



*Als Erstausgabe erschien dieser Aufsatz unter dem Titel "Aufnahmetechnik für den anspruchsvollen Amateur" in Stereoplay, Hefte 8/9 1988.*

*Er richtet sich ursprünglich an Musikliebhaber, die außer physikalischen Grundkenntnissen der Akustik nur wenig Wissen über Mikrofone und Aufnahmetechnik haben. Dieser Personenkreis überschätzt manchmal den notwendigen apparativen Aufwand, um selber Stereo-Aufnahmen machen zu können.*

*Im Folgenden werden fundamentale Grundlagen der Aufnahme- und Mikrofontechnik erklärt. Dazu gehört die Kenntnis der stereofonen Mikrofonsysteme und ihrer Besonderheiten. Außerdem wird die elementare Funktion von Druck- und Druckgradienten-Empfänger beschrieben sowie die mit diesen Arbeitsprinzipien verbundenen besonderen Eigenschaften.*

## Anwendungsbereiche einfacher Aufnahmetechniken

Ein gutes Mikrofon wandelt Schall in ein äquivalentes elektrisches Signal. Eine Aufnahme ist dann lohnend, wenn der Schall am Ort des Mikrofons hörens-werte Qualität besitzt. Das mögliche Aufnahmerepertoire ist daher sehr groß.

Die mit einfachen Mitteln hergestellten Aufnahmen weisen oft erhebliche Unterschiede zu professionellen Produktionen auf.

Da ist zunächst einmal der Unterschied zwischen einem Live-Mitschnitt und einer Musikproduktion, die mit viel Technik und dem Können der Tonmeister perfekte Aufnahmen zum Ziel hat. Selbst die schönste Aufnahme ist nicht frei von Störungen und Schwächen. Wer glaubt, dies wäre kein Problem, sollte sich nur einmal an eine Schallplatte mit einem Kratzer erinnern. Nach einiger Zeit erwartet man die Störung geradezu an der gewohnten Stelle. Mit Schnitzern einer Darbietung kann es einem dann genauso gehen, obwohl man sie beim ersten Hinhören eventuell gar nicht festgestellt hat. Dieses Problem hat schon manchen erfahrenen Künstler kritisch gegenüber Mitschnitten gemacht.

Ein weiterer Unterschied bei Aufnahmen, die mit nur zwei hochwertigen Mikrofonen beziehungsweise einem Stereomikrofon hergestellt wurden, ergibt sich aus den fehlenden Stützmikrofonen. Hier wird die Diskussion aber bereits schwierig. Fehlen die Stützen wirklich? Zwischen der ausgiebig begründbaren Befürwortung durch die Mehrzahl der Tonmeister und der Meinung vieler Audiophiler besteht keine Einigkeit. Geschmackliche Komponenten und Schulung spielen eine Rolle. Benötigt der Verbraucher eine Hörschulung oder führen die Hörgewohnheiten und Klangvorstellungen einiger Tonmeister zu einer Distanz zum realen Klanggeschehen?

Tatsächlich gibt es viele CDs, die ohne Stützmikrofone aufgenommen wurden und die sehr erfolgreich

sind. Damit darf aber kein übertriebener Optimismus ausgelöst werden. Ein wohlschmeckendes Gericht erfordert außer guten Zutaten immer noch einen guten Koch. Ebenso gehören zu einer guten Tonaufzeichnung einige Kenntnisse und Erfahrungen. Einige wesentliche Grundlagen sollen hier vermittelt werden. Man sollte aber nicht vergessen, dass "Tonmeister" ein Beruf ist und eine Ausbildung erfordert.

## Einflussgrößen bei der Tonaufnahme

Fangen wir mit der Schallquelle an. Die Künstler sind bei einer einfachen Aufnahmetechnik ganz auf sich gestellt. Wenn die Hilfsmittel der modernen Aufnahmetechnik nicht zur Verfügung stehen, ist es beispielsweise erforderlich, dass die Balance zwischen den einzelnen Instrumenten von den Musikern hergestellt wird. Allgemein gesehen kann dies auch durchaus der Musikaufnahme zum Vorteil gereichen.

Die eigentlichen Kriterien für die Aufnahme sind:

1. die Raumeinflüsse
2. der Aufstellungsort
3. das Stereo-Aufnahmeverfahren und
4. die Mikrofonwahl.

### 1. Raumeinflüsse

Von Konzerten weiß man, wie wichtig die Akustik des Raumes ist. Ihre Eignung hängt von der Art der Musik, vielen Details und ganz besonders von den Raumabmessungen ab. Mit kleinerem Volumen nimmt die Qualität in der Regel deutlich ab und endet beim Badezimmerklang. Hier wirken oft kleiner Raum, ungünstige Seitenabmessungen und geringe Bedämpfung zusammen.

Ausgeprägte Resonanzen sind aber besonders bei tiefen Frequenzen auch in größeren Räumen feststellbar. Sie sind ortsabhängig, was bei der Aufstellung von Mikrofonen bedeutsam ist.

Bei Aufnahmen spielt die Raumakustik eine noch größere Rolle als für das unmittelbare Live-Hören. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass stereofone Wiedergabe nur eine Illusion des natürlichen Geschehens sein kann und einige Informationen fehlen, wie alles Visuelle und das Ambiente.

In der Nähe eines Instruments hört man auch in einem Raum den direkten Schall dominierend und empfindet den Raumeinfluss weniger. Weiter entfernt ist aber der reflektierte Schall und damit der Raumeinfluss stärker.

### 2. Mikrofon-Aufstellungsort

Das Verhältnis von direktem zu reflektiertem Schall nennt man die Hallbalance. Bei Aufnahmen realisiert

man die Hallbalance durch die Wahl der Richtcharakteristik und den Abstand der Mikrofone zur Schallquelle.

Wie später noch verständlich wird, dürfen Mikrofone mit ausgeprägter Richtcharakteristik, wie zum Beispiel "Nieren", weiter von der Schallquelle entfernt aufgestellt werden als "Kugeln", wenn die gleiche Hallbalance erwünscht ist.

Die richtige Hallbalance ist eine Frage der Musikart, des Geschmacks und eventuell von Notwendigkeiten. Wenn die Raumakustik weniger gut ist, kann es notwendig sein, den Abstand etwas kleiner zu wählen, um den reflektierten Schall etwas schwächer ins Gewicht fallen zu lassen. Die Hallbalance wird damit zu einem "trockeneren" (weniger halligen) Klangbild verschoben.

### 3. Stereo-Aufnahmeverfahren

#### Stereofone Grundprinzipien

Es ist bekannt, dass das stereofone, beziehungsweise das Richtungshören auf zwei Effekten beruht. Erstens erreicht Schall, der zum Beispiel von links kommt, zuerst das linke Ohr und dann das rechte, wir haben also einen Laufzeitunterschied. Zweitens bildet der Kopf für Frequenzen, gegenüber deren Schallwellenlänge er groß ist, einen akustischen Schatten, so dass es für Frequenzen oberhalb ca. 1,5kHz zu einem Intensitätsunterschied zwischen den Ohren kommt.

Will man diese Effekte naturgetreu übertragen, so kommt man zur Konstruktion des Kunstkopfs. Mit ihm erreicht man bei Wiedergabe über Kopfhörer auch wirklich überzeugend naturgetreue Reproduktionen.

Bei Lautsprecherwiedergabe werden die Verhältnisse leider viel komplexer. Zunächst kommt dabei immer der reflektierte Schall des Wiedergaberaums hinzu. Dies ist aber mehr ein allgemeines Problem. Grundlegender ist, dass der links und rechts übertragene Schall nicht nur das jeweilige Ohr erreicht, sondern auch das jeweils gegenüberliegende.

#### Stereofone Mikrofonsysteme

Besonders wenn man sich vergegenwärtigt, dass der Hörer kaum ständig den exakt gleichen Abstand zu beiden Lautsprechern einhalten kann, wird anschaulich, dass die natürlichen Laufzeitverhältnisse nicht über Lautsprecher übertragen werden können.

Genauer betrachtet, lassen sich Laufzeitdifferenzen in frequenzabhängige Phasenunterschiede zwischen den Kanälen umrechnen. So kommt es bei ungeradzahligem Vielfachen einer bestimmten Frequenz zu Gegenphasigkeit, die bei Zusammenschaltung zu Mono zu Auslöschungen führt und insgesamt einen verfärbten Klang bewirkt. Die Aufnahme ist mono-inkompatibel. Tonaufzeichnungen mit Laufzeitunterschieden können also bereits auf dem Übertragungsweg Schwierigkeiten machen. In besonderer Weise kann dies auch beim Schnitt einer analogen Vinylplatte Probleme auslösen.

Derartige Betrachtungen haben zu **KOINZIDENTEN STEREO-MIKROFONSYSTEMEN** geführt. Dabei werden zwei Mikrofone derartig übereinander angeordnet, dass aller Schall aus der horizontalen Ebene (Musiker-Ebene) gleichzeitig beide Kapseln erreicht. Da Laufzeitunterschiede also nicht existent sind, muss die Stereophonie auf Intensitätsunterschieden bzw. Pegelunterschieden basieren. Man spricht daher auch von **INTENSITÄTS-STEREOFONIE**.

Technisch wird der Intensitätsunterschied durch Mikrofone mit ausgeprägter Richtcharakteristik erzielt. Hierdurch wird der Schall aus der jeweiligen Richtung, in die das Mikrofon weist, bevorzugt aufgenommen.

Die **"XY-TECHNIK"** ist die am häufigsten angewandte Intensitätsstereophonie. Als Variable bleiben dabei die Wahl der Kapselrichtcharakteristik und der Winkel zwischen den Hauptachsen der Kapseln. Die richtige Einstellung wird später besprochen. Abb. 1 zeigt eine derartige Mikrofonanordnung. Abb. 2 zeigt einen häufig gemachten Fehler. Der kleine Versatz der nicht übereinander angeordneten Systeme kann praktisch bedeutungslos sein, aber die nach links bzw. rechts gerichteten Mikrofone werden von Schall aus diesen Richtungen jeweils später erreicht als das des Nachbarmikrofons. Intensitäts- und Laufzeitdifferenz widersprechen also einander.



Abb. 1  
XY-Stereophonie mit zwei Mikrofonen und Universal-schiene UMS 20

Als Richtcharakteristiken kommen in Frage: Nieren, Super- und Hypernieren und Achten. Bei Verwendung letzterer und einem Winkel von 90° zwischen den Mikrofonen spricht man auch von **"BLUMLEIN-TECHNIK"**, zu Ehren des Stereo-Pioniers Alan Blumlein. Ein anderer Name für diese Technik lautet "StereoSonic".

Die **"MS-TECHNIK"** gehört auch zu den koinzidenten Verfahren. M und S bedeutet Mitte und Seite und bezieht sich auf die Anwendung jeweils eines Mikrofons, das auf die Mitte des Orchesters gerichtet wird, und eines, das seitlich die Rauminformation aufnimmt. Das Mikrofon für den S-Kanal muss Acht-Charakteristik haben, während für M beliebige Richtcharakteristiken

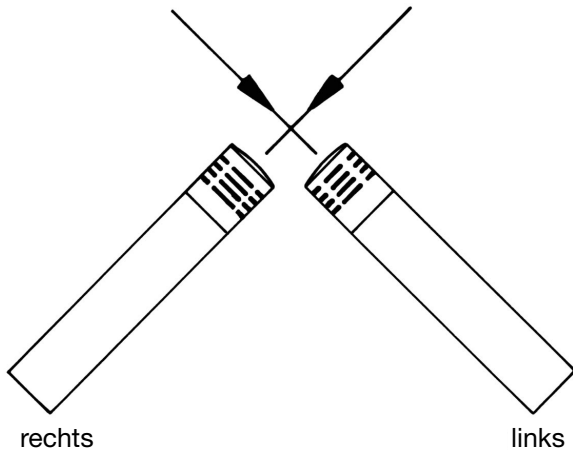


Abb. 2  
Fehlerhafte XY-Anordnung. Intensitäts- und Laufzeitunterschiede sind gegenläufig.

inklusive "Kugel" eingesetzt werden können.

Die beiden Kanäle stellen zunächst noch keinen linken und rechten Kanal dar und lassen sich deshalb nicht gleich stereofon abhören. Lediglich der M-Kanal ist eine saubere Monoaufnahme und kann alleine genutzt werden.

Erst durch eine Matrizierung gewinnt man ein rechtes und ein linkes Signal. Wie man dies einfach erklären

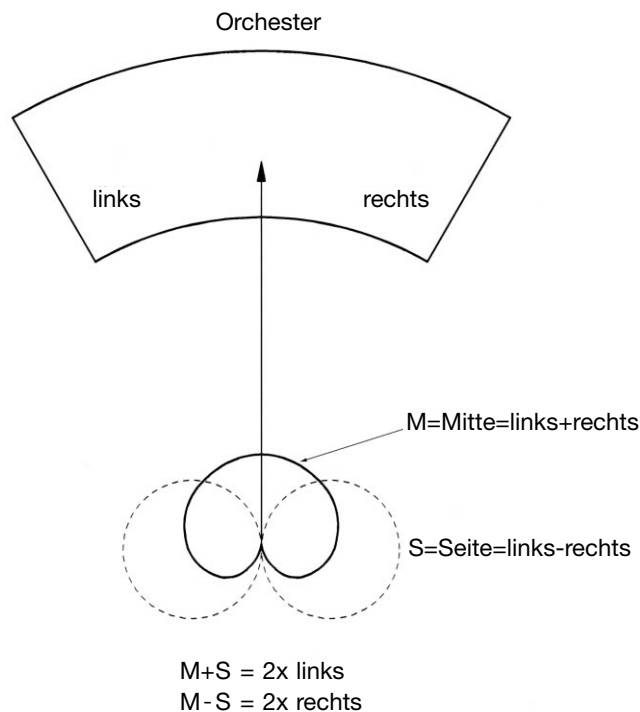


Abb. 3  
Einfache Funktionsbeschreibung der MS-Technik

kann, zeigt Abb. 3. Das M-Mikrofon nimmt links und rechts auf, also kann man schreiben:  $M = \text{links} + \text{rechts}$ .

Das S-Mikrofon hat eine nach links und rechts orientierte Acht-Charakteristik und kann, dem Polardiagramm entsprechend, aus der Mitte kommenden Schall nicht aufnehmen. Dies erklärt sich auch aus der Natur der "Acht", die zwei gleiche Empfindlichkeitsbereiche hat, die aber gegenphasig aufnehmen. Daher ist  $S = \text{links} - \text{rechts}$ .

Die Matrizierung ist im einfachsten Fall eine Summen- und Differenzbildung von M und S. So ergibt sich links und rechts. Die "2" vor diesen Ergebnissen bedeutet lediglich mehr Pegel.

Bevor das M- und das S-Signal addiert bzw. subtrahiert werden, kann man natürlich das Pegelverhältnis verändern. Der Fall, dass  $S=0$  ist und nur M übrig bleibt, wurde schon als Mono-Signal beschrieben. Wenn man S verstärkt, ergeben sich aber Richtdiagramme, die nach links und rechts weisen und deren Hauptachsen einen mit dem S-Signal größer werdenden Winkel einschließen.

Man regelt so die "Basisbreite" (width) und kann dies, wenn M und S einzeln vorliegen, auch noch nach der Aufnahme machen. Bei Filmnachbearbeitungen spielt das eine große Rolle.

Wie sich die Polardiagramme ergeben und welches Problem es gibt (MS-Aufnahmewinkel), ist in Aufsatz 4 genauer beschrieben.

Koinzidente Mikrofone gibt es auch in einem gemeinsamen Gehäuse für beide Mikrofone, aber dann ist man natürlich auf die Intensitäts-Aufnahmeart festgelegt.

Aufnahmen mittels der beschriebenen koinzidenten Aufnahmemethoden können durch eine ausgezeichnete Lokalisation der Schallquellen in der Mitte gekennzeichnet sein. Bei Aufnahme eines einzelnen Instruments ist das eventuell besonders interessant, aber bei Schallquellen mit einer größeren Ausdehnung wünschen sich viele Hörer doch mehr Breite der Wiedergabe. Es ist einfach so, dass es diesbezüglich verschiedene Geschmacksrichtungen gibt.

Eine Erklärung für die gute, aber überbetonte Lokalisation in der Mitte zwischen den Lautsprechern ergibt sich aus den Merkmalen der oft verwendeten Nieren-Mikrofone. Wie später noch ausgeführt wird, darf man sich "Nieren" immer als Kombination einer "Acht" und einer "Kugel" vorstellen. Wie sie tatsächlich realisiert sind, ist von untergeordneter Bedeutung. Also bedeutet "XY-Technik" mit zwei "Nieren", dass 50% des Schallereignisses so aufgenommen werden, als ob man zwei ganz dicht beieinander aufgestellte "Kugeln" für eine Stereo-Aufnahme verwenden würde. Das Ergebnis ist Mono.

Laufzeitunterschiede tragen zum Eindruck räumlicher Tiefe bei. Genau betrachtet, gibt es dabei Unterschiede je nach Richtcharakteristik der Mikrofone.

Dennoch scheint eine Aufnahmetechnik mit kleinen Laufzeitunterschieden in einer Größenordnung, wie sie am menschlichen Kopf vorliegt, von der Mehrheit von Hörern bevorzugt zu werden.

Ein entsprechendes, recht hochgeschätztes Aufnahmesystem wurde in langen Versuchen vom Französischen Rundfunk, der früheren ORTF, herausgefunden. Abb. 4 zeigt ein derartiges Mikrofon als kompakte Einheit. Die beiden Nieren-Kapseln sind in einem Winkel von  $110^\circ$  und einem Abstand von 17cm montiert. Natürlich lässt sich dies auch mit einzelnen Mikrofonen realisieren, wie in Abb. 1 für XY gezeigt.



Abb. 4  
ORTF-Mikrofon MSTC 64 Ug mit elastischer, körper-schallisolierender Aufhängung A 20 S

Das **ORTF-System** ist recht unkritisch in der Platzierung und wird von vielen Anwendern als besonders universelle Lösung angesehen. So hat zum Beispiel die holländische Rundfunkgesellschaft NOS das eigene System ( $90^\circ/30\text{cm}$ ) nicht weitergeführt, sondern verwendet eher "ORTF".

Alle bisher genannten Prinzipien basieren auf der Verwendung von Mikrofonen mit ausgeprägter Richtcharakteristik.

Mit Kugelmikrofonen ergeben sich auf Grund ihrer theoretisch gleichen Empfindlichkeit für Schall aus allen Richtungen nicht die notwendigen Intensitätsunterschiede.

Kondensatormikrofone mit Kugelcharakteristik sind aber die einzigen, die selbst die tiefsten von Musikinstrumenten produzierbaren Frequenzen ohne jede Abschwächung aufnehmen können. Warum dies so ist, wird später erklärt. Im Zeitalter der digitalen Aufnahmegeräte und guter Subwoofer ist dies je nach Musikart ein beachtlicher Vorteil.

Wie schon gesagt, sind Laufzeiten zwischen den Mikrofonensignalen in der Größenordnung, wie sie zwischen den beiden menschlichen Ohren auftreten, besonders interessant (siehe Kapitel 2, Theile). Wenn aber kein Intensitätsunterschied hinzukommt, genügt der Ohrabstand bei Verwendung von "Kugeln" nicht, um damit basisfüllende Stereophonie zu produzieren.

Dies ist ein Grund für ein Prinzip, das der Autor mit "**TRENNKÖRPER-STEREOFONIE**" überschreibt. Dabei wird zwischen zwei "Kugeln" eine Art akustisches Hindernis aufgebaut. Den Kunstkopf könnte man als erstes Modell und Sonderfall ansehen. Dann kam Charlin (Paris) mit einer pelzbeklebten Kugel, in die er die Mikrofone derart einbaute, dass die Membranebenen mit der Oberfläche abschlossen. Sein Mitarbeiter Kisselhoff erprobte weitere Formen. Jecklin wurde besonders bekannt mit seiner nach ihm benannten Scheibe, die eine einfache Realisation darstellt (auch als OSS-Technik bekannt). Die Woywod-Kugel wäre hier auch zu nennen (stereoplay 12/86). Außerdem gibt es Vorschläge, Grenzflächenmikrofone auf keilförmige Trennkörper aufzubringen. Defosse und Professor Peters mit "Clara" (stereoplay 4/86) tun derartiges.

Alle diese Aufbauten sind interessant und finden ihre Liebhaber. Sie profitieren alle von der bereits genannten guten Tiefenwiedergabe der "Kugeln" (Druckempfänger). Nachteile gibt es aber auch hier. Der durch den Trennkörper hervorgerufene Intensitätsunterschied ist frequenzabhängig und besteht nicht bei tiefen Frequenzen. Nach D. Griesinger (Lexicon) ergeben sich dadurch Nachteile bei der Ortung. Ferner hat der Trennkörper stets einen Einfluss auf die Eigenschaften der Mikrofone. Einige Hörer wollen sich mit den dadurch hervorgerufenen Klangveränderungen nicht abfinden.

So kam es zum "Kugelflächenmikrofon", bei dem zwei Druckempfänger in eine Kugel eingebaut sind. Dr. Theile (Institut für Rundfunktechnik) begründete die Merkmale dieses Mikrofons wissenschaftlich. S. Geyersberger erforschte die Möglichkeiten der praktischen Realisierung mit Unterstützung der Firma SCHOEPS, bei der das Kugelflächenmikrofon inzwischen ein bewährtes Produkt ist. (Siehe auch Aufsatz 5)

Wenn man den Abstand zwischen den Mikrofonen vergrößert, benötigt man keinen Trennkörper mehr. So kommt man zu dem als **LAUFZEITSTEREOFONIE** oder **AB-AUFNAHME** bekannten Prinzip. Der Mikrofonabstand beträgt bei "Klein-AB" 40 - 80cm und bei "Groß-AB" bis zu einigen Metern. 50cm ist ein häufig passender Abstand. (Weitere Ausführungen hierzu finden sich in Aufsatz 3.)

Können wissen die Vorteile von Kugelmikrofonen mit AB-Technik zu nutzen. Der bekannte Nachteil, dass die Lokalisation einzelner Schallquellen oft unpräzise ist, wird in Kauf genommen oder durch zusätzlichen Aufwand (drittes Mikrofon) reduziert. Dabei spielt wiederum die persönliche Einstellung beziehungsweise der

Geschmack eine wichtige Rolle. Auch von der Musik hängt die Bewertung der Präzision der Ortung ab. Oder wollen Sie die einzelnen Pfeifen einer Orgel orten?

Extreme AB-Stereofonie kann leicht zu lächerlichen Ergebnissen führen, wenn die Mikrofone zu dicht an den Schallquellen stehen. Sie artet dann in Pingpong-Stereofonie mit getrennter linker und rechter Seite aus. Vorsicht ist auch geboten bei bewegten Schallquellen wie zum Beispiel einer Sängerin, die sich heftig nach links und rechts bewegt.

AB-Aufnahmen vermitteln meist den Eindruck einer großen räumlichen Tiefe. Es ist bekannt, dass dies durch die wenig korrelierten Raumsignale an den voneinander entfernten Mikrofon-Aufstellungsorten bewirkt wird. Andererseits klingt die Monowiedergabe von AB-Aufnahmen deutlich schlechter als die koinzidente Aufnahmen. AB-Aufnahmen sind nicht "monokompatibel".

**Aufnahmegeometrie**

Ob die Ergebnisse einer XY-Konfiguration, ORTF, Jecklin-Scheibe oder AB besser gefällt, ist auch eine Geschmacksfrage. Koinzidente Techniken und AB-Aufnahmen mit "Kugeln" sind dabei die Extreme.

Außerdem muss festgestellt werden, dass kein fixes Aufnahmeverfahren allen Gegebenheiten gerecht werden kann, wie eine wissenschaftliche Darstellung von Williams zeigt. (Weitere Angaben in Aufsatz 2)

Bei der klassischen Wiedergabe im gleichseitigen Dreieck von Lautsprechern und Hörer (Abb. 5) können Schallquellen zwischen maximal  $-30^\circ$  (links) bis  $+30^\circ$  (rechts) lokalisiert werden. Aus diesen Richtungen müssen bei der Wiedergabe die extremen Links/Rechts-Positionen der Aufnahme geortet werden.

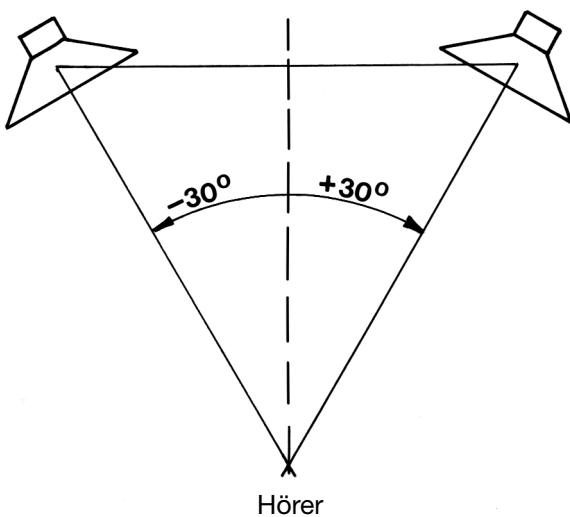


Abb. 5  
Klassische Abhörordnung

Die Ortung ergibt sich durch Intensitätsunterschied (z.B. bei XY) oder Laufzeitunterschied (z.B. bei AB) oder durch Kombination von beiden (z.B. ORTF). Die erforderliche Größe der Unterschiede für die Ortung bzw. die Lokalisation aus verschiedenen Richtungen sind aus Hörversuchen bekannt.

Andererseits lassen sich die Laufzeitdifferenzen zwischen zwei Mikrofonen in Abhängigkeit von der Schalleinfallrichtung exakt berechnen. Für Schall von vorne ist die Laufzeit z.B. Null, für Schall von der Seite entspricht sie der Zeit, die Schall zum Durchlaufen des Mikrofonabstands benötigt. Auch der Pegel bzw. Intensitätsunterschied ist für Schall aus allen Richtungen berechenbar, wenn die Richtcharakteristik und der Winkel zwischen den beiden Mikrofonen bekannt ist. Allerdings müssen die Polardiagramme dazu exakt und möglichst frequenzunabhängig sein. Großmembranmikrofone kommen deshalb weniger in Frage.

**Die Williams-Diagramme**

Die Kombination der hörphysiologischen Daten für die Richtungsabbildung und die errechneten Unterschiede in Pegel und Laufzeit führen zu den Diagrammen von Williams. Ihre Anwendung bewirkt eine gleichmäßige Verteilung der einzelnen Schallquellen eines Orchesters zwischen den beiden Lautsprechern. Größere oder kleinere Intensitäts- oder Laufzeitunterschiede durch das Stereomikrofon in seiner gegebenen Aufstellung würden eine Anhäufung der Schallquellen links und rechts oder eine zu schmale Stereobasis verursachen.

Abb. 6 zeigt eines dieser Diagramme für die Anwendung bei "Nieren". In der Praxis wählt man als erstes den geeigneten Mikrofonaufstellungsort. Wie gesagt, hängt er von der Raumakustik, der Richtcharakteristik der Mikrofone und der erwünschten Hallbalance ab.

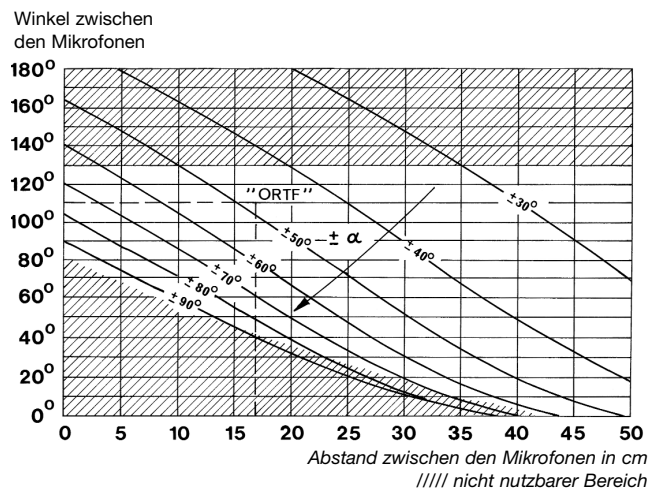


Abb. 6  
Aufnahmewinkel  $\pm \alpha$  für Nieren nach Williams (vereinfacht)



Manchmal entscheiden hierüber aber auch praktische Gesichtspunkte.

Vom Ort der Mikrofone aus wird dann der Winkel zwischen der äußersten linken und rechten Schallquelle bestimmt. Von der Mitte aus gemessen beträgt der Winkel  $+\alpha$  nach rechts und  $-\alpha$  nach links. Man sieht z.B. das Orchester folglich unter dem Winkel  $2\alpha$ . Nachdem man in Abb. 5 der Kurve für  $\pm\alpha$  folgt, lassen sich die Kombinationsmöglichkeiten vom Abstand zwischen den Mikrofonen und dem Winkel zwischen ihren Hauptachsen an den Achsen des Diagramms ablesen.

Aus der jeweiligen Kurve ergibt sich für das ORTF-Prinzip (Kapselabstand 17cm, Winkel  $110^\circ$ ) zum Beispiel, dass alle Schallquellen innerhalb eines Winkels von ca.  $\pm 50^\circ$ , also  $100^\circ$ , liegen sollten (nicht zu verwechseln mit dem mechanischen Winkel zwischen den beiden Kapseln, der  $110^\circ$  beträgt). Andere Erfordernisse ergeben sich zum Beispiel bei einem sehr breiten Klangkörper oder einer sehr nahen Aufstellung, so dass der Aufnahmebereich  $\pm 70^\circ$  beträgt. Wenn man den Mikrofonabstand mit 20cm vorgibt, kann man ablesen, dass der Winkel zwischen den Mikrofonen nur  $50^\circ$  betragen soll.

Entlang der senkrechten Achse (Ordinate) des Diagramms lassen sich die Winkel für Intensitätsstereophonie ablesen (Mikrofonabstand 0cm).

Da Kugelmikrofone theoretisch keine Intensitätsunterschiede bei verschiedenen Schalleinfallswinkeln produzieren, entfällt für diese Richtcharakteristik die Betrachtung des Winkels zwischen den Mikrofonhauptachsen. Der Winkel, unter dem man vom Ort des Mikrofonpaars aus das gesamte Schallgeschehen aufnimmt, und der daraus resultierende Mikrofonabstand sind tabellarisch darstellbar:

Die Werte für  $\alpha = \pm 50^\circ$  und  $\alpha = \pm 70^\circ$  lassen sich auch in Abb. 6 an der horizontalen Achse (Abszisse) ablesen. (Winkel zwischen den Mikrofonen  $\alpha = 0^\circ$ , folglich kein Intensitätsunterschied und gleiche Verhältnisse wie bei "Kugeln".)

$\alpha$ :	$\pm 30^\circ$	$\pm 40^\circ$	$\pm 50^\circ$	$\pm 60^\circ$	$\pm 70^\circ$
Mikrofonabstand:	76cm	60cm	50cm	44cm	40cm

Tabelle 1

## 4. Die Mikrofonwahl

Mikrofone sind elektroakustische Wandler, die nicht so problematisch sind wie Lautsprecher, aber es ist doch angebracht, nur Mikrofone höchster Qualität einzusetzen. Besonders gilt dies, wenn es sich – wie bei einfachen Aufnahmeverfahren – um nur zwei Mikrofone handelt.

Kondensatormikrofone sind zweifellos die beste Wahl. Sie sind zwar teuer, können aber fast als "Anschaffung fürs Leben" betrachtet werden. Anders als sonst bei technischen Produkten, unterliegen sie nur sehr langfristig gravierenden Veränderungen. Es gibt Modelle, die runde 20 Jahre gebaut werden. Der kaum erforderliche Service ist oft noch wesentlich länger gewährleistet.

### Mikrofonarten

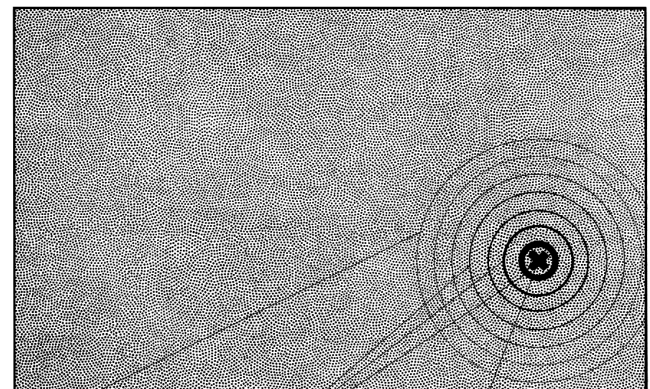
Obwohl sehr gute Mikrofone den Schall fast unverändert übertragen, gibt es doch Unterschiede in der Art und Weise, wie sie das tun.

Ein wichtiges Merkmal von Mikrofonen ist ihre Richtcharakteristik. Wenn das Mikrofon Schall aus allen Richtungen gleich stark aufnimmt, spricht man von der Kugelcharakteristik. Das rührt daher, dass man die Empfindlichkeit für verschiedene Schalleinfallrichtungen als Radius in ein Diagramm einträgt (Polardiagramm). Bei der "Kugel", wie man Mikrofone mit Kugelcharakteristik meist kurz nennt, ergibt sich im Polardiagramm ein Kreis. Mit der dritten Dimension wird daraus eine Kugel.

Im Gegensatz zur Kugel haben andere Mikrofone eine Richtwirkung. Die bekanntesten sind "Niere" und "Superniere". Sie nehmen Schall in ihrer so genannten Hauptachse bevorzugt auf.

Im Kapitel "Raumeinflüsse" und "Mikrofon-Aufstellungsort" wurde schon vom direkten und vom reflektierten (diffusen) Schall gesprochen. Abb. 7 stellt die Verhältnisse grafisch dar. (Vertiefung mit Erklärung des "Hallradius" in Aufsatz 11)

Raum von oben gesehen



Radius, auf dem der direkte Schall (Kreise) und der reflektierte (●●●) den gleichen Pegel haben (Hallradius)

abnehmender Schalldruck (Pegel) des direkten Schalls

Schallquelle

Abb. 7

Direktes und diffuses Schallfeld

Die beiden Schallarten werden von Mikrofonen verschiedener akustischer Arbeitsweise unterschiedlich übertragen. Das Verständnis dieser Zusammenhänge erleichtert den Umgang mit der Technik. Hier sollen

die beiden wichtigsten Arbeitsprinzipien von Mikrofonen und die daraus erwachsenden Konsequenzen erklärt werden.

**Druck-Empfänger**

Druck-Empfänger haben Kugelcharakteristik. Sie sind prinzipiell so aufgebaut, wie Abb. 8c am Beispiel eines Kondensatormikrofons zeigt. Ein Volumen wird durch die Membran abgeschlossen, so dass sie bei Druckänderungen ausgelenkt wird. Um nur den Schalldruck wirken zu lassen und eine Vorspannung durch Luftdruckschwankungen auszuschließen, sorgt eine feine Undichtigkeit für Druckausgleich. Sie kann in Form einer Kapillaren ausgebildet sein und wirkt wie die Eustachische Röhre des menschlichen Ohrs, deren wir uns immer dann bewusst werden, wenn sie – zum Beispiel durch Erkältung – verstopft ist und Luftdruckschwankungen relativ schnell erfolgen.

Gegenüber den Druckschwankungen einer Schallwelle ist das Volumen aber dicht abgeschlossen, so dass der Schalldruck die Membran bewegt. Wenn die Wellenlänge des Schalls gegenüber dem Mikrofon groß ist (Abb. 8a), funktioniert es wie ein Barometer.

Es befindet sich in einem Druck, der rundherum praktisch gleich ist, und es spielt keine Rolle, woher der Schall kommt. Das Mikrofon hat Kugelcharakteristik (Abb. 8d für Frequenzen bis 3kHz).

Um eine ideale Kugelcharakteristik zu besitzen, muss ein Mikrofon sehr klein sein (etwa 5mm Durchmesser), hat hierdurch aber einen schlechten Störspannungsabstand. Übliche "Kugel-Mikrofone" (mit gutem Störspannungsabstand) sind bei hohen Frequenzen nicht genügend klein gegenüber der Wellenlänge (Abb. 8b). Daher wird die Membran bei seitlichem Schalleinfall teils gedrückt und teils gezogen. Die Empfindlichkeit wird dadurch kleiner als für axial einfallenden Schall. Wir bekommen eine Richtwirkung (Abb. 8d für Frequenzen von 5kHz und 10kHz). Auch Kugelmikrofone richtet man daher auf die Schallquelle aus. Für den reflektierten Schall, der ja aus allen Richtungen kommt, also auch von der Seite und von hinten, ergibt sich ein Frequenzgang, der bei hohen Frequenzen schwächer ist als im Datenblatt ausgewiesen (Abb. 8e). Die Messung des Frequenzgangs für das Datenblatt erfolgt grundsätzlich unter Ausschluss aller Reflexionen und frontal auf der Achse

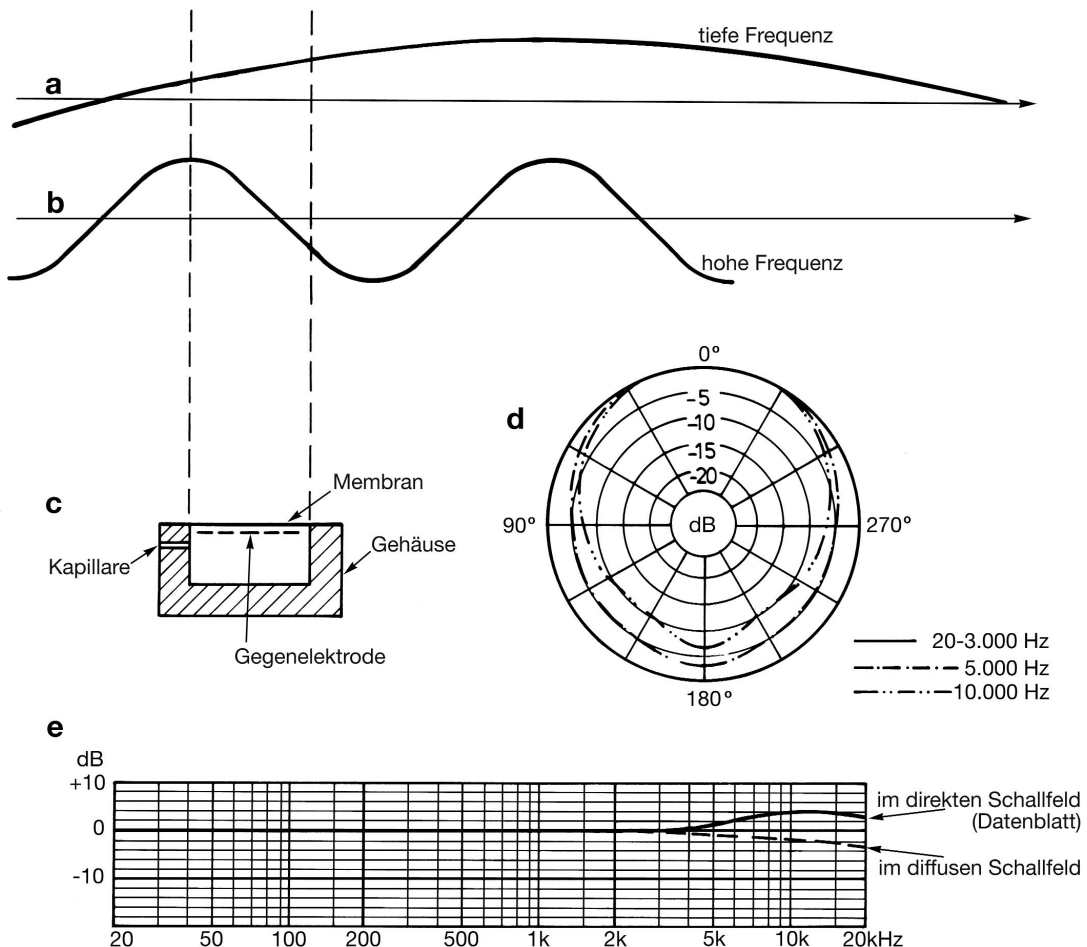


Abb. 8a-e  
Arbeitsweise und Merkmale eines elektrostatischen Druck-Empfängers

des Mikrofons. (Weitere Ausführungen hierzu auch in Aufsatz 11)

Der Höhenverlust im reflektierten Schallfeld darf nicht überbewertet werden, aber der Anwender muss wissen, dass er mit steigendem Abstand von der Schallquelle, beziehungsweise höherem Anteil des reflektierten Schallfelds gegenüber dem direkten, ein dunkleres Klangbild erhalten wird. Eine so genannte "Diffusfeld-Kugel" kann Abhilfe schaffen. Sie ist mit einem Höhenanstieg im Datenblatt angegeben, der aber bei bestimmungsgemäßer Anwendung im diffusen Schallfeld nicht auftritt.

Bei "Kugeln" spricht auch kaum etwas dagegen, eine notwendige Diffusfeld-Korrektur mit einem guten Equalizer vorzunehmen. (Siehe auch Aufsatz 6)

Wie beschrieben, gehört zu den Besonderheiten von Druck-Empfängern ("Kugeln") eine Abhängigkeit des Höhenfrequenzgangs von der Art des Schallfelds. Man kann darin einen Nachteil sehen.

Demgegenüber ist das Verhalten bei tiefen Frequenzen gut. Speziell Kondensatormikrofone, die als Druck-Empfänger ausgelegt sind, können bei tiefen Frequenzen als ideal betrachtet werden. Wenn es um die Aufnahme tiefster Frequenzen geht (50Hz und weit darunter), kommt praktisch nichts anderes in Frage. Das liegt daran, dass prinzipiell die Ausgangsspannung eines Kondensatormikrofons, anders als bei dynamischen Systemen, proportional zur Membranauslenkung ist, egal wie langsam diese erfolgt, also auch bei extrem tiefen Frequenzen. Ein dynamisches Mikrofon hingegen gibt nur bei Bewegung seiner Membran ein Signal ab, jedoch hat deren Auslenkbarkeit Grenzen.

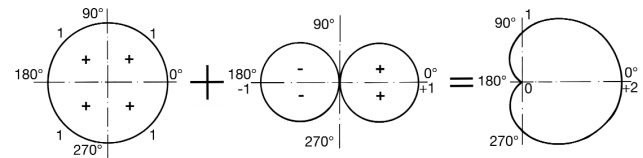
Die gute Tiefenwiedergabe von "Kugeln" erlaubt besonders eindrucksvolle Aufnahmen. Andererseits sind damit auch bestimmte Risiken verbunden, denn Räume mit unausgewogener Akustik zeigen ihre Unarten vor allem bei den Tiefen. Die Folge kann ein "mulliger" Klang der Aufnahme sein. Ein anderer Aufstellungsort kann viel ändern. Insgesamt erfordert der Einsatz von Kugel-Mikrofonen mehr Erfahrung als der von Mikrofonen mit ausgeprägter Richtcharakteristik, wie vor allem "Nieren". Außerdem engen "Kugeln" die möglichen stereofonen Aufnahmeverfahren ein. Koinzidente Aufnahmen sind mit ihnen nicht möglich.

### Druckgradienten-Empfänger

Druckgradienten-Empfänger sind Mikrofone mit ausgeprägter Richtwirkung. Der Druckgradient ist die Schalldruckdifferenz zwischen zwei nahe beieinander liegenden Schalleintrittsöffnungen eines Mikrofons, der vorderen und der hinteren. Hierdurch wird die Richtwirkung möglich. Die Differenz der Ankunftszeiten des Schalls an den beiden Öffnungen ist das Kriterium für die Einfallsrichtung.

Fast alle Mikrofone mit Richtcharakteristik können als Kombination des "reinen Druckgradienten-Empfängers" mit Acht-Charakteristik und einer "Kugel" betrachtet werden. Dies gilt auch dann, wenn die Richt-

wirkung nicht mit mehreren Membranen realisiert ist. Bei der "Acht" ist dann der Kugel-Anteil Null. Bei der Niere ist die Kugel und die Acht zu gleichen Anteilen enthalten (Abb. 9). Die "Breite Niere" liegt zwischen Kugel und Niere, und Super- und Hyperniere liegen



Schallrichtung	Signale von Kugel und Acht (in Schallrichtung)	Summe
0° (axial)	1 + 1	2
90° oder 270°	1 + 0	1*
180°	1 - 1	0

\* Dies entspricht -6dB bezogen auf axialen Schalleinfall

Abb. 9

Darstellung einer Niere aus Kugel und Acht

zwischen Niere und Acht.

Um die Eigenschaften von Richtmikrofonen zu verstehen, ist es daher sinnvoll, außer den Merkmalen der "Kugel" auch noch die Funktion der "Acht" zu kennen.

Abb. 10c zeigt das Prinzip der "Acht". Die Membran kann von beiden Seiten in gleicher Weise vom Schall erreicht werden. Bei Schalleinfall von links oder rechts ergibt sich daher eine gleichartige Membranbewegung, jedoch in entgegengesetzter Richtung, also mit umgekehrter Polarität (Phasenlage) des Ausgangssignals. Wenn der Schall aber parallel zur Membranebene einfällt, erreicht er sie von beiden Seiten gleichzeitig, und es findet keine Reaktion statt. Das Mikrofon ist also für Schall aus 90° und 270° unempfindlich (Abb. 10d). Darauf beruht die Richtwirkung. Anders als die kugelförmige Richtcharakteristik kann die "Acht" bis zu hohen Frequenzen erhalten bleiben.

Dagegen verhalten sich Druckgradienten-Empfänger im Vergleich zu "Kugeln" weniger perfekt bei tiefen Tönen. Aus Abb. 10a und 10b erkennt man, dass der maximale Schalldruckunterschied zwischen den beiden Öffnungen der Mikrophonkapsel für tieffrequente (längere) Wellen kleiner ist als für höhere Frequenzen.

Der Druckgradient nimmt mit der Frequenz ab und verschwindet schließlich bei dem Grenzfall, wo die Frequenz Null ist, also nur noch ein Gleichdruck vorliegt. Es gibt dann überhaupt keinen Druckunterschied zwischen den beiden Membranseiten und folglich auch keine Membranbewegung und keine Ausgangsspannung.

Weil die Membranantriebskraft also mit sinkender Frequenz abnimmt, muss konstruktiv dafür gesorgt werden, dass die Membran bei tiefen Frequenzen sehr



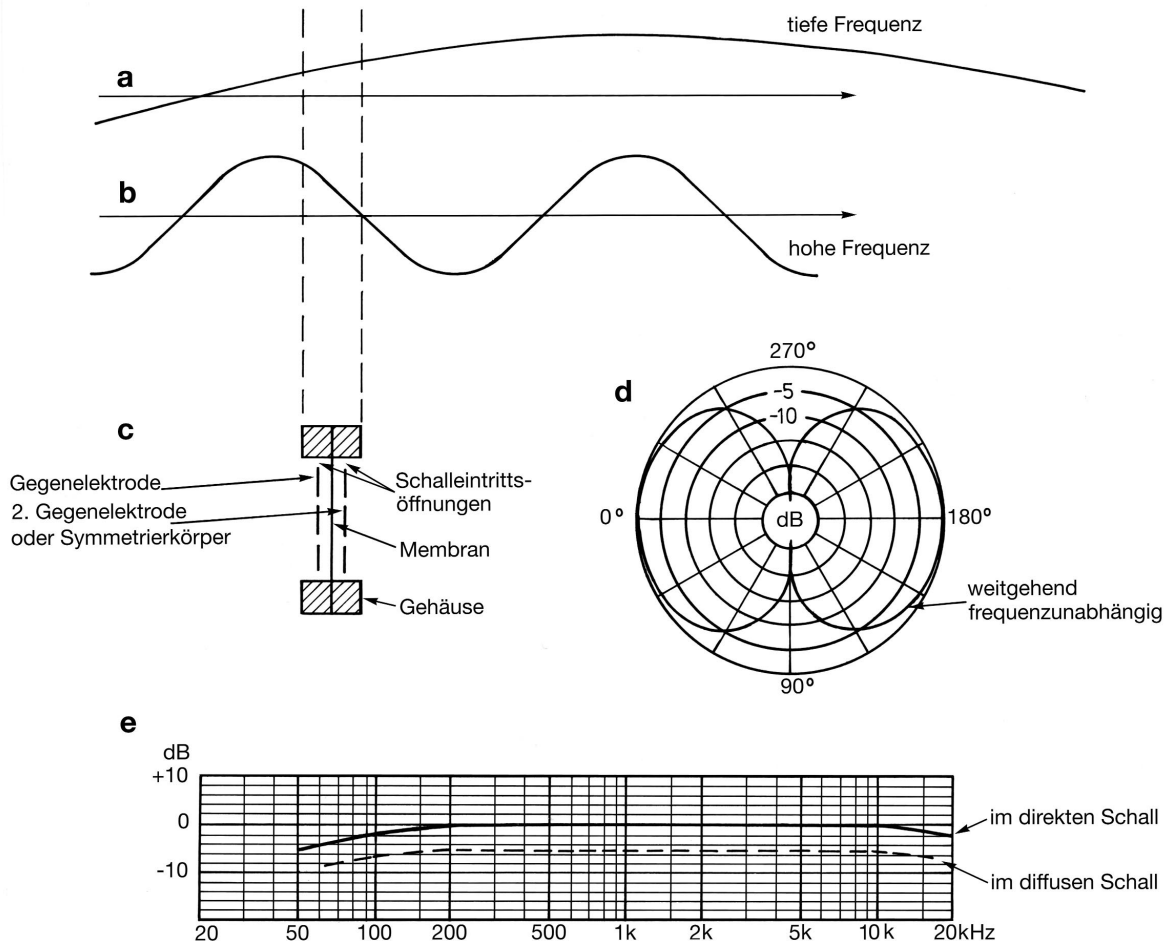


Abb. 10a-e  
Arbeitsweise und Merkmale eines elektrostatischen Druckgradienten-Empfängers

leicht beweglich ist. Darauf ist es zurückzuführen, dass andere Anregungen der Membran als Schall zu großen Bewegungen führen können. Druckgradienten-Empfänger sind daher viel empfindlicher gegen Luftbewegungen (Wind) und Körperschall (Vibrationen) als Druck-Empfänger.

Bei extrem tiefen Frequenzen offenbart sich die abnehmende Druckdifferenz an den Schalleintrittsöffnungen auch im Frequenzgang.

**Der Nahheits-Effekt**

Obwohl Druckgradienten-Empfänger sehr tiefe Töne generell geschwächt übertragen, können sie in speziellen Fällen auch zu einer Überbetonung dieser Frequenzen führen, nämlich dann, wenn das Mikrofon dicht an der Schallquelle eingesetzt wird (z.B. beim Gebrauch als Sprechermikrofon). Man nennt dieses Geschehen den Nahheits- oder auch Nahbesprechungs-Effekt.

Bei gleicher Schallausbreitung in alle Richtungen (Kugelschallwelle) und einem Mikrofon mit Nieren-Charakteristik bewirkt der Nahheitseffekt in 0,5 m Abstand bei 50Hz zum Beispiel 3dB Pegelanhebung. Sie kann

bei noch kürzeren Abständen ohne weiteres 10dB und mehr betragen.

Der Effekt kann anschaulich damit erklärt werden, dass die Druckdifferenz an den Schalleinlassöffnungen nicht nur von der Frequenz abhängt, sondern auch noch von der Art der Wellenausbreitung. Im Vergleich mit dem sehr kleinen Druckgradienten bei niedrigen Frequenzen kann die Abnahme des Schalldrucks durch die Schallausbreitung zwischen den beiden Schalleinlassöffnungen des Mikrofons so groß sein, dass dadurch der Pegel angehoben wird.

Im Zusammenhang mit den hier beschriebenen Aufnahmetechniken muss uns der Fall kurzer Abstände aber nicht weiter interessieren.

Über das Thema der optimalen Tiefenwiedergabe mit Druckgradienten-Empfängern ließe sich ein eigener Aufsatz schreiben. Wer diese Details nicht kennt, kann durch Frequenzgangschriebe irreführt werden. Es gibt daher seriöse Mikrofonhersteller, die trotz guter Messergebnisse nur ungerne Original-Frequenzkurven ausgeben, obwohl diese im Verlauf der Produktion er-

Stereo-Art	Intensitätsstereofonie		kleine Laufzeit + Intensitätsdifferenz	Trennkörperstereofonie	Laufzeitstereofonie
Name	XY	MS	z.B. ORTF	z.B. Jecklin-Scheibe	AB
Kapselabstand d	0cm meist übereinander		5cm - 30cm voneinander abhängig	abhängig vom Trennkörper	40cm - 80cm oder mehr
Winkel zwischen den Hauptachsen der Kapseln	45° - 180°	90°	0°-180°	typisch 20°	0° - 90°
Akustisches Arbeitsprinzip des Mikrofons	Druckgradienten-Empfänger z.B. Niere (SCHOEPS MK 4)		meist Druck-Empfänger (Kugeln)* (z.B. SCHOEPS MK 2 S)		
Klangbild	----- abhängig von den verwendeten Mikrofonen ----- sauber, oft hell oder brillant		voluminös, besonders gute Tiefenwiedergabe bei Verwendung von Kondensator-Kugelmikrofonen		
Räumlichkeit	räumliche Tiefe oft wenig ausgeprägt	ausgewogen	gut	sehr gut	
Lokalisation (Ortung)	bei richtiger Winklereinstellung sehr gut, aber meist betonte Mittenortung	gut	ausreichend	verwaschen	
Bemerkungen	Grundsätzlich sollte die Anordnung der Mikrofone zueinander die Gesetzmäßigkeiten der richtigen Aufnahmegeometrie erfüllen (siehe Kapitel "Aufnahmegeometrie", Williams-Diagramme). Bei Trennkörperstereofonie ist die Williams-Theorie aber nicht anwendbar.			*Trennkörper- und Laufzeitstereofonie ist auch mit Druckgradienten-Empfängern möglich.	

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über wesentliche Aussagen dieses Aufsatzes bezüglich stereofoner Aufnahmetechnik.



mittelt und archiviert werden. Andererseits gibt es Firmen, die fest mit der Unwissenheit der Käufer rechnen und "konkurrenzlos" schöne, aber praxisferne Kurven liefern. Bei Druckgradienten-Empfängern ist eine Darstellung des Tiefenfrequenzgangs ohne Angabe des Messabstands wertlos.

Da das Richtdiagramm von Druckgradienten-Empfängern bei hohen Frequenzen besser konstant gehalten werden kann als bei "Kugeln", ist es möglich, dass der Frequenzgang im diffusen Schallfeld dem im direkten Schallfeld recht ähnlich sieht (Abb. 10e). Die Empfindlichkeit gegenüber dem reflektierten Schall ist aber um das so genannte Bündelungsmaß kleiner. Das liegt daran, dass es für Druckgradienten-Empfänger immer Schalleinfallrichtungen gibt, in denen sie deutlich unempfindlicher sind als auf der Achse, und dass der diffuse Schall natürlich auch aus diesen Richtungen kommt.

Die "Acht" ist zum Beispiel theoretisch um 4,8dB unempfindlicher gegenüber Schall, der aus dem Raum zurückkommt. Bei Beschallungsanlagen ist dies wichtig, um die Gefahr der akustischen Rückkopplung zu verringern. In der Aufnahmetechnik bedeutet dies, dass das Mikrofon weiter entfernt aufgestellt werden muss, beziehungsweise darf, wenn man die gleiche Hallbalance erhalten will wie mit einer "Kugel".