DER RUNDFUNK-BASTLER

MIKROFONE

IN ANWENDUNG SCHALTUNG UND AUFBAU

ANLEITUNGEN ZUM SELBSTBAU

DEUTSCHER FUNK-VERLAG

DER RUNDFUNK-BASTLER

Mikrofone

IN ANWENDUNG · SCHALTUNG UND AUFBAU

NEBST ANLEITUNGEN ZUM SELBSTBAU

VON WALTER PETERMANN

DEUTSCHER FUNK-VERLAG GMBH

VORWORT

Aus verschiedenen Zuschriften unserer Leser ersehen wir, daß das Interesse an hochqualifizierter musikalischer Wiedergabe von Heimmusik stark gewachsen ist. Alle in dieser Broschüre besprochenen Geräte wurden vom Verfasser in monatelanger Arbeit entwickelt und gebaut. Die nachstehenden Angaben bieten einem handwerklich geschickten Amateur eine zuverlässige Bauanleitung.

Der Herausgeber

INHALTSVERZEICHNIS

ERSTER TEIL

Akustisches Schall, Klang, Ton 7
Etwas Klanganalyse 7
Eine Verwandlung 8
Raumakustik 8

Mikrofone Mittler Membran 10
Das erste Rundfunkmikrofon 10

Das Querstrommikrofon 11
Aufbau und Schaltung 11
Die Betriebsspannung 12
Verzerrungen 12
Anwendung 13

Dynamische Mikrofone 13
Zwei Experimente 13
Das „Bändchen" 14
Das Tauchspulenmikrofon 15
Das Schwingsystem 15

Das Kondensatormikrofon 16
Wirkungsweise 16
Vorverstärker 17
Membran 17

Zusammenfassung 18

BAUBESCHREIBUNGEN

ZWEITER TEIL

A. Kohlemikrofon 20
Der Block 20
Die Membran 22
Das Reiß-Mikrofon 22
„Schwingungsbauchmembran" 24

B. Tauchspulenmikrofon 24
Die Tauchspule 24
Der Dom 26
Späne im Luftspalt 27

C. Kondensatormikrofon 27
Der Verstärker 27
Die Kapsel 28
Die Membran 30
Zusammenbau 30

Anschluß an den Verstärker 31

Kenn-Nr. 10895 Preis 2,50 DM 1. bis 5. Tausend
Verlag: Deutscher Funk-Verlag GmbH, Berlin-Treptow, Treptower Chaussee 3
Handsatz und Druck: (154) W. Hundt (DFV), Berlin N 54 · Alle Rechte vorbehalten
Printed in Germany · Copyright 1948 by Deutscher Funk-Verlag GmbH, Berlin

ERSTER TEIL

Schall, Klang, Ton

Was ist Schall, Klang, Ton? Ganz allgemein gilt für alle Schwingungen, die bei Erschütterungen von Körpern auftreten, die Bezeichnung Schall. Sie können im hörbaren Bereich von etwa 20 bis 20000 Hertz (= Schwingungen pro Sekunde) liegen als auch darüber wie der Ultra- und Supraschall. Dagegen nennt man das Gemisch aus einem Grundton und seinen harmonischen Oberschwingungen einen Klang. Wobei ein Grundton der jeweils tiefste Ton ist, den ein Körper abgeben kann. Vermag er außer diesem auch noch höhere Töne hervorzurufen, so sind dies seine Obertöne.

Etwas Klanganalyse

Schlagen wir einmal eine Stimmgabel an und bringen sie zum Schwingen. Der Kammerton a wird hörbar = 440 Hz. Die 440 Schwingungen sind die Grundschwingung des Tones a. So besteht jeder Ton aus einer ganz bestimmten Grundschwingung, seiner Tonhöhe. Lassen wir den Ton a auf einer Geige ertönen, oder schlagen ihn auf dem Piano an, erkennen wir den Ton a auf beiden Instrumenten infolge seiner Tonhöhe wieder, aber — klingt er nicht irgendwie anders? Ja, es ist tatsächlich so. Einmal hören wir den charakteristischen Klang der Violine und zum anderen den des Klaviers.

Das liegt daran, daß ein Klang nicht nur aus einer Grundschwingung besteht, sondern außerdem sogenannte Oberschwingungen im Gefolge hat. Die Oberschwingungen sind dem Grundton überlagert und machen das Charakteristische oder die Klangfarbe eines Instruments aus. Ob nun ein Ton 30 Hz hat oder 1000, das ist ganz gleich, zu jeder Grundschwingung gesellen sich immer charakteristische Obertöne, und wir hören zweifelsfrei, ob der Ton von einer Pauke, einer Geige, einem Klavier oder einer Orgel stammt.

Jeder Grundton kann also eine größere oder kleinere Anzahl Obertöne bilden. Wird eine Saite angeschlagen, so bildet sich zunächst der Grundton, die Saite schwingt in ihrer ganzen Länge. Über diese Schwingung, die Hauptschwingung, lagert sich eine zweite, bei der die Saite mit der halben Länge schwingt, sie bringt einen Ton mit doppelt soviel Schwingungen hervor, als der Grundton hat. Ein zweiter Oberton entsteht dadurch, daß sich die Saite in drei gleichmäßig schwingende Abschnitte zerlegt. Es entsteht ein Ton mit dreimal soviel Schwingungen; dann gibt es noch einen dritten Oberton und so fort.

AKUSTISCHES

Bei jedem Musikinstrument entstehen ganz bestimmte Obertöne in verschiedenen Stärken. Bei einem nur die tiefen, bei einem anderen die hohen, beim dritten alle Obertöne und beim vierten nur Obertöne mittlerer Höhe. So entsteht die Klangfarbe eines jeden Musikinstruments. Auch das menschliche Sprachorgan ist ein Instrument. Das von den Stimmbändern erzeugte Schwingungsgemisch besteht aus einem Grundton (Grundschwingung der Stimmbänder) und einer Vielzahl von Obertönen. Auf dem Wege zum Munde wird nun dieses Schwingungsgemisch geformt, d. h. durch die Resonanzräume Brustkorb, Rachen, Mund und Nase werden bestimmte Tonbereiche hervorgehoben, andere unterdrückt, so daß sich je nach Einstellung der Resonanzräume ganz bestimmte Klangbilder — Laute ergeben. Bild 1 zeigt die Schwingungsbilder der Vokale a, e, i, o, u sowie ihre Frequenzspektren, d. h. die Größe und Lage der Obertöne. Die gezeigten Spektren sind für jeden Vokal charakteristisch.

Es ist nun die Kunst der Elektroakustik, diesen komplizierten, zusammengesetzten Klanggebilden beim Übertragen durch eine Verstärkerapparatur möglichst wenig von ihrer ursprünglichen Klangcharakteristik zu nehmen.

Eine Verwandlung

Man sagt häufig, daß ein Ton durch eine Apparatur läuft. Das ist falsch! Der Ton läuft nur bis zum Mikrofon. Hier verwandelt sich seine akustische Energie in elektrische. Bis hierhin hatte ihn die Luft getragen mit einer Geschwindigkeit von 332 m in der Sekunde, und wenn wir es ganz genau nehmen wollen, auch nur ein Teil von ihm. Der auf die Membran des Mikrofons auftreffende Tonanteil wird von ihr gewissermaßen aufgesaugt; der Ton muß Arbeit leisten, muß entweder mit seiner Kraft, unter Benutzung mechanischer Zwischenglieder, elektrische Ströme steuern oder erzeugen. Der auf die Mikrofonmembran auftreffende Tonanteil wird demnach vernichtet, aufgesaugt, verschluckt, und die Membran wird kaum einen Teil zurückstrahlen.

Raumakustik

Anders die Wände eines Raumes, in dem das Mikrofon stehen mag. Die Wände, auch Einrichtungsgegenstände, strahlen je nach ihrer Beschaffenheit einen mehr oder weniger großen Anteil der auftreffenden Schallwellen zurück; um so mehr, je größer und glatter ihre Fläche ist, die dann wiederum zu einem Teil auf die Mikrofonmembran fallen und sie in Schwingung versetzen.

Da ein Mikrofon objektiv reagiert, mußte man die Zusammenhänge der Raumakustik eingehend studieren, und kam durch genaue Berechnungen der Nachhallzeiten und durch besondere Formgebung der Wände, mit Auswahl des Materials und ihrer Oberflächenstruktur, zu Räumen, die akustische Besonderheiten aufweisen und sie für bestimmte akustische Zwecke, besonders für Rundfunkübertragungen, geeignet machen.

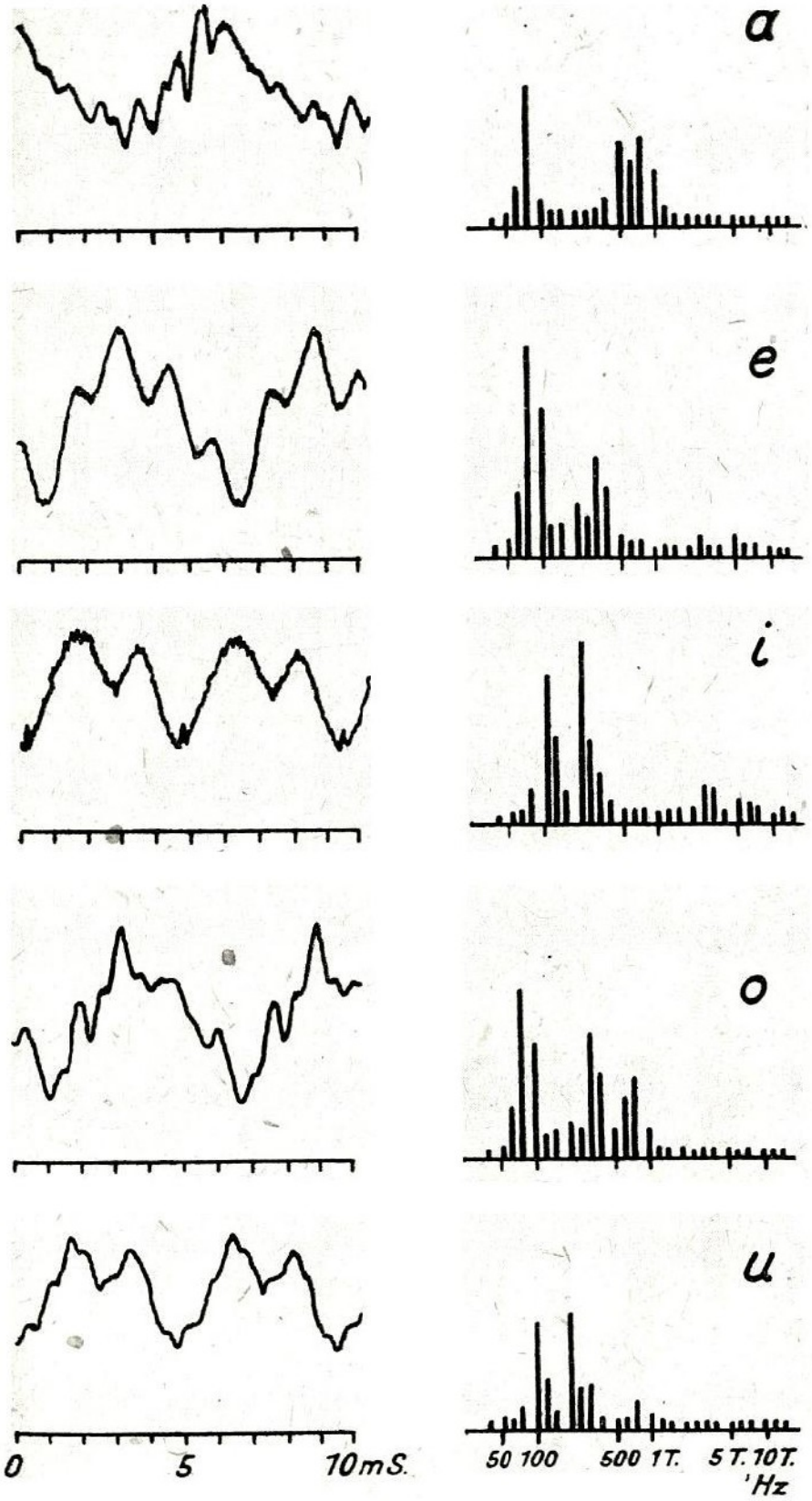


Bild 1
Schwingungsbilder und Frequenzspektren der Vokale.

MIKROFONE

Mittler Membran

Alle derzeit gebräuchlichen Mikrofone haben gemeinsam, daß sie ausnahmslos eine Membran oder ein der Membran ähnliches Schwingsystem besitzen. Dennoch hatten wir früher schon einmal ein tatsächlich membranloses Mikrofon; das sogenannte Kathodofon, bei dem eine ionisierte Gasstrecke die Membran bildete. Leider arbeitete es nicht zuverlässig genug und man mußte diese vielversprechende Konstruktion wieder aufgeben mit der so erstrebten masselosen Membran.

Eine Mikrofonmembran muß unerhört leistungsfähig sein, wenn sie der Vielzahl der auf sie einstürmenden Schwingungen wirklichkeitsgetreu folgen soll. Man bedenke, daß schon ein einzelnes Instrument ein reiches Frequenzgemisch erzeugt, geschweige denn ein ganzes Orchester.

Eine masselose Membran gibt es zur Zeit nicht. Die Membran des Kondensatormikrofons hat unumstritten die kleinste Masse. (Wir wollen bei unseren Betrachtungen nur das mit Masse bezeichnen, was noch wägbare Masse ist, denn schließlich ist ein Elektron auch nicht ganz masselos.) Man muß also notgedrungen eine (wenn auch relativ kleine) Masse in Kauf nehmen. Die Membran im Kondensatormikrofon wird als „luftleicht" bezeichnet, und das ist sie praktisch auch und es wird kaum möglich sein, diese Masse zu verringern.

Das erste Rundfunk-Mikrofon

Es ist noch nicht sehr lange her, da das erste Mikrofon in den Dienst des Rundfunks gestellt wurde. Die ersten Sendungen musikalischer Darbietungen, die man in Königs Wusterhausen zu Gehör brachte, wurden mit einem gewöhnlichen Fernsprechmikrofon übertragen. Wenn wir uns nicht irren, benutzte auch der erste Rundfunksender in Berlin, auf Welle 411 m, der sich im Obergeschoß des Hauses Potsdamer Straße 4 befand und eine Sendeenergie von 1 kW ausstrahlte, ein ebensolches Postmikrofon für seine Sendungen. Es würde einer mittelalterlichen Folter gleichkommen, wenn man heute unsere verwöhnten Ohren mit einem solchen Instrument marterte und ein solches Mikrofon vor einen modernen 20 Watt-Verstärker spannte. Aber die Zeit hat uns damals vor dem Gröbsten bewahrt, es gab noch keine Röhrenempfänger größerer Leistung und entsprechende Lautsprecher, sondern nur Detektorapparate und Kopfhörer. Die Lautstärke, die unsere Ohren traf, war wohltuend klein, ja, so klein, daß das Ticken einer Weckeruhr recht störend empfunden wurde.

Das ist aber kein Beweis dafür, daß Kohlemikrofone nicht trotzdem für die heutigen Verhältnisse und für Musikübertragungen geeignet wären. Man hat bald gelernt, das Kohlemikrofon so durchzubilden, daß es auch gesteigerten Ansprüchen genügt, und sich sogar neben dynamischen oder statischen Systemen sehen lassen kann. Sehen wir uns daher die einzelnen Systeme und Typen etwas näher an, dabei bekommt man schnell heraus, welche für diesen oder jenen Zweck geeignet oder ungeeignet sind.

Das Querstrommikrofon

Aufbau und Schaltung

Weiter oben haben wir schon erfahren, daß die akustische Schwingung nur bis zur Membran des Mikrofons kommt; hier erstirbt sie, der Ton macht eine Verwandlung durch. Der Ton wird durch den Mittler Membran in elektrische Schwingungen umgewandelt. Bei einem Kohlemikrofon (Bild 2) geht das sehr einfach vor sich. Hinter der Membran M befindet sich in direkter Berührung mit ihr feingepulvertes Kohleklein K (Kohlegrieß). Die Kohlefüllung liegt zwischen zwei Elektroden E, an die eine Spannung gelegt wird, dadurch wird die Füllung von einem Querstrom durchflossen. Die von Tonwellen getroffene und schwingende Membran drückt die Kohlekörner im Rhythmus der auf sie treffenden Schwingungen mehr oder weniger zusammen, wodurch sich der Widerstand der Kohlefüllung ändert. Im Stromkreis Mikrofon — Batterie liegt ein Übertrager, der primärseitig an das Mikrofon und sekundärseitig an den Verbraucher,

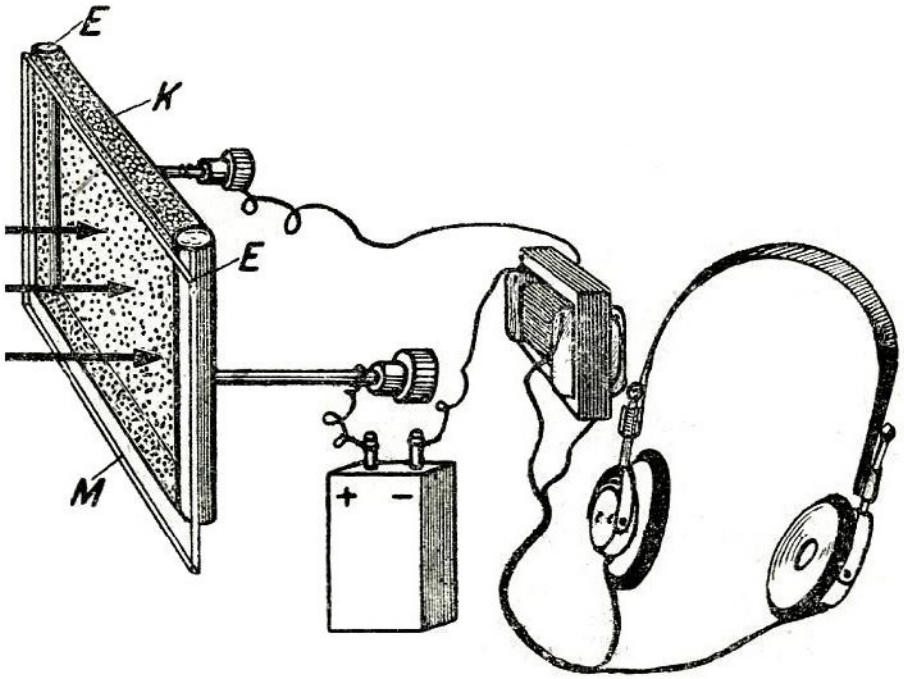


Bild 2
Prinzip des Querstrommikrofons

also meistens an das Gitter einer Verstärkerröhre, angepaßt ist. Verbinden wir die Sekundärklemmen mit einem Kopfhörer, können wir uns von dem Vorhandensein einer Tonwechselspannung überzeugen. Der Wirkungsgrad ist allerdings relativ gering; die Tonwechselspannung, die wir mit dem Kopfhörer wieder in akustische zurückverwandeln, ist sehr klein, das spielt aber keine große Rolle, da wir die Tonfrequenzspannung auf beliebige Werte verstärken können. Der Übertrager ist zur Anpassung notwendig und riegelt gleichzeitig den Batteriegleichstrom vom Verstärker ab.

Die Betriebsspannung

Die von einem Kohlemikrofon abgegebene Tonfrequenzspannung kann aber durch Erhöhen der Betriebsgleichspannung noch in weiten Grenzen geregelt werden. Man kann sie bis auf etwa 18 Volt steigern. Diesen Grenzwert sollte man bei dem noch zu beschreibenden Einkammermikrofon nicht überschreiten, da der feine Kohlegrieß sonst durch Funkenbildung in kurzer Zeit verbrennen würde. Für andere Mikrofone wird die Betriebsspannung, wenn sie nicht bekannt ist, so niedrig wie möglich gewählt, damit es keinen Schaden nimmt, denn für jeden Mikrofontyp wird die Betriebsspannung vom Fabrikanten anders angegeben.

Mit kleiner werdender Betriebsspannung wächst auch die Übertragungsgüte, und das allen Kohlemikrofonen eigentümliche Rauschen erfährt eine Verminderung.

Verzerrungen

Die Brauchbarkeit eines Mikrofons wird außer der abgegebenen Spannung hinter dem Übertrager durch die auftretenden linearen und nichtlinearen Verzerrungen und durch den Störpegel (Rauschen) und nicht zuletzt durch die benötigten Stromquellen bestimmt.

Unter linearer Verzerrung versteht man die Benachteiligung einzelner Frequenzgebiete, die zumeist an den Grenzen des übertragenen Bereichs liegen. Zur Übertragung von Sprache genügt ein schmaleres Frequenzband als zur Übertragung von Musik. Zur Übertragung von Sprache, solange sie nur gut verständlich, jedoch nicht bis ins letzte naturgetreu sein soll, genügt ein einfaches Kohlemikrofon. Die Übertragung von Musik erfordert jedoch ein hochwertiges Kohlemikrofon, dessen Frequenzbandbreite dynamischen oder statischen Mikrofonen beinahe gleichkommt. Die nichtlinearen Verzerrungen machen sich am störendsten bemerkbar. Das ist die Summe der in einem Mikrofon neu entstehenden Töne.
Der Klirrfaktor, unter dem man das Verhältnis der neu entstehenden Töne zum ursprünglichen Ton versteht, ist bei Kohlemikrofonen größer, besonders dann, wenn größere Schallamplituden verarbeitet werden sollen. Außerdem besitzen Kohlemikrofone eine deutlich ausgeprägte Reizschwelle, die sie erst von einer bestimmten Lautstärke an ansprechen lassen. Dadurch gehen viele musikalische Feinheiten einer Musikübertragung verloren, die aber teilweise sowieso schon im Störpegel untergehen.

Trotzdem haben wir schon sehr anständige Musikübertragungen mit dem Kohlemikrofon zustandegebracht. Sie eignen sich überall dort, wo wenige Verstärkerstufen zur Verfügung stehen. Zwar brauchen sie zu ihrem Betrieb eine Batterie, meist kommt man mit 2 bis 6 Volt aus. Aber, und das ist heute bei hohen Kabelpreisen besonders wichtig: man kann vom Mikrofon bis zum Übertrager offene Leitungen erheblicher Länge verlegen, ohne Brumm befürchten zu müssen. Die anderen noch zu beschreibenden Typen verlangen durchweg abgeschirmte Leitungskabel. Steht aber abgeschirmtes Kabel in ausreichender Menge zur Verfügung, lohnt es sich schon ein dynamisches Mikrofon zu verwenden. Zu seinem Betrieb werden Spannungsquellen, die ja immer der Wartung oder der Erneuerung bedürfen, nicht benötigt. *Anwendung*

Dynamische Mikrofone

Im Gegensatz zum Kohlemikrofon, das lediglich Widerstandsänderungen hervorruft, erzeugen die dynamischen Mikrofone die Tonfrequenzspannung direkt. Sie stellen regelrechte kleine Generatoren dar. Zum besseren Verständnis ihrer Arbeitsweise erinnern wir uns eines grundsätzlichen physikalischen Versuches (Bild 3).

Zwei Experimente

Auf dem Experimentiertisch ist ein kräftiger Magnet aufgebaut, zwischen dessen Polschuhen frei ausgespannt ein Kupferdraht hängt. Seine Enden sind über einen Schalter mit einer Batterie verbunden. Schalten wir nun den Strom ein, so wird der Draht augenblicklich aus dem Magnetfeld herausgeschleudert, und zwar bei der gezeichneten Strom- und Feldrichtung nach oben. Es handelt sich um das Motorprinzip, wonach

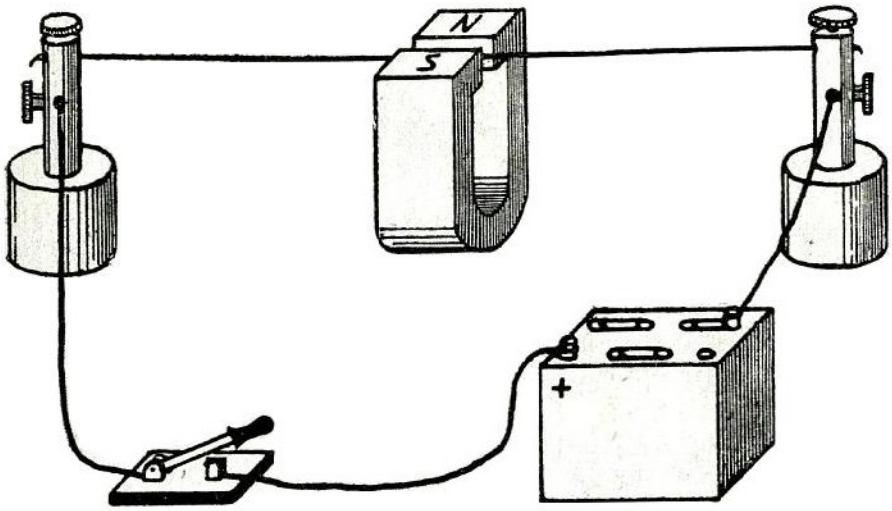
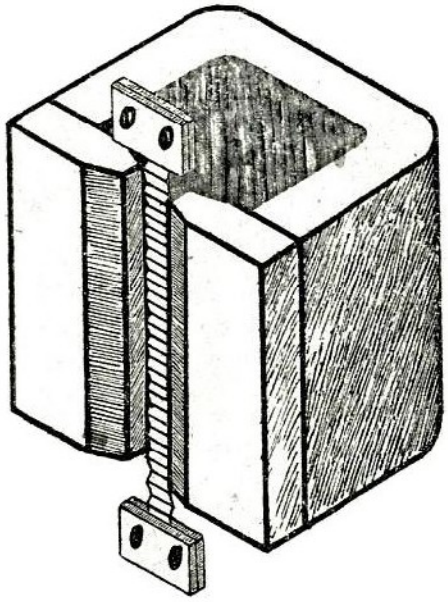


Bild 3
Versuch zum Motorprinzip

Bild 4
Anordnung des Bändchens im Luftspalt



jeder stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld eine Kraftwirkung erfährt. Die Umkehrung des Versuches zeigt das Dynamoprinzip. Wir nehmen Schalter und Batterie weg und verbinden die Enden des Kupferdrahtes jetzt mit einem empfindlichen Galvanometer. Bewegen wir nun den Draht schnell durch das Magnetfeld, so schlägt das Galvanometer aus, es fließt ein Strom. Wir halten fest: *Bewegt sich ein Leiter in einem magnetischen Feld, so wird in ihm ein elektrischer Strom erzeugt.* Das Motorprinzip findet seine Anwendung beim dynamischen Lautsprecher, das Dynamoprinzip bei dynamischen Mikrofonen.

Das „Bändchen"

Sehen wir uns daraufhin den Aufbau eines Bändchenmikrofons an (Bild 4). Im Kraftfeld eines permanenten Magneten schwingt durch die auftreffenden Schallwellen ein dünnes Aluminiumbändchen und schneidet bei seiner Bewegung die Kraftlinien. In dem Bändchen werden dadurch winzige Wechselströme induziert, proportional den erregenden Schallamplituden. Der Widerstand des Bändchens beträgt nur einige zehntel Ohm und wird durch einen Spezialübertrager auf den zum Anschluß an Leitungen benötigten Wert von etwa 200 Ω gebracht. Das Bändchenmikrofon ist dem Kohlemikrofon infolge der Reduzierung der schwingenden Masse überlegen. Das gleichmäßig übertragene Frequenzband umfaßt nach Angaben des Herstellers 8 Oktaven, überdies ist es völlig rauschfrei. Das praktische Fehlen nichtlinearer Verzerrungen macht sich durch Erhöhung der Wiedergabegüte bemerkbar. Die an das Gitter der ersten Verstärkerstufe abgegebene Steuerspannung ist aber recht klein, sie beträgt nach abermaliger Transformation auf 100 000 Ω etwa 2 mV/μbar*), so daß ein Vorverstärker unerläßlich ist. Kohlemikrofone dagegen erreichen eine Steuerspannung von 20 bis 200 mV/μbar.

---

*) Die Empfindlichkeit von Mikrofonen gibt man in mV/μbar (Millivolt pro Mikrobar) als Verhältnis der abgegebenen Spannung zum Schalldruck an. Der Schalldruck hat die Größe 1 μbar, wenn er pro cm^2 Fläche mit einer Kraft von 1 Dyn (etwa 1 mg) drückt.

Da die vom Bändchenmikrofon abgegebene Steuerspannung sehr klein ist, verliert es an Wert. Wir gehen allerdings davon aus, daß ein Vorverstärker eine unnötige Belastung bedeutet, die man möglichst vermeiden sollte. Die Zeitverhältnisse erlauben keinen großen Aufwand an Betriebsmitteln, und wenn der Aufwand unerläßlich ist, dann entschließen wir uns schon zu einem Kondensatormikrofon, wir haben dann gleich den alles überragenden Typ, das elektrische Ohr in letzter Vollendung.

Das Tauchspulenmikrofon

Das Tauchspulenmikrofon kann überall da, wo drei Verstärkerstufen zur Verfügung stehen, ohne besonderen Vorverstärker in Betrieb genommen werden.

Es ist im Grunde genau so aufgebaut wie ein dynamischer Lautsprecher (Bild 5) und folglich kann auch jeder dynamische Lautsprecher als Mikrofon verwendet werden. Ist ein permanentdynamischer Lautsprecher zur Hand, so läßt sich dieser Versuch ohne Schwierigkeiten ausführen.

Die Primärseite des Ausgangsübertragers, der jetzt als Mikrofonübertrager arbeitet, verbinden wir mit den Eingangsbuchsen unseres Verstärkers oder mit dem Grammofonanschluß des Radioapparates. Wenn wir einen Lautstärkenregler (Potentiometer 10 000 Ω) dazwischenschalten, ist das nur günstig wegen der eventuell auftretenden akustischen Rückkopplung. Der Lautsprecher stellt jetzt ein Tauchspulenmikrofon riesigen Ausmaßes dar. Wir werden die Feststellung machen, daß der Lautsprecher ohne weiteres als Mikrofon arbeitet, die übertragenen Worte sind aber tief und dumpf, da die schwingende Masse von Membran und Spule des Lautsprechers riesig groß ist. Wir haben die Membran ausgebaut, gewogen und zu schwer befunden, sie wiegt nämlich genau 2,5 Gramm. Wenn es gelänge, das Antriebssystem etwa zehnmal leichter zu machen, dann sähe das Tonprodukt schon wesentlich besser aus.

Das Schwingsystem

Es ist nun tatsächlich gelungen, das Gewicht des Antriebssystems einschließlich der Spule auf ein Minimum zu reduzieren, obwohl die Spule 1,5 m Kupferdraht enthält. Die Spule muß eine Anzahl Windungen aufweisen, um zu einer höheren Induktionsspannung zu kommen. Das Bändchen im Bändchenmikrofon stellt gewissermaßen nur eine einzige Windung dar, demzufolge ist auch die Induktionsspannung sehr klein. Nehmen wir einmal an, in einer Windung wird eine Spannung von 1 mV erzeugt und wir erhöhen die

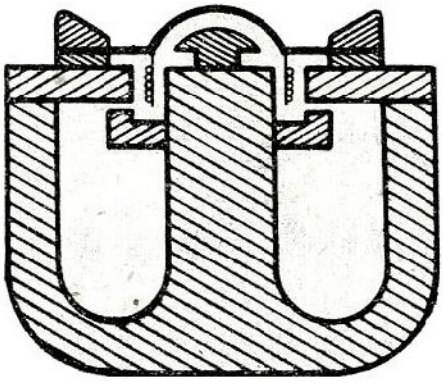


Bild 5
Aufbau eines Tauchspulenmikrofons

Windungszahl auf z. B. 10, dann haben wir den Effekt verzehnfacht und es resultieren 10 mV. Je höher also die Windungszahl auf der Tauchspule gemacht wird, um so höher wird die erzeugte Spannung sein und um so leichter läßt sie sich fortleiten. Wenn nun ein paar µV verloren gehen, spielt das keine große Rolle mehr.
Der Erhöhung der Spannung sind aber durch Erhöhung der Windung auf der Spule Grenzen gesetzt, denn mit der Menge des aufgespulten Kupfers wird das Antriebssystem letzten Endes so schwer, daß schwache Schallwellen es nicht mehr zu bewegen vermögen. Die Empfindlichkeit eines Mikrofons wächst aber mit der Verringerung der schwingenden Masse, ebenso sinkt die Reizschwelle.
Wir haben erprobt, daß 25 Windungen eines 0,05 mm starken Cu L-Drahtes mit ihrem Gewicht von 0,25 Gramm das System so ausbalancieren, daß der Frequenzbereich und die abgegebene Steuerspannung über Erwarten gut sind. Sowohl Sprach- als auch Musikübertragungen waren sehr zufriedenstellend.

Das Kondensatormikrofon

Wirkungsweise

Nun kommen wir zu dem dritten Typ, dem elektrostatischen oder Kondensatormikrofon. Wie schon der Name sagt, besteht diese Ausführung im wesentlichen aus einem Kondensator mit Luftdielektrikum. Vor einer festen ebenen Elektrode (Gegenelektrode) schwingt eine dünne Folie als Membran und bildet gleichzeitig die andere Kondensatorelektrode. Zwischen den beiden Kondensatorplatten liegt eine hohe Gleichspannung. Die Membranbewegungen ändern die Kapazität des Kondensators, so

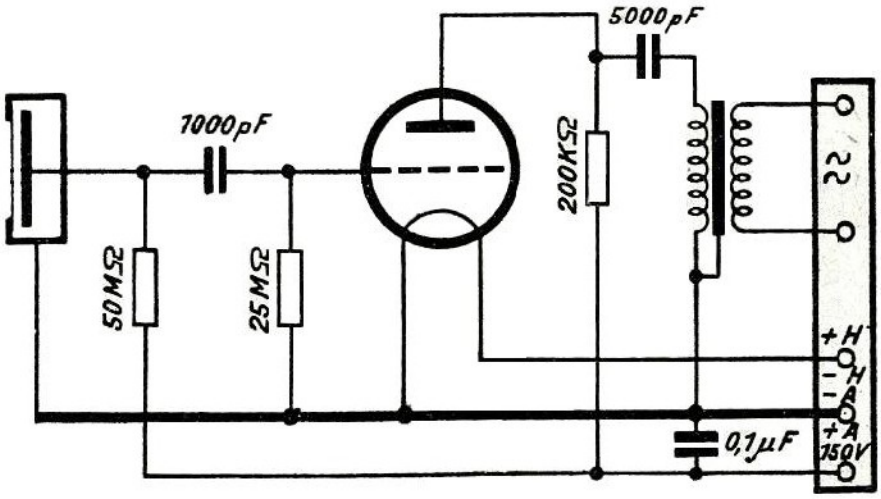


Bild 6
Schaltung des Kondensatormikrofons

daß an einem zwischen Gegenelektrode und Vorspannbatterie geschalteten Widerstand Spannungsschwankungen auftreten (Bild 6).

Vorverstärker

In der Regel befindet sich gleich hinter der Mikrofonkapsel ein einstufiger Mikrofonverstärker, der die Spannungsschwankungen an dem genannten Widerstand verstärkt. Durch den unmittelbaren Zusammenbau von Mikrofonkapsel und Verstärker wird der schädliche, hauptsächlich kapazitive Einfluß einer längeren Verbindungsleitung zwischen dem Mikrofon und dem Gitter der ersten Verstärkerröhre vermieden. Ein Kondensatormikrofon besitzt einen ausgeglichenen Frequenzgang zwischen 50 und 10 000 Hz. Der Transformator wird kapazitiv angekoppelt, um eine Vormagnetisierung zu vermeiden. Die Verwendung hochpermeablen Eisens ist empfehlenswert.

Bild 6 zeigt das Schaltbild eines Vorverstärkers, wie er auch in der folgenden Baubeschreibung (Seite 27) benutzt wird. Als Röhre dient eine Batterie-Triode (RE 084, KC 1, MC 1 o. ä.).

Die Membran

Obwohl die Form und Größe der Gegenelektrode Gegenstand vieler Abhandlungen war, haben wir davon Abstand genommen, mit unterschiedlichen Formen und Größen zu experimentieren, da unseres Erachtens die Membran in Material und Stärke das größere Interesse beansprucht. Darüber hinaus käme nach unseren Erfahrungen noch das Luftpolster in Frage, dem aber nur dann eine erhöhte Bedeutung zukommt, wenn Membranen verwendet werden, die stärker als 0,02 mm sind. Die Industrie verwendete früher als Membran hauchdünn ausgeschlagenes metallisches Gold, das sich infolge seiner Dehnbarkeit so dünn ausschlagen ließ. Wir unterscheiden zwischen reinen Metallmembranen und solchen, die nur eine Metallauflage haben. Reine Metallmembranen, sie bestanden auch vielfach aus Aluminium oder Kupfer, werden aber heute nicht mehr verwendet.

Man ist von der Metallmembran abgekommen, weil man erkannte, daß andere Stoffe sich entschieden günstiger verhalten, und nimmt heute Kunststoff-Folien mit einseitiger Gold- oder Metallauflage. Wir mußten, durch die Materiallage gezwungen, ein anderes Membranmaterial finden, das einen guten Frequenzgang gewährleistet. Azetylzellulose stand nur in 0,1 mm Stärke zur Verfügung, so daß diese nicht verarbeitet wurde. Außerdem fehlte bei dieser die Metallauflage. Experimente mit homogenen Alufolien von 0,01 bis 0,05 mm Stärke ergaben keine zufriedenstellenden Resultate. Einerseits waren sie zu dünn und rissen beim Spannen, andererseits ließen sie sich tadellos spannen, waren aber zu stark und ergaben ein sehr hartes Klangbild. Eine Tonveredelung konnte zwar mit einer Veränderung des Luftpolsters erreicht werden, doch ein wirklich befriedigender Frequenzgang ließ sich auch damit nicht erzielen.

Zusammenfassung

Fassen wir noch einmal die einzelnen Mikrofontypen zusammen: Das Einkammer-Querstrommikrofon ist überall da zu verwenden, wo ein Verstärker mit wenigen Stufen zur Verfügung steht. Der Verstärker sollte aber mit wenigstens zwei Pentoden bestückt sein, dann sind zufriedenstellende Leistungen zu erwarten.

Wir haben drei Kohlemikrofone seit 15 Jahren in Gebrauch und haben in dieser Zeitspanne erfahren, daß gerade das Kohlemikrofon stets zuverlässig gearbeitet hat. Wir bedienen uns eines Netzverstärkers mit drei Pentoden (zweimal EF 6 und in der Endstufe EL 6). Bei Mikrofonbetrieb können wir uns über ein Zuwenig an Lautstärke nicht beklagen, obwohl die Betriebsspannung des Mikrofons nur 2 Volt beträgt. In normaler Sprechentfernung vom Mikrofon - etwa 1 Meter - steuern wir die 8 Watt Endleistung mühelos aus. Das Mikrofon wird direkt, also ohne Vorverstärker über einen Eingangsübertrager angeschlossen. Der Störpegel (Mikrofonrauschen) ist relativ niedrig und liegt, verglichen mit dem Kondensatormikrofon bei insgesamt 4 Stufen, nur wenig höher als das Kathodenrauschen, das bei dieser Stufenzahl, wenn man im Eingang nicht besonders rauscharme Röhren verwendet, schon beträchtlich ist.

Das Tauchspulenmikrofon hat den kleinsten Störpegel, da es, wie das Kohlemikrofon, nur mit drei Stufen arbeitet, also auch nur über einen Eingangsübertrager direkt an den Eingang des Verstärkers gelegt wird. Reizschwelle und Empfindlichkeit sind sehr gut, auch mit diesem gelingt es, die 8 Watt Endleistung auszusteuern. Besonders angenehm fällt dieser Typ dadurch auf, daß Betriebsspannungen nicht benötigt werden. Leider ist es nicht ganz frei von nichtlinearen Verzerrungen, die aber das erträgliche Maß nicht überschreiten. Wir haben mit diesem Mikrofon Drehorgelmusik übertragen, die sich in nichts vom Original unterschied.

Dennoch gebührt dem Kondensatormikrofon der Vorrang, es überragt alle anderen Mikrofone an Übertragungsgüte und Empfindlichkeit. Eine Reizschwelle scheint es überhaupt nicht zu haben. Die abgegebene Tonfrequenzspannung ist so groß, daß das vor dem Verstärker liegende Potentiometer für normale Besprechung nur bis auf den ersten Teilstrich seiner zehnfach unterteilten Stufenskala aufgedreht zu werden braucht. Die Reserve ist so reichlich, daß es möglich sein müßte, vorausgesetzt, man bekommt eine besonders steile Pentode, mit insgesamt 3 Verstärkerstufen auszukommen.

In Bild 7 sind die Empfindlichkeiten und Frequenzabhängigkeiten einiger handelsüblicher Mikrofone gegenübergestellt.

FREQUENZKURVEN EINIGER MIKROFONE

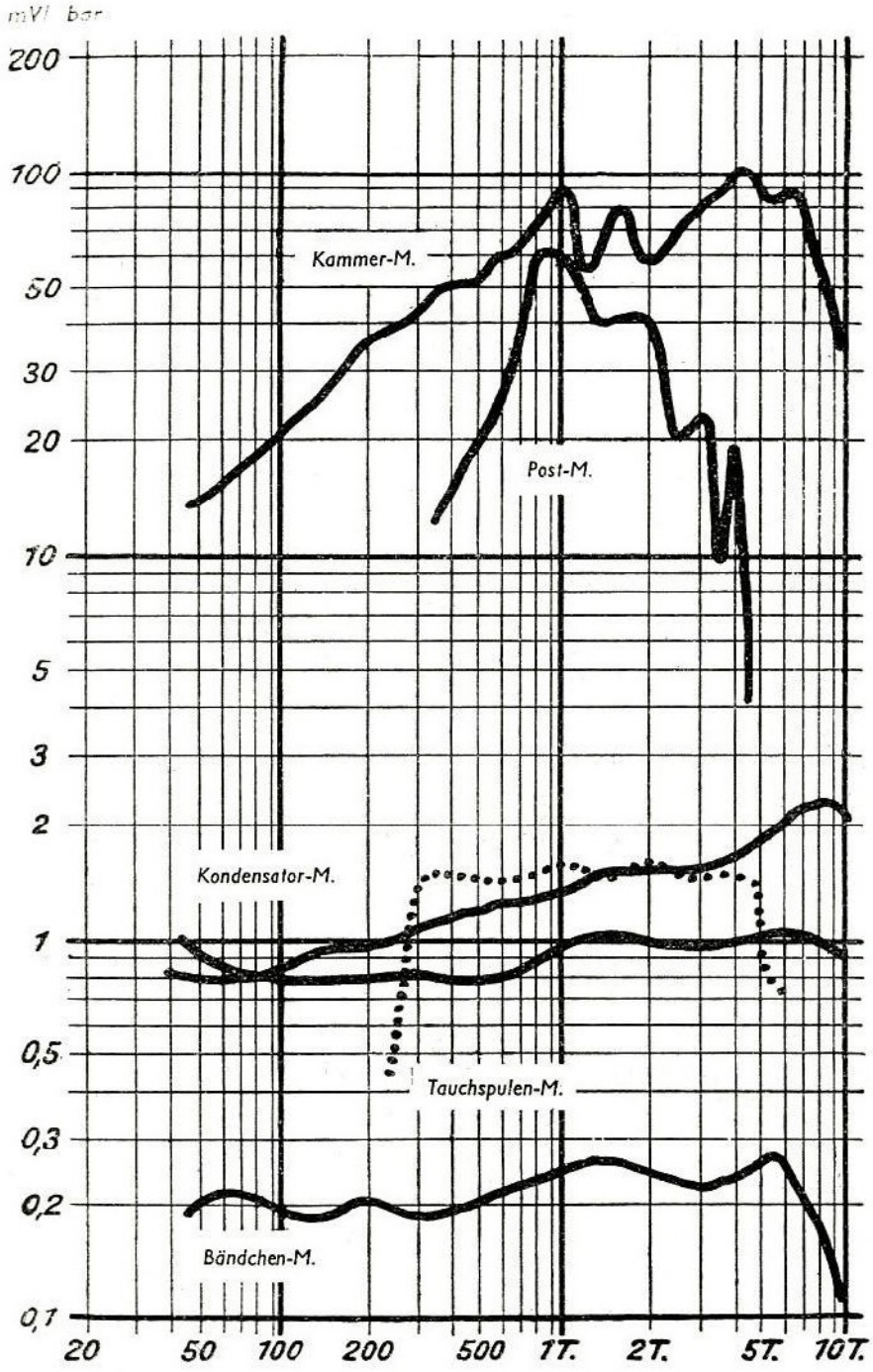


Bild 7

ZWEITER TEIL

A. Kohlemikrofon

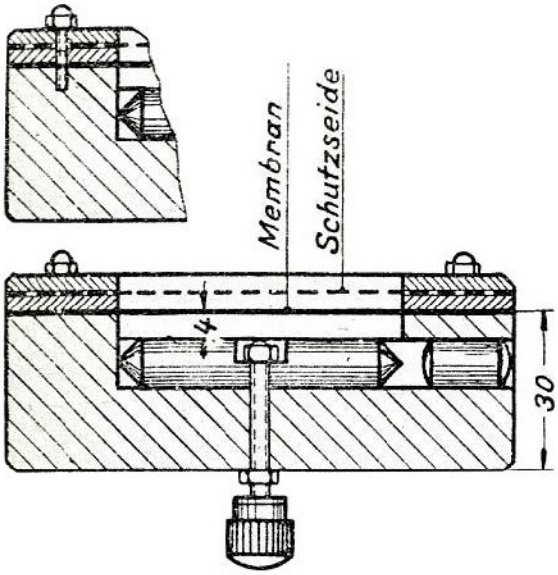
Beim Kohlemikrofon haben wir zwei Formen zur Auswahl, eine rechteckige, mit rechteckiger Membran und eine achteckige, mit runder Membran. Der Aufbau und die Wirkungsweise ist bei beiden Formen die gleiche. Es besteht im wesentlichen aus dem sogenannten Block, dem Rahmen oder Ring zur Aufnahme der Membran, den Kohleelektroden und der Kohlefüllung.

Der Block

Es bleibt sich völlig gleich, ob man traditionsgemäß Marmor oder ein anderes Material zur Fertigung des Blocks verwendet. Auch Hartholz ist geeignet; aber ebensogut kann der Block auch aus einzelnen Platten von Trolit, Pertinax o.dgl. zusammengeschraubt, geklebt oder genietet werden. Auf Bild 8 sehen wir in der Vorderansicht links und rechts die beiden Kohleelektroden. Brauchbare Elektroden bekommen wir in einem Geschäft für Kinobedarf, oder entnehmen sie einer Taschenlampenbatterie. Auf die richtige Länge bringen wir die Kohlestifte mit einer Laubsäge. In der Mitte werden sie durchbohrt (Vorsicht, bricht sehr leicht aus, nur scharfe Bohrer benutzen!) und mit geeigneten Schrauben in der Kammer befestigt. Damit die Fläche schnurgerade wird, sonst brechen die Kohlestifte beim festschrauben, werden die Auflagerillen zunächst in den Block eingebohrt (später wird durch diese Bohrungen der Kohlegrieß eingefüllt) und dann die Kammer herausgearbeitet. Die Schrauben werden durch Gegenmuttern oder festkleben mit Lack gegen späteres Losewerden gesichert. Zur gründlichen Reinigung der Kammer einschließlich der Elektroden vom Handschweiß empfiehlt sich Spiritus oder Benzin*. Aber diese Reinigungsprozedur nehmen wir erst unmittelbar vor dem Zusammenbau vor. Wenn wir kleine Alu-Hutmuttern auftreiben können, mit etwa 3 mm Gewinde, setzen wir Gewindekopfschrauben in die Löcher am Rand des Blocks, zur Befestigung des Rahmens. Diese können wir mit Gips oder Wasserglas, auch einer Mischung von beiden, oder mit flüssigem Blei einsetzen.

Die beiden Rahmen liegen übereinander. Der untere trägt die Membran, der obere die Schutzbespannung. Pertinax- oder irgendeine Kunststoff-

*) Gewöhnliches Benzin ist ungeeignet. Es sind fettfreie, fettlösende Mittel anzuwenden, z. B. Tetrachlorkohlestoff (Benzinoform).



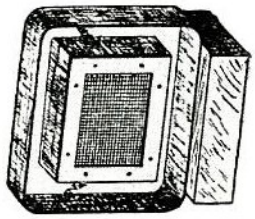
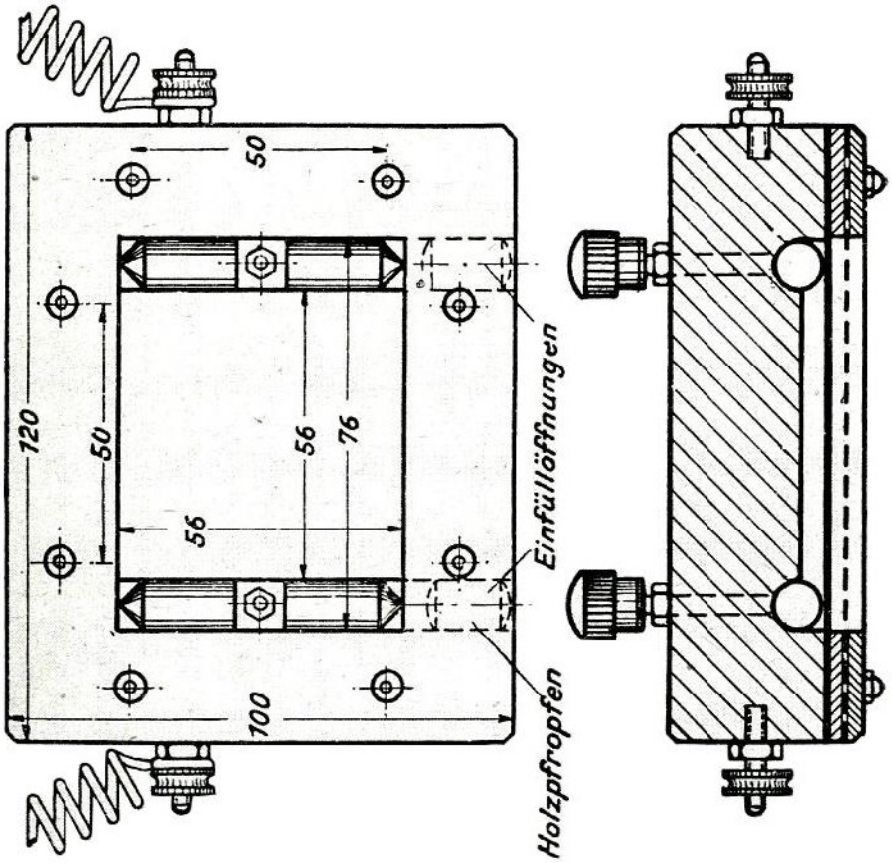


Bild 8
Aufbau des Kohlemikrofons



platte von 3 mm Stärke reicht vollkommen aus. Man kann sie nach alter Sitte mit einer Laubsäge aussägen; mit einem scharfen Messer, an einem Glas- oder Stahllineal, geht es nach unserer Erfahrung viel schneller und sauberer.

Der untere Rahmen wird mit einer dichtgewebten dünnen Seide, etwa Fallschirmseide, bezogen, der obere bekommt eine weniger dichte und dünne Bespannung in passender Einfarbigkeit. Die Schutzbespannung kleben wir stramm mit Lack an den Rand fest an, das ist alles. Den überstehenden Stoff schneiden wir mit einer Rasierklinge nach dem Trocknen ab, ähnlich verfahren wir beim Membranrahmen.

Die Membran

Die Membran zu spannen, erfordert etwas mehr Aufmerksamkeit und ist auch etwas komplizierter. Wir nehmen die Seide so groß, daß sie allseitig über den Rand ragt, und so kleben wir sie erst einmal an einer Längs- und einer Querseite fest und lassen den Lack trocknen. Zum Kleben bedienen wir uns am besten des Nitro- oder Zaponlacks, aber auch Nagellack, in guter alter Qualität, kann mit Erfolg verwendet werden.

Dann feuchten wir die Seide, soweit sie in das Fenster des Rahmens kommt, mit Wasser etwas an; bestreichen den übrigen Rahmenrand mit Lack und spannen die Seide, daß sie faltenlos und straff im Fenster liegt. Damit die Spannung nicht nachgibt, setzen wir reichlich Krokodilklammern an den Rand. Nach einer Viertelstunde, wenn wir dabei etwas Wärme mitwirken lassen, wird die Seide überall fest haften. Sollte dagegen die mit Wasser befeuchtete Seide im Fenster früher trocknen als der Rand, müssen wir nachfeuchten, solange bis der Rand knochentrocken ist.

Wenn dieser Arbeitsgang zur Zufriedenheit vollbracht ist, legen wir den Rahmen waagerecht auf den Tisch, gießen ein wenig Lack auf die Mitte des Fensters, und verteilen den Lack mit der Fingerkuppe unter sehr leichtem Druck und kreisenden Bewegungen nach dem Rand zu. Das muß schnell und zügig vorgenommen werden. Jedes Nachtupfen ist vom Übel und gefährdet die Spannung, wir machen nichts mehr, wir lassen freiwillig trocknen. Nehmen wir den fertigen Rahmen hochkant zwischen die Finger und beklopfen den Rand mit dem Fingernagel, muß ein reiner tiefer Ton erklingen. Wenn der Ton zu dumpf klingt, ist die Seide nicht straff genug gespannt. Dann hilft nur: abreißen, noch einmal neue Seide spannen! Wir haben Seide schon so stramm aufgespannt, daß sie beim beklopfen einen hellen gläsernen Ton gab. Zu harte Spannung der Membran ergibt aber später nach der Inbetriebnahme des Mikrofons eine starke Bevorzugung der hohen Frequenzen.

Das Reiß-Mikrofon

Es wird an dieser Stelle interessieren, wie es um die Konstruktion des bekannten Reiß-Mikrofons bestellt war, und wie es sich im Laufe der Jahre entwickelte. Daraus kann man erkennen, worauf es bei einem Kohlemikrofon ankommt. Den Inhalt der Patentschrift geben wir aus der

Erinnerung wieder. Eugen Reiß ging zunächst von einem Irrtum aus, und dieser Irrtum blieb auch bestehen, wenigstens in der Patentschrift. Es ist uns nicht bekanntgeworden, daß die Patentschrift jemals abgeändert und richtiggestellt wurde. Die Patentschrift sagt aus: Die Kammer soll mit Kohleklein von 1 mm Größe bis zum feinstem Staub gefüllt sein. Infolge des auf das Kohleklein auftreffenden Schalls schwingen die großen Körner mit niedriger, und die kleinsten mit entsprechend hoher Frequenz. Damit nun durch die betriebsbedingte Stellung der Kammer die Kohlefüllung nicht herausrieseln konnte, ordnete er vor der Kammer eine dünne Gummihaut an. Wohlgemerkt, diese sollte ausdrücklich nicht als Membran wirken, sondern nur dazu dienen, das Kohlekonglomerat am Verlassen der Kammer zu hindern. Die Kohlekörner folgten aber dem Gesetz der Schwere und drückten von innen gegen die absperrende Gummihaut und verursachten in ihr einen Bauch. Dieser Bauch mußte bei dem Erfinder einige Unruhe geschaffen haben, denn die Zusatzpatentschrift besagte unmißverständlich, daß dieser Übelstand abgeschafft werden muß, und so wurde vor die Gummihaut eine gelochte Hartgummiplatte gesetzt. Damit nahm er dem Gebilde natürlich die Schwingfähigkeit; außerdem backte das Kohleklein des öfteren zusammen, und das Mikrofon mußte dann ebensooft mit einem Holzhammer bearbeitet werden, um den Mikrofoninhalt aufzulockern. Ein Mikrofon dieser Art war in der Frühzeit des Rundfunks ein Schrecken für die Techniker, die diesem kranken Kind hin und wieder neues Leben einflößen durften. Das Kuriose an der ganzen Geschichte ist die Patentfrage. Diese Frage heute zu stellen ist zwar müßig, sie ist gegenstandslos geworden, entbehrt aber nicht einer gewissen Komik. Was nämlich später als Reiß-Mikrofon unter Patentschutz stand, hatte mit dem in der Patentschrift beschriebenen System wenig Ähnlichkeit. Viel später, zu einer Zeit, als der Rundfunk schon das Kondensatormikrofon in seinen Dienst gestellt hatte, bekamen wir ein Original-Reiß-Mikrofon in die Hand. Da sich unsere Erfahrungen durchaus nicht mit der Reiß'schen Erfindung deckten, waren wir neugierig und haben hineingeschaut. — Zum Vorschein kam eine Glimmermembran, die, um auch bei dieser den Bauch zu verhindern, eine Seide direkt vorgespannt hatte. Die Kohlefüllung — Gegenstand des eigentlichen Patentschutzes — bestand nicht aus verschieden großen Kohlekörnern, sondern aus gleichmäßig feinem Kohlegrieß, wie wir ihn und andere schon seit Jahren zum Füllen der Mikrofone verwendeten. Um es kurz zu machen: wir verglichen das Reiß-Mikrofon mit unseren am Verstärker, und stellten bei unserem Mikrofon eine höhere Empfindlichkeit fest. Der Grund wird darin liegen, daß die der Glimmermembran vorgelagerten Seide durch Reibung am Schwingen behindert war.

Schwingungs-bauchmembran

Soweit uns Kohlemikrofone vorlagen, und das waren nicht wenige im Laufe der Jahre, haben wir festgestellt, daß ausschließlich die Glimmermembran dominierte. Aber auch eine dünne Glimmermembran ist nicht das geeignete Membranmaterial, da es der losen Kohle nicht genügend mechanischen Widerstand entgegensetzen kann. Eine stärkere zu verwenden, verbot sich wegen der damit verbundenen Vergrößerung der schwingenden Masse. Da sich nun der Fabrikant eines vielgekauften Mikrofons keinen anderen Rat wußte, machte er aus der Not eine Tugend, und nannte die in der Glimmermembran entstehende Beule in seinem Mikrofon „Schwingungsbauchmembran" und rühmte ihr obendrein noch besondere Vorteile nach . . . ., die aber leider im Betrieb weder erfüllt noch erreicht worden sind.

B. Tauchspulenmikrofon

Zu einem Tauchspulenmikrofon brauchen wir zu allererst einen Permanentmagnet, der einem kleinen Perma-Lautsprecher entnommen sein kann. Betrachten wir Bild 9. Wir erkennen auf diesem die Anordnung zweier Ringe, aus z. B. Pertinax, von etwa 3 mm Stärke. Zwischen diese wird das noch näher zu beschreibende Gebilde, das wir Membransystem, oder besser Schwingsystem nennen wollen, mit Hilfe von 6 am Rande der Deckplatte gleichmäßig verteilten Schrauben befestigt.

Das Schwingsystem besteht aus zwei Teilen, der eigentlichen . . . . nun, sagen wir in diesem Falle wieder Membran, aus weicher Alufolie in einer Stärke von 0,05 mm, die wir einem alten Elektrolytblock entnehmen können, und der Spule.

Die Tauchspule

Zuerst fertigen wir die Spule, denn bei dieser wird der Draht mit Lack festgelegt und sie braucht etwas Zeit zum trocknen. Wir suchen uns einen passenden Wickelkörper, ein kurzes Stück Rohr, dessen Durchmesser der Kerndicke entspricht. Das Rohrstück müssen wir so anbringen, daß wir es drehen können, evtl. zwischen zwei Lagerböcke. Wenn eine Kurbel angebracht werden kann, ist das kein Nachteil.

Auf das Rohr legen wir zwei Lagen Wachspapier, das wir ebenfalls einem Blockkondensator entnehmen können. Die Dicke des Wachspapiers ist gleichbedeutend mit dem Abstand der fertigen Spule vom Magnetkern. Auf den, um das Rohr gelegten, Streifen Wachspapier wickeln wir Windung neben Windung 0,05 mm Cu L-Draht, und zwar 15 bis 20 Windungen. Den Draht liefert uns eine Kopfhörerspule.

Haben wir die Windungen aufgewickelt, ist die erste Lage fertig, geben wir etwas Lack auf die Windungen, aber nur auf die Windungen, wobei die außenliegenden besonders liebevoll bedacht werden müssen, da sich gerade diese beim späteren Abziehen der Spule gerne lösen. Auf den

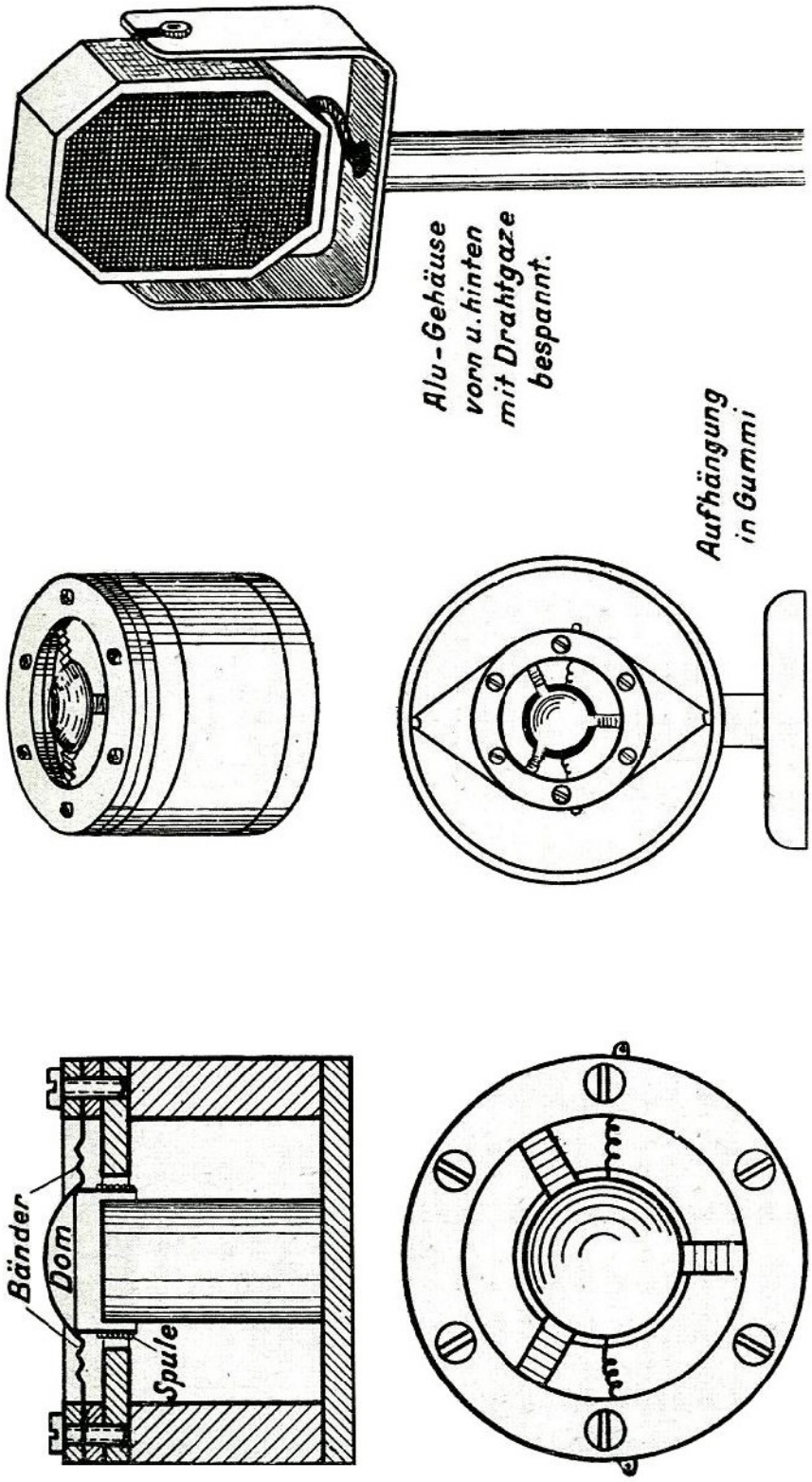


Bild 9 Aufbau des Tauchspulenmikrofons

frischen Lack, einmal herum, legen wir einen vorbereiteten Streifen eines Zigarettenblättchens, so daß die Enden zusammenstoßen. Auf das Zigarettenpapier geben wir wieder Lack und wickeln weiter, die zweite Lage. Danach fahren wir noch einmal mit der gelackten Fingerkuppe über die obere Lage und lassen trocknen.
Nun nehmen wir den Wickeldorn aus den Lagern heraus, schieben die Spule soweit an den Rand, daß wir das überstehende Papier der Spule mit einer Rasierklinge maßhaltig abschneiden können.
Das hört sich alles ganz einfach an: man nehme Folie aus einem alten Elko, den Draht einer alten Kopfhörerspule, ein Blättchen Zigarettenpapier und . . . . sagen wir in ein bis zwei Stunden ist das Mikrofon fertig. Nun, wir wollen nicht die Arbeit bagatellisieren: der dünne Draht reißt wie Zunder, ist kaum zu sehen, besonders nicht auf dunklem Untergrund. Wir haben die Erfahrung machen müssen, daß der Arbeit kein Erfolg beschieden ist, wenn nicht alles vorher bedacht und bis aufs i-Tippelchen vorbereitet ist. Auch wir mußten vier und fünf Spulen wickeln, ehe eine brauchbar war.

Der Dom

Ebenso sorgsam müssen wir auch die Folie von 0,05 mm Stärke zur Membran verarbeiten. Dazu werden zwei Abfallstücke Pertinax (3 mm) vorbereitet. Mit dem Kreisschneider schneiden wir in das eine ein Loch, etwas größer als der Durchmesser der Spule, und in das andere ebenfalls ein Loch, das noch etwas größer ist als das erste. Die scharfen Kanten an den Löchern werden etwas gebrochen. Das Stück mit dem kleineren Loch legen wir auf eine ebene Unterlage (wir benutzen immer als Arbeitsunterlage eine Spiegelglasplatte), und darauf die Alufolie, so daß das Loch etwa unter die Mitte der Folie zu liegen kommt. Auf die Folie legen wir die zweite Platte mit dem größeren Loch. Wir wollen jetzt den Dom in die Folie eindrücken, und die zweite Platte hat nur die Aufgabe, die Alufolie festzuhalten. Darum drücken wir die Platte fest an, und fahren mit dem Heft des umgedrehten Schraubenziehers unter kreisenden Bewegungen über die Folie. Der Rand markiert sich sofort, und wir drücken nun, nach der Mitte den Druck verstärkend, einen formvollendeten Dom nach unten gegen die Unterlage in die Folie.
Das Blättchen Folie mit dem eingedrückten Dom legen wir jetzt so auf die Unterlage, daß die Wölbung nach oben kommt. Um den Dom herum markieren wir drei Punkte. Von den Markierungen ausgehend zeichnen wir mit spitzem Bleistift 2,5 mm breite Streifen nach dem Rand der Folie. Mit einer Haut- oder Nagelschere, oder auch mit einem scharfen Messer, schneiden wir das übrige Material um Dom und Bänder ab. Da die Bänder nicht mehr gerade sind, setzen wir den Dom abermals auf die Platte und richten ihn mit einem Holzgriffel, indem wir auch gleich den Grat an den Rändern glätten. Mit Hilfe eines Stückchen Draht und

einer Pinzette drücken wir noch einige Riffel in die Bänder, und nach nochmaligem Richten geben wir etwas Lack in den Dom und setzen die Spule zentrisch zum Domrand in den Lack, auf daß sie festklebe. Damit wäre das Schwingsystem zum Einsetzen in den Magnet fertig.
Aber wir müssen den Magnet noch auseinandernehmen, um auf der Deckplatte die sechs Löcher für die Befestigungsschrauben zu bohren. Nun soll man zwar Permanentmagnete nicht auseinandernehmen, da eine Einbuße an Kraftlinien damit verbunden ist. Die Demontage ist aber unerläßlich. Würden wir einen anderen Weg gehen, die Löcher ohne Demontage einzubohren, würde der Ringspalt des Magneten von den Spänen verstopft werden und wir bekämen sie nicht mehr heraus. Also demontieren wir den Magnet, die Verluste an Kraftlinien sind nicht gewaltig.

Späne im Luftspalt

Übrigens, und das ist sehr wichtig: beim späteren Zusammenbau des Systems kann es noch immer vorkommen, daß einzelne Eisenspänchen in den Ringspalt gelangen. Wir müssen den Zusammenbau auf einem sorgfältig gereinigten Arbeitsplatz vornehmen. Wir weisen noch einmal darauf hin, daß auch in diesem Fall eine Glasplatte vortreffliche Dienste leistet. Beim Einsetzen des Schwingsystems in den Spalt vergewissern wir uns nochmals, evtl. mit einer Lupe, daß auch keine Eisenteilchen mehr vorhanden sind. Mit der Spitze einer Stopf- oder Nähnadel können wir sie mit geschicktem Griff hinauswerfen.
Das Einsetzen des Schwingsystems, und damit der Spule, in den Ringspalt bedarf keiner weiteren Erklärung. Die Justierung ist nicht kritisch. Alles andere geht aus der Abbildung hervor. Die Gehäuse, die im Schema abgebildet sind, sollen eine Anregung für die äußere Form bieten.
Außerdem kann man das Mikrofonsystem auch für unberufene Augen verdeckt anbringen, in einem Blumenstrauß, in der Steh- oder Tischlampe usw., um nur einige Beispiele zu geben. Der Phantasie sind also in keiner Beziehung irgendwelche Grenzen gesetzt.

C. Kondensatormikrofon

Das Kondensatormikrofon besteht grundsätzlich aus zwei Bauteilen, die zu einer Einheit zusammengebaut sind. Die Sprechkapsel ist verstellbar, meistens nur schwenkbar auf einem zylindrischen Gehäuse aufgesetzt, in dem der Mikrofonverstärker untergebracht ist.

Der Verstärker

Der Verstärker bietet keine besonderen Schwierigkeiten, er arbeitet auf Anhieb, wenn man einige wesentliche Regeln beachtet. Dazu ist zu bemerken, daß die Isolation aller spannungführenden Teile und Leitungen über den Durchschnitt gut sein muß, alle Lötverbindungen müssen mit Kolophonium gelötet werden, Lötfett oder gar Lötwasser ist denkbar ungeeignet. Außerdem dürfen Kupfer und Aluminium nicht in direktem Kontakt ge-

bracht werden, beide Metalle vertragen sich nicht miteinander. Wenn wir diese Regeln streng befolgen, werden wir keinen Ärger haben. Das Bild 10 zeigt das Mikrofon im Schema und die elektrischen Daten.

Der Verstärker ist in einem Spulentopf aus Aluminium untergebracht. Als Verstärkerröhre verwendeten wir die MC 1, diese ist noch etwas kleiner als z. B. die bekannte P 2000. Aber selbst eine KC 1 könnte in dem Spulentopf gut untergebracht werden. Als Übertrager wurde in dem hier beschriebenen Mikrofon ein kleiner käuflicher Fernsprechübertrager benutzt, der sehr gute Dienste tat. Eine nähere Beschreibung folgt im nächsten Abschnitt. Doch läßt sich mit gleichem Erfolg auch ein üblicher Nf-Transformator verwenden mit einem Übersetzungsverhältnis von etwa 6:1.

Die Kapsel

Das Bild 10 zeigt weiter die Kapsel im Schnitt, ihre Montage sowie das Bohrschema, das die Lage der Schrauben kennzeichnet.

A ist die runde Grundplatte mit einem angedrehten Rohrstutzen. In diesem Rohrstutzen, dem eigentlichen Innenraum der Kapsel, befindet sich die Gegenelektrode E. In der Mitte trägt die Gegenelektrode eine Schraube, die nach der Rückwand, also durch die sogenannte Grundplatte, hindurchführt. Sie bildet die Anschlußklemme der Kapsel und ist mit der eingesetzten Frequenta oder Trolitulbuchse gegen die Masse der Kapsel isoliert. Um die Anschlußschraube herum gruppieren sich drei Madenschrauben entsprechender Länge, die die Aufgabe haben, die Elektrode gegen den Rand der Kapsel schnurgerade auszurichten. Das Gewinde für diese Madenschrauben soll nicht ganz ausgeschnitten sein, damit die Schrauben stramm im Gewinde sitzen. Das Ausrichten der sauber plangeschliffenen Fläche der Gegenelektrode gegen den Kapselrand geschieht, um es gleich vorwegzunehmen, mit einem Stahllineal. Der Abstand des Randes von der Fläche ist sehr klein, etwa 0,035 bis 0,04 mm. Wir stellen die Madenschrauben so ein, daß zwischen dem Stahllineal und der Gegenelektrode gerade ein Blättchen Zigarettenpapier hindurchgeht.

Nun haben wir noch die beiden Ringe R_1 und R_2, die ebenfalls aus Metall, also Aluminium, bestehen. Zwischen diesen wird mit sechs gleichmäßig verteilten Schrauben die Membran geklemmt; ferner einen Gummizwischenring, der es gestattet, die Ringe in gewissen Grenzen in der Höhe zu verstellen, was die drei größer gezeichneten Schrauben (Bohrschema) übernehmen. Diese drei Schrauben gehen ohne Gewinde durch die Aluringe und den Gummizwischenring in wieder strammes Gewinde der Grundplatte A.

Anmerkung zu Bild 10: Maßstab 1:1,5 mm.

Äußerer Durchmesser der Kapsel . . . . . = 50 mm
Äußerer Durchmesser der Gegenelektrode = 30 mm

Einstellschrauben für Membranspannung = M 3 mm
6 Zylinderkopfschrauben . . . . . = M 2,6 mm Topf = 60 mm Durchm.
3 Justierschrauben . . . . . = M 3 mm Höhe = 100 mm

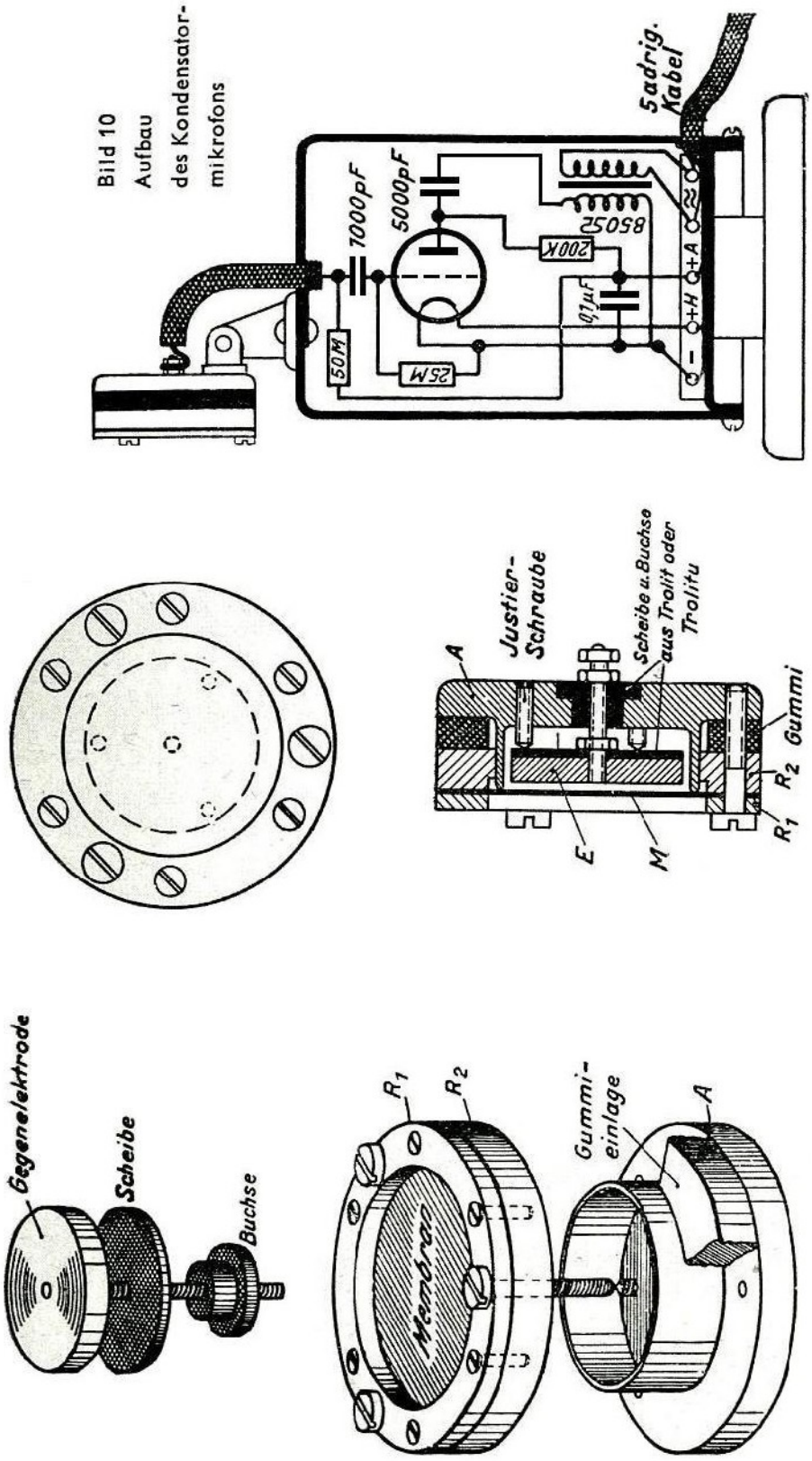


Bild 10
Aufbau
des Kondensator-
mikrofons

Wenn wir diese drei letztgenannten Justierschrauben eindrehen, schieben sich die Ringe gegen die Gummizwischenlage, und da diese ja nachgibt, nach unten. Damit legt sich zugleich die zwischen die Ringe eingeklemmte hauchdünne Membran gegen den Kapselrand und wird mehr und mehr gespannt — bis sie reißt. Aber soweit sollten wir es nicht kommen lassen, außerdem wird die Membran erst bei der Inbetriebnahme des Mikrofons auf beste Frequenzlage nach dem Gehör getrimmt.

Die Membran

Nun zur Membran. Weiter oben haben wir schon angeführt, wie eine Membran beschaffen sein soll, also in erster Linie leicht, und wir fertigen sie daher aus Seidenpapier. Ja, aber Seidenpapier ist doch ein Nichtleiter. Wie metallisieren wir es? Ein Stück Seidenpapier von 0,02 mm Stärke kleben wir mit Lack auf einen Ring aus Pertinax, dessen lichtes Maß größer ist als unser Kapseldurchmesser. Wir verfahren dabei genau so, wie wir das für die Membran zum Kohlemikrofon beschrieben haben. Das Papier wird etwas angefeuchtet, damit es nach dem Trocknen stramm auf dem Ring liegt. Dann reiben wir wenig Lack in das Papier, aber nur auf einer Seite, ein. Nur so viel, um die Poren und winzigen Löcher in dem Papier zu schließen. Selbstverständlich müssen wir den Lack erst vollständig trocknen lassen, ehe wir auf die andere Seite des Papiers mit einem weichen Bleistift die Metallisierung aufbringen. Durch mehrmaliges Überfahren mit dem Bleistift wird der Graphitüberzug so dicht gemacht, daß an allen Stellen Leitfähigkeit herrscht. Mit einer Glimmlampe überzeugen wir uns von der Tatsache. Für diese Arbeit können wir eine Spiegelglasscheibe nur nochmals wärmstens empfehlen. Zwischen Papier und Unterlage dürfen sich keine Fremdkörper befinden, sonst reißt das Papier beim Überfahren mit dem Stift. Wenn wir ganz sicher gehen wollen, geben wir auf die graphitierte Seite auch ein wenig Lack, lassen aber den Rand frei, damit die Membran mit den Ringen guten Kontakt hat. Die graphitierte Seite kommt gegen die Fläche der Elektrode zu liegen, darum müssen wir uns vor dem Zusammenbau davon überzeugen, ob Gegenelektrode und Membran frei von Verunreinigungen sind, denn der Abstand beider ist sehr klein!*

Zusammenbau

Beim Zusammenbau gehen wir am besten so vor: Die jetzt fertige Membran wird mit ihrem Klebering zwischen die Aluringe gelegt und mit sechs Schrauben festgeklemmt (Graphitschicht gegen Gegenelektrode). Dann schneiden wir mit einer Rasierklinge das überstehende Papier ab, den Spann- oder Klebering heben wir uns für die nächste Membran auf. Nun setzen wir die Ringe oder den Membranteil auf die Gummizwischenlage. Die Membran selbst soll den Kapselrand gerade berühren, tut sie es nicht, dann schrauben wir die drei Justierschrauben so weit ein, daß sie es tut, denn wir sehen, wie sich der Kapselrand markiert.

---

*) 0,01 mm starke Folie von alten Metallpapierkondensatoren haben wir ebenfalls mit Erfolg verwendet, indem wir durch einseitigen Lackauftrag die Festigkeit bedeutend erhöht haben. Beim Einbau legen wir die lackierte Seite nach außen.

Die Anpassung des Mikrofons an den hochohmigen Verstärkereingang erfolgt durch einen Übertrager. Um Mikrofone mit verschiedenen Innenwiderständen anschließen zu können, empfiehlt sich ein solcher mit mehreren Wicklungen. Auf der Suche nach einer passenden Ausführung fiel uns ein kleiner Fernsprechübertrager in die Hände, der sich für diese Zwecke vorzüglich eignet. Seine Daten sind:

	Ohm	Wdg.	Draht
I	10	600	0,20 CuL
II	34	1100	0,17 CuL
III	850	6200	0,09 CuL

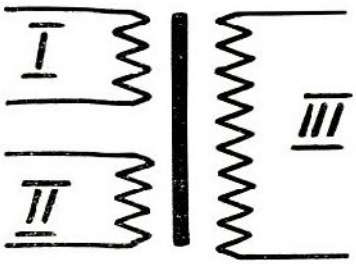


Bild 11
Fernsprechübertrager, Typenbezeichnung 24a E 26021 I

Der Übertrager wird in das sogenannte Anschlußglied (Bild 12) eingebaut. Dieses ist durch eine vieradrige Leitung mit dem Verstärker verbunden und steht in seiner unmittelbaren Nähe. Über 2 Adern geht die Tonfrequenz vom Anschlußglied zum Verstärker. Daneben läuft bestens gesiebte Gleichspannung vom Verstärker zum Anschlußglied und endet in einem Steckkontakt von insgesamt 5 Kontakten. Wir nahmen dazu den fünfpoligen Röhrenfuß einer defekten Röhre. Der Akkumulator (zur Speisung des Kohlemikrofons bzw. zur Heizung des Kondensatormikrofons) befindet sich bei dem Anschlußglied, für ihn sind 2 Buchsen vorgesehen. Außerdem enthält es noch 2 Buchsenpaare für den Anschluß des Tauchspulen- und Kohlemikrofons. Das eingebaute Potentiometer gestattet die eingangsseitige Lautstärkeregelung. Sie ist an dieser Stelle wichtig, um einer Übersteuerung des Verstärkers begegnen zu können. Sollte es uns nicht gelingen, den hier beschriebenen Fernsprechübertrager zu beschaffen, so macht es auch keine Schwierigkeiten, einen solchen selbst zu wickeln. Der Kern kann der geringen Leistung wegen verhältnismäßig klein sein (Manteltype, etwa 35 · 30 mm, Pakethöhe etwa 10 mm).

Auf diesen bringen wir die nachfolgenden Wicklungen:

primär: 160 Wdg. 0,18 CuL für das Tauchspulmikrofon
400 Wdg. 0,12 CuL für das Querstrommikrofon
sekundär: 1600 Wdg. 0,08 CuL.

Ebenso läßt sich auch der Ausgangsübertrager des Kondensatormikrofons selbst herstellen. Dieser enthält:

primär: 4000 Wdg. 0,08 CuL
sekundär: 160 Wdg. 0,18 CuL.

ANSCHLUSS AN DEN VERSTÄRKER

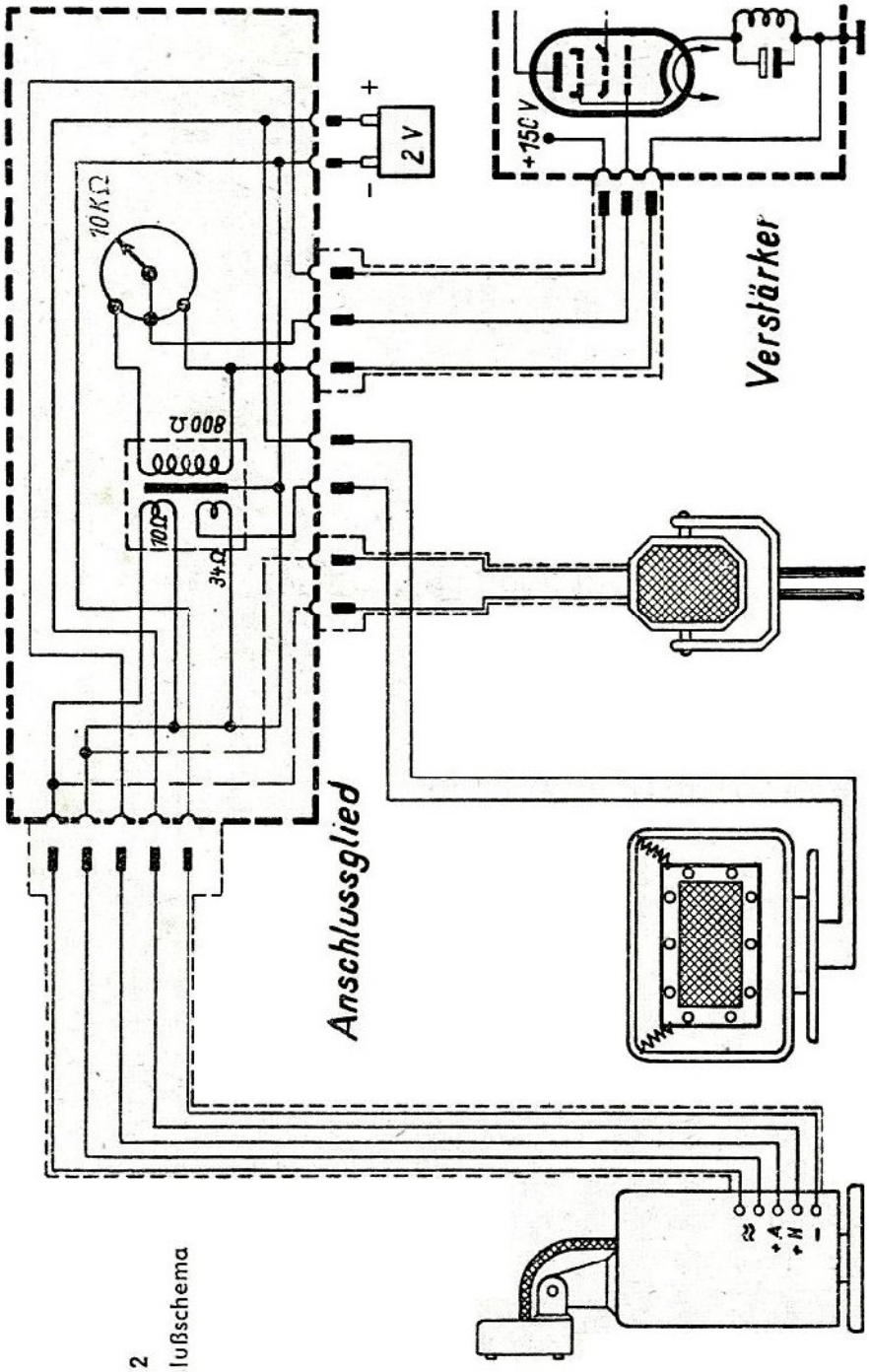


Bild 12
Anschlußschema