenn der Eingangswiderstand des nachfolgenden Verstärkers zu groß ist und die parallelgeschaltete Leitungskapazität für die hohen Frequenzen einen Kurzschluß bildet. Man kann das dadurch vermeiden, daß erst im Verstärker nach oben transformiert bzw. die Leitung zwischen Anschließkasten und Vorverstärker sehr kurz gemacht wird.

### Anschluß niederohmiger Kohlemikrofone

(Bild 60) bis etwa 20 Ohm.

Hier nimmt man einen Übertrager unmittelbar nach dem Mikrofon mit einem Übersetzungsverhältnis von etwa 5. Die anschließende Leitung soll nicht wesentlich mehr Widerstand haben als 200 Ohm (weniger darf sie haben). Unmittelbar vor der ersten Verstärkerröhre kommt wieder ein Übertrager mit dem Übersetzungsverhältnis von etwa 20.

### Anschluß

### hochohmiger Kohlemikrofone (Bild 61)

Bei hochohmigen Kohlemikrofonen (Widerstand 100 Ohm und mehr) geht man gewöhnlich ohne Vorübertrager direkt auf die Leitung und übersetzt vor



der ersten Verstärkerröhre mit einem Übertrager mit einem Übersetzungsverhältnis bis zu 40.

Bei Kohlemikrofonen muß man immer darauf achten, daß der Verstärker bei normal besprochenem Mikrofon richtig ausgesteuert wird, daß also reichlich Spannung in die Eingänge des Verstärkers gelangt. Versucht man nämlich, die fehlende Eingangsspannung durch starkes Besprechen des Kohlemikrofons zu erreichen, treten nichtlineare Verzerrungen im Mikrofon auf.

### Anschluß des Bändchenmikrofons (Bild 62)

Der innere Widerstand des Bändchenmikrofons (ohne Übertrager) ist sehr gering, so daß es möglich ist, unmittelbar hinter dem Bändchen einen Übertrager sehr hohen Übersetzungsverhältnisses einzubauen, der die geringe, im Bändchen induzierte Spannung auf einen Wert erhöht, den man bereits über Leitungen schicken kann, ohne vorverstärken zu müssen. Die Übersetzung ist so gewählt, daß der Ausgang auf

der Sekundärseite 2—300 Ohm besitzt. Nach der Leitung im Vorverstärker befindet sich wieder ein Übertrager, der nach oben übersetzt.

### Anschluß von Kondensatormikrofonen (Bild 63)

Beim Kondensatormikrofon darf zwischen Mikrokapsel und erster Verstärkerröhre nur eine ganz kurze Leitung vorhanden sein, sonst bildet die Leitung einen kapazitiven Nebenschluß zu dem hochohmigen Gitterwiderstand, wodurch die hohen Frequenzen benachteiligt werden. Außerdem könnten sich auch wegen des hochohmigen Gitterwiderstandes statische Einflüsse stark störend bemerkbar machen. Man muß deshalb die erste Verstärkerröhre unmittelbar an das Mikrofon anbauen. Der Ausgang dieses Verstärkers enthält einen Übertrager, der nach unten übersetzt und an etwa 200 Ohm angepaßt ist. Am Ende der Leitung wird die Spannung durch den Übertrager im Mikrofonvorverstärker wieder nach oben übersetzt.

### Technische Daten der Mikrofone

Type	Speisenspannung V	Speisestrom mA	Anschluß an	Zubehör	Leitungsart	Max. Leitungslänge etwa	Abmessung Höhe × Breite × Tiefe	Gewicht etwa kg	Abgegebene Spannung am Gitter der nachfolgenden Verstärkerröhre mV/µbar
Kammermikrofon Ela M 101/1	8	75	Verstärker und Rundfunkgeräte	Anschlußkasten Ela MZ 001/1	Gesch. Leitung	200 m zwischen Mikrofon u. Anschlußkasten	165 × 50 × 15	0,28	40 - 60
Stielmikrofon Ela M 102/1	3	40	do.	Anschlußkasten Ela MZ 025/1	Gesch. Leitung	do.	165 × 35 × 35	0,12	3 - 4

Type	Anschluß an	Leitungsart	Max. Leitungslänge etwa	Abmessung Höhe × Breite × Tiefe	Gewicht etwa kg	Abgegebene Spannung am Gitter der nachfolgenden Verstärkerröhre mV/µbar
Bandmikrofon Ela M 201/1	Vorverstärker Ela V 101/1	Geschützte Leitung	200 m	150 × 170 × 120 mm	3,9	2

Type	Speisenspannung V	Speisestrom mA	Anschluß an	Zubehör	Leitungsart	Max. Leitungslänge etwa m	Abmessung Höhe × Breite - ø	Gewicht etwa kg	Abgegebene Spannung am Gitter der nachfolgenden Verstärkerröhre mV/µbar
Kondens. Mikrofon Ela M 301/1	Heizung 4   90 Anode 90	2	Vorverst. Ela V 101/1	RE 084 spez.	Geschützte Leitung	200	Höhe 350 ø 100	3	15
Kondens. Mikrofon Ela M 302/1	Heizung 4   90 Anode 90	2	Vorverst. Ela V 101/1	RE 084 spez. E	Geschützte Leitung	200	Höhe 450 ø 100	3,1	15
Kondens. Mikrofon Ela M 303/1	Heizung 4   90 Anode 90	2	Vorverst. Ela V 101/1	RE 084 spez. E	Geschützte Leitung	200	Höhe 450 ø 100	3,1	15

Folgende Bilder stellen zur Verfügung: Verlag Julius Springer (E. T. Z. [1937] H. 38), Bild 12; Verlag J. F. Lehmann (Deutsche Physik, Band 2, Akustik und Wärmelehre, von Ph. Lenard), Bilder 2, 5 u. 6; Verlag S. Hirtzel (Einführung in die angewandte Akustik, von Dr. H. J. von Braunmühl und W. Weber), Bilder 8, 9, 39, 45, 46 und 48.