

Vorwort

Die Aufsätze in diesem Band sind eine Sammlung, die im Laufe von mehr als 30 Jahren entstanden ist. Es handelt sich meist um Vortragsskripte zu Tonmeistertagungen oder anderen Anlässen, wie sie jeweils angegeben sind. Sie wurden für diesen Sammelband um eine Einleitung ergänzt, geringfügig überarbeitet und vereinzelt mit Querverweisen versehen.

Ich danke Uli Schoeps für die Freigabe des Copyrights der Firma Schoeps und Dagobert Schäfer für seine Anregungen. Des Weiteren bedanke ich mich auch bei allen aufmerksamen Lesern der Erstausgabe, die auf Fehler und Ergänzungsmöglichkeiten hingewiesen haben, insbesondere Herrn Eberhard Sengpiel. Daniel Otto danke ich für die Arbeiten an dieser dritten Ausgabe der Mikrofonaufsätze und Prof. Oliver Curdt für die Initiative.

Das Thema, das sich wie ein roter Faden durch alle Titel zieht, lautet: „Mikrofone und deren Anwendung“. Natürlich wäre eine gegliederte Zusammenfassung in Buchform vielen Lesern lieber, jedoch hat die Eigenständigkeit einzelner Aufsätze auch Vorteile. Einige wesentliche Fakten wiederholen sich in den Texten und prägen sich hierdurch besser ein.

Die Reihenfolge der Kapitel ist nicht chronologisch, sondern folgt - sofern dies möglich ist - thematischen Zusammenhängen. Bis zum Kapitel 5 geht es um Stereophonie, danach um Mikrofon- und Anwendungstechnik und abschließend um die Anschlusstechnik. Die Aufsätze 14 und 15 kamen in der zweiten Auflage neu hinzu sowie fünf weitere in dieser dritten Bearbeitung.

Einleitende Bemerkungen

Dem an eigenen Aufnahmen interessierten Musikfreund kann es manchmal nicht schnell genug gehen, seine erste Aufnahme zu machen. Dann behindern lange Erklärungen

theoretischer Art und er hofft auf Rezepte, die ihn schnell zum Ziel bringen.

Doch **Vorsicht ist geboten!** Rezepte allein führen nicht zu einem guten Ergebnis. Um erfolgreich zu sein, sollte man auch noch etwas vom Metier verstehen. So liegt der Sinn von Theorie vor allem im Schutz vor sinnlosen und zeitraubenden Versuchen und irreführenden Schlussfolgerungen. Man kommt schneller und gezielter zum gewünschten Ergebnis, wenn man beim Umgang mit technischen Geräten deren Funktionsweise kennt.

Wenn es heute erfolgreiche Wissenschaften gibt, dann liegt das vor allem daran, dass auf den gesicherten Erfahrungen vorangegangener Generationen aufgebaut wird. Wir sind (leider) nicht klüger als unsere Vorfahren, und mit reiner Empirie würden wir immer wieder von vorne anfangen, es gäbe keinen technischen Fortschritt.

Wer rein empirisch vorgeht, wird es beispielsweise nicht erkennen, wenn sich Fehler einzelner Komponenten einer Übertragungsanlage kompensieren und er wird leicht Opfer falscher Schlussfolgerungen.

Verschiedene Betrachtungsweisen von Mikrofonen

Man kann das Mikrofon als klangformen- des Objekt in den Klangkörper mit einbeziehen und nur das Endergebnis betrachten. In diesem Fall wird zugelassen, dass der Klang des einzelnen Instruments nicht in seiner natürlichen Form übertragen wird. Damit wird auch der Einsatz weniger guter Mikrofone möglich und eventuell sogar sinnvoll. Wenn ein Mikrofon beispielsweise keine hohen Töne aufnehmen kann, ist es ja vielleicht dennoch gut für die Base Drum geeignet. Auch können gewisse Verzerrungen durchaus als positiv empfunden werden. Derartige Betrachtungen begründen den Standpunkt, für bestimmte Instrumente spezielle Mikrofone zu suchen.

Jedoch sollte man sich überlegen, ob es vertretbar ist, den Klangcharakter einer Stradivari oder anderer hochwertiger Instrumente elektronisch zu verfremden. Es scheint eher sinnvoll, sich vorzustellen, dass ein gutes Mikrofon an die Stelle unseres Ohres tritt und den Klang originalgetreu und natürlich überträgt. Dies gilt im Besonderen für die Aufnahme klassischer Musik. Klangverfremdungen lassen sich, wenn erwünscht, jederzeit mit dafür vorgesehenen Mitteln hinzufügen.

Dieses Plädoyer für neutrales Klangverhalten hat viele Parallelen: z.B. hat ein Koch, der eine Fischsuppe zubereitet, wahrscheinlich die Erfahrung, dass gesalzenes Wasser hierfür gut geeignet ist. Er sollte daraus aber nicht ableiten, dass er dieses Wasser für jedes Gericht benötigt. Sein Erfolg wäre bei einigen Süßspeisen recht fraglich. So ist es besser, zunächst geschmacksneutrales Wasser einzusetzen. Wenn dann die besagte Fischsuppe zubereitet ist, wird Salz hinzugefügt und das Ergebnis wird gut. Der Koch kennt den Grund und kann sein Wissen auch anderweitig einsetzen.

Ähnlich verhält es sich bei Mikrofonen: Eine klangliche Verfärbung kann im Einzelfall Beifall finden, wenn man aber unwissend damit umgeht, bedeutet sie eine Gefahr für die Qualität. Ein gutes, klangneutrales Mikrofon kann alle Schallquellen übertragen.

Die Art der Schallquelle bzw. das aufzunehmende Instrument ist also bei hochwertigen Mikrofonen kein wichtiges Kriterium für deren Auswahl. Nur weil es auch bei den besten Mikrofonen kleine Abweichungen vom Ideal gibt, kann es sein, dass das eine oder andere Mikrofon besser gefällt. Daraus sollte man aber keine Regel ableiten.

Der primäre Grund für die große Auswahl, die es auch bei Qualitäts-Mikrofonen gibt, liegt in der Verschiedenheit der Anforderungen, die sich aus der jeweiligen Anwendung ergeben. Zum Beispiel sind Kondensatormikrofone mit Kugelcharakteristik in vielerlei Hinsicht fast ideal, dennoch kann man sie nicht einsetzen, wenn es auf gerichteten Empfang ankommt, weil man z.B. nicht genügend nah an die Schallquelle herankommt und mehr direkten Schall benötigt bzw. umgebenden Schall ausblenden will.

Die richtige Mikrofonaufstellung

Wirklich wichtig ist dagegen der richtige Gebrauch des Mikrofons. Eine doppelte Bedeutung kommt der Aufstellung zu. Erstens hat der Abstand von der Schallquelle und damit der Ort im Raum großen Einfluss, und zweitens ist die Position in Relation zum Instrument sehr bedeutsam. (Siehe J. Meyer, *Akustische und musikalische Aufführungspraxis*, Bochinsky, 1995)

Wenn es um stereofone Aufnahmen mit nur zwei Mikrofonkapseln geht, ist außerdem deren Abstand voneinander entscheidend für die Art und Weise der stereofonen Abbildung. Das Empfinden von Räumlichkeit und die Genauigkeit der Lokalisation hängen davon ab.

Damit die Wiedergabe einer Aufnahme beste Ergebnisse bezüglich der Lokalisation einzelner Schallquellen zulässt, ist es ferner wichtig zu verstehen, dass man nach der Wahl der Richtwirkung der Mikrofone und ihres Abstands von den Schallquellen nicht mehr beliebig frei ist in der Anordnung der Mikrofone zueinander. Der Hauptachsenwinkel und der Abstand zwischen den Mikrofonen müssen gemeinsam Gesetzmäßigkeiten erfüllen, die leider noch zu wenig bekannt sind (Aufsätze 1-3).

Prinzipielle Betrachtungsweise

Um sich in komplexen Verhältnissen zurecht zu finden ist es oftmals nützlich, die Merkmale extremer Positionen zu analysieren, um sie als Komponenten eines gewünschten Ergebnisses zu nutzen. Auf drei Paare extremer Parameter, die beim Umgang mit Mikrofonen besonders wichtig sind, soll im Folgenden noch hingewiesen werden:

1. Das Schallfeld

Die beiden Extremformen des Schallfelds sind einerseits der direkte und andererseits der diffuse Schall. Nahe der Schallquelle (also im Nahfeld) dominiert der Direktschall, der immer aus einer bestimmten Richtung und immer zuerst ankommt.

Der diffuse Schall ergibt sich erst durch eine Vielzahl von Reflexionen in Räumen. Man spricht daher auch vom reflektierten Schall. Vom diffusen Schall erwartet man aber im Gegensatz zur einfachen Reflexion, dass er

gleichmäßig aus allen Richtungen kommt. Beim diffusen Schall gibt es also keine Ausbreitungsrichtung und auch keine definierte Phasenlage.

2. Das Arbeitsprinzip

Die beiden Extremformen des Arbeitsprinzips von Mikrofonen ergeben sich aus der ausschließlichen Nutzung entweder des Schalldrucks (Druckempfänger) oder der Schallschnelle (Druckgradientenempfänger). Im ersten Fall hat das Mikrofon Kugelcharakteristik, und wenn der Druckgradient alleine genutzt wird, hat es ein „8“-förmiges Richtdiagramm. Abgesehen von Richtwirkungen, die auf der Wechselwirkung zwischen der akustischen Wellenlänge und der Größe des Mikrofons beruhen (Rohr-Richtmikrofon oder Parabolmikrofon), ergeben sich alle anderen Richtcharakteristiken theoretisch aus Kombinationen von „Kugel“ und „Acht“, und ihre Merkmale liegen entsprechend zwischen diesen beiden.

3. Die zwei Extremformen stereofoner Hauptmikrofone

Stereomikrofone bestehen aus zwei einzelnen Mikrofonen oder auch aus zwei in einem gemeinsamen Gehäuse untergebrachten Mikrofonen. Sie werden auch als „stereofones Hauptmikrofon“ bezeichnet, da durchaus der Gedanke besteht, dass sie bestimmenden Charakter für eine Aufnahme haben, auch dann, wenn noch Stützmikrofone hinzukommen.

Wenn die beiden Kapseln eines Stereo-Hauptmikrofons übereinander angeordnet sind, so dass ihr Abstand voneinander - gemessen in der horizontalen Ebene - praktisch

Null ist, spricht man von koinzidenter Stereotechnik. Der Schall, der meist von Quellen aus der gleichen Ebene stammt, erreicht dann beide Mikrofone gleichzeitig. Es gibt keinen Laufzeitunterschied.

Das Gegenteil koinzidenter Aufnahmetechnik ist die AB-Technik. Bei „Klein-AB“ wird mit Mikrofonabständen von ca. 40cm bis 80cm gearbeitet. Bei noch größeren Abständen bis zu einigen Metern spricht man von „Groß-AB“.

Der großen Bedeutung wegen soll hier schon vorweg gesagt werden, dass koinzidente Zweikanaltechniken fast generell zu einer Überbetonung der Lokalisation von Schallquellen in der Mitte der Stereobasis führen. Die manchmal auch gelobte gute „Mittenortung“ ist aber partiell unecht, denn Raumanteile werden in Abhängigkeit von der Richtcharakteristik zu einem bestimmten Prozentsatz monofon wiedergegeben (bei der „Niere“ 50%).

Bei der AB-Technik gibt es einen entgegengesetzten Effekt: Die Lokalisation von Schallquellen in der Mitte kann so schwach sein, dass von einem „Loch in der Mitte“ gesprochen wird. Jedoch hat man hier - anders als bei koinzidenten Verfahren mit „Nieren“ - den Eindruck großer Räumlichkeit. Wie in den Aufsätzen 2 und 14 näher ausgeführt, ist in diesem Fall ein Teil der Räumlichkeit unecht.

Zwischen beiden Verfahren stehen Welten und manchmal Weltanschauungen. Letztendlich spielt der persönliche Geschmack bei der Entscheidung für das eine oder andere Verfahren die ausschlaggebende Rolle. Schließlich wird alles bei Verwendung von zusätzlichen Stützmikrofonen noch komplexer.

1. Grundlagen von Mikrofonen und Stereoaufnahmen

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

Er richtete 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 hörensweite 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 Aufführung 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 elektroakustische 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 Dämpfung 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. 1,5 kHz zu einem Schallpegelunterschied 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 eine 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 ungeradzahligen 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 Pegelunterschieden basieren. Man spricht oft etwas fälschlich auch von INTENSITÄTS-STEREOFONIE.

Technisch wird der Pegelunterschied 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 Stereophonie, die auf Pegelunterschieden beruht. Als Variablen 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. Pegel- und Laufzeitdifferenz widersprechen also einander.



Abb. 1: XY-Stereophonie mit zwei Mikrofonen und Universalschiene 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 inklusive "Kugel" eingesetzt werden können.

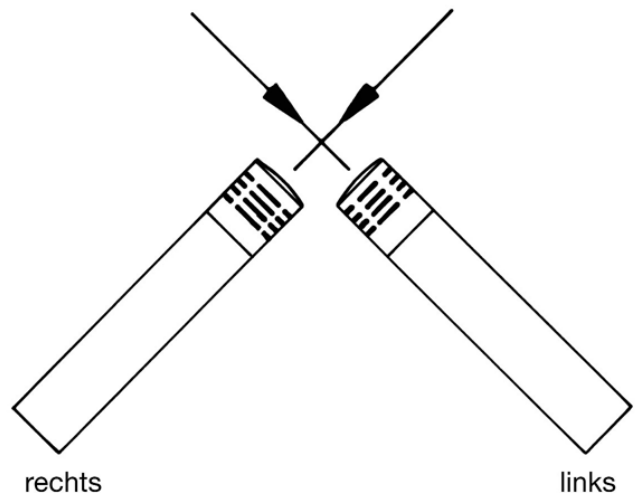


Abb. 2: Fehlerhafte XY-Anordnung. Pegel- und Laufzeitunterschiede sind gegenläufig.

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 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 ergeben sich die Signale für links und rechts.

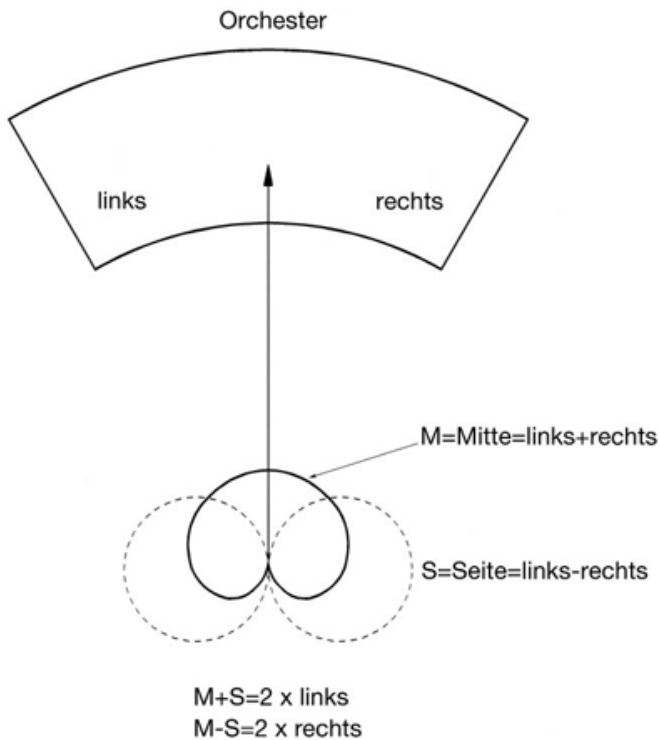


Abb. 3: Einfache Funktionsbeschreibung der MS-Technik

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 größeren Winkel einschließen.

Man regelt so die "Basisbreite" (width) und kann dies, wenn M und S einzeln vorliegen, auch noch nach der Aufnahme machen. Bei Filmbearbeitungen 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 aus 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° 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, körperchallsolierender 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°/30cm) 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 Mikrofonsignalen in der Größenordnung, wie sie zwischen den beiden menschlichen Ohren auftreten, besonders interessant (siehe Kapitel 2, Theile). Wenn aber kein Pegelunterschied 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 "TRENKÖRPER-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. Defossez 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 Pegelunterschied ist frequenzabhängig und besteht nicht bei tiefen Frequenzen. Nach D. Griesinger (Lexicon) ergeben sich dadurch Nachteile bei der Lokalisation. 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 Lokalisation ab. Oder wollen Sie die einzelnen Pfeifen einer Orgel orten?

Extreme AB-Stereophonie kann leicht zu lächerlichen Ergebnissen führen, wenn die Mikrofone zu dicht an den Schallquellen stehen. Sie artet dann in Pingpong-Stereophonie 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 koinzidenter 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 üblichen Wiedergabe im gleichseitigen Dreieck von Lautsprechern und Hörer (Abb. 5) können Schallquellen zwischen maximal -30° (links) bis $+30^\circ$ (rechts) lokalisiert werden. Aus diesen Richtungen müssen bei der Wiedergabe die extremen Links/Rechts-Positionen der Aufnahme lokalisiert werden.

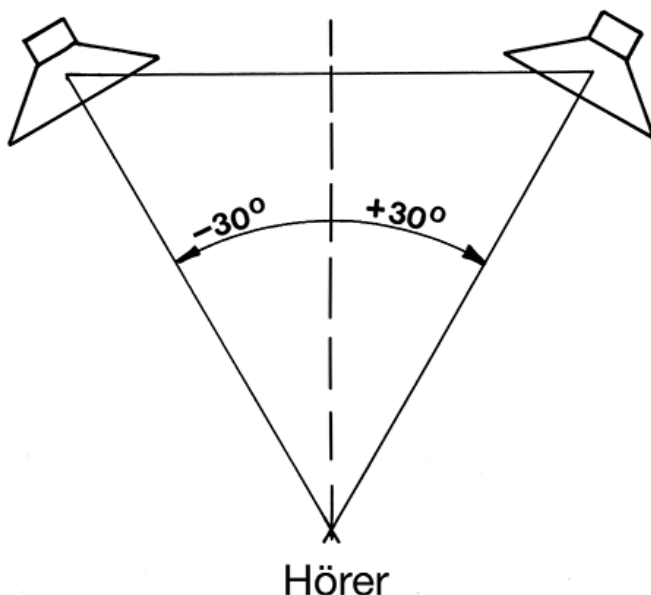


Abb. 5: Klassische Abhörordnung

Die Lokalisation ergibt sich durch Pegelunterschied (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 Pegelunterschied 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 Pegel- oder Laufzeitunterschiede durch das Stereomikrofon in seiner gegebenen Aufstellung würden eine Anhäufung der Schallquellen links und rechts oder eine zu schmale Stereobasis verursachen.

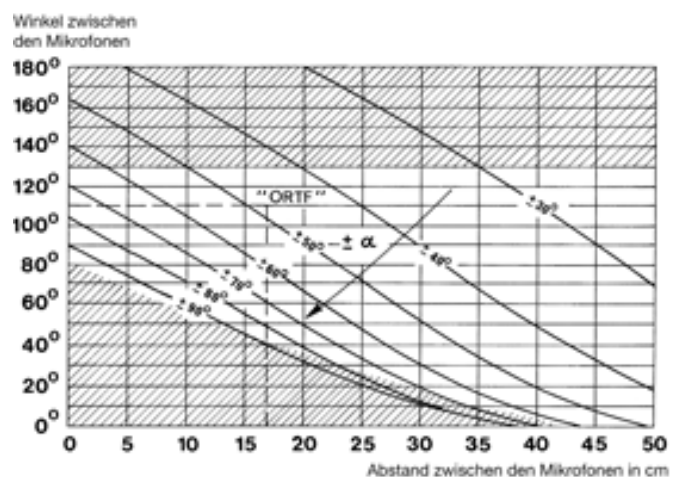


Abb. 6: Aufnahmewinkel $\pm\alpha$ für Nieren nach Williams (vereinfacht)

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.

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 2α . 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°) zum Beispiel, dass alle Schallquellen innerhalb eines Winkels von ca. $\pm 50^\circ$, also 100° , liegen sollten (nicht zu verwechseln mit dem mechanischen Winkel zwischen den beiden Kapseln, der 110° 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° betragen soll.

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

Da Kugelmikrofone theoretisch keine Pegelunterschiede 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 z.B. auch in Abb. 6 an der horizontalen Achse (Abszisse) ablesen. (Winkel zwischen den Mikrofonen $\alpha = 0^\circ$, folglich kein Pegel-

unterschied und gleiche Verhältnisse wie bei "Kugeln".)

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

Aufnahmewinkel

Nach Williams haben auch Sengpiel und Theile/Wittek den Aufnahmewinkel stereofoner Mikrofone auf ihre Weise beschrieben. Folgende Links geben einen Überblick:

Michael Williams: www.mmad.info. Zum Einstieg in seine umfangreiche Arbeit ist preprint 2466 besonders geeignet.

Eberhard Sengpiel: www.sengpielaudio.com/TheorieGrundlaAequivalenz.pdf

Dies ist auch nur eine Seite mehrerer Abhandlungen zum Thema Lokalisation.

Helmut Wittek: www.hauptmikrofon.de/ima2-folder/ImageAssistant2.html

Der „Image Assistant“ beantwortet interaktiv im Netz wie die stereofone Abbildung von Mikrofonanordnungen aussieht.

Wie schon beschrieben, führt die Beachtung des Aufnahmewinkels dazu, dass bei alleiniger Verwendung des „Hauptmikrofons“ das aufgenommene Geschehen die Basis zwischen den Lautsprechern ausfüllt. Wenn dies gar nicht beabsichtigt ist, muss man den Aufnahmewinkel nicht respektieren. Wenn die Schallquellen z.B. nur in einem kleinen Bereich des Aufnahmewinkels liegen, werden sie verstärkt in der Mitte lokalisiert.

Die Differenz zwischen dem Hauptachsenwinkel und dem Aufnahmewinkel bezeichnet Williams als „Offset“. Dieser beträgt beim ORTF-Mikrofon $110^\circ - 100^\circ$. Eine beabsichtigte Besonderheit des IRT-Kreuzes ist es dagegen, dass die Kombination von Winkel und Abstand zweier benachbarter Nieren keinen Offsetwinkel ergibt und so alle „Quadranten“ rundum aneinander anschließen.

Sofern zusätzlich zum Hauptmikrofon Stützmikrofone eingesetzt werden, übertragen sie Signale, bevor diese das Stereomikrofon erreichen. Dadurch verliert das Hauptmikrofon an Bedeutung und es besteht die Empfehlung Signale von Stützmikrofonen zeitlich zu verzögern, damit sie nicht die erste Wellenfront übertragen.

4. Die Mikrofonwahl

Mikrofone sind elektroakustische Wandler, die nicht so problematisch sind wie Lautsprecher aber es ist doch angebracht, Mikrofone höchster Qualität einzusetzen. Besonders gilt dies, wenn es sich – wie bei einfachen Aufnahmeverfahren – um nur zwei Mikrofone handelt. Großmembranmikrofone kommen dann streng genommen nicht mehr in Frage, jedenfalls stimmen dann die Betrachtungen der Aufnahmewinkel nicht mehr, weil frequenzunabhängige Polardiagramme vorausgesetzt werden.

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 seit mehr als 20 Jahren 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 Zeiger 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 gespro-

chen. Abb. 7 stellt die Verhältnisse grafisch dar. (Vertiefung mit Erklärung des "Hallradius" in Aufsatz 11)

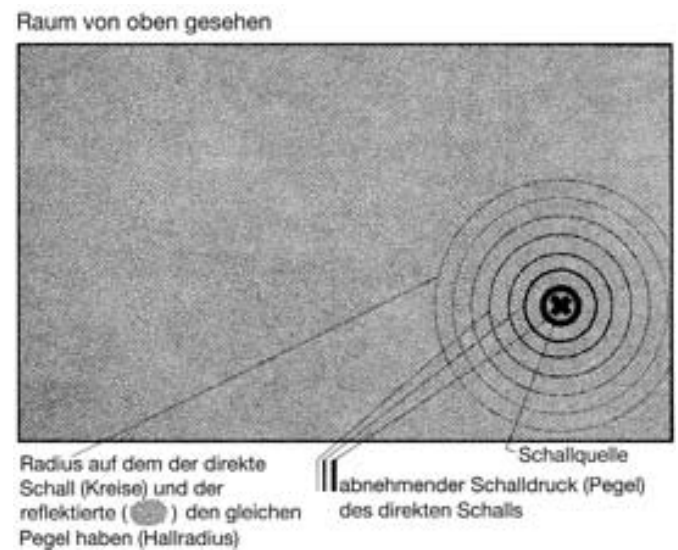


Abb. 7: Direktes und diffuses Schallfeld

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.

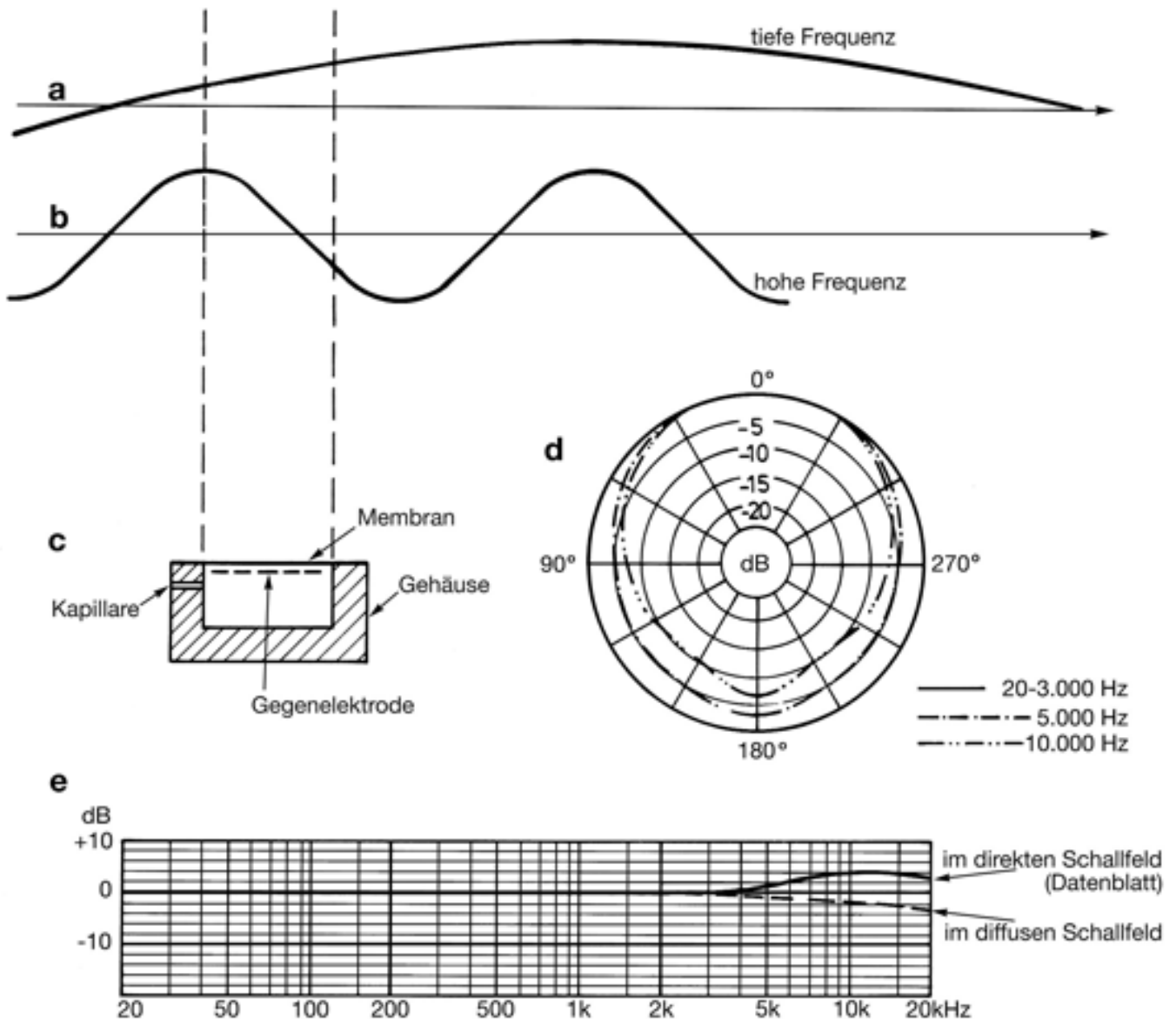


Abb. 8a-e Arbeitsweise und Merkmale eines elektrostatischen Druck-Empfängers

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 3 kHz).

Um eine ideale Kugelcharakteristik zu besitzen, muss ein Mikrofon sehr klein sein (etwa 5mm Durchmesser). Hierdurch hat es 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 des Mikrofon. (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.

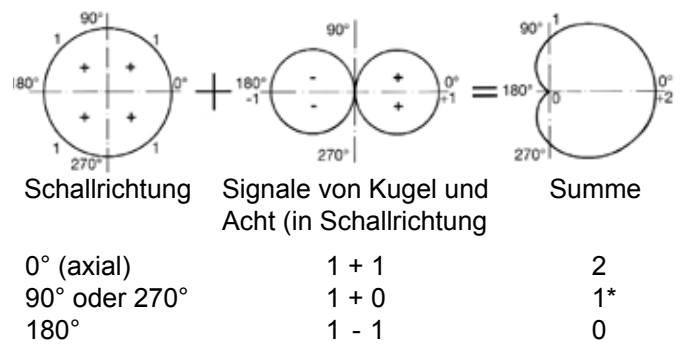
Die gute Tiefenwiedergabe von "Kugeln" erlaubt besonders eindrucksvolle Aufnahmen. Andererseits sind damit auch bestimmte Risiken verbunden, denn Räume mit unausgewogener Akustik zeigen ihre Unarten vor allem bei den Tiefen. Die Folge kann ein "mulmiger" Klang der Aufnahme sein. Ein anderer Aufstellungsort 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 Richtwirkung 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 Hypernieren liegen zwischen Niere und Acht.



*Dies entspricht -6dB bezogen auf axialen Schalleinfall

Abb. 9: Darstellung einer Niere aus Kugel 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.

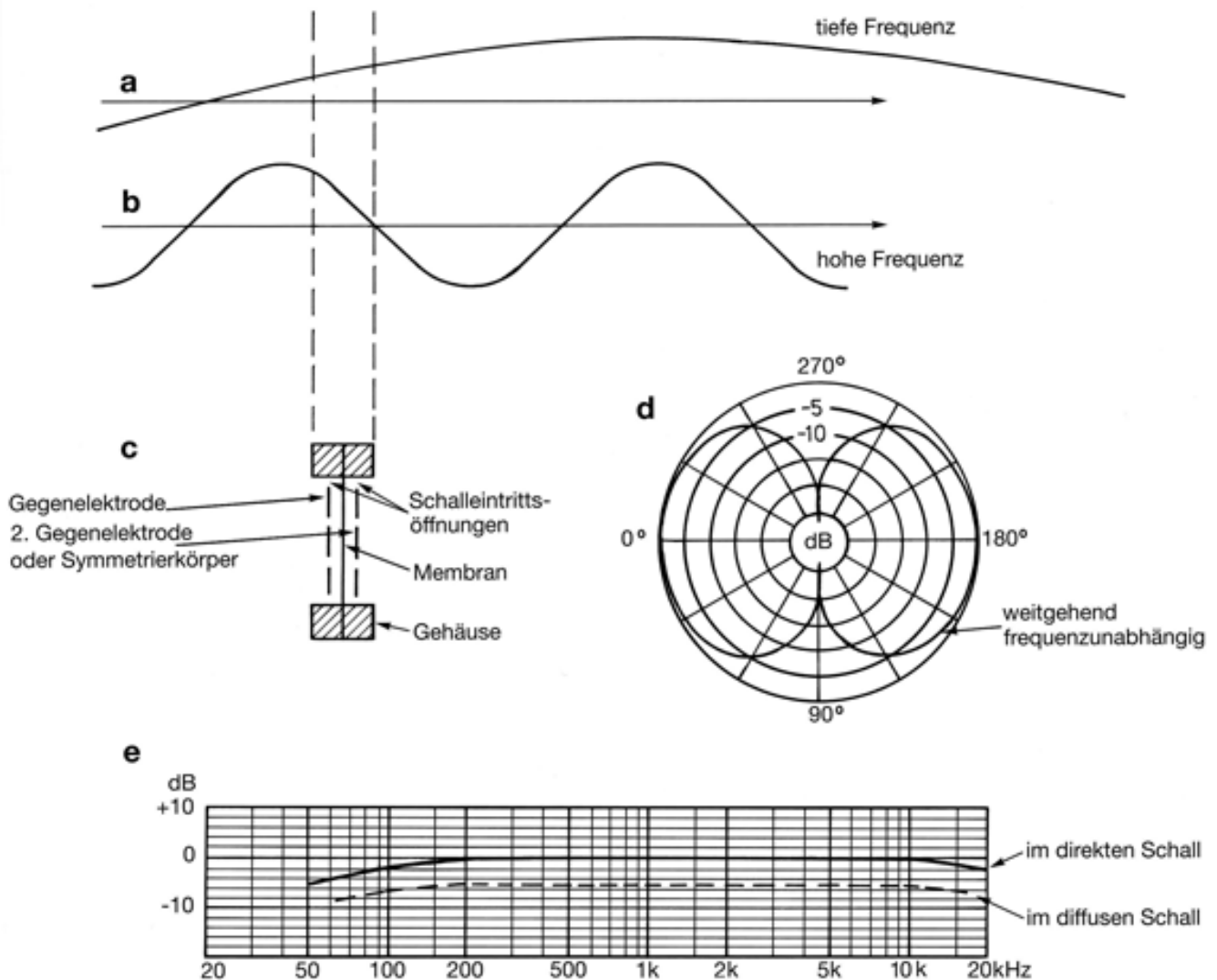


Abb. 10a-e: Arbeitsweise und Merkmale eines elektrostatischen Druckgradienten-Empfängers

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

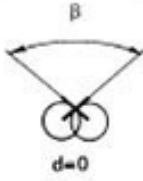
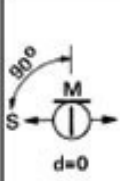
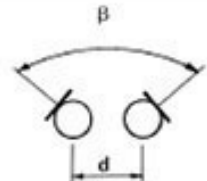

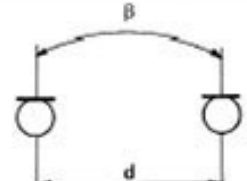
| Stereo-Art | koinzidente Stereophonie | | kleine Laufzeit + Pegeldifferenz | Trennkörperstereophonie | Laufzeitstereophonie |
|---|--|---|--|--|---|
| Name | XY | MS | z.B. ORTF | z.B. Jecklin-Scheibe | AB |
| |  |  |  |  |  |
| Kapselabstand d | 0cm meist übereinander | | 5cm - 30cm voneinander abhängig | 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 | sauber, oft hell oder brillant | | abhängig von den verwendeten Mikrofonen 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 Trennkörperstereophonie ist die Williams-Theorie aber nicht anwendbar. | | | | *Trennkörper- und Laufzeitstereophonie ist auch mit Druckgradienten-Empfängern möglich. |

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

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 bzw. der Wellenlänge 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 irregeführt werden. Es gibt daher seriöse Mikrofonhersteller, die trotz guter Messergebnisse nur ungerne Original-Frequenzkurven ausgeben, obwohl diese im Verlauf der Produktion ermittelt 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".

2. Betrachtung der Theorien stereofoner Aufnahmetechnik

Vortrag, gehalten auf der 15. Tonmeistertagung 1988

Der erste Aufsatz dieser Sammlung war ursprünglich für Musiker gedacht, stieß aber auch bei Tonmeistern auf reges Interesse. Daher wurde der folgende Artikel, mit der Absicht geschrieben, die Thematik zu vertiefen. Wesentliche Zusammenhänge werden wiederholt und genauer beschrieben.

Drei wichtige Beurteilungskriterien stereofoner Aufnahmen sind: der Gesamteindruck, die Räumlichkeit und die Lokalisation. Anhand dieser Parameter werden Theorien verschiedener Wissenschaftler zusammengefasst.

Einleitung

Die Zahl interessanter Veröffentlichungen zum Thema "Stereofone Aufnahmetechnik" hat in den letzten Jahren bemerkenswert zugenommen /1/ bis /9/.

Die meisten Berichte gehen von der Verwendung von nur zwei Mikrofonen aus, beschreiben also die Verhältnisse des so genannten Stereo-Hauptmikrofonverfahrens, wie es vor allem im Bereich klassischer Musik Einsatz findet. Wie schon der Name sagt, ist das Stereo-Hauptmikrofon von fundamentaler Bedeutung. Andere Techniken, die ohne Stereo-Hauptmikrofon arbeiten, bedürfen einer separaten Beschreibung.

Die Möglichkeit, mit Stützmikrofonen ins Interpretatorische einzugreifen, freut natürlich den Tonmeister und meist auch Musiker und Konsumenten, aber es ist sicher, dass unterschiedliche Hörgewohnheiten zu verschiedenen Beurteilungen führen /5/. Über die ästhetischen Gesichtspunkte lässt sich ein eigenes Referat halten und ein Streit über geschmackliche Fragen ist nicht sinnvoll.

Der Tonmeister muss aber eventuell schon aus geschäftlichem Interesse wissen, dass

besonders die anspruchsvollen Käufer im so genannten Hi-End-Bereich allergisch auf allzu erkennbare Stützmikrofone reagieren. Manche beharren sogar auf der Behauptung, dass nur mit zwei Mikrofonen natürliche Tonaufnahmen möglich sind. So unmöglich dies in vielen Fällen ist /11/, lässt sich dieser Kundenwunsch doch besonders bei kleineren Ensembles realisieren. Das Stereo-Hauptmikrofon verdient also bestimmt nach wie vor besondere Aufmerksamkeit.

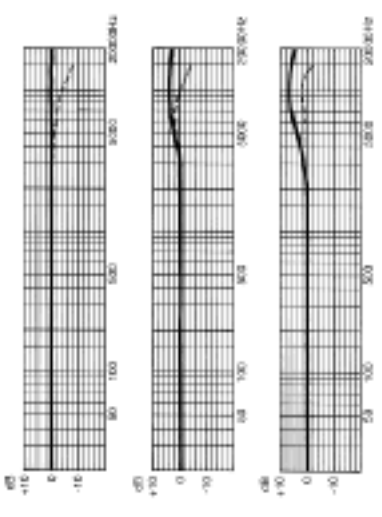
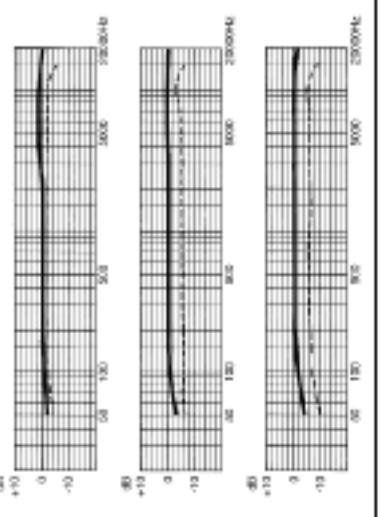
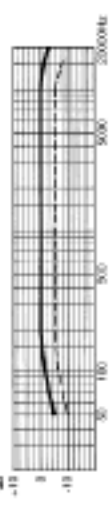
Die eingangs erwähnten internationalen Veröffentlichungen dazu stammen von verschiedenen Autoren, die unabhängig voneinander ihre Theorien entwickelt haben. So ist es nicht verwunderlich, dass die Ansätze der Betrachtungen sehr unterschiedlich sind. Das Ziel dieses Aufsatzes ist es, einige wesentliche Aussagen dieser verschiedenen Ansätze zu bündeln, ohne den Leser durch Unterschiede im Detail zu irritieren.

Die Gliederung entspricht der Reihenfolge der Kriterien der Herren Nellesen, Prager und Wöhr /5/, /7/. Diese Reihenfolge beginnt mit dem Gesamteindruck einer Aufnahme, betrachtet dann die Räumlichkeit und zuletzt die Lokalisation.

Der Gesamteindruck ist am schwersten zu erklären, da er Details enthält, die nicht immer einer genauen Analyse zugänglich sind. Ganz sicher spielt hier aber der Klang eine Rolle, der von der Qualität der Mikrofone geprägt ist.

Dieses Thema wird vermutlich nie ganz abgeschlossen werden, da subjektive Beurteilungskriterien einen besonders starken Einfluss haben. Dennoch ist eine grobe Klassifizierung möglich. Man könnte zunächst Mikrofone mit einem mehr oder weniger ausgeprägten Eigenklang (Sound) und Mikrofone mit neutralem, natürlichem Übertragungsverhalten unterscheiden.

Der Übergang zwischen ausgeprägtem Eigenklang und neutralem Übertragungsverhalten

| a | b | c | d | e | f | g |
|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------|--|--|--|---|
| akustisches Arbeitsprinzip | Richtcharakteristik | SCHOEPS Kapseltyp 1) | Ü b e r t r a g u n g s m e r k m a l e grafisch 2) — im direkten Schall - - - im reflektierten Schall | Frequenzgang | Richtdiagramm | Besonderheiten |
| Druckempfänger | Kugel | MK 2 |  | bei tiefen Frequenzen ideal; bei hohen Frequenzen abhängig vom Schalleinfallswinkel | frequenzabhängig; Richtwirkung bei hohen Frequenzen | vergleichsweise wind- und er-schütterungs-unempfindlich |
| Druckgradientenempfänger | Breite Niere Niere Super-niere | MK 21 MK 4 MK 41 |  | ausgeglichen; tendenziell schwächer werdende Tiefenwiedergabe | frequenzunabhängiger als bei Kugeln, weniger gut verallgemeinerbar als andere Angaben der Tabelle 2) | zunehmender Nahheitseffekt |
| reiner Druckgradientenempfänger | Acht | MK 8 |  | Frequenzgang abfall bei tiefen Frequenzen | bei kleinen Kapseln in idealer Weise frequenzunabhängig | |

1) Die beschriebenen Merkmale und Besonderheiten sind physikalischer Natur und gelten ihrer Tendenz nach auch für andere hochwertige, insbesondere kleine Kondensatormikrofone.

2) Das Richtdiagramm und dessen Frequenzabhängigkeit ist besonders aussagekräftig im gestrichelt gezeichneten Diffusfeld-Frequenzgang enthalten.

Tabelle 1

ist kontinuierlich, aber es ist allgemein gültig, dass besonders dynamische Mikrofone und große Mikrofone zu einem "Sound-Charakter" tendieren. Der Tonmeister kann diese Eigenschaft gezielt nutzen, indem er klangliche Eigenarten eines Instruments bewusst verstärkt. Im Endeffekt läuft diese Philosophie aber darauf hinaus, dass man für jedes Instrument ein spezielles Mikrofon braucht, das dann schlimmstenfalls auch nur dafür geeignet ist.

Neutral klingende Mikrofone sind hingegen für die Aufnahme aller Schallquellen geeignet. Nur mit ihnen lässt sich das Ziel natürlich klingender Aufnahmen realisieren. Das Klangbild kann dennoch in einem relativ großen Rahmen variieren, weil die prinzipbedingt unterschiedliche Aufnahme von direktem und reflektiertem Schall, der Nahheitseffekt und andere physikalische Grundlagen Einfluss haben.

Ein verfärbungsfrei aufnehmendes Mikrofon, das nicht die Grenzflächentechnik nutzt, muss so klein wie möglich sein, um das Schallfeld nicht zu stören.

Das qualitative Verhalten kleiner Kondensatormikrofone, die mit dem Ziel naturgetreuer Übertragung entwickelt wurden, geht aus Tab. 1 hervor. Bemerkenswert ist z.B. der Gewinn an Tiefbass-Aufnahme, wenn Druckempfänger verwendet werden. Eine andere Besonderheit ist, dass zylindrische Nierenmikrofone mit frontalem Schalleinfall zu einer leichten Betonung der Höhen bei schrägem Schalleinfall und daher auch im diffusen Schallfeld neigen. Letzteres kann durchaus vorteilhaft sein, so z.B. beim ORTF-Stereomikrofon, das üblicherweise so aufgestellt wird, dass ein erheblicher Teil diffusen Schalls aufgenommen wird. Wenn dieser – wie es nicht selten der Fall ist – etwas dumpf klingt, wird er durch ein Mikrofon mit leichter Überhöhung des Frequenzgangs im diffusen Schallfeld aufgehellt. Bei Verwendung nahe an einer Streichergruppe können Nieren aus gleichem Grund aber sehr brillant oder sogar scharf klingen.

Die Breite Niere ist ein Mikrofon, das so gebaut werden kann, dass bei ihm der Frequenzgang weitgehend unabhängig wird von der Schalleinfallrichtung. Damit sind dann auch

die Frequenzgänge im freien und im diffusen Schallfeld, abgesehen von einem Pegelunterschied, praktisch gleich.

Die Räumlichkeit

Zum räumlichen Hören gibt es eine genaue Beschreibung /12/. Bei der stereofonen Wiedergabe wird der Entfernungseindruck u.a. vom Anteil und Spektrum des reflektierten bzw. diffusen Schalls beeinflusst. Für den Eindruck plastischer Räumlichkeit ist es aber wichtig, dass die aus dem diffusen Schallfeld aufgenommenen Anteile in beiden Kanälen nicht zu stark miteinander korreliert sind.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, sich zu vergegenwärtigen, wie unterschiedlich Mikrofone mit verschiedenen Richtcharakteristiken das diffuse Schallfeld aufnehmen. Eine Kugel nimmt das diffuse Schallfeld theoretisch mit der gleichen Empfindlichkeit auf wie das direkte. In der Praxis stimmt dies bei höheren Frequenzen meist nicht mehr (abhängig von der Größe des Mikrofons) und man braucht deshalb die verschiedenen Typen wie Freifeld- oder Diffusfeldkugel.

Ein Mikrofon mit der Richtcharakteristik "Acht" nimmt den diffusen Schall in Relation zum direkten Schall mit 4,8dB geringerer Empfindlichkeit auf. (Bündelungsmaß, siehe Aufsatz 11). Seine Membranbewegung ist proportional zur Schnelle des Schalls. Da die Schnelle ein Vektor ist, also eine Richtung hat, nimmt die Acht bevorzugt Schall in der Hauptachsenrichtung des Mikrofons auf.

Eine Niere darf man sich immer als eine Kombination von Kugel und Acht zu gleichen Anteilen vorstellen.

Bei einem koinzidenten Stereomikrofon wird die Pegeldifferenz zwischen linkem und rechtem Kanal ausschließlich durch die Komponente der Acht in beiden Kapseln bewirkt. Bei Verwendung von zwei Nieren übertragen aber die Kugel-Komponenten der Kapseln das diffuse Schallfeld zu immerhin 50% in gleicher Weise. Dadurch werden 50% des diffusen Schalls quasi in Mono wiedergegeben. Bereits 1984 hat Theile auf der 13. Tonmeistertagung damit erklärt, weshalb Intensitätsstereofonie nur eine schwache Räumlichkeit ergibt /3/.

Gleichzeitig gibt es eine künstliche Betonung der Mittenlokalisation, die nur in Ausnahmefällen erwünscht sein kann, z.B. Soloaufnahmen, stereofonen Stützen, Bildproduktionen usw.

Mehr Räumlichkeit lässt sich erreichen, wenn durch Verwendung von Super- oder Hypernieren oder letztendlich Mikrofonen mit Acht-Charakteristik nur wenig oder gar keine Druckkomponente im Membrantrieb enthalten ist.

Damit erklärt sich u.a. auch die mitunter etwas bessere Beurteilung der MS-Aufnahmetechnik bezüglich der Räumlichkeit. Nur im Sonderfall einer Kugel für den M-Kanal kann die Matrizierung nämlich Nieren ergeben, die dann aber immer einen virtuellen Hauptachsenwinkel von 180° haben. In allen anderen Fällen, bei denen für den M-Kanal eine gerichtete Kapsel verwendet wird, ergeben sich in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis

M:S der Matrizierung virtuelle Richtdiagramme mit einer rückwärtigen Empfindlichkeitskeule, also Polardiagramme wie Super- oder Hypernieren.

Eine andere Möglichkeit, Räumlichkeit in eine Aufnahme zu bringen, ergibt sich durch eine Dekorrelation der Raumanteile durch einen Abstand zwischen den Mikrofonen. Man muss dazu nicht gleich zur AB-Technik übergehen. Das ORTF-Mikrofon, das Kugelflächenmikrofon und andere Formen der Trennkörperstereofonie ergeben meist einen schönen Räumlichkeitseindruck, einen guten Aufnahmeraum vorausgesetzt (siehe Aufsatz 1).

Die oft strapazierte Mono-Kompatibilität hält besonders beim ORTF-Mikrofon auch kritischen Betrachtungen stand. Bei tiefen Frequenzen, bei denen große Phasenunterschiede Probleme verursachen können, ist der Phasenunterschied nur gering, und bei hohen Frequenzen ist es nicht mehr der Phasen- bzw. Laufzeitunterschied, sondern der Pegelunterschied, der für die Stereo-Lokalisation entscheidend ist.

Die Lokalisation

Die Überbetonung der Lokalisation von Schall in der Mitte durch die XY-Technik mit Nieren spielt natürlich eine geringere Rolle, wenn der diffuse Schallanteil gering ist oder

wenn Richtungsinformationen durch Stützmikrofone hinzukommen.

Die meisten Berichte zum Thema "stereofones Hauptmikrofon" konzentrieren sich auf die mögliche Lokalisation von Phantomschallquellen. Dabei ist fraglich, ob diesem Merkmal auch in der Praxis eine derart dominierende Bedeutung zugemessen werden darf. Eine kräftige Basswiedergabe oder ein prächtiger Raumklang erzielen oft einen größeren Effekt bei den Zuhörern. Außerdem ist es erschreckend, zu beobachten, mit welcher Sorglosigkeit manchmal der Hörplatz gewählt wird. Es muss immer wieder daran erinnert werden, dass die Symmetrie der Aufstellung, die Gleichheit der Lautsprecher, der Abstand und besonders der richtige Hörort entscheidend auf die Lokalisationsmöglichkeiten bei der Wiedergabe einwirken. Dabei wäre es ein Thema für sich, die Verträglichkeit mangelhafter Abhörverhältnisse in Abhängigkeit vom Aufnahmeverfahren zu untersuchen.

Unabhängig von der Art des Stereo-Hauptmikrofonverfahrens stellen die Williams-Diagramme eine besondere Hilfe bei der optimalen Mikrofonaufstellung dar /13/. www.mmad.info. Sie beschreiben notwendige geometrische Bedingungen für das Stereo-Hauptmikrofonverfahren, die sich aus dem vom Tonmeister gewählten Aufstellungsort, der Richtcharakteristik der Mikrofone und der menschlichen Hörphysiologie ergeben.

Williams hat seine Überlegungen bereits in den frühen 80er Jahren in Paris bekanntgemacht. Man kann dies nachlesen unter www.mmad.info (besonders zu empfehlen: preprint 2466). Dickreiter hat basierend auf den Williams-Diagrammen sein „Tonmeister Survival Kit“ entwickelt /15/

Davon völlig unabhängig, verfolgte Sengpiel ähnliche Gedanken und unterrichtet darüber an der UdK in Berlin /14/ (z.B. : www.sengpielaudio.com/TheorieGrundlaAequivalenz.pdf). Sengpiel legt etwas längere Zeitdifferenzen Δt als Lokalisationsparameter zugrunde. Außerdem vermeidet er, von ΔI (Intensitätsdifferenz) zu sprechen, da die Intensität physikalisch das Produkt aus Schalldruck p und Schallschnelle v ist. Es ist zweifellos besser, von einer Pegeldifferenz ΔL zu sprechen.

Theile/Wittek haben die Thematik „Aufnahmewinkel“ ebenfalls eingehend bearbeitet. (Helmut Wittek: www.hauptmikrofon.de/ima2-folder/ImageAssistant2.html)

Der „Image Assistant“ beantwortet interaktiv im Netz, wie die stereofone Abbildung von Mikrofonanordnungen aussieht. Der Toningenieur, der den Aufstellungsort eines stereofonen Mikrofonpaares – z.B. nach Gesichtspunkten der Hallbalance – bestimmt, wünscht in der Regel, dass alle Schallquellen der Originaldarbietung in die Basis der stereofonen Lautsprecherwiedergabe projiziert werden. Wenn also die volle Stereobasis genutzt werden soll, muss das am weitesten links oder rechts platzierte Instrument eines Orchesters bei der Wiedergabe extrem links oder rechts lokalisiert werden. Das sind die Positionen der jeweiligen Lautsprecher bei $\gamma = \pm 30^\circ$.

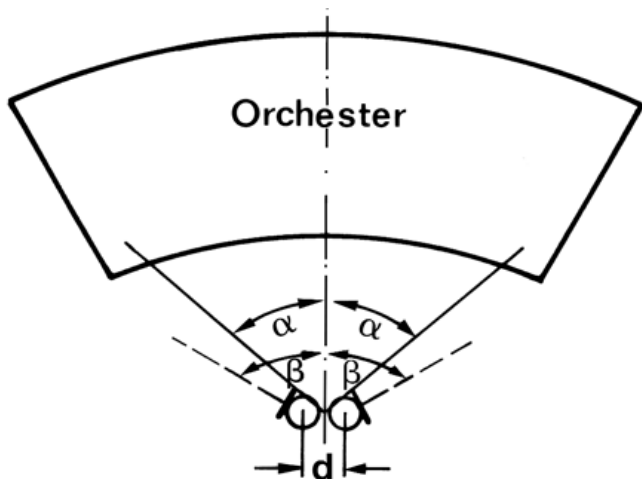


Abb. 1a

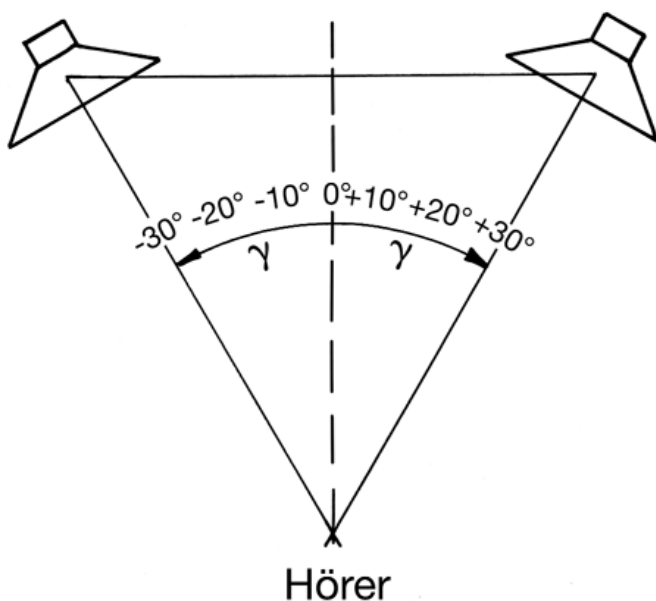
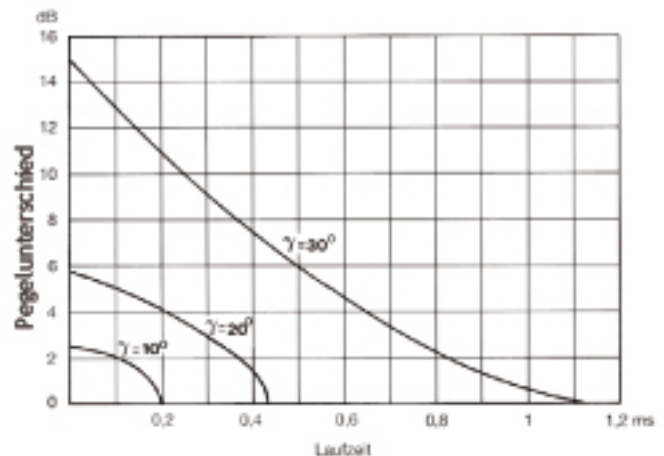


Abb. 1b

Der „Aufnahmebereich“ 2α soll bei der Lautsprecherwiedergabe in den „Wiedergabebereich“ $2\gamma_{MAX} = 60^\circ$ übertragen werden. Daraus ergeben sich nach Williams der Hauptachsenwinkel 2β und der Abstand d zwischen den beiden Mikrofonen (Mikrofonbasis). Wenn einer dieser Parameter vorgegeben ist, folgt daraus der andere.

Dazu sind Pegel- und/oder Laufzeitunterschiede erforderlich, die nicht größer und nicht kleiner als notwendig sein dürfen. Eine Mikrofonanordnung mit größeren Kanalunterschieden würde z.B. keine weitere Verlagerung der außen liegenden Schallquellen bewirken, aber weiter zur Mitte hin gelegene Schallquellen würden dann immer noch genügend Pegel- bzw. Laufzeitunterschiede ergeben, um ebenfalls extrem links oder rechts geortet zu werden. Es kommt zu einer links/rechts-Anhäufung von Schallquellen („Ping-pong-Stereo“).

Welche Pegel- und/oder Laufzeitunterschiede erforderlich sind, um musikähnliche Signale aus verschiedenen Richtungen zwischen den Lautsprechern zu lokalisieren, ist aus hörphysiologischen Versuchen bekannt /16/ (Abb. 2). Andererseits kann man für jedes stereofone Hauptmikrofonverfahren die Pegel- und Laufzeitunterschiede, die sich für Schall aus verschiedenen Richtungen ergeben, exakt in Abhängigkeit von Richtcharakteristik, Winkel zwischen den Hauptachsen und Abstand zwischen den Mikrofonen berechnen.



Notwendige Pegel- und Laufzeitunterschiede zur Lokalisation von Phantomschallquellen aus verschiedenen Richtungen der Lautsprecherbasis (Abb. 1b) nach Simonsen /16/

So lassen sich für jeden Aufnahmewinkel, der vom Stereomikrofon aus gesehen - das Orchester einschließt (2α , Abb. 1a), Winkel und Abstand zweier Mikrofone derart ermitteln, dass nur die außen liegenden Schallquellen bei $y = \pm 30^\circ$ der Lautsprecheranordnung lokalisiert werden. Die anderen Schallquellen erscheinen dann, dem Original entsprechend, z.B. 2/3 oder 1/3 rechts bzw. links ($y = \pm 20^\circ, \pm 10^\circ$, Abb. 1b). Die Genauigkeit dieser Transformation lässt sich berechnen, wenn die Polardiagramme exakt ih-

gleichen "Aufnahmewinkel" nur 50° zwischen deren Hauptachsen liegen (halber Hauptachsenwinkel $\beta = 25^\circ$, s. Abb. 3).

Interessant ist es umgekehrt auch, den Aufnahmewinkel bekannter Anordnungen zu ermitteln. Für ein Intensitäts-Stereomikrofon, bei dem zwei Nieren im Winkel von 90° zueinander eingestellt sind, lässt sich ein Aufnahmewinkel von $\pm 90^\circ$, also insgesamt vollen 180° , aus Abb. 3 ablesen. Das Mikrofon müsste deshalb sehr weit vorne stehen, praktisch auf Höhe des Dirigenten. Wenn dies nicht der

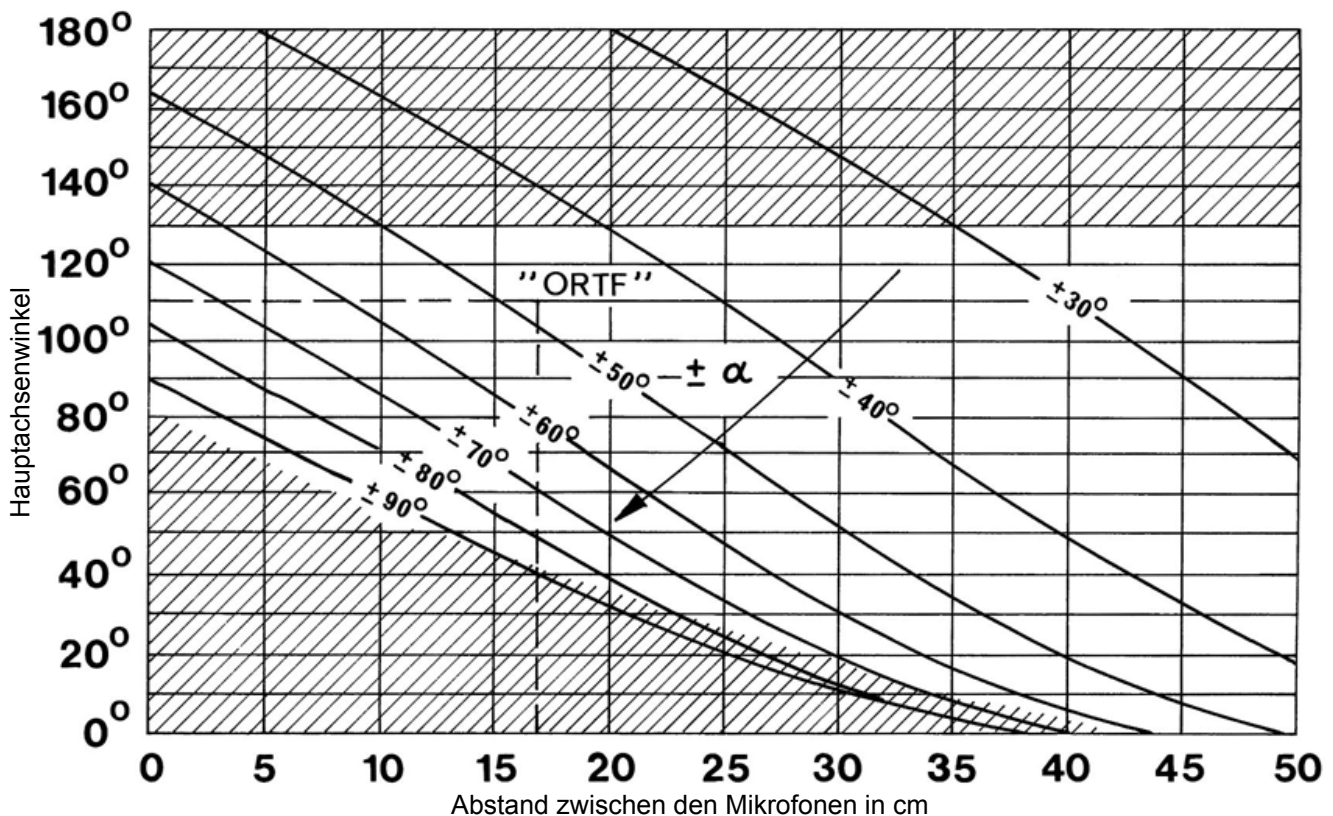


Abb. 3: "Aufnahmewinkel" $\pm\alpha$ nach Williams, für Nieren, in Abhängigkeit vom Hauptachsenwinkel 2β und vom Abstand zwischen den Mikrofonen. Die schraffierten Zonen sollen nicht genutzt werden /13/.

ren mathematischen Formeln entsprechen ($a + b \cos\phi$), wie dies bei Kleinmembranmikrofonen möglich ist. Sie hängt von der gewählten Kombination von Hauptachsenwinkel 2β und Abstand d ab. Maßstäbliche Abweichungen werden als "Lokalisationsverzeichnung" bezeichnet.

Um einem "Aufnahmewinkel" von z.B. $\alpha = \pm 70^\circ$, also insgesamt 140° zu entsprechen, müssen bei einem koinzidenten Stereomikrofon mit zwei Nieren die Kapseln in einem Winkel von 120° zueinander eingestellt werden (halber Hauptachsenwinkel $\beta = 60^\circ$). Bei 20cm Abstand der Mikrofone müssen für den

Fall wäre, würden sich keine genügenden Links/Rechts-Differenzen ergeben, um Schallquellen ganz links oder rechts bei der Wiedergabe zu orten. Nicht aufeinander abgestimmter Hauptachsenwinkel und Aufstellungsort können also auch eine Erklärung dafür sein, wenn XY eine zu betonte Mittenlokalisierung bringt.

Der Aufnahmewinkel eines stereofonen Hauptmikrofons lässt sich auch experimentell ermitteln. Dazu bewegt man eine Schallquelle von der Mitte des Stereomikrofons aus nach links oder rechts, bis deren Lokalisation bei der Wiedergabe in Richtung des linken bzw.

rechten Lautsprechers erfolgt. Diese Richtungen schließen mit dem Mikrofon den Aufnahmewinkel 2α ein.

Zum Umgang mit dem Hauptachsenwinkel und dem Aufnahmewinkel soll hier darauf hingewiesen werden, dass die Zahlenwerte oft nur als Hälfte des Gesamtwinkels angegeben werden. Zu erklären ist dies natürlich durch die Symmetrie dieser Winkel zur stereofonen Hauptachse. Dennoch löst die \pm -Angabe manchmal auch Unsicherheiten aus. Der "Winkel zwischen den Mikrofonachsen" ist z.B. der Gesamtwinkel 2β , während der Zahlenwert von α nur den halben Aufnahmewinkel angibt.

Der Aufnahmewinkel nach Williams ist leider ein anderer als der, der im Zusammenhang mit der MS-Aufnahmetechnik betrachtet werden muss. Der Aufnahmewinkel der MS-Technik ergibt sich daraus, dass das M-Signal für keinen Schalleinfallswinkel kleiner sein darf als das S-Signal (siehe Aufsatz 4) /17/.

Der einzige Hinweis, ob eine koinzidente Technik oder ein AB-Verfahren vorzuziehen ist, ergibt sich bei Williams aus der Angabe der "Lokalisationsverzeichnung". Sie ist bei mittleren Kapselabständen am geringsten.

Aus anderer Perspektive hat Theile bereits auf der 13. Tonmeistertagung für "Äquivalenz-Stereomikrofone" plädiert /3/, bei denen definitionsgemäß auch ein Abstand zwischen den Mikrofonen besteht. Er soll aber nicht viel größer als Ohrenabstand sein. Gemäß Williams kann er dagegen – je nach Richtcharakteristik und Aufnahmewinkel – sogar 50cm noch überschreiten. Falls Mikrofone mit Kugelcharakteristik so weit entfernt vom Orchester aufgestellt werden, dass ein Aufnahmewinkel von nur $\pm 30^\circ$ benötigt wird, müsste der Mikrofonabstand 76cm betragen. (Weitere Angaben zu der notwendigen Mikrofonbasis bei AB-Aufnahmetechnik finden sich in Aufsatz 3).

Für den Fall besonders großer Abstände zwischen den Mikrofonen gibt es schwer anfechtbare Kritik /18/. Man kann nur entgegenhalten, dass Lokalisation und empfundene Räumlichkeit gegenläufig sind (Aufsatz 1) und dass es Aufnahmen gibt, die keine Lokalisation, aber viel räumliche Tiefe verlangen. So rechtfertigen sich Kapselabstände bzw. AB-Technik, wie sie sowieso erforderlich sind,

wenn man von der guten Tiefbasswiedergabe mittels Kondensatormikrofonen mit Kugelcharakteristik profitieren möchte. Umgekehrt kann die mittenbetonte Lokalisation von rein koinzidenten Aufnahmen, mit so genannten Intensitäts-Stereomikrofonen, sehr sinnvoll sein, wenn es sich beispielsweise um die Aufnahme eines Einzelinstruments handelt oder um den Ton für Film- oder Fernsehproduktionen.

Die Beurteilung von Stereo-Hauptmikrofonverfahren, deren Kapseln etwa 5cm bis maximal 30cm voneinander entfernt sind, wurde übrigens auch von anderen Autoren und unter verschiedenen Denkansätzen positiv beschrieben /19/, /20/, /21/. Ernste Mono-Kompatibilitätsprobleme treten in der Praxis nicht auf.

Zur genaueren Beschreibung der Lokalisation gehören die Begriffe Richtungsstabilität und Lokalisationsschärfe. In diesem Zusammenhang sind die Ausführungen von Griesinger interessant /22/. Es geht ihm besonders um die Frequenzabhängigkeit der Lokalisation. Bei tiefen Frequenzen sind größere Pegelunterschiede zur Richtungslokalisierung notwendig als bei hohen Frequenzen. Damit lassen sich auch tiefe Frequenzen orten, und zwar an der gleichen Stelle wie die Harmonischen der Schallquelle. Dadurch wird die Lokalisationsschärfe verbessert.

Um bei tiefen Frequenzen eine höhere Kalltrennung zu erzielen, kann man sich eines Verfahrens bedienen, das als "Shuffling" bezeichnet wird /23/, /24/. Vereinfacht kann man dieses als eine frequenzabhängige MS-Matrixierung bezeichnen, durch die die Basisbreite (width) bei tiefen Frequenzen größer wird als bei hohen Frequenzen (siehe auch Aufsatz 4).

Als weiterführende Literatur können folgende oben bereits genannte Veröffentlichungen empfohlen werden.

Literaturverzeichnis:

1. G. Steinke, Entwicklungstendenzen der Stereophonie, in: Bericht zur 13. Tonmeistertagung 1984, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 137 - 157
2. G. Plenge, Überlegungen zur Stabilität und Leistungsfähigkeit verschiedener stereofoner Übertragungsverfahren, in: Bericht zur 13. Tonmeistertagung 1984,

- Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 158 - 169
3. G. Theile, Hauptmikrofon und Stützmikrofone – neue Gesichtspunkte für ein bewährtes Aufnahmeverfahren, in: Bericht zur 13. Tonmeistertagung 1984, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 170 - 184
4. W. Zahn und H. Püllmanns, Neue Erfahrungen, Ergebnisse und Erläuterungen zu laufzeitstereofonen Aufnahmetechniken unter Verwendung von Druckempfängern, in: Bericht zur 13. Tonmeistertagung 1984, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 186 - 196
5. M. Wöhr und B. Nellessen, Untersuchungen zur Wahl des Hauptmikrofonverfahrens, in: Bericht zur 14. Tonmeistertagung 1986, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 106 - 120
6. D. Griesinger, Neue Perspektiven für koinzidente und quasi-koinzidente Mikrofonverfahren, in: Bericht zur 14. Tonmeistertagung 1986, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 122 - 134
7. T. Prager und G. Theile, Einfluss verschiedener Wiedergabeeinrichtungen auf die Beurteilung von Hauptmikrofonverfahren, in: Bericht zur 14. Tonmeistertagung 1986, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 234 - 246
8. AES, An Anthology of Reprinted Articles on Stereophonic Techniques, Audio Engineering Society Inc., New York, 1982
9. S. Bech und O.J. Pedersen (Hrsg.), Perception of Reproduced Sound, Gammel Avernæs, Kopenhagen, 1987
10. I. Harden, Klang und Form – Schallplattenkritische Anmerkungen zur Aufnahmetechnik, in: Bericht zur 13. Tonmeistertagung 1984, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 45
11. O.E. Wohlert, Binär ad absurdum, in: Hi-Fi Stereophonie, Heft 7, 1983, S. 688
12. J. Blauert, Räumliches Hören, S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1974
13. M. Williams, AES Publication European Representative, Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording, AES preprint 2466 (H-6), www.mmad.info 1987
14. E. Sengpiel, Blätter zu den Vorlesungen "Musikübertragung" an der UdK Berlin, seit 1990
15. M. Dickreiter, Tonmeister Survival Kit, 1990, Michael Dickreiter, 90453 Nürnberg, Auf der Schanz 12
16. G. Simonsen, Master's Thesis, Lyngby, Denmark, 1984
17. M. Dickreiter, Mikrofon-Aufnahmetechnik, S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1984, 2. Auflage, neu bearbeitet und erweitert 1995
18. S.P. Lipshitz, University of Waterloo, Ontario, Canada, Stereo Microphone Techniques: Are the Purists Wrong?, AES preprint 2261 (D-5) oder J. Audio Eng. Soc., Vol. 34, no. 9, 1986
19. A. Laracine, Institut National d'Audiovisuel, Thèse, 1966
20. C. Ceoen, Comparative Stereophonic Listening Tests, J. Audio Eng. Soc., Vol. 20, 1972, S. 19 - 27
21. Ch. Hugonnet et J. Jouhaneau, Comparative Spatial Transfer Function of Six Different Stereophonic Systems, AES preprint 2465 (H-5), 1987
22. D. Griesinger, Neue Perspektiven für koinzidente und quasi-koinzidente Mikrofonverfahren, in: Bericht zur 14. Tonmeistertagung 1986, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 122 - 134
23. M. Gerzon, Stereo Shuffling, New Approach – Old Technique, Studio Sound, July 1986, S. 122 ff.
24. T. McCormick, An LF Phase Shuffler, Studio Sound, March 1986, S. 76 ff.

3. Ein neues XY-Mikrofon

Die Vorstellung eines neuartigen Intensitätsstereomikrofons wird zum Anlass genommen, XY- und AB-Aufnahmetechnik in kurzer Form einander gegenüberzustellen. Neben der Beschreibung des neuen Mikrofons werden damit wesentliche Feststellungen der ersten beiden Aufsätze wiederholt, und die AB-Technik wird besonders anschaulich dargestellt.

Verschiedene Stereotechniken

Der Abstand zwischen den beiden Kapseln eines Stereomikrofons spielt eine entscheidende Rolle. Das AB-System mit Kapselabständen von mehr als einem Meter kann man als einen Extremfall betrachten. Das andere Extrem ist die koinzidente Stereoaufnahme mit zwei dicht beieinander, meist übereinander angeordneten Mikrofonen. Man spricht auch von Intensitätsstereofonie obwohl es eigentlich nur Pegelunterschiede sind, die die stereofone Abbildung bewirken ohne Laufzeitunterschiede zu nutzen. Die XY -Stereofonie gehört dazu

Das ORTF-Mikrofon stellt einen gesunden Kompromiss zwischen diesen beiden Extremen dar. Da es nicht mit den typischen Nachteilen der AB-Technik mit Mikrofonabständen von 40cm bis 80cm behaftet ist, sollte man es nicht als "AB-System" bezeichnen. Bei einigen Anwendern, insbesondere außerhalb Frankreichs, entsteht bereits durch die Bezeichnung AB eine Abneigung. Das ORTF-Mikrofon gehört zu den Äquivalenzstereomikrofonen (siehe Aufsatz 2).

Probleme mit AB

Die Kritik an AB beruht auf der bekannten Tatsache, dass zwei Mikrofone in großem Abstand zueinander in Abhängigkeit vom Schalleinfallswinkel und der Frequenz Signale liefern, deren Phasenlage zueinander sich ständig ändert. Dem Abstandsunterschied von der Schall-

quelle zu den beiden Mikrofonen entsprechen für bestimmte Frequenzen ungeradzahlige oder geradzahlige Vielfache der akustischen Wellenlänge. Dementsprechend sind die Signale gleichphasig oder gegenphasig.

Bei Frequenzen über 2kHz spielt dies keine negative Rolle, da das Richtungshören bei hohen Frequenzen nur auf Pegeldifferenzen beruht. Bei Frequenzen unterhalb etwa 700Hz ist die Phase für die genaue Lokalisation aber von großer Bedeutung. Nur wenn die Phasenbeziehung bei tiefen Frequenzen zwischen den Kanälen gleich bleibt, kann die Lokalisation einzelner Schallquellen bei tiefen Frequenzen funktionieren /1/. Es ist ein Irrtum, wenn behauptet wird, tiefe Frequenzen könne man generell nicht lokalisieren.

Der größte Vorteil der AB-Stereofonie besteht darin, dass damit auch Mikrofone mit Kugelcharakteristik für Stereofonie eingesetzt werden können. Prinzipbedingt sind sie die einzigen, die auch tiefste Frequenzen ungeschwächt übertragen, und dies auch nur, wenn es sich um so genannte "elektrische Wandler", wie Kondensatormikrofone handelt.

Anwendung von AB

In welchem Abstand die Mikrofone eines AB-Pärchens stehen müssen, kann man mittlerweile genau sagen /3/. Dies hängt davon ab, unter welchem Winkel 2. man das Orchester sieht, wenn man sich genau zwischen die Mikrofone stellt. Man weiß z.B., dass eine Zeitverzögerung von ca. 1,2msec zwischen zwei Stereosignalen gleichen Pegels genügt, um eine Schallquelle extrem links oder rechts der stereofonen Lautsprecherbasis zu lokalisieren (Abb. 1). Dieses Kriterium ist nicht scharf und Eberhard Sengpiel /2/ rechnet z.B. mit 1,5msec.

Die Lokalisation der extrem links oder rechts sitzenden Musiker erwartet man bei der Wiedergabe an den Rändern der Stereobasis,

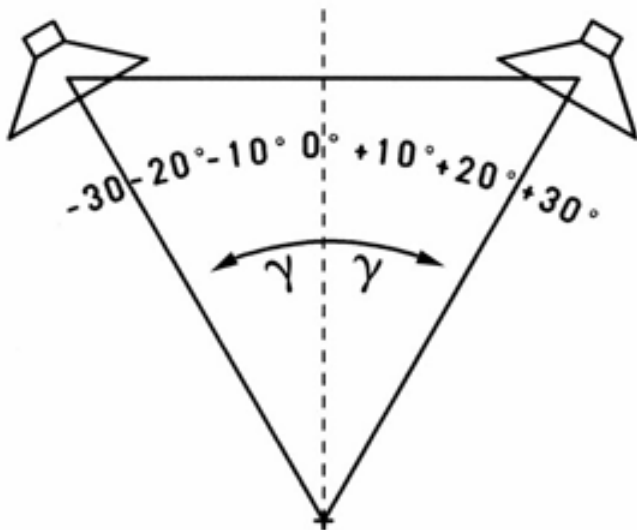


Abb. 1: Stereofone Wiedergabeanordnung

also in Richtung der Lautsprecher. Die Signale der außen sitzenden Musiker müssen also zu einer Laufzeitdifferenz von besagten 1,2msec zwischen den Mikrofonen führen.

Wenn man zwecks einfacher Veranschaulichung annimmt, die Mikrofone wären so dicht

am Orchester aufgestellt, dass sie mit den am weitesten links und rechts platzierten Schallquellen einen Winkel von 180° einschließen, so entspricht die Laufzeit zwischen den Mikrofonen der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall in Luft. (Abb. 2)

Für 1,2msec müssen die Mikrofone also ca. 40cm voneinander entfernt sein. Eine nähere Aufstellung von zwei Kugeln nebeneinander führt dazu, dass es für keine Schallquelle eine genügend lange Laufzeit gibt, um Schall in Richtung einer der Lautsprecher zu lokalisieren. Die Stereobasis wird also nicht gefüllt.

Daher müssen Stereosysteme mit Druckempfängern (Kugeln), die in kleinerem Abstand montiert sind, akustische Trennkörper verwenden. Beispiele sind: La Tête Charlin, die Jecklinscheibe und das Kugelflächenmikrofon (siehe Aufsatz 5).

Entfernt man die Mikrofone vom Orchester – bei gleichem Abstand zueinander – so wird

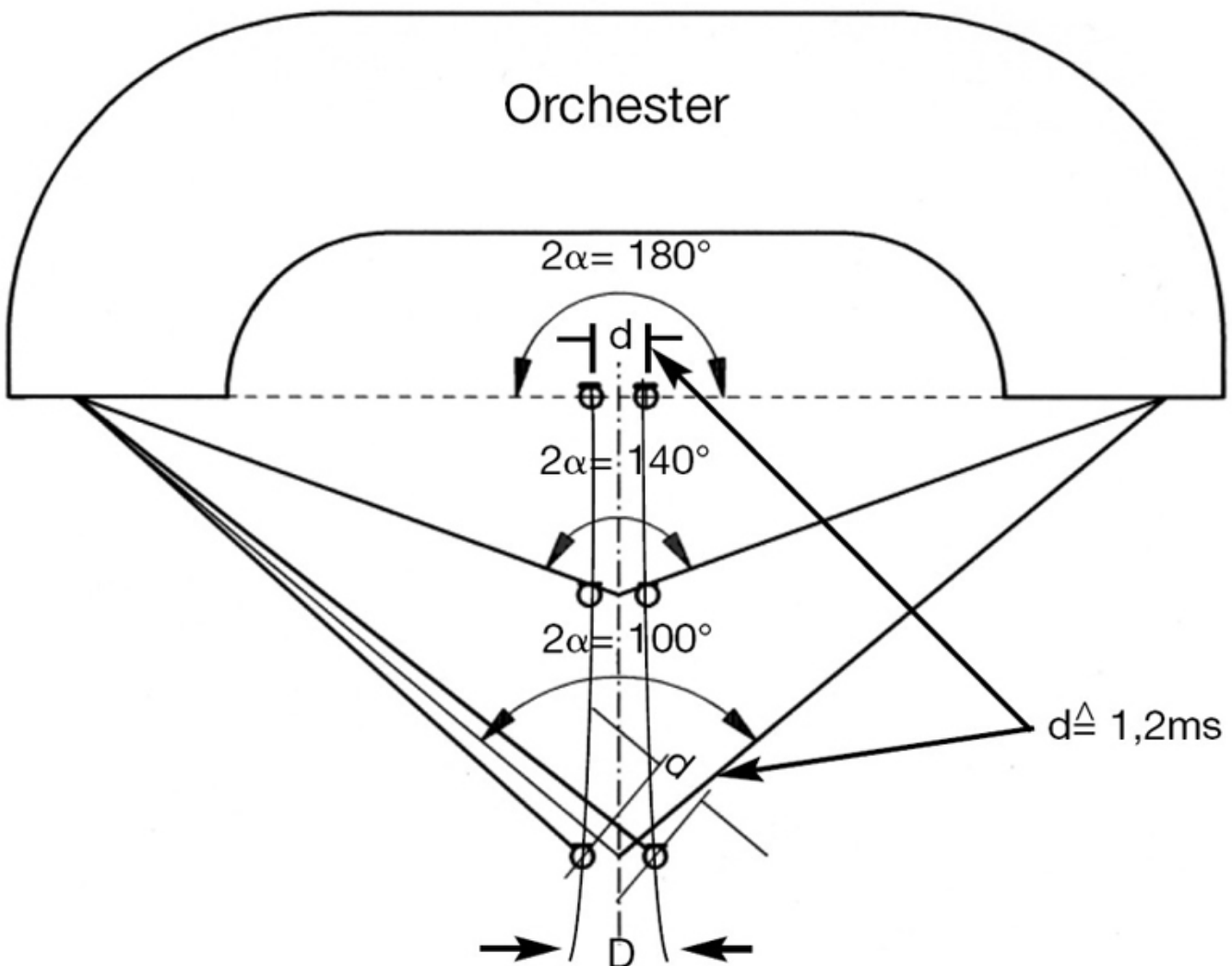


Abb. 2: AB-Aufstellung zur Projektion der Breite eines Orchesters in die Lautsprecherbasis

der Laufzeitunterschied kleiner. Um wieder 1,2msec Laufzeitdifferenz zu erzielen, müssen die Mikrofone weiter voneinander entfernt werden.

| | | | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 2α : | 60° | 80° | 100° | 120° | 140° | 160° | 180° |
| | 176 cm | 160 cm | 150 cm | 144 cm | 140 cm | 138,5 cm | 137,5 cm |

Abb. 3: Notwendiger Abstand von zwei Mikrofonen mit Kugelcharakteristik zur Erfüllung vorgegebener Aufnahmewinkel. Dieser Tabelle kann entnommen werden, in welchem Abstand voneinander zwei Kugeln in Abhängigkeit vom Sichtwinkel 2α aufgestellt werden müssen. Ihm muss der Aufnahmewinkel der AB-Anordnung entsprechen.

Besonderheit der XY-Technik

Im Gegensatz zu AB gibt es beim koinzidenten Prinzip keine Probleme mit der Lokalisation, wenn man das Stereomikrofon richtig aufstellt (siehe Aufsatz 2). Leider gibt es aber auch hier einen Nachteil: Die stereofone Abbildung erfährt eine Konzentration in der Mitte zwischen den Lautsprechern. Der Grund dafür besteht in der hohen Korrelation der Signale, die von zwei dicht benachbarten Nieren aus dem diffusen Schallfeld aufgenommen werden /4/. Veranschaulicht kann man sagen, dass ein Teil des diffusen Schallfelds in Mono übertra-

gen wird. Beim ORTF-Mikrofon ist dies weniger der Fall, weil durch den kleinen Abstand der Kapseln bereits eine Dekorrelation der Diffusfeldsignale entsteht. Andererseits kann eine Konzentration der Lokalisation in der Mitte auch sinnvoll sein. So ist es z.B. gar nicht erwünscht, wenn das Konzert eines Soloinstruments zu breit abgebildet wird. Ähnliche Verhältnisse hat man, wenn nur eine kleine Musikergruppe aufgenommen wird. Ein besonderer Vorteil ergibt sich ferner bei der stereofonen Übertragung des Fernsehtons. Wenn dieser verstärkt in der Mitte lokalisiert wird, ist das gut, denn dort steht der Bildschirm /5/. Bei anderen Anwendungen, bei denen der diffuse Schall nur eine untergeordnete Rolle spielt, gibt es natürlich generell keinen Schwachpunkt der XY-Stereofonie.

Das neue XY-Miniaturmikrofon

XY-Mikrofone sind bisher alle groß und unhandlich, so dass sie nicht für die Optik des Fernsehbilds geeignet sind. Nachdem SCHOEPS eine neue Serie von Kleinstmikrofonen entwickelt hat (Compact Condenser

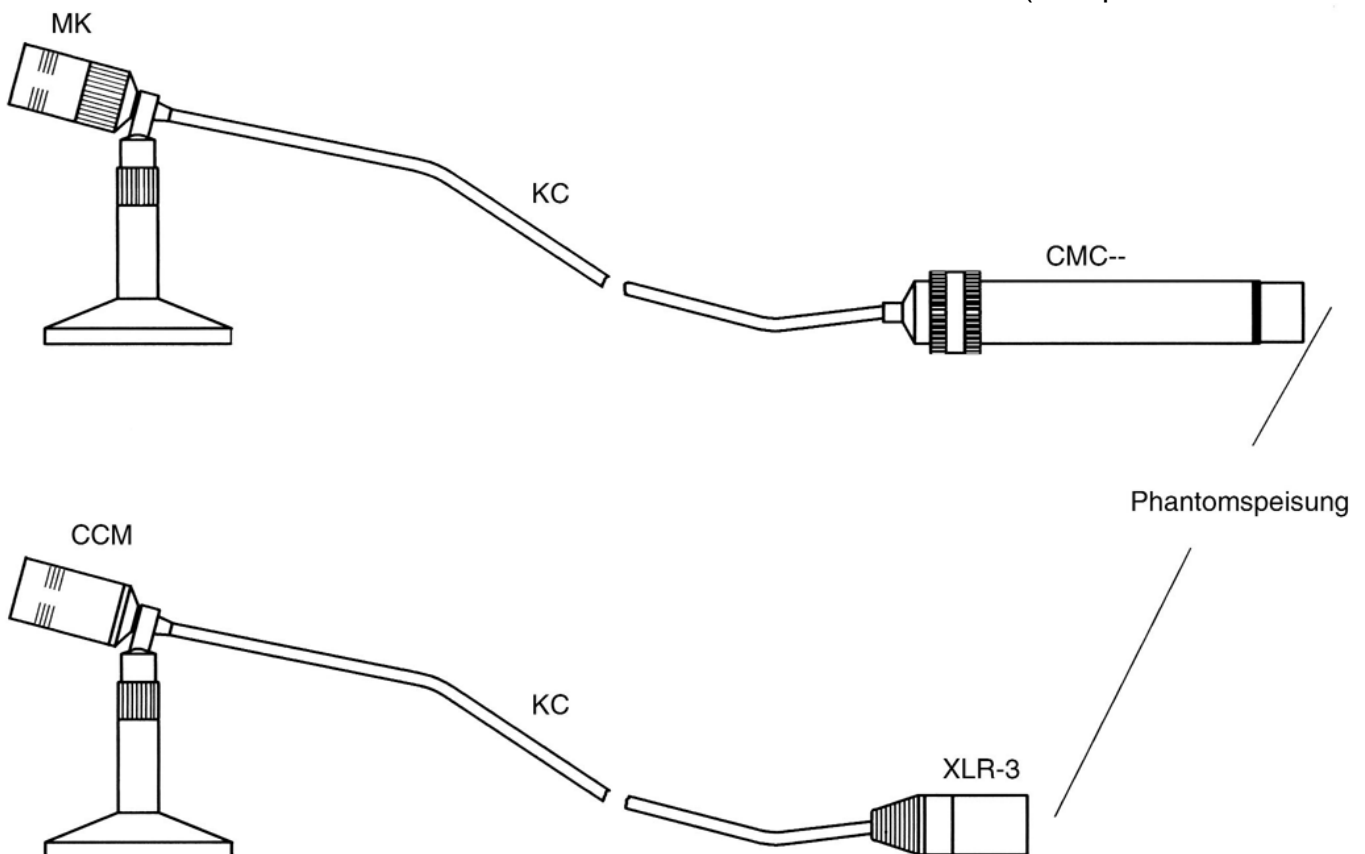


Abb. 4 oben: Miniaturisierung mittels der seit 1973 gebauten Serie Colette, unten: Die neue Miniaturserie zum unmittelbaren Anschluss an die Phantomspeisung.

Microphones CCM#, Durchmesser 20mm, Länge 45 - 57mm), deren technische Daten ebenso gut sind wie die üblicher Kondensator-Studiomikrofone, ist es nahe liegend, auf der gleichen Technik basierend auch ein Stereomikrofon zu bauen. Bei der Serie CCM sind die Wandler die gleichen wie in den Kapseln der Serie Colette. Durch die Anwendung von SMD- und Dickschichttechnik bei der Elektronik wird jedoch eine besonders kleine Bauform möglich.

Da auch mit der Serie Colette eine Miniaturisierung mittels des "aktiven Kabels" möglich ist, ist der Hinweis angebracht, dass das CCM# praktisch gleich aussieht, aber am Kabelende den Standard-XLR-Stecker aufweist. Der Verstärker CMC# und das Problem, ihn irgendwo unterzubringen, entfallen (Abb. 4).

Die Elektronik besteht aus drei übereinander angeordneten, runden Platinen mit über 100 Bauelementen. Die kapselseitige Platine enthält die wesentliche Audio-Elektronik, dann kommt eine abschirmende Platine und schließlich der Gleichspannungswandler für die Polarisierungsspannung. So kann trotz Miniaturisierung auf die Anwendung eines Elektrets verzichtet werden.

Für das neue Stereomikrofon werden natürlich zwei dieser Module mit zwei Nieren, die der Kapsel MK 4V entsprechen, verwandt. Eine Besonderheit dieses Stereomikrofons ist die Anordnung der beiden Kapseln dicht nebeneinander. Zunächst scheint dies der Forderung nach Koinzidenz zu widersprechen, aber durch die Miniaturisierung befinden sich die beiden Wandler so dicht nebeneinander, dass sie gemeinsam gerade den Durchmesser großer Stereomikrofone erreichen (Abb. 6).

Abb. 5 zeigt den Frequenzgang der Mono-summe für den ungünstigsten Fall von seitlich eintreffendem Schall im Vergleich zum Frequenzgang eines Einzelwandlers.

Die Montage der Kapseln nebeneinander hat aber einen großen Vorteil: Da die Kapseln über Zahnräder miteinander gekoppelt sind, dreht sich bei Änderung der Einstellung des Hauptachsenwinkels die benachbarte Kapsel immer in der entgegengesetzten Richtung mit. Somit bleibt die stereofone Hauptachse unverändert.

Die Benutzung der bekannten XY-Mikrofone hingegen ist vergleichsweise umständlich, da nach der Einstellung des Winkels zwischen

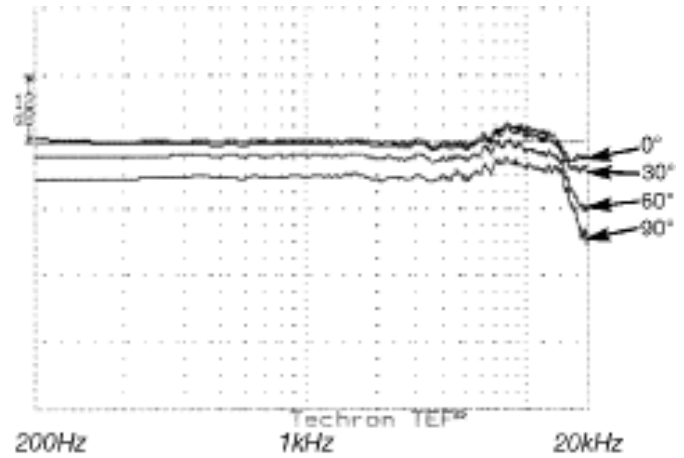


Abb. 5 Frequenzgang der Mono-summe für Schall aus verschiedenen Richtungen

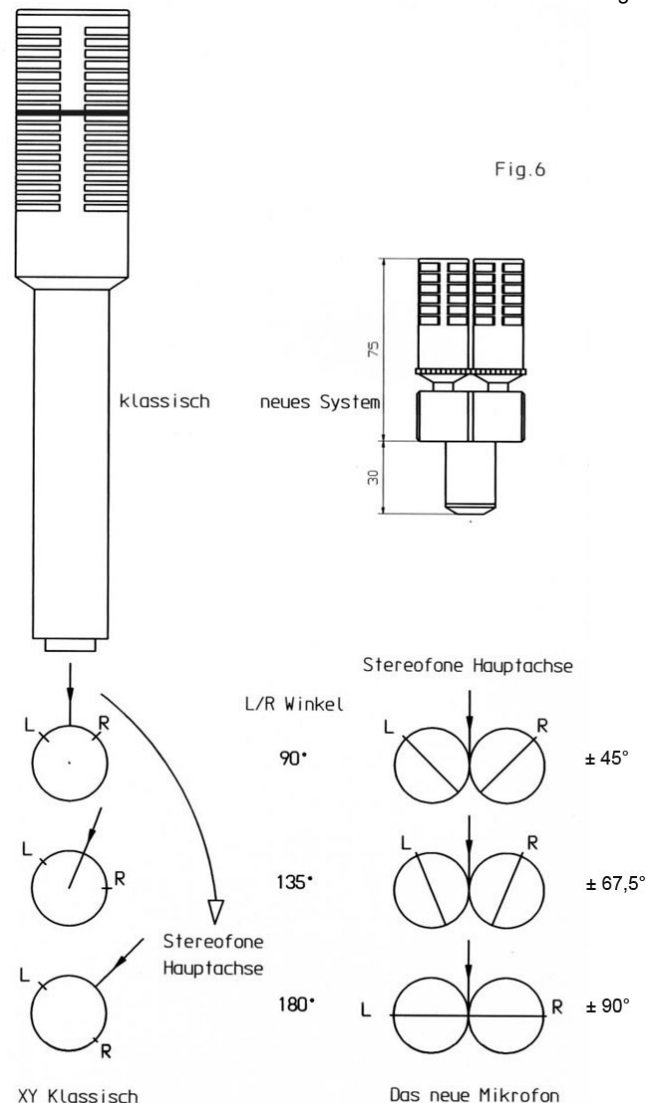


Abb. 6 Das neue Stereomikrofon CMXY 4 V im Vergleich mit der herkömmlichen Lösung

den Kapseln jedes Mal auch die Hauptachse neu eingerichtet werden muss.

Das Mikrofon kann direkt auf den Tisch gestellt werden, wenn man das Steckerteil nach vorne oder nach hinten abwinkelt, oder man verwendet ein kleines Stativ zur Verringerung von Kammfiltereffekten durch Reflexionen an der Unterlage. Die Montage kann mit dem Standard-SCHOEPS-Zubehör erfolgen, so dass es z.B. unter dem Tisch oder an einem Stativ befestigt werden kann. Einen Windschutz mit integrierter elastischer Aufhängung gibt es auch (WSR CMXY).

Die Abmessungen des Mikrofons betragen 75/30(H) x 45(B) x 20(T)mm. Sein Gewicht ist 180g. Um die Miniaturisierung zu erhalten, ist die Normalausführung mit einem 5-poligen Miniaturstecker von Binder versehen. Das Kabel kann danach leicht an zwei Eingänge mit 12V- oder 48V-Phantomspeisung adaptiert werden.

Für Anwender, denen es auf äußerste Miniaturisierung nicht ankommt, steht auch eine Ausführung mit XLR-5-Stecker zur Verfügung.

Nutzung als Mono-Mikrofon mit kontinuierlich einstellbarer Richtcharakteristik.

Eine besondere Nutzung ergibt sich, wenn man die beiden Nieren in einem Winkel von 180° zueinander einstellt und die Signale mischt.

Die Summe der beiden genügend nah beieinander angeordneten Nieren ergibt eine Kugel und die Differenz eine Acht. Durch das Mischungsverhältnis lassen sich alle Richtcharakteristika kontinuierlich am Mischpult einstellen. Die Hauptachse entspricht natürlich der der beiden Nieren. Eine richtet nach vorne und die andere nach hinten. Wenn man die nach hinten zeigende Niere in der Phase dreht und nur schwach zumischt, ergibt sich z.B. Supernierencharakteristik nach vorne. Die Ergebnisse sind gut, /6/ aber man kann eine weitere Technik erproben, die bis heute noch nicht genügend bekannt ist. Sie wird in /7/ beschrieben, hatte zum Zeitpunkt der ersten Publikation aber noch nicht ihren heutigen Namen „PolarFlex“ /<http://www.sengpielaudio.com/PolarFlex.pdf>/ <http://www.sengpielaudio.com/PolarFlex-Bedienungsanleitung.pdf>

Bei dem Verfahren „PolarFlex“ /8/ kann man das Polardiagramm je nach Frequenz unterschiedlich einstellen, indem das Mischungsverhältnis der beiden Kanäle durch individuelle Veränderung der Frequenzgänge frequenzabhängig wird. Angenehm ist dabei auch, dass diese Einstellungen auch noch nach der zweikanaligen Aufnahme gemacht werden können. Das ermöglicht die „Wahl des Mikrofons“ im Nachhinein.

Neutral klingende Mikrofone sollten allerdings im gesamten Übertragungsbereich das gleiche Polardiagramm beibehalten, jedoch besteht der Reiz besonders klingender Mikrofone ausgerechnet darin, dass deren Polardiagramm oft recht stark mit der Frequenz variiert (siehe Datenblätter, <http://www.microphone-data.com>). Für Großmembranmikrofone ist das typisch und physikalisch erklärlich. Mit PolarFlex wird dieses Verhalten aber dosiert einstellbar. Man kann also erproben, welche Merkmale für bestimmte Klänge nützlich sind. Der Eigenklang verschiedenster Mikrofone lässt sich simulieren und für spezielle Anwendungen sogar überzeichnen. Darüber hinaus lassen sich Merkmale einstellen, wie sie sich bei der Konstruktion großer Mikrofone nie ergeben. Das sind insbesondere Richtwirkungen, die bei tiefen Frequenzen zunehmen. Damit sind neue Anwendungen möglich.

Literaturverzeichnis:

1. S.P. Lipshitz, University of Waterloo, Ontario, Canada, Stereo Microphone Techniques: Are the Purists Wrong?, AES preprint 2261 (D-5) oder J. Audio Eng. Soc., Vol. 34, no. 9, 1986
2. E. Sengpiel, Blätter zu den Vorlesungen „Musikübertragung“ an der HdK Berlin, seit 1990 www.sengpielaudio.com
3. M. Williams, AES Publication European Representative, Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording, AES preprint 2466 (H-6) 1987, www.mmad.info
4. G. Theile, Hauptmikrofon und Stütz-mikrofone – Neue Gesichtspunkte für ein bewährtes Aufnahmeverfahren, in: Bericht zur 13. Tonmeistertagung 1984, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 170 - 184

5. Ch. Hugonnet, Ein neues Konzept der räumlichen Kohärenz zwischen Ton und Bild bei Fernsehproduktionen mit stereofonem oder Surround-Ton, in: Bericht zur 19. Tonmeistertagung 1996, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 104 - 116
6. Ch. Langen, Mikrofon mit frequenzabhängig einstellbarem Bündelungsmaß, Bericht zur 20. Tonmeistertagung 1988, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister
7. J. Wuttke, Wie universell kann ein Mikrofon sein?, Bericht zur 19. Tonmeistertagung 1996, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, (entspricht Aufsatz 7 in diesem Sammelband)
8. J. Wuttke, PolarFlex – Ein Mikrofonsystem für die Zukunft

4. Miniaturisiertes Stereo-Aufnahmesystem mit MS-Matrix

Dieser Aufsatz beschreibt, wie mit zwei Miniaturmikrofonen verschiedene Stereo-Hauptmikrofone aufgebaut werden können. Die Produkte unterliegen seit 1990 einigem Wandel und Ergänzungen (siehe Katalog). Die Besonderheiten der MS-Technik sind aber allgemein gültig und bleiben daher von unverändertem Interesse.

Seit mehr als 15 Jahren ist die Miniaturisierung der Mikrofone der Serie Colette erfolgreich /1/ (Abb. 1). Inzwischen besteht auch für stereofone Mikrofone der Wunsch, sie mögen besonders klein und leicht sein, und es war daher nahe liegend, auf der Basis der bisherigen Erfahrungen ein Miniatur-Stereomikrofon zu bauen.

Um möglichst viele, heute anerkannte oder auch zukünftige Stereoverfahren zu ermög-

lichen, sollte das neue Produkt nicht nur für die bekannten Koinzidenzverfahren konzipiert sein. Dies führte zum aktiven Y-Kabel, das sich von der bewährten Monoversion elektrisch nur durch eine weitere Kabelader für das zweite Signal unterscheidet. Die Polarisationsspannung und die Stromversorgung der Impedanzwandlerstufen werden erst ab dem Knotenpunkt des Kabels getrennt zu den beiden kapselseitigen Enden geführt.

Abb. 2 zeigt das Y-Kabel im Einsatz mit verschiedenem Zubehör, mit dem sich jeweils eine komplette Stereoeinheit ergibt. Fertig montiert, arbeitet man damit wie mit jedem anderen Stereomikrofon. Durch das Baukastensystem eröffnet sich aber eine besonders breite Palette von Anwendungsmöglichkeiten.



Abb. 1: Mikrofone der Serie Colette



Abb. 2: Einsatz des Y-Kabels, als MS-Einheit (oben) und als ORTF-Mikrofon (unten)

Das Y-Kabel endet mit einem 5-poligen Miniaturstecker. Die Wahl dieses an seinem Überwurf verschraubbaren Steckers erlaubt eine klapperfreie Verbindung, die das Ziel der Konstruktion auch größen- und gewichtsmäßig wahrt. Wenn ein am Mikrofon befestigtes Kabel nicht stört, kann durch Wahl eines längeren Y-Kabels auch noch das Gewicht der Steckverbindung eingespart werden.

Als erstes soll der Einsatz als MS-Mikrofon beschrieben werden.

Abb. 2 zeigt, wie die beiden Kapseln mit einem Zubehörteil übereinander montiert werden können. Abb. 3 zeigt die gleiche Anordnung mit einer elastischen Aufhängung in einen Windschutz integriert.

Für den mobilen Betrieb wird das Y-Kabel an das ebenfalls abgebildete Gerät angeschlossen, das mit Batterien oder Akkus betrieben werden kann und eine schaltbare Vorverstärkung von 20dB, 30dB und 40dB enthält. Außerdem ist eine MS-Matrix eingebaut, die entweder bei der Aufnahme oder auch zur Nachbearbeitung von MS-Signalen eingesetzt werden kann. Abb. 4 zeigt das



Abb. 3: Im Windschutz integrierte MS-Anordnung an der Angel; mit Verstärker-Matrix VMS 02 IB

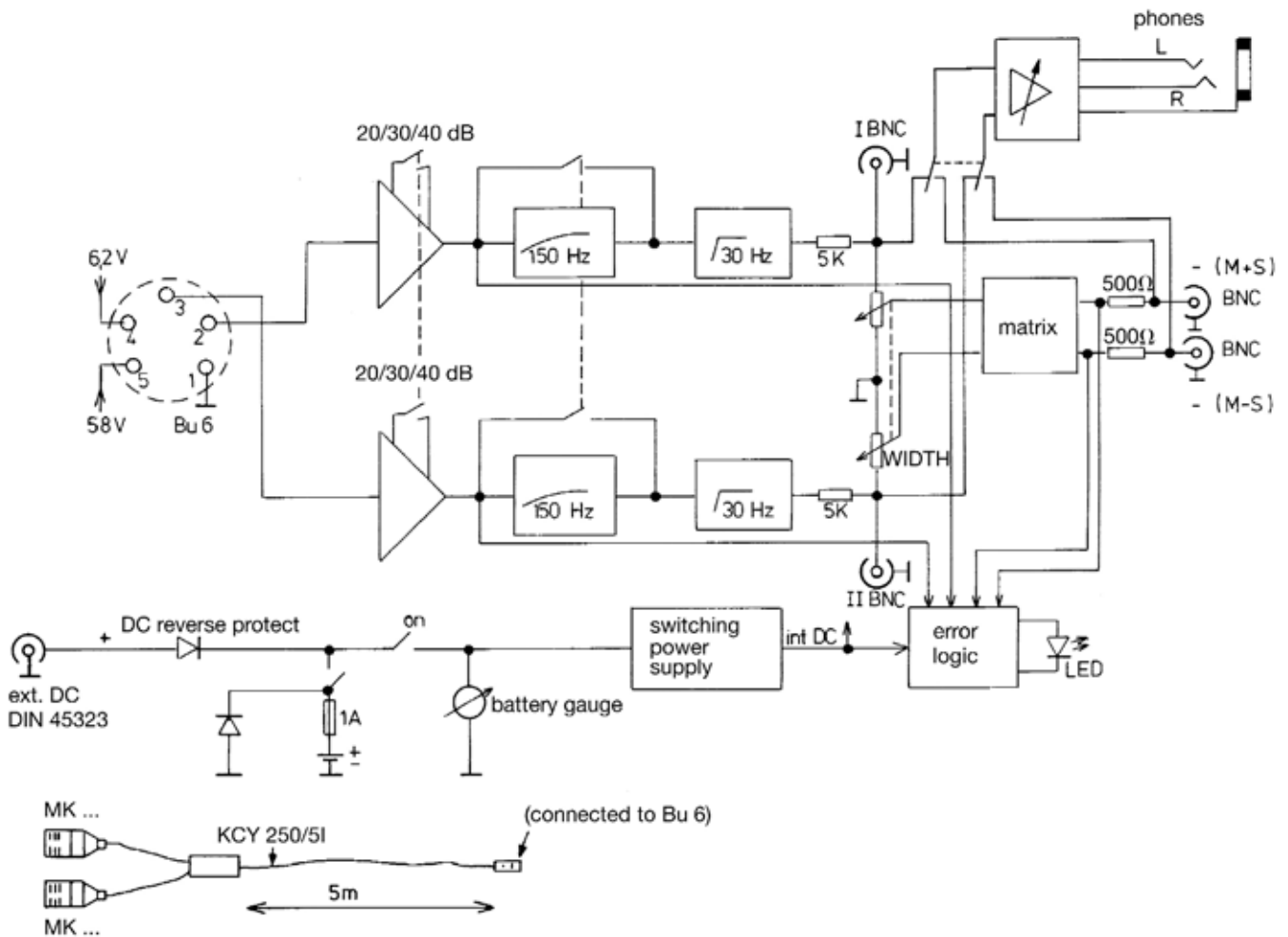


Abb. 4: Blockschaltbild der Verstärker-Matrix

Blockdiagramm, auf dem auch weitere Details, wie schaltbares Tiefenfilter, Infrarotfilter und Overload-Indikator zu sehen sind.

Die Ausgänge nach der Verstärkung und nach dem Matrixteil sind zum Anschluss an Linieneingänge geeignet. Um das Gerät möglichst klein zu bauen und im Hinblick auf kurze Verbindungen beim mobilen Betrieb, sind die Ausgänge unsymmetrische BNC-Dosen. Sie sind zwar relativ selten in der NF-Technik, haben aber den Vorteil, weit verbreitet zu sein und sind im Gegensatz zu den wenig beliebten und dennoch auch im Studio anzutreffenden Cinch-Kontakten verriegelbar.

Das matrixierte Signal kann über einen eingebauten Kopfhörerverstärker mitgehört werden.

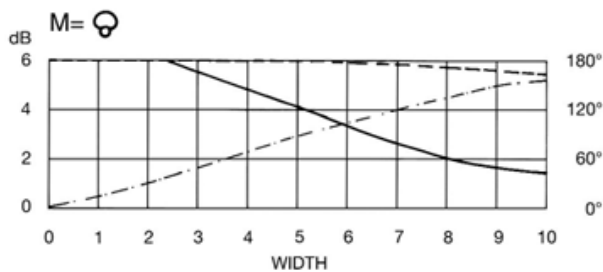
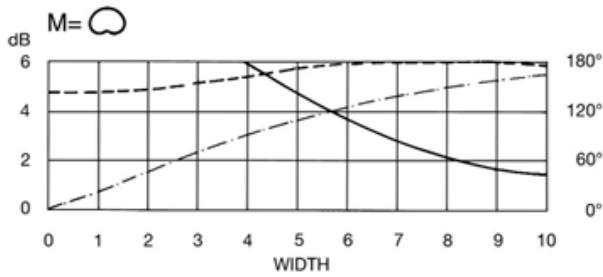
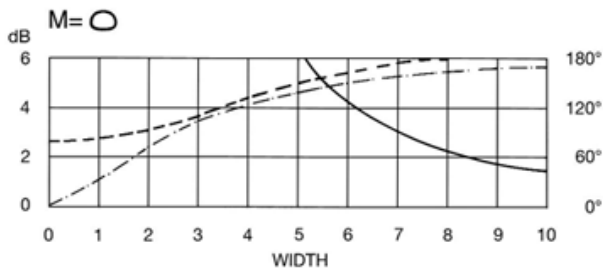
Über die Matrixierung als solche gibt es viele ausführliche Beschreibungen, z.B. /2/, /3/, /4/. Daher soll hier nur auf die anwendungspraktischen Gesichtspunkte hingewiesen werden, die über Erfolg oder Misserfolg bei MS-Aufnahmen entscheiden können.

Abb. 5 zeigt die kennzeichnenden Daten der MS Matrixierung in Abhängigkeit von der Potentiometerstellung des Basisbreitenreglers. Das Bündelungsmaß und der Achsenwinkel sind meist mehr von akademischem Interesse.

Dagegen ist die Berücksichtigung des Bereiches in welchem das M-Signal größer ist als das S-Signal von großer Bedeutung bei der Anwendung. Man kann diesen Bereich Aufnahmebereich nennen oder auch MS-Aufnahmewinkel. Er ist etwas anderes als der öfter diskutierte stereofone Aufnahmewinkel (z.B. in Aufsatz 2). Die praktische Bedeutung soll an einem Beispiel gezeigt werden bei dem im M-Kanal eine Niere verwandt wird.

Die Summenbildung des M- und des S-Signals ergibt bekanntermaßen den linken Kanal, der einfachheitshalber allein betrachtet wird. Die Differenzbildung ergäbe in gleicher Weise, symmetrisch zur Stereohauptachse, den rechten Kanal.

Unabhängig von der Verstärkung im M- und S-Kanal ergibt sich in diesem Beispiel für



- Aufnahmebereich (MS-Aufnahmewinkel)
- - - - - Achsenwinkel
- . - . - Bündelungsmaß für verschiedene Richtcharakteristiken im M-Kanal in Abhängigkeit von der Stellung des Width-Reglers des Geräts VMS 02 IB

Abb. 5

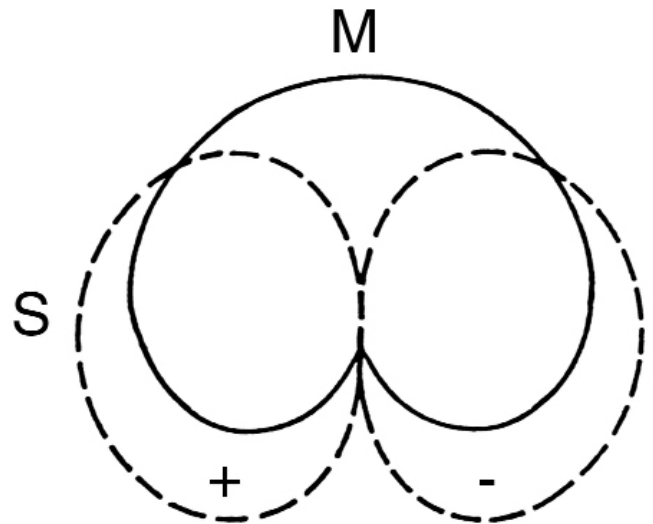


Abb. 6 a: MS mit Niere und Acht

Schalleinfall aus 180° immer die Ausgangsspannung Null, da sowohl die Niere als auch die seitlich gerichtete Acht keinen Beitrag liefern (Abb. 6a). Gleichzeitig können die entstehenden Richtdiagramme nur die dargestellten bekannten Formen von Druckgradientenempfängern erster Ordnung annehmen. Das bedeutet aber, dass immer dann, wenn ein Richtdiagramm in einer anderen Richtung als 180° die minimale Empfindlichkeit aufweist, eine rückseitige Empfindlichkeitskeule vorhanden sein muss.

Die Richtcharakteristik "Niere" kann bei Verwendung einer Niere im M-Kanal folglich nur dann auch nach der Matrixierung noch vorliegen, wenn das S-Signal zu Null gewählt wird, also nur im Fall der Mono-Einstellung. Sobald

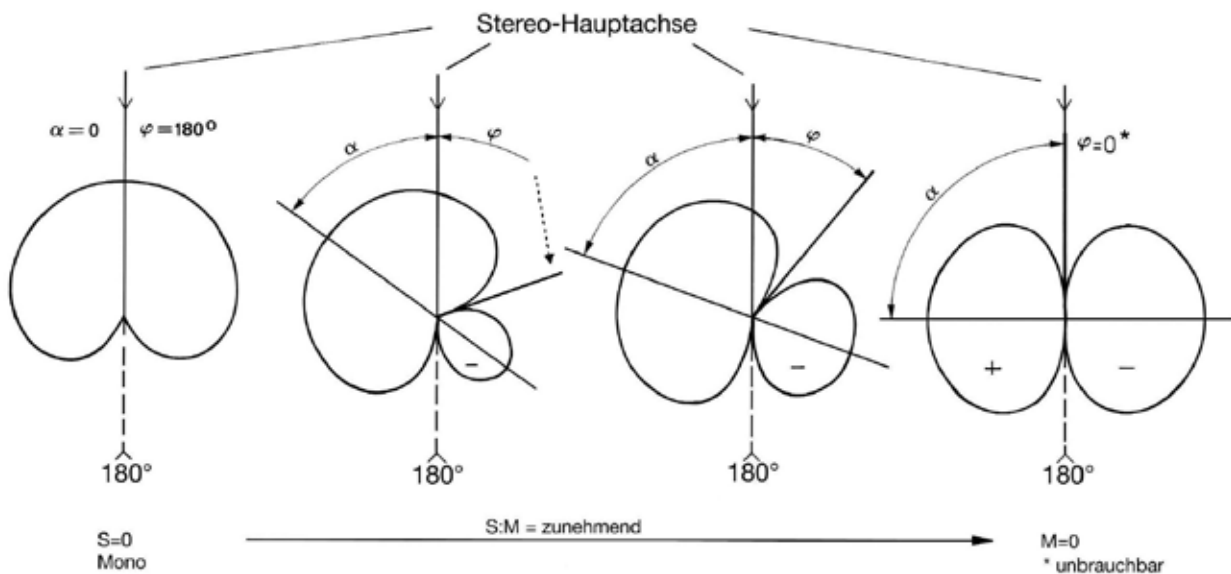


Abb. 6 b linker Kanal nach Matrixierung (M+S) mit halbem MS-Aufnahmewinkel ϕ und halbem Achsenwinkel α

das S-Signal für Stereophonie sorgt, entstehen Links/Rechts-Richtdiagramme mit rückwärtigen Empfindlichkeitskeulen, die noch dazu mit einer Phasenumkehr verbunden sind.

Nach zunächst freudigem Spiel mit dem Basisbreitenregler ist schon mancher Opfer von folgendem Sachverhalt geworden: In Abb. 6b erkennt man, dass eine Schallquelle, die immer weiter nach rechts wandert, zunächst ordnungsgemäß immer kleinere Pegel in dem nach links gerichteten Richtdiagramm ergibt. Dann aber, nach Überschreiten des Minimums im Polardiagramm, wird das Signal wieder größer, und die eindeutig rechts liegende Schallquelle wird im linken Kanal übertragen! Da das Signal außerdem gegenphasig übertragen wird, sind weitere Probleme erklärlich (man sehe hierzu: www.sengpielaudio.com/BasisUndUeberbasis.pdf). Bei Dolby Surround z.B. kommt es zu einer Abbildung in den Surround-Kanälen.

Wer diese Verhältnisse kennt, weiß, dass Vorsicht im Umgang mit dem S-Signal geboten ist. Wenn die M-Kapsel stärker als eine Niere richtet, erhöht sich das Risiko.

Der Winkel 2ϕ in Abb. 6b umfasst den nutzbaren Winkel ohne vertauschte Seitenabbildung und Phasenwechsel. Häufig wird dieser Winkel „Aufnahmebereich“ genannt, obwohl dieser Begriff auch im Zusammenhang mit stereofoner Lokalisation benutzt wird und andere Werte hat. Zur Präzisierung könnte man von MS-Aufnahmewinkel sprechen und bei Lokalisationskurven von stereofonem Aufnahmewinkel (Recording Angel /5/11/).

Der (stereofone) Aufnahmewinkel nach Williams ist der Winkel, unter dem die extrem links und rechts platzierten Schallquellen, vom Ort eines beliebigen Stereo-Mikrofons aus gesehen, genügend große Unterschiede zwischen den Kanälen produzieren, um bei der Wiedergabe extrem links bzw. rechts geortet zu werden (siehe auch Aufsätze /1/, /2/). Die Unterschiede dürfen dabei Pegel- oder Laufzeitunterschiede oder eine Kombination beider sein. Das Stereo-Mikrofon ist danach richtig aufgestellt, wenn der oben beschriebene „Sichtwinkel“ am Ort des Mikrofons dem aus Tabellen ersichtlichen Aufnahmewinkel des Stereo-Mikrofons entspricht /5/, /6/, /10/.

Der Aufnahmewinkel nach Williams ist allgemein kleiner als der zuvor für MS beschriebene Aufnahmebereich /7/. Das bedeutet, dass bei einer Steigerung des Verhältnisses S:M zunächst eine Häufung der linken und rechten Schallquellen eintritt, bevor die typischen MS-Probleme zu erwarten sind.

Wie schon gesagt ist festzustellen, dass die Begriffe „Aufnahmewinkel“ und „Aufnahmebereich“ in der Literatur nicht einheitlich verwendet werden und dass darauf geachtet werden muss, ob der einfache oder doppelte Zahlenwert dieser Winkel in der Praxis anzusetzen ist.

Eine Besonderheit der koinzidenten Mikrofontechniken ist die Möglichkeit der Nachbearbeitung. Sie sollte natürlich nur erfolgen, wenn noch keine Stützmikrofone zu den XY-Signalen beigemischt wurden, erlaubt dann aber sogar die Korrektur von Lokalisationsfehlern. Speziell zur Harmonisierung von Ton mit Bild werden MS-Signale gerne erst

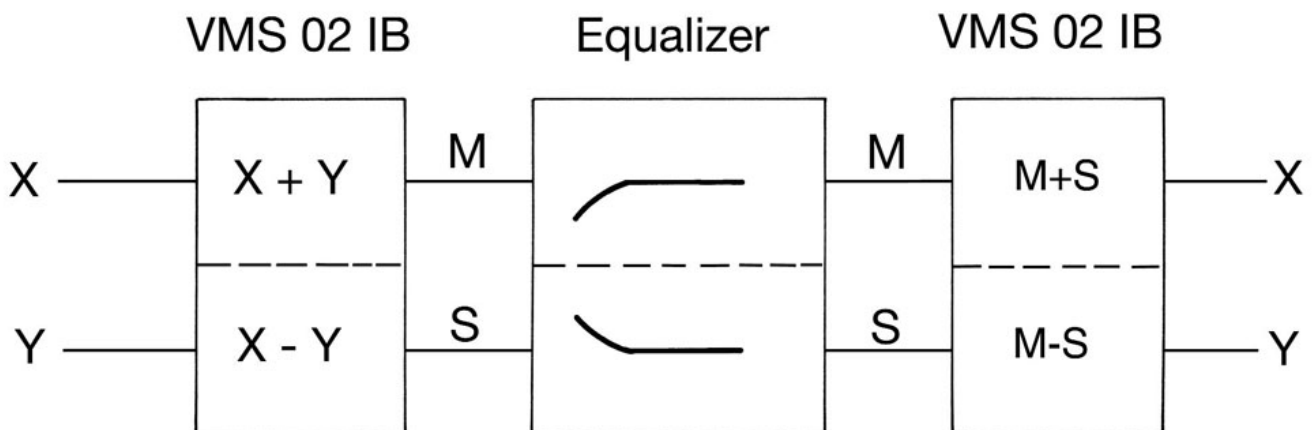


Abb. 7: Shuffling

beim Betrachten des Bildes matriziert. Mit der zuvor schon beschriebenen Verstärker-Matrixbox (Abb. 3, 4) ist das möglich, indem die MS-Signale in die normalerweise als Ausgänge genutzten Kontakte I und II eingespeist werden. Die Mittellohmigkeit dieser Schnittstelle erlaubt dies.

Mit zwei Matrixboxen kann eine bessere räumliche Auflösung koinzident gemachter Aufnahmen erfolgen. Das Prinzip wird "Shuffling" genannt /8/ und ist in Abb. 7 dargestellt. Dazu sind ein M- und ein S-Kanal erforderlich, die sich auch aus monokompatiblen XY-Signalen ableiten lassen. Wenn die Frequenzgänge von "M" und "S" gegenläufig beeinflusst werden, ergibt sich nach der MS-Dekodierung zweierlei:

1. Der resultierende Frequenzgang wird wieder konstant erscheinen.

2. Das Verhältnis von M:S wird frequenzabhängig und damit auch der Achsenwinkel des linken und rechten Polardiagramms. So kann man erreichen, dass der Pegelunterschied zwischen den Kanälen bei tiefen Frequenzen größer ist als bei hohen Frequenzen, wie es für eine frequenzunabhängige Lokalisation erforderlich ist /9/.

Ergänzung (2004):

Mit der doppelten MS-Technik (<http://www.schoeps.de/de/products/double-ms-set-plugin>) können Surround-Aufnahmen gemacht werden. Eine Niere ist nach vorne gerichtet, eine zweite nach hinten. Der S-Kanal wird gemeinsam für vorne und hinten genutzt, sodass insgesamt nur drei Kanäle benötigt werden. Natürlich kann man mit zwei getrennten MS-Matrixen arbeiten. Viel besser ist es aber wenn die Signale aller drei Mikrofone kontinuierlich miteinander kombiniert werden. Damit ist es möglich vier oder auch mehr virtuelle Richtcharakteristika einzustellen. Im Gegensatz zu normaler MS-Technik kann man die Achsenwinkel frei wählen ohne dass sich die Richtcharakteristika ändern.

Literaturverzeichnis:

1. J. Wuttke, Baukastenprinzip bei Kondensatormikrofonen, in: Bericht zur 10. Tonmeistertagung 1975, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 324 - 333
2. M. Dickreiter, Mikrophon-Aufnahmetechnik, S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1984
3. W. L. Dooley und R. D. Streicher, M-S Stereo: A Powerful Technique for Working in Stereo, J. Audio Eng. Soc., vol. 30, S. 707 - 718
4. M. Hibbing, XY- und MS-Aufnahmetechnik im Vergleich, in: Bericht zur 15. Tonmeistertagung 1988, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 275 - 287, vertieft in: J. Audio Eng. Soc., vol. 37, S. 823 - 830
5. M. Williams, Institut National d'Audiovisuel, Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording, AES preprint 2466 (H-6) www.mmad.info, 1987
6. M. Dickreiter, Tonmeister Survival Kit, 1990, Michael Dickreiter, 90453 Nürnberg, Auf der Schanz 12
7. M. Williams, Operational Limits of the Variable M-S Stereophonic Microphone System, AES preprint 2931 (K-3), 1990
8. M. Gerzon, Stereo Shuffling, New Approach – Old Technique, Studio Sound, Juli 1986, S. 122 ff.
9. D. Griesinger, Neue Perspektiven für koinzidente und quasi-koinzidente Mikrofonverfahren, in: Bericht zur 14. Tonmeistertagung 1986, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 122 - 143
10. H. Wittek, www.hauptmikrofon.de, Image Assistant

5. Zwei Jahre Kugelflächenmikrofon

Dieser Aufsatz entspricht inhaltlich einem Vortrag, der auf der 17. Tonmeistertagung 1992 gehalten wurde.

Das Kugelflächenmikrofon kann der "Trennkörperstereofonie" zugeordnet werden (Aufsatz 1). Es beinhaltet gleichzeitig Merkmale des "Kunstkopfs". Seine Besonderheiten werden im folgenden Aufsatz beschrieben.

Das Kugelflächenmikrofon

Das Kugelflächenmikrofon ist ein neuartiges Stereomikrofon, das als Hauptmikrofon, also je nach Umständen auch ohne Stützmikrofone, eingesetzt werden kann. Es handelt sich um eine schallharte Kunststoff-Hohlkugel mit 20cm Durchmesser, die innen akustisch bedämpft ist. Symmetrisch zur vertikalen Achse sind elektrostatische Druckempfänger bündig eingelassen. Ferner enthält die Kugel einen stereofonen, phantomgespeisten Impedanzwandler ("Verstärker"). Er schaut nur mit seinem 5-poligen XLR-Stecker heraus. Eine mittig eingebaute LED erleichtert die Ausrichtung des Mikrofons auf das Zentrum des Schallereignisses.

Das Mikrofon wurde so entwickelt, dass es genau definierten Forderungen entspricht /1/, /2/.

Historie

Koinzidente Mikrofone und die AB-Technik können als Extreme der stereofonen Aufnahmeverfahren angesehen werden. Dazwischen befinden sich Mikrofonanordnungen, die in vorteilhafter Weise sowohl Pegel- (ΔL) als auch Laufzeitunterschiede (Δt) nutzen /3/. Ein klassischer Vertreter dieser Mikrofone ist das "ORTF-Mikrofon", das mit zwei Nieren im Abstand 17cm und mit einem eingeschlossenen Winkel von 110° zwischen deren Hauptachsen arbeitet /4/.

Trotz beachtlicher Erfolge dieses Mikrofons gab es aber immer wieder den Wunsch,

mit elektrostatischen Druckempfängern in ähnlicher Weise aufnehmen zu können. Sie allein können selbst tiefste Frequenzen ungeschwächt übertragen, wie digitale Geräte es heute auch besonders unproblematisch erlauben.

Die übliche Methode sind dann AB-Aufnahmen mit Abständen von 50cm und mehr zwischen den Mikrofonen (Aufsatz 3). Der bekannte Nachteil besteht in der allgemein weniger guten Lokalisation der Schallquellen bei der stereofonen Wiedergabe /5/.

Um diesbezüglich eine Verbesserung zu schaffen, wurden schon Jahrzehnte zuvor Mikrofone mit Kugelcharakteristik durch akustische Hindernisse getrennt, wenn sie, einer kleinen Laufzeit entsprechend, in Abständen bis maximal 30cm voneinander eingesetzt wurden. Der Verfasser nennt diese Art der Aufnahmetechnik "Trennkörperstereofonie". Es bestehen prinzipielle Ähnlichkeiten mit Kunstköpfen.

Aus der Vielzahl verschiedener Modelle zeigen die folgenden Abbildungen einige, die besonders bekannt wurden. Dazwischen finden sich, chronologisch angeordnet, weitere Systeme ohne Bild. Die genannten Jahreszahlen geben ungefähr an, wann die ersten Versuche bekannt wurden.

Mit vielen dieser Anordnungen wurden und werden hervorragende Aufnahmen gemacht, womit wieder einmal bewiesen ist, dass es die allein und immer glücklichmachende Lösung nicht gibt. Dies kann ein Grund sein, weshalb kein Mikrofonhersteller Partei ergreifen wollte und eines dieser Systeme serienmäßig als Stereomikrofon herstellte.

Sofern im Handel erhältliche Druckempfänger zum erwünschten Ergebnis führen, ist es außerdem praktischer und vor allem preiswerter, einen geeigneten Trennkörper als Zubehör zu gestalten.



1.a 1954, "Tête Charlin" /6/ mit absorbierendem Material beklebte Kugel mit eingebauten Druckempfängern



1.b 1955, SCHOEPS-Laborprodukt Aluminium-Hohlkugel mit 20cm Durchmesser mit eingebauten Druckempfängern im Winkel 180°

1.c 1965, Kisselhoff verschiedene Trennkörper – ohne Abbildung

1.f 1985, Defossez /8/ mit seiner Spitze nach vorne gerichteter Keil aus zwei Platten, auf denen Grenzflächenmikrofone angebracht sind – ohne Abbildung



1.d 1980, "OSS", Jecklin-Scheibe /7/ mit absorbierendem Material beklebte Scheibe mit 30cm Durchmesser, mit beidseits im leichten Winkel zueinander angeordneten Druckempfängern



1.e 1985, „Clara“, (Prof. Peters) /9/ Plexiglas, schiffsbugähnlich gebogene Platte, durch der Seiten Druckempfänger von innen knapp herauschauen



1.g 1990, Geller /10/ Kugel, z.B. Fußball, als Trennkörper, zwischen zwei Druckempfängern



1.h 1990, SCHOEPS Kugelflächenmikrofon mit eingebauten Druckempfängern

Der Schritt zu einem neuen Mikrofon

Ein entscheidender Grund gegen ein Serienprodukt war auch darin zu sehen, dass kein Konstrukteur eine seriöse Entwicklung betreiben kann, wenn die zu erfüllenden technischen Bedingungen nicht derart klar formuliert vorliegen, dass sie als Grundlage für ein Pflichtenheft dienen können. Dies ist erst durch G. Theile geschehen /1/, der für das Institut für Rundfunktechnik (IRT) in München arbeitet.

Neben der besonders wichtigen Forderung, dass interaurale Unterschiede, ähnlich denen am menschlichen Kopf, von dem Mikrofon übertragen werden sollen, gilt:

1. Der Frequenzgang auf der stereofonen Hauptachse, also für Schall aus dem Zentrum des Orchesters, soll konstant ("linear") sein. Diese Forderung überrascht natürlich nicht und ist dennoch bereits eine Besonderheit! Fast alle Prospektdaten von Stereomikrofonen weisen nämlich den Frequenzgang eines einzelnen Wandler auf seiner Hauptachse aus. Die Kapseln werden im Anwendungsfall aber dominierend von Schall aus anderen Richtungen erreicht.

Oft hört man, dass diesbezüglich ein besonderer Vorteil bei MS-Stereofonie gegeben sei, da immerhin die Kapsel des M-Kanals auf die

Mitte des Orchesters gerichtet ist. Leider hat dieses Argument nur Gültigkeit, wenn dann auch nur M, also Mono, übertragen wird. Im Falle der Stereofonie ergeben sich durch die Matrizierung nämlich gleiche, nach links und rechts gerichtete Richtcharakteristiken, die oft sogar weniger frequenzunabhängig sind als die eines Einzelwandlers.

2. Auch der Frequenzgang im diffusen Schallfeld soll konstant sein. Diese Forderung ist in der Kombination mit ersterer gleichbedeutend mit einem frequenzunabhängigen Bündelungsmaß in Bezug auf die stereofone Hauptachse, was leider meist nur ein Wunsch bleibt.

Konsequenzen

Die Problemlösung erfolgte durch spezielle Kapseln, deren Verhalten in der horizontalen und vertikalen Ebene unterschiedlich ist. Diese Kapseln erforderten ferner einen Entzerrungs-Verstärker, so dass die Konstruktion eines eigenständigen Mikrofons sinnvoll und notwendig wurde.

Der Konstruktion der Kapsel waren zahlreiche Versuche vorausgegangen, um u.a. folgende Merkmale des Mikrofons zu erarbeiten:

1. Kugeldurchmesser

Der als günstig ermittelte Kugeldurchmesser beträgt 20cm. Es ist möglich, auch mit etwas kleineren oder größeren Kugeln zu arbeiten, je nachdem, ob der Aufnahmewinkel größer oder kleiner sein soll.

2. Einbauort der Wandler auf der Kugel

Diesbezüglich sind verschiedene Stellen denkbar. Gegenüberliegende Punkte, also im Winkel 180° zueinander, erlauben eine besonders gute Erfüllung der eingangs beschriebenen Forderungen bezüglich Freifeld- und Diffusfeld-Frequenzgang. Darüber hinaus ergibt sich so eine, im Falle des Kugelflächenmikrofons durchaus vorteilhafte, Vorne/Hintensymmetrie.

Prinzipielle Unterschiede zwischen traditionellen Aufnahmeverfahren und dem Kugelflächenmikrofon

Bei den bekannten Systemen AB, XY, MS, ORTF usw. ist der winkelabhängige Pegelunterschied (ΔL) zwischen den Kanälen ebenso wenig frequenzabhängig wie die Polardiagramme der verwendeten Mikrofone (Abb. 2). Eine Frequenzunabhängigkeit der Polardiagramme, wie man sie von guten Mikrofonen meist erwartet, liegt auch allen Theorien zur Aufnahmetechnik und z.B. den Definitionen von Aufnahmewinkeln zugrunde /11/, /12/, /19/.

Bei allen Konstruktionen der "Trennkörperstereofonie" ist dies anders (vgl. Abb. 2 und 4). Bei tiefen Frequenzen, deren Wellenlänge deutlich größer ist als die Abmessungen der Trennkörper, tritt auf der dem Schall abgewandten Seite nur wenig Abschattung ein, mit entsprechend kleiner Pegeldifferenz. Mit wachsender Frequenz nimmt die Abschattung zu, und der der Schallquelle zugewandte Wandler nimmt je nach Frequenz und Montageort steigende Pegel auf (Abb. 3). Die Pegelunterschiede werden also größer (Abb. 4).

Hinsichtlich des von dem Montageort abhängigen Einflusses soll hier nur darauf hingewiesen werden, dass ein Abstand zwischen

Mikrofonkapsel und Trennkörper Kammfiltereffekte zur Folge haben kann. Der bündige Einbau, wie beim Kugelflächenmikrofon, ist die bessere Lösung. Sie erlaubt aber, richtig genommen, nicht die immer wieder gemachte Annahme, es handele sich dann um ein "Grenzflächenmikrofon". Grenzflächenmikrofone erfordern um den Wandler herum eine Fläche, die um ein Vielfaches der Wellenlänge größer sein muss /13/ (Aufsatz 8). Bei den eingangs aufgelisteten Systemen ist dies für Frequenzen unter 2kHz sicher nicht der Fall. Dabei hat im Frequenzbereich, dessen Wellenlängen etwa den Abmessungen ent-

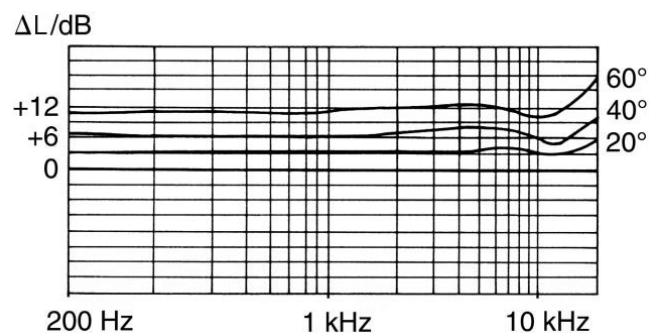


Abb. 2: Weitgehend frequenzunabhängige Pegeldifferenz bei zwei Nieren (MK 4) im Winkel 110° für drei verschiedene Schalleinfallswinkel zur stereofonen Hauptachse (20°, 40°, 60°)

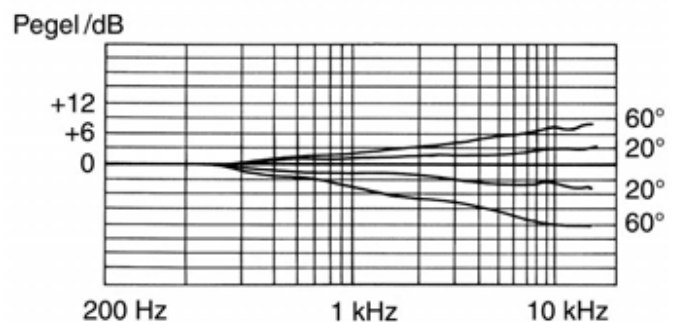


Abb. 3: Frequenzgänge des linken und rechten Wändlers des KFM 6 bei Schalleinfall von links, aus den Winkeln 20° oder 60° zur stereofonen Hauptachse

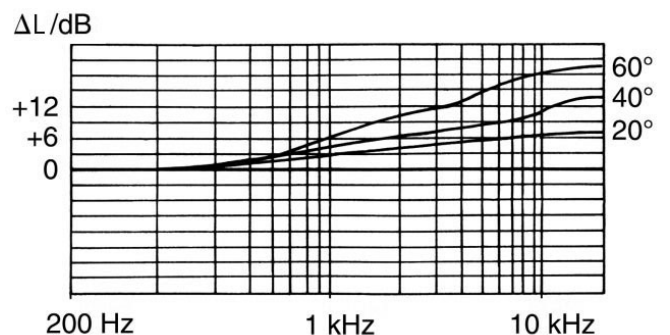


Abb. 4: Frequenzabhängigkeit der Pegeldifferenz beim Kugelflächenmikrofon KFM 6 für drei verschiedene Schalleinfallswinkel zur stereofonen Hauptachse

sprechen, die Form des Trennkörpers einen großen Einfluss auf die Frequenzgänge bei unterschiedlichen Schalleinfallswinkeln /14/. Die Kugel stellt diesbezüglich das Optimum dar.

Die Frequenzabhängigkeit der Pegelunterschiede bei gegebenem Schalleinfallswinkel und deren Verlauf ist mittelbar in der Forderung nach natürlichen interauralen Differenzen enthalten. Man könnte aber auch sagen, dass es beim Kugelflächenmikrofon neben Δl und Δt im Hinblick auf die Frequenzen einen dritten Unterschied zwischen den Kanälen gibt, nämlich den der Frequenzgänge.

Dieser spektrale (klangliche) Unterschied wächst mit dem Schalleinfallswinkel (Abb. 4), und er besteht natürlich nur im direkten Schallfeld und für Erstreflexionen.

So spielt der spektrale Unterschied mit wachsendem Abstand zur Schallquelle, bzw. zunehmendem Einfluss des reflektierten (diffusen) Schalls, eine abnehmende Rolle. Die im folgenden zitierte "Tiefenstaffelung" kann so erklärt werden. Tatsächlich ist ein Entfernungshören im schalltoten Raum, also ohne diffuses Schallfeld, unmöglich /15/.

Praktische Erfahrungen

Die praktische Erprobung ist natürlich von größter Bedeutung, obwohl die Objektivierung individueller Beurteilungen immer wieder die größten Schwierigkeiten bereitet. Dennoch fiel auf, dass verschiedene Anwender unabhängig voneinander fast immer feststellten, dass das Kugelflächenmikrofon einen besonders guten Eindruck räumlicher Tiefe vermittelt.

Als weiterer Vorteil des Kugelflächenmikrofons wurde sehr oft die gute Lokalisation genannt, wie man sie im Zusammenhang mit Druckempfängern kaum kennt. Dazu gesellt sich die schon eingangs angesprochene perfekte Aufnahme selbst tiefster Frequenzen.

Eine Voraussetzung für eine gute Lokalisation ist aber immer, dass die Aufstellung des Hauptmikrofons an einem Ort erfolgt, von dem aus man den gesamten Klangkörper innerhalb eines horizontalen Winkels sieht, der dem Aufnahmewinkel des Mikrofons entspricht. Nur in diesem Fall sind die Pegel- bzw. Lauf-

zeitunterschiede gerade groß genug, um die am weitesten links und rechts liegenden Schallquellen an den Extrem-Orten der Wiedergabebasis, nämlich den entsprechenden Lautsprechern, zu lokalisieren. Alle anderen Schallquellen können dann entsprechend dazwischen abgebildet werden /11/ (Aufsätze 2 und 3).

Der Aufnahmewinkel des Kugelmikrofons geht aber nicht aus den bekannten Theorien zu seiner Ermittlung hervor, weil sie alle von frequenzunabhängigen Richtdiagrammen ausgehen. Deshalb muss er in der Praxis ermittelt werden /17/. Er beträgt ca. 90° . Er ist damit relativ klein (ORTF-Mikrofon ca. $95^\circ - 100^\circ$) und führt im Rahmen der üblichen Abstände zu einer eher entfernten Aufstellung und zur Notwendigkeit einer präzisen Ausrichtung des Mikrofons auf die Orchestermittelpunkte. Die eingebaute Leuchtdiode leistet deshalb nicht nur bei schwacher Beleuchtung wertvolle Dienste.

Ein idealer Aufstellungsort und die Vorne-/Hinten-Symmetrie des Mikrofons führen oft zur Aufnahme von relativ viel Raumanteilen. Der Raum sollte daher qualitativ hohen Ansprüchen genügen. Störschall von hinten stellt ein Problem dar.

Sowohl der Raumeinfluss als auch die Respektierung des Aufnahmewinkels verlieren natürlich an Bedeutung, wenn Stützmikrofone hinzugemischt werden. Beim Kugelflächenmikrofon sollte damit besonders vorsichtig umgegangen werden.

Seine besonderen Merkmale werden schneller verdeckt als die anderer Hauptmikrofone.

Zu den besonderen physikalischen Merkmalen gehört der beschriebene Frequenzgangunterschied zwischen den Kanälen, wenn der Schall schrägwinklig einfällt. Er kann in speziellen Fällen, wenn der Raumanteil des Gesamtschalls gering ist und, momentan dominierend, nur eine Seite des Kugelflächenmikrofons beschallt wird, zu einem sehr brillanten Klangbild führen. In diesen Fällen empfiehlt es sich, das Mikrofon etwas entfernter aufzustellen, ungeachtet der dadurch hinsichtlich der Lokalisation etwas mehr zur Mitte zusammenrückenden Schallquellen.

Es lohnt sich oft, verschiedene Aufstellungsorte des Mikrofons zu erproben. Druckempfänger sind generell "aufstellungsempfindlicher" als z.B. das mit Nieren bestückte ORTF-Mikrofon. Dies hängt damit zusammen, dass die meisten raumakustischen Probleme tieffrequenter Natur sind und durch elektrostatische Druckempfänger ebenso perfekt wie der Ton übertragen werden.

Generell zeigt das Kugelflächenmikrofon klangliche Ähnlichkeiten mit AB-Aufnahmen mit zwei Kugeln. Daher ist ein Vergleich angebracht. Die Beurteilung hängt wesentlich vom Geschmack und den Hörgewohnheiten des Anwenders ab. Wer Lokalisation und deren guten Mitteneindruck sucht, wird das Kugelflächenmikrofon vorziehen. Wer an AB-Aufnahmen gewöhnt ist, bescheinigt diesen gelegentlich noch etwas mehr Räumlichkeit oder auch "Luftigkeit", die aber von Kritikern schon als "phasiness" (falsche Phasenbeziehungen können erkannt werden) abgewertet wurde /5/.

Nach dem bisher Gesagten kann der Eindruck entstehen, dass das Kugelflächenmikrofon speziell für die Aufnahme von Konzerten und als Hauptmikrofon geeignet ist. Dies ist richtig, aber es muss erwähnt werden, dass es auch sehr positive Erfahrungen aus dem Bereich der Wortproduktion (insbesondere Hörspiel) gibt. Bei Wiedergabe über Kopfhörer ergibt sich ein Eindruck, der starke Ähnlichkeit mit Kunstkopfübertragungen hat. Eine Lokalisation in der Medianebene würde allerdings Ohrmuschelnachbildungen erfordern /16/. Die größte Besonderheit bleibt die plastische Wiedergabe auch über Lautsprecher.

Zweifel am Kugelflächenmikrofon?

Beim Versuch das stereofone Hören allein mit Pegel- und Laufzeitdifferenzen zu erklären, kann man Zweifel an der Technik des Kugelflächenmikrofons bekommen. Bei tiefen Frequenzen liefert es kaum noch Pegelunterschiede und die Laufzeit ist auch klein. Außerdem ist jeder Kanal für sich ein Mikrofon mit einer extremen Frequenzabhängigkeit der Richtcharakteristik, bei den Tiefen Kugel und zunehmende Richtwirkung zu den Höhen.

Das bedeutet allgemein ein verfärbtes Klangbild.

Vielleicht ist das Kugelflächenmikrofon aber auch das einzige wirkliche Stereomikrofon? Alle anderen Hauptmikrofone sind doch nur die Kombination von zwei Monomikrofonen. Einen Kanal alleine sollte man allerdings nicht anhören, erst die Summe von links und rechts ergibt im Schallfeld den guten Eindruck, der einige Spezialisten zu richtigen Jüngern des Kugelflächenmikrofons gemacht hat /18/. Immer wieder kommt von völlig unabhängigen Nutzern der bereits erklärte Kommentar, das Mikrofon würde eine ungewohnt gute Abbildung der Tiefenstaffelung vermitteln.

Literaturverzeichnis:

1. G. Theile, Das Kugelflächenmikrofon, in: Bericht zur 14. Tonmeistertagung 1986, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 277 - 293
2. S. Geyersberger, Das Kugelflächenmikrofon – ein neues Stereo-Hauptmikrofon, in: Bericht zur 16. Tonmeistertagung 1990, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 684 - 689
3. G. Theile, Hauptmikrofon und Stützmikrofone – neue Gesichtspunkte für ein bewährtes Aufnahmeverfahren, in: Bericht zur 13. Tonmeistertagung 1984, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 170 - 184
4. A. Laracine, Institut National d` Audiovisuel, These, 1966
5. S.P. Lipshitz, University of Waterloo, Ontario, Canada, Stereo Microphone Techniques: Are the Purists Wrong?, AES preprint 2261 (D-5) oder in: J. Audio Eng. Soc. , Vol. 43, no. 9, 1986
6. A. Charlin, Techniques Phonographiques – La Compatibilité, in: Toute l'Electronique, Novembre 1965, S. 468 - 471
7. J. Jecklin, A Different Way to Record Classical Music, in: J. Audio Eng. Soc., 29, 1981, S. 329 332
8. A. Defossez, Stereophonic Pickup System Using Baffled Pressure Microphones, in: Audio Eng. Soc. Preprint 2352 (D4), Paper presented at the 80th Convention 1986 in Montreux

9. K. Breh, Alles Clara, in: stereoplay 4, 1968, S. 46 -48
10. R. Geller, Anordnung für ein stereofones Hauptmikrofonpaar, in: Tonmeisterinformationen 8/9/10, 1990, S. 7 - 8
11. M. Williams, Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording, Audio Eng. Soc. Preprint 2466 (H-6), Paper presented at the 82nd Convention 1987 in London
12. M. Dickreiter, Mikrofon-Aufnahmetechnik, S. 112, Hirzel Verlag Stuttgart, 1984
13. J. Wuttke, Herkömmliches und Neues zum Thema "Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik", in: Bericht zur 13. Tonmeistertagung 1984, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 75 - 84, (entspricht Aufsatz 8 in diesem Sammelband)
14. H. Olson, Acoustical Engineering, D. Van Nostrand Company Inc., Princeton, Toronto, New York, London, 1957, S. 18 - 23
15. S. Nielsen, Distance Perception in Hearing, University Press, DK-9100 Aalborg, 1991
16. J. Blauert, Räumliches Hören von Musik, in: dB Magazin für Studioteknik, September/Oktober 1989, S. 88 - 94
17. J.Wuttke, Betrachtungen der Theorien stereofoner Aufnahmetechnik, in: Bericht zur 15. Tonmeistertagung 1988, (entspricht Aufsatz 2 in dieser Aufsatzsammlung)
18. J.Bruck, www.posthorn.com
19. H.Wittek, www.hauptmikrofon.de, Image Assistant

6. Kleines Kompendium

Vortrag, gehalten auf der 18. Tonmeistertagung 1994.

Es gibt Fragen, Ansichten und Probleme, mit denen Mikrofonspezialisten immer wieder konfrontiert werden. Die Palette ist groß, und so kann im Folgenden nur ein kleiner Themenkreis behandelt werden.

Frequenzgang

Im Gegensatz z.B. zu Verstärkern und anderen Vierpolen gibt es bei Mikrofonen oder Lautsprechern keinen einzelnen Frequenzgang, genauer gesagt, Amplitudenfrequenzgang, der alleine kennzeichnend ist.

Bei akustischen Wandlern im Schallfeld sind Frequenzgänge Funktionen des Schalleinfallswinkels bzw. -abstrahlwinkels (Abb. 1 und

Abb. 2). Bei Druckempfängern führt z.B. die bauartbedingte Abhängigkeit des Frequenzgangs vom Schalleinfallswinkel, bzw. die mit zunehmender Frequenz stärkere Abweichung vom kugelförmigen Richtdiagramm schließlich zur Unterscheidung zwischen dem Freifeld- und dem Diffusfeldtyp.

Bei Mikrofonen mit Richtwirkung (Druckgradientenempfängern) hängt der Frequenzgang bei tiefen Frequenzen zusätzlich auch noch stark vom Abstand zur Schallquelle ab. Dieser Abstands- bzw. Nahheitseffekt ist je nach Richtcharakteristik und Abstand unter etwa 1m derart ausgeprägt, dass die manchen Mikrofonen beigelegten Originalfrequenzschiebe bei tiefen Frequenzen aussageelos sind, sofern keine genaue Beschreibung der Messbedingungen beiliegt. Und selbst in

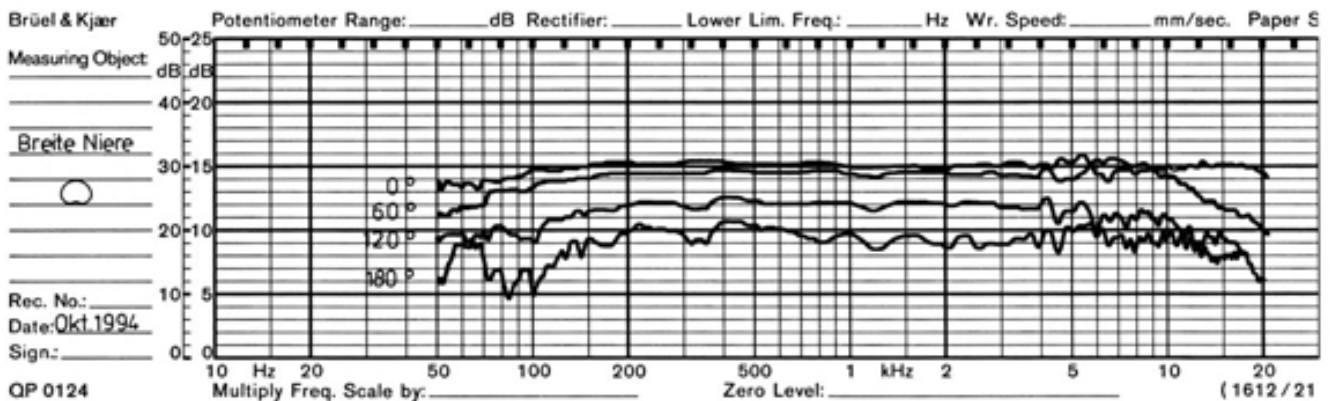


Abb. 1: Bis 10kHz praktisch vom Schalleinfallswinkel unabhängiger Frequenzgangverlauf einer Breiten Niere

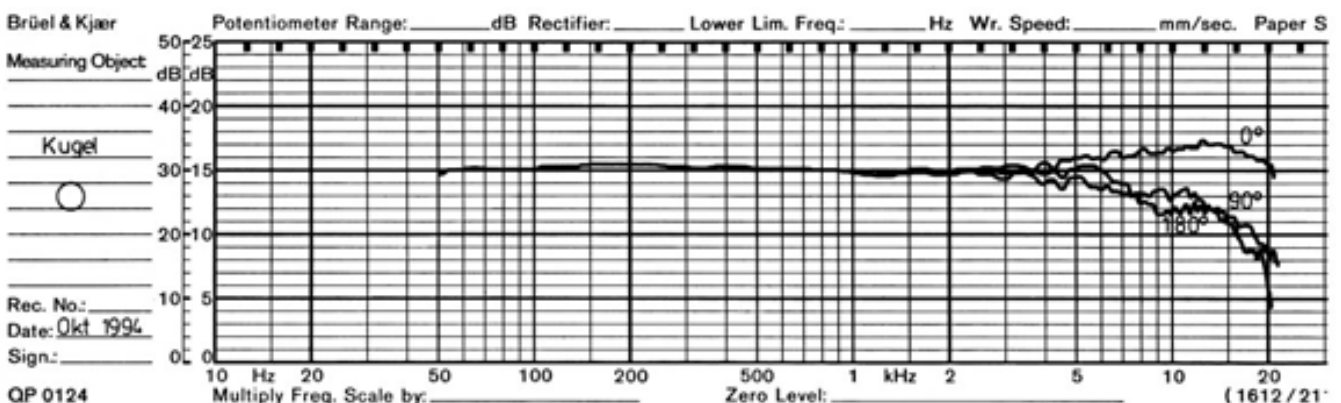


Abb. 2: Oberhalb von 5kHz deutlich vom Schalleinfallswinkel abhängender Frequenzgang, wie für Druckempfänger typisch

diesem Fall ist noch keine Vergleichbarkeit gewährleistet /1/. Einheitlich genormt ist der Messabstand nämlich nicht.

Großmembranmikrofon und Tieftonwiedergabe

Bei Druckempfängern gibt es den Nahheits-effekt nicht, und wenn es sich zusätzlich um ein Kondensatormikrofon handelt, gibt es in puncto Wiedergabe tiefster Frequenzen prinzipiell keine untere Grenze. Die oft geäußerte Meinung, Mikrofone, die sehr tiefe Frequenzen aufnehmen sollen, müssten große Membranen haben, ist daher ein Irrtum. Er beruht auf der Übertragung der Verhältnisse beim Tieftonsystem einer Lautsprecherbox auf das Mikrofon.

Tatsächlich sind sowohl Mikrofone als auch Lautsprecher akustische Wandler und haben durch ihre Umkehrbarkeit vieles gemeinsam. Der Tieftonlautsprecher muss aber akustische Leistung abgeben, und das erfordert einen großen Hub und/oder eine große Fläche. Hin-gegen stellt das Mikrofon nur eine Art Sensor dar.

über einen größeren Umweg gebildet wird. Das hat jedoch zur Folge, dass der Gradient bereits bei mittleren Frequenzen nicht mehr als Membranantrieb geeignet ist (Abb. 3), so dass die Richtcharakteristik nur noch durch Druckstau und Interferenz mehr oder minder erhalten wird.

Equalizer?

Wem der Frequenzgang eines Mikrofons nicht gefällt, kann diesen in vielen Fällen mit einem guten Equalizer korrigieren. Der oft gehörten Befürchtung, dass dadurch der Phasengang leidet, muss entgegengehalten werden, dass manche Veränderungen im Wandler ähnliche Phasendrehungen bewirken. Schließlich arbeiten Mikrofonentwickler gerne mit elektromechanischen Analogien, mittels derer z.B. ein Luftvolumen in eine Kapazität und eine Masse in eine Induktivität übersetzt wird. So ist die elektronische Korrektur eines Freifeld-Druckempfängers in einen Diffusfeld-Druckempfänger – oder umgekehrt – durchaus zu vertreten. Es können sich lediglich

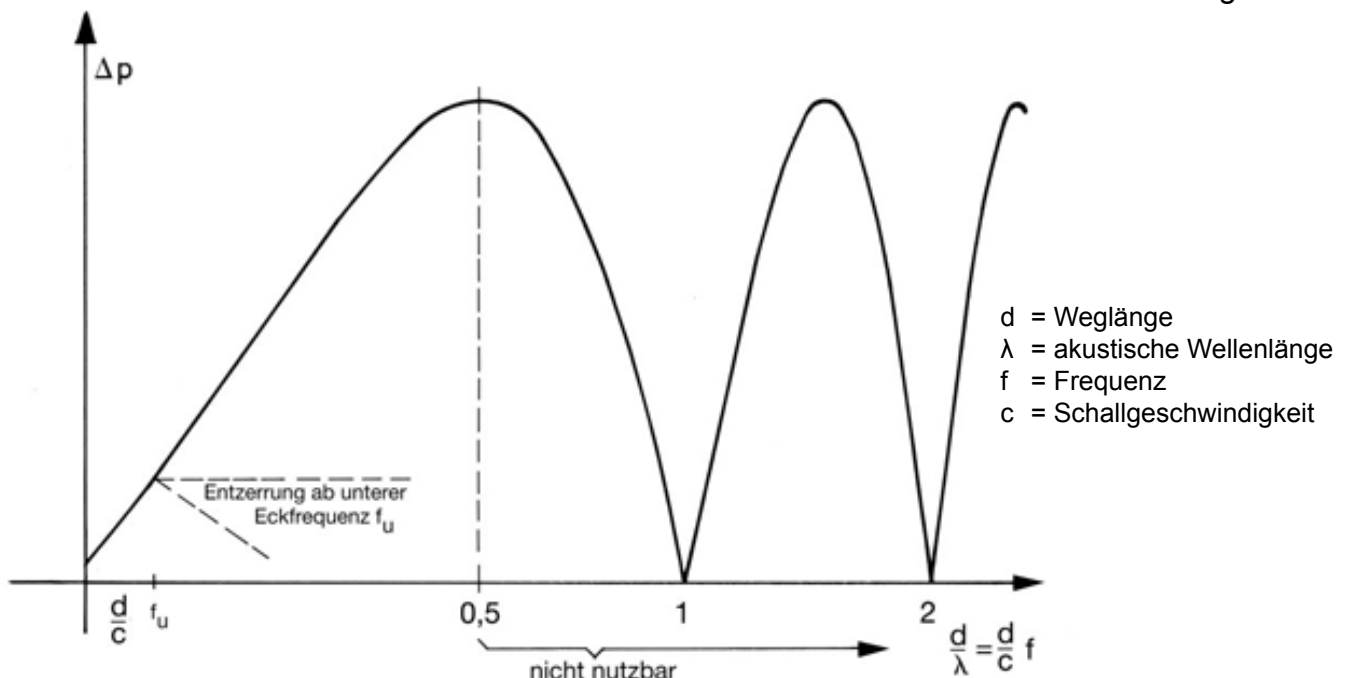


Abb. 3: Funktion des Druckgradienten bzw. der Druckdifferenz. Für $d_{2/c} > d_{1/c}$ wird der Grenzwert 0,5 bereits bei tieferen Frequenzen erreicht. Entsprechend niedriger liegt auch die untere Eckfrequenz, oberhalb welcher entzerrt wird.

Bei Druckgradientenempfängern kann, aber muss nicht, ein Mikrofon mit größerer Membran eine etwas bessere Tieftonübertragung zur Folge haben, weil der Gradient, dem größeren Membrandurchmesser entsprechend,

kleine Nachteile beim Störspannungsabstand ergeben.

Andererseits gibt es auch viele Fälle, in denen der Equalizer nicht helfen kann. Es handelt sich dabei um all die Ereignisse, die

sich im Schallfeld abspielen. So kann die Frequenzabhängigkeit des Richtdiagramms, bzw. der Frequenzgang des Bündelungsmaßes, natürlich nicht mit einem Equalizer korrigiert werden. Hier hilft nur die Wahl eines anderen Mikrofons oder das Prinzip „PolarFlex“ /10/, /11/, /12/, /13/.

Auch beim Anheben des Pegels tiefster Frequenzen ist Vorsicht geboten, denn ein Druckgradientenempfänger kann diesbezüglich im Tieftonbereich nie alle Qualitäten eines Druckempfängers erreichen. Zur Übertragung einer Schwingung niedriger Frequenz genügt es beim Druckempfänger nämlich, dass der Wandler nicht ausgerechnet im Schwingungsknoten einer Eigenfrequenz des Raums steht. Beim reinen Druckgradientenempfänger muss aber außer den Schnelleknoten auch noch der vektorielle Charakter der Schallschnelle gesehen werden. Selbst wenn eine Acht in einem Schwingungsbauch der Schallschnelleverteilung steht, findet keine Aufnahme statt, wenn die Mikrofonhauptachse senkrecht zur Schallschnelle steht. Wir nehmen also mit Druckgradientenempfängern nur ein Drittel der Eigenmodi des Raums auf, deren Dichte zu tiefen Frequenzen hin bekanntlich abnimmt.

Richtcharakteristik

Während der nur für Aufnahmen im direkten Schallfeld relevante Amplitudenfrequenzgang bei geeignet gewählter Ordinate (meist 50dB) dem erfahrenen Anwender bereits einen Eindruck vom Klangcharakter verschaffen kann, ist die Interpretation des Richtdiagramms weniger einfach.

Bei der Bewertung der effektiven Richtwirkung ist es besonders wichtig, immer zu bedenken, dass gerichteter Empfang nur im direkten Schallfeld möglich ist. Für Schallquellen weit außerhalb des Hallradius' nützt das beste Richtmikrofon nichts.

Diese Aussage steht im Widerspruch zu unserer Hörerfahrung, da wir doch auch in Räumen und weit entfernt von der Schallquelle diese noch orten können. Tatsächlich können wir das aber nur auf Grund unseres stereofonen Hörens. Bei Monoaufnahmen verschwindet diese Möglichkeit jedoch im Nebel des

diffusen Schallfelds.

Das diffuse Schallfeld ist auch entscheidend bei der Positionierung des Mikrofons in Relation zum Lautsprecher. Deutlich außerhalb des Hallradius' besteht keine Notwendigkeit, das Minimum der Mikrofonempfindlichkeit auf den Lautsprecher auszurichten. Erstreflexionen und ihr Einfallswinkel haben dort einen größeren Einfluss auf den möglichen Pegel, bevor die akustische Rückkopplung einsetzt.

Die häufig angetroffene Vorstellung, ein besonders langes Mikrofon (Interferenzrohr) habe die gleiche Leistungsfähigkeit wie etwa ein langes Teleobjektiv, ist verständlich, aber unrealistisch. Im Glauben an eine besondere Wirkung werden Rohrrichtmikrofone daher oft falsch eingesetzt. In den Händen eines Reporters, der das Mikrofon im Winkel von 45° bespricht, ist der Sinn auf den Showeffekt mit einem professionellen Symbol reduziert.

Auch bei Aufnahmen entfernter Schallquellen, bei denen der Einsatz von Interferenzrohren angebracht ist, ist es empfehlenswert zu prüfen, ob sich im Vergleich zu einer Aufnahme mit einer Hyper- oder Superniere Vorteile ergeben. In jedem Fall ergibt sich bei deren Einsatz die Möglichkeit einer erheblichen Ersparnis von Gewicht und Volumen (Abb. 4), was besonders beim Betrieb an der Angel von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist.

Effektive Störunterdrückung durch Richtmikrofone

Der wesentlichste Parameter, der zum Wunsch eines stark richtenden Mikrofons führt, ist die effektive Unterdrückung von Störungen. Folgende Störungen sind dabei zu betrachten:



Abb. 4: Größenunterschied zwischen einem traditionellen Rohrrichtmikrofon und dem derzeit kleinsten klassischen Kondensatormikrofon mit Supernierencharakteristik (incl. Windschutz)

1. Umgebungslärm,
2. diskrete Störschallquellen oder auch
3. Windgeräusche und Körperschall.

Der Störspannungsabstand aus den Datenblättern guter Mikrofone spielt in diesem Zusammenhang meist eine unbedeutende Rolle. Sofern es überhaupt um elektrische Störungen geht, ist es besonders bei portablem Equipment eher sinnvoll zu prüfen, welche Verschlechterung durch den Mikrofonverstärker eintritt, insbesondere dann, wenn dessen Vorverstärkung zu niedrig gewählt ist.

1. Unterdrückung von Umgebungslärm

Wie hoch der Nutzschaallpegel aus Richtung der Hauptachse im Verhältnis zu den Störungen ist, lässt sich bei allseits, also quasi "diffus" einfallendem Lärm dem Bündelungsmaß des Mikrofons entnehmen (Abb. 5). Hiervon kann auch ausgegangen werden, wenn die beliebte Frage beantwortet werden soll, wie weit entfernt von der Schallquelle man mit einem Mikrofon noch aufnehmen kann. Dies hängt entscheidend vom Pegel am Ort des Mikrofons ab. Eine genaue Betrachtung ist allerdings komplex, da bei sehr großen Abständen von mehreren zehn bis Hunderten von Metern auch wetterabhängige Frequenzgänge und der Einfluss von Luftbewegungen eine zunehmende, starke Rolle spielen /2/, /3/.

Die Betrachtung von Abb. 5 zeigt, dass ein ca. 15cm langes Interferenzrohr erst bei Frequenzen oberhalb 2kHz einen nennenswerten Vorteil gegenüber der Superniere aufweist. Dies hat manchmal geringe praktische Auswirkungen, weil fast alle Störspektren zu hohen Frequenzen stark abfallen. Hingegen ist die ca. 6 dB geringere Empfindlichkeit für diffus einfallenden Schall im Vergleich zu direktem,

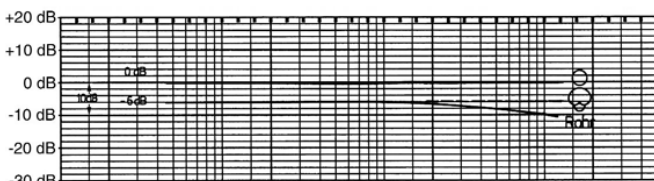


Abb. 5: Erforderlicher Nutzschaall bei diffusem Störschaall für gleiches Nutz-/Störverhältnis bei Kugel (Referenz), Superniere (-6 dB), (Superniere -5,7 dB) und ca. 15cm langem Interferenzrohr

axialen Schall natürlich sowohl beim Interferenzrohr als auch bei der Superniere von großer praktischer Bedeutung.

2. Unterdrückung diskreter Störschallquellen

Die Minderung der Störung durch diskrete, direkt einfallende Störschallquellen lässt sich unmittelbar aus den Richtdiagrammen ablesen. Dennoch ist es manchmal anschaulicher, sich den Frequenzgang in Abhängigkeit vom Schalleinfallswinkel anzusehen, wie dies in Abb. 6 und Abb. 7 dargestellt ist. Die Dämpfung bei schrägem Schalleinfall und deren Frequenzabhängigkeit gehen daraus gleichermaßen hervor.

Der Vergleich der beiden Abbildungen 6 und 7 zeigt darüber hinaus den stets negativen Einfluss des Windschutzes, der, abgesehen vom Längenunterschied entsprechend Abb. 4, in beiden Fällen gleichartig ist.

Bei Mikrofonen mit Supernierencharakteristik kann der Windschutz einen besonders negativen Einfluss auf die Richtcharakteristik haben, wenn die kleine Baugröße dazu missbraucht wird, auch einen kleinen, hochwirksamen Windschutz zu verwenden /4/, /5/. Auch wenn der Windschutz so groß ist wie in Abb. 4, ergeben sich immer noch große Vorteile für das kleine Mikrofon, das in Abb. 8 gezeigt ist.

Die Richtwirkung des Interferenzrohrs ist bei hohen Frequenzen zweifellos größer als bei Supernieren. Ob dies bei diskreten Störquellen einen Vorteil bietet, kommt sehr auf den individuellen Fall an. Andererseits wurde bereits verschiedentlich beschrieben, welche beachtlichen Nachteile damit verbunden sind, wenn der Öffnungswinkel des Mikrofons bei hohen Frequenzen kleiner ist als bei tiefen /6/, /7/.

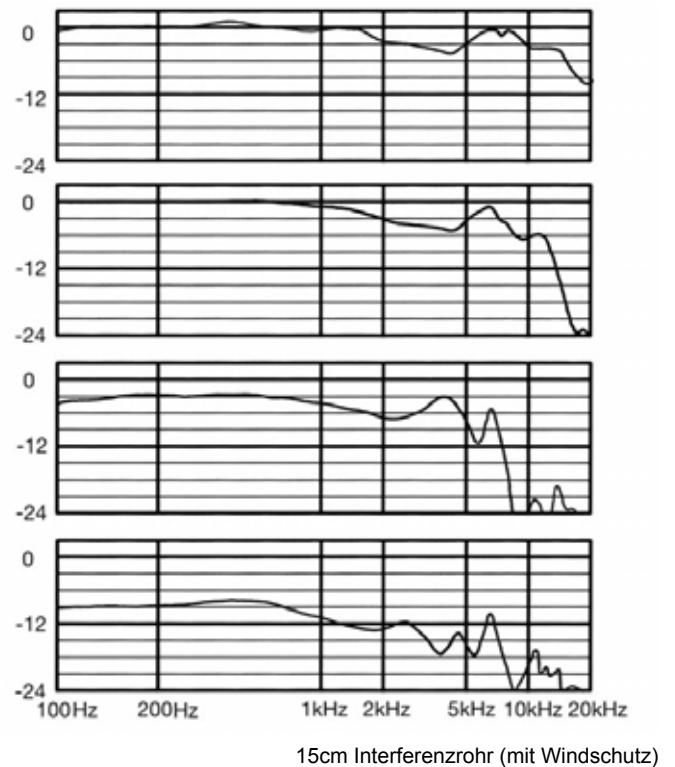
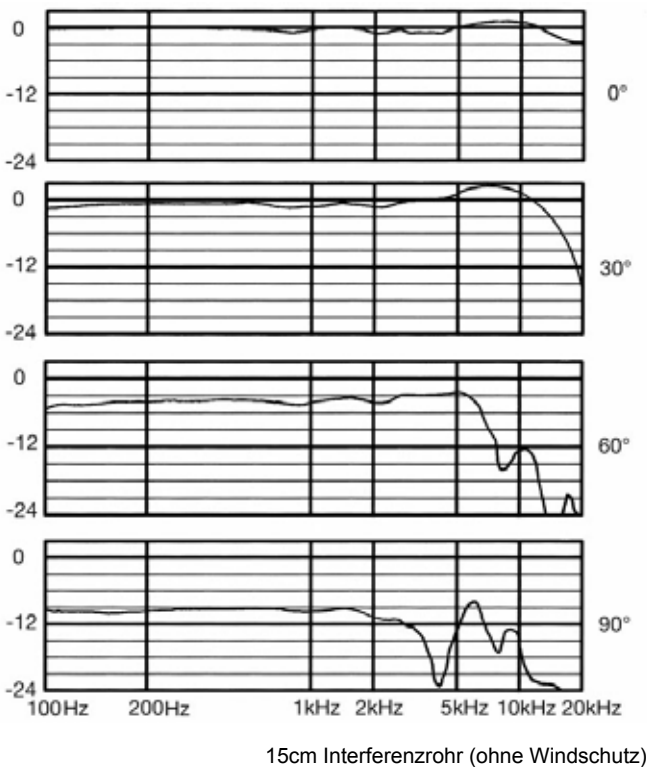
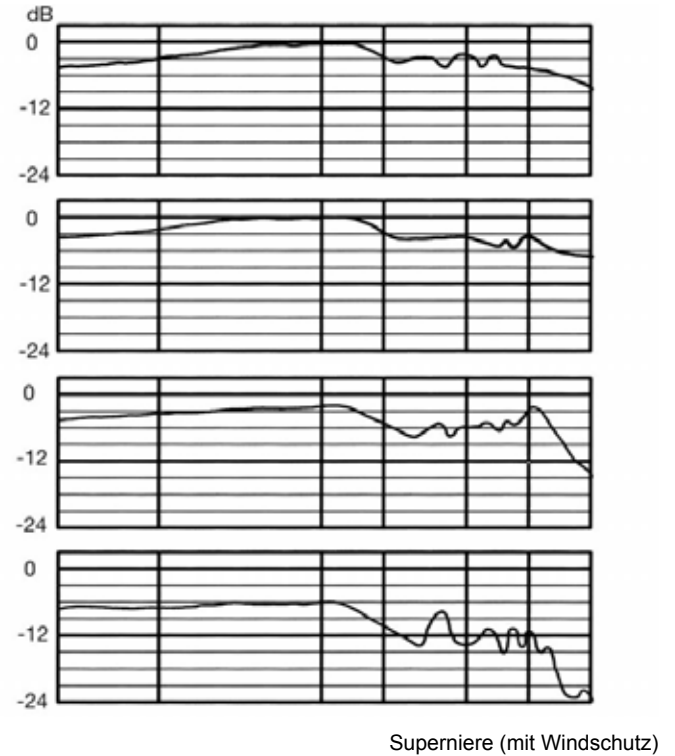
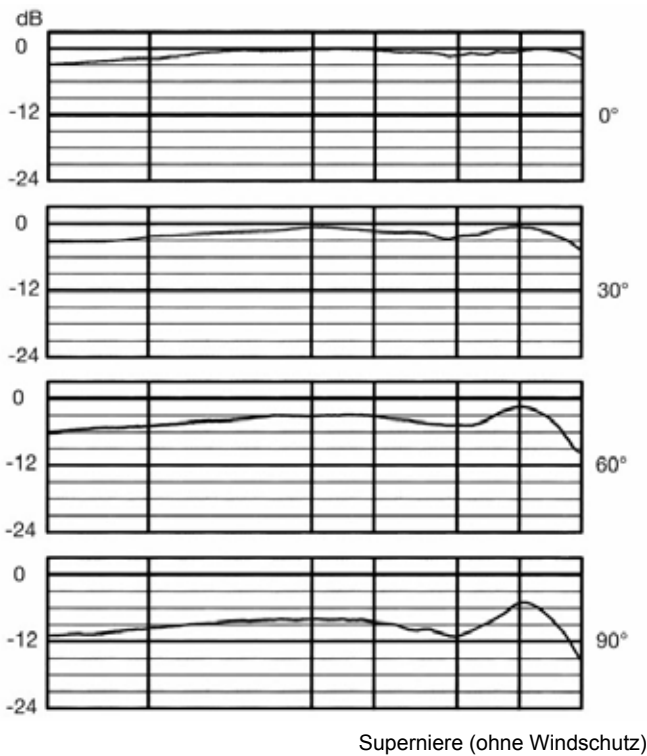


Abb. 6: Frequenzgang bzw. Pegel von Superniere (oben) und ca. 15cm langem Interferenzrohr (unten) für verschiedene Schalleinfallswinkel

Abb. 7: Wie Abb. 6 aber mit den Windschutzten der Abb. 4

3. Unterdrückung von Wind und Körperschall

Bei gleichwertigen Schutzvorrichtungen reagieren Interferenzrohre und Supernieren gleichartig auf Wind und Körperschall. Bei den beiden Windschutzten der Abb. 4 sind die elastischen Aufhängungen integriert.

Ein Problem kann darin bestehen, dass je nach verwendeter Angel Körperschall über den Windschutzkorb auf das darin befindliche Mikrofon abgestrahlt wird. Dann kann ein elastisches Element zwischen Angel und Windschutz helfen, wie z.B. der "Floater" /8/.



Abb. 8: Besonders kleines Kondensatormikrofon mit Supernierencharakteristik

Das digitale Mikrofon

Der Wunsch nach reduzierten Störspannungen führt beim rein elektrischen Teil der Übertragungskette konsequent zur Digitaltechnik.

Im Falle "Mikrofon" muss aber daran erinnert werden, dass gute Produkte je nach Bewertungskurve heute bereits mit 110 dB bis 120 dB Dynamik angegeben werden können. Man darf sich nicht dadurch in die Irre führen lassen, dass bei Mikrofonen, anders als bei anderen Geräten der Übertragungstechnik, der Störspannungsabstand nicht auf Vollaussteuerung bezogen wird, sondern auf einen akustischen Referenzpegel von nur 1 Pascal, entsprechend 94 dB-SPL. Hieraus erklären sich die bescheiden erscheinenden Störspannungsabstände in den Katalogen. Tatsächlich werden mehr als 20 bit benötigt, um lediglich das zu erhalten, was gute Mikrofone heute schon leisten.

Wer bei Mikrofonen noch etwas verbessern will, muss besonders über den Wandler nachdenken, und diesbezüglich ist man heute noch recht weit von der Realisierung einer direkten A/D-Wandlung der analogen Schallfeldereignisse entfernt.

Wer dennoch Interesse an einer möglichst weit vorne in der Übertragungskette angesiedelten digitalen Elektronik hat, denkt sicher besonders an eine störungs- und verlustfreie Übertragung über große Distanzen.

Bei korrekter Anschlusstechnik sind moderne Kondensatormikrofone allerdings auch diesbezüglich besser, als das allgemein bekannt ist. Mit Sicherheit gibt es keine Probleme, wenn die Mikrofonkabel nur bis zu einer digitalen Stagebox geführt werden, wie dies ja bereits praktiziert wird.

Einfluss der Mikrofonkabel-Länge

Was bei großen Mikrofonkabeln von einigen hundert Metern qualitativ geschehen kann, vermitteln die Abbildungen 9 und 10. Sowohl der Frequenzgang als auch die maximale Aussteuerbarkeit bzw. der Grenzschalldruckpegel werden beeinträchtigt. Bei Mikrofonen mit 200 Ω Impedanz kann bei Verwendung von Kabeln mit hohem Kapazitätsbeleg naturgemäß der Frequenzgang schon bei wenigen 100m inakzeptabel werden.

Mikrofone mit 200 Ω Impedanz werden natürlich auch heute noch in großer Stückzahl gefertigt. Dieser Wert ist aus der Empfehlung zu erklären, dass die Impedanz 200 Ω oder kleiner sein soll. Immer wenn Spulen im Einsatz sind, also bei dynamischen Mikrofonen und Kondensatormikrofonen mit Übertragerausgang, wird man im Interesse einer möglichst hohen Empfindlichkeit die obere Grenze ausnutzen. Bei Kondensatormikrofonen mit eisenloser Ausgangsstufe kann die Ausgangsspannung jedoch hohe Werte annehmen, trotz eines geringen Innenwiderstands.

"Anpassung"

Ein Ausgang mit kleinem Innenwiderstand könnte als Einladung angesehen werden, große Lasten anzuschließen. Im Falle von Mikrofonen trifft dies aber keinesfalls zu. Mikrofone sollen im Quasi-Leerlauf betrieben werden. Die Eingangsimpedanz des angeschlossenen Geräts (Mischpult) soll daher möglichst groß sein; der Wert von 1k Ω ist zufrieden stellend.

Wie eine zu große Last die maximale Aussteuerbarkeit von Kondensatormikrofonen reduziert, lässt sich Abb. 10 entnehmen. Bei hohen Frequenzen verringert die kapazitive Kabellast die maximale Aussteuerbarkeit erheblich, wobei es im Falle von Mikrofonen mit hoher Aussteuerbarkeit in der Praxis allerdings irrelevant sein wird, ob der Schalldruck bei einer so hohen Frequenz wie 15 kHz z.B. 130 dB-SPL sein dürfte oder der Grenzschalldruck durch das lange Kabel auf 110 dB-SPL reduziert wird.

Generell vermindert ein kleiner Lastwiderstand die Aussteuerbarkeit aller Kondensatormikrofone. Der Abschluss mit 200 Ω ist

verwerflich, eine Parallelschaltung ist daher ebenfalls strikt abzulehnen. Sogar beim Betrieb von passiven Splitttern, die den Anschluss eines Mikrofons an zwei Eingänge erlauben, ist Vorsicht geboten, wenn die Übertragungsqualität gewährleistet bleiben soll.

lutwert ist unkritisch ($\pm 20\%$), aber die Differenz der Widerstandswerte soll im Interesse einer guten Betriebsunsymmetriedämpfung (Symmetrie unter Arbeitsbedingungen) nicht größer als 0,4% sein. Es ist unverständlich, wenn Mischpulthersteller sich um eine hohe

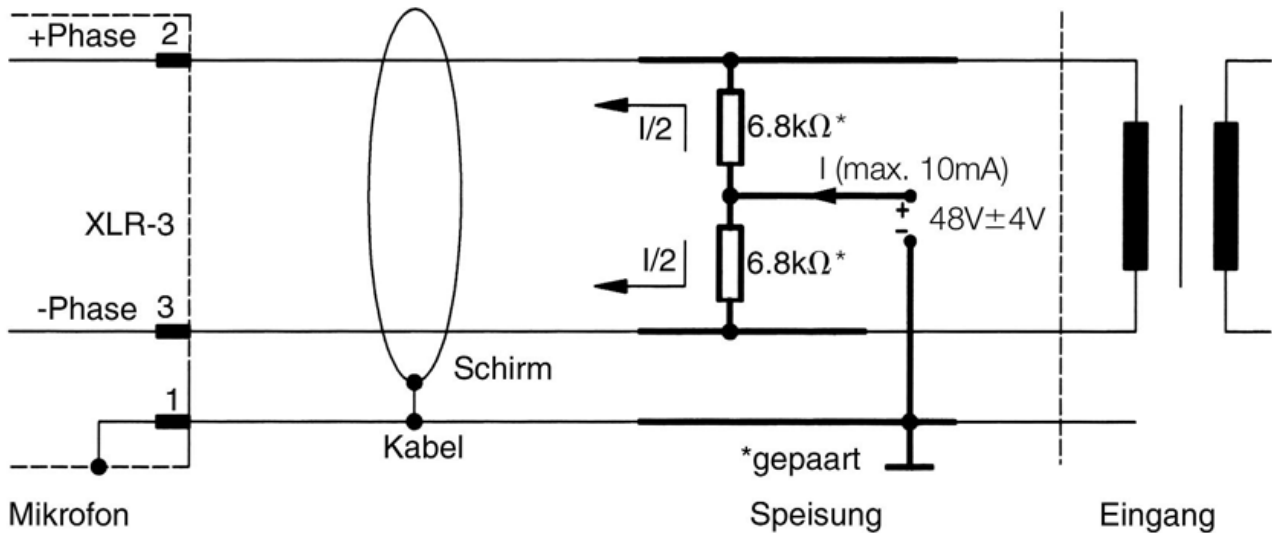


Abb. 11: 48V Phantomspeisung nach DIN EN 61938 Juli 97, (zuvor IEC 268-15 und DIN 45596), Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

Korrekte Phantomspeisung

Hohe Aussteuerung und Last verlangen Leistung. Daher benötigen moderne Kondensatormikrofone meist höhere Ströme als frühere Konstruktionen, die oft mit einem einzigen FET arbeiteten. Die EN 61938 (früher DIN 45596, /9/) nimmt darauf Rücksicht und lässt einen Strom von bis zu 10mA pro Mikrofon zu. Bei Mikrofonen sind derzeit bis zu ca. 5mA üblich, ein unsymmetrischer Anschluss lässt 7mA fließen, und im Kurzschlussfall sind es dementsprechend sogar unzulässige und unsinnige 14mA.

Schwer verständlich ist, dass einige Mischpulthersteller oben genannte Norm nicht zu kennen scheinen. Das einfache Schaltbild der Phantomspeisung wird deshalb in Abb. 11 dargestellt und enthält die wesentlichsten Bedingungen.

Unterdrückung von Störungen auf dem Kabel

Eine besonders wichtige Bedingung für eine korrekte 48 V-Phantomspeisung ist die Gleichheit der 6,8 kΩ-Widerstände. Der Abso-

Symmetrie ihrer Eingänge bemühen und dann irgendwelche Speisewiderstände einbauen. Wenn sie nicht gepaart sind, sollten die Widerstände deshalb die Toleranz 0,1% haben.

Störungen auf dem Kabel können speziell dann, wenn es um Hochfrequenz geht, sehr komplexer Art sein und werden hier im weiteren nicht besprochen. Es gibt aber immer wieder Anlass, darauf hinzuweisen, dass die -10dB-Schalter an Mikrofonen auch gelegentlich zu unnötigen Problemen führen. Sie sollten nur eingeschaltet werden, wenn es sein muss, und wann ist das schon der Fall? Sollte der Eingang die hohen Spannungen aus dem Mikrofon tatsächlich nicht zulassen, ist es besser, am Ende des Kabels ein symmetrisches Dämpfungselement (Pad) einzusetzen, mit dem dann nicht nur das Signal, sondern auch etwaige ins Kabel eingedrungene Störungen gedämpft werden.

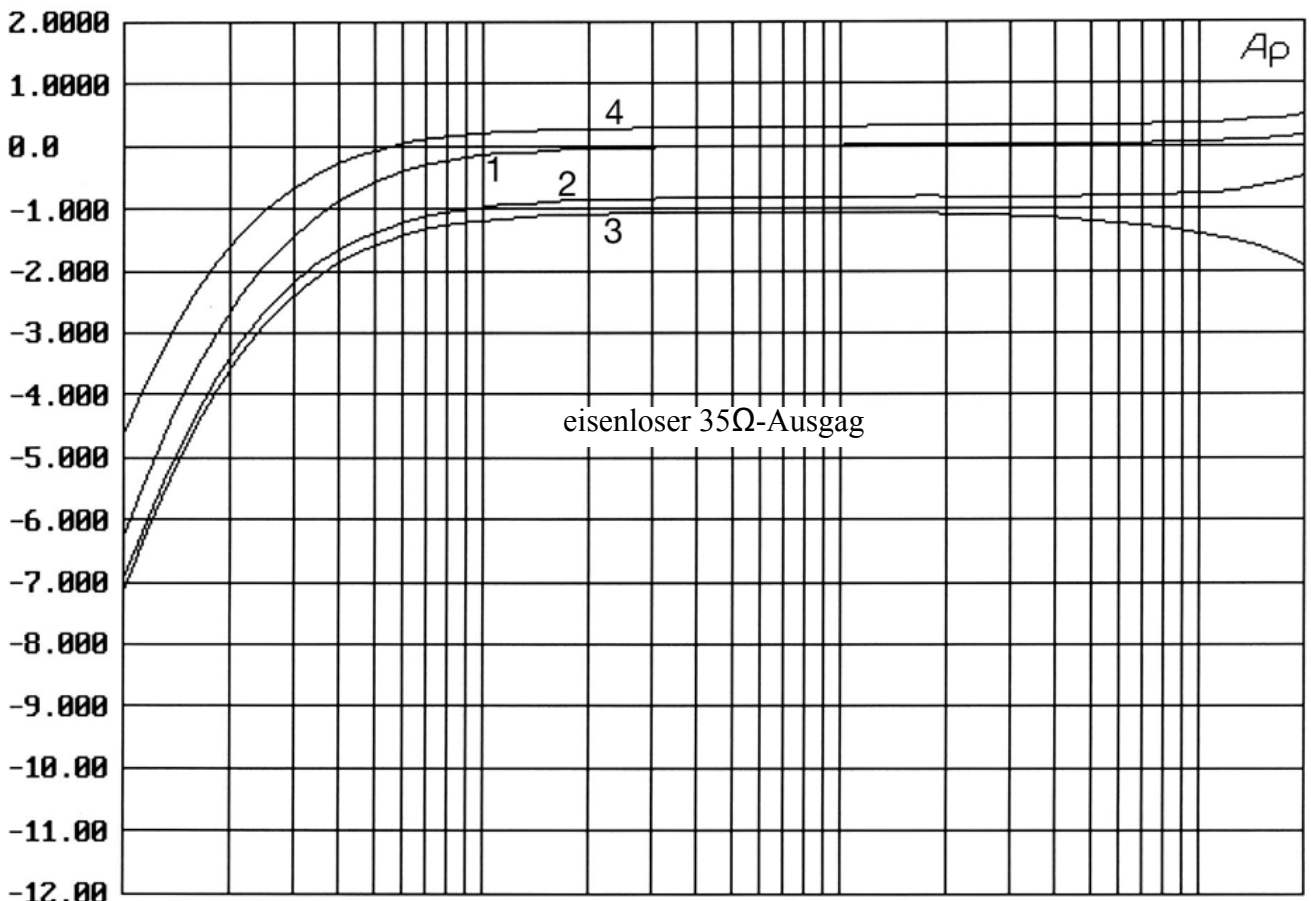
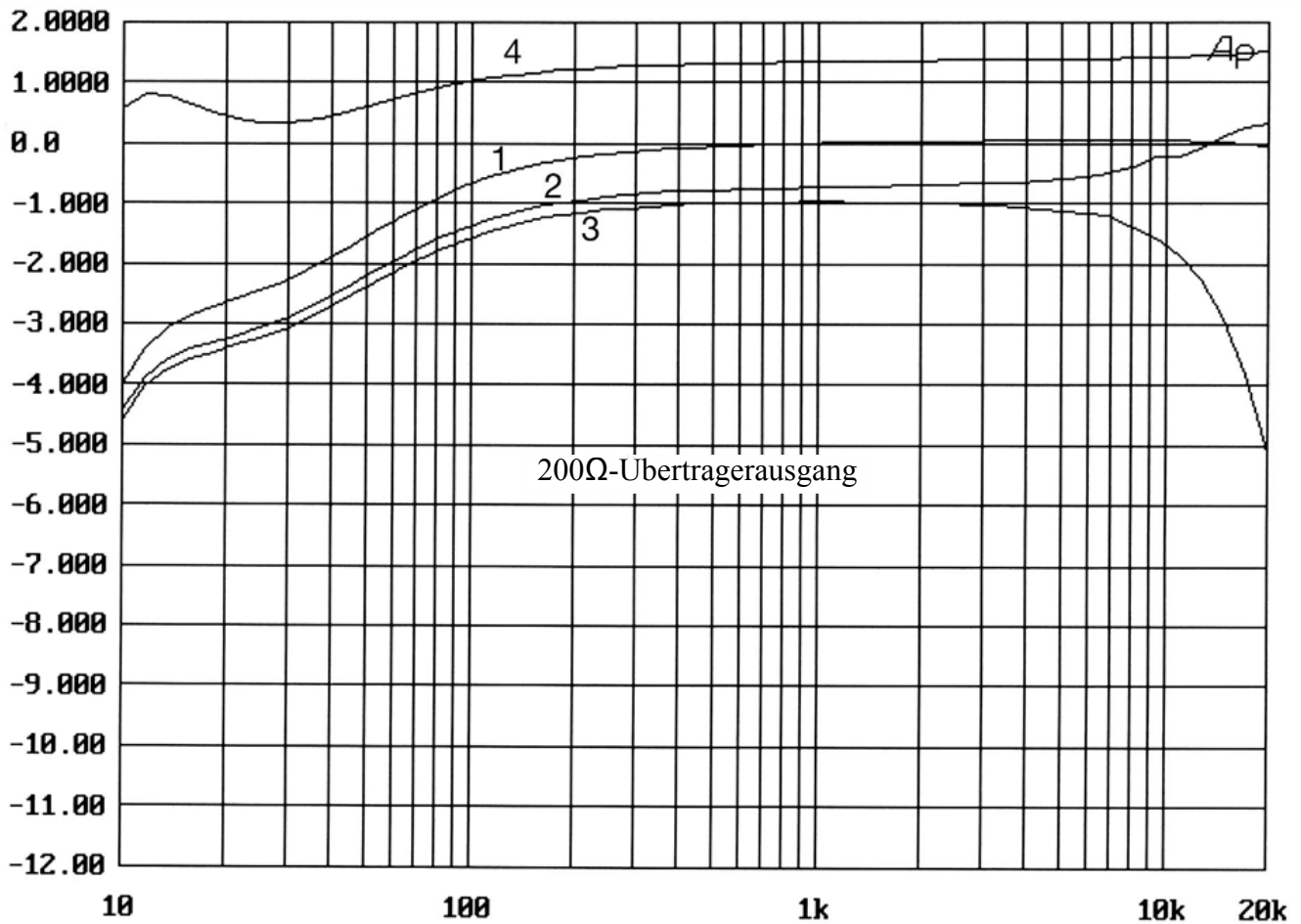
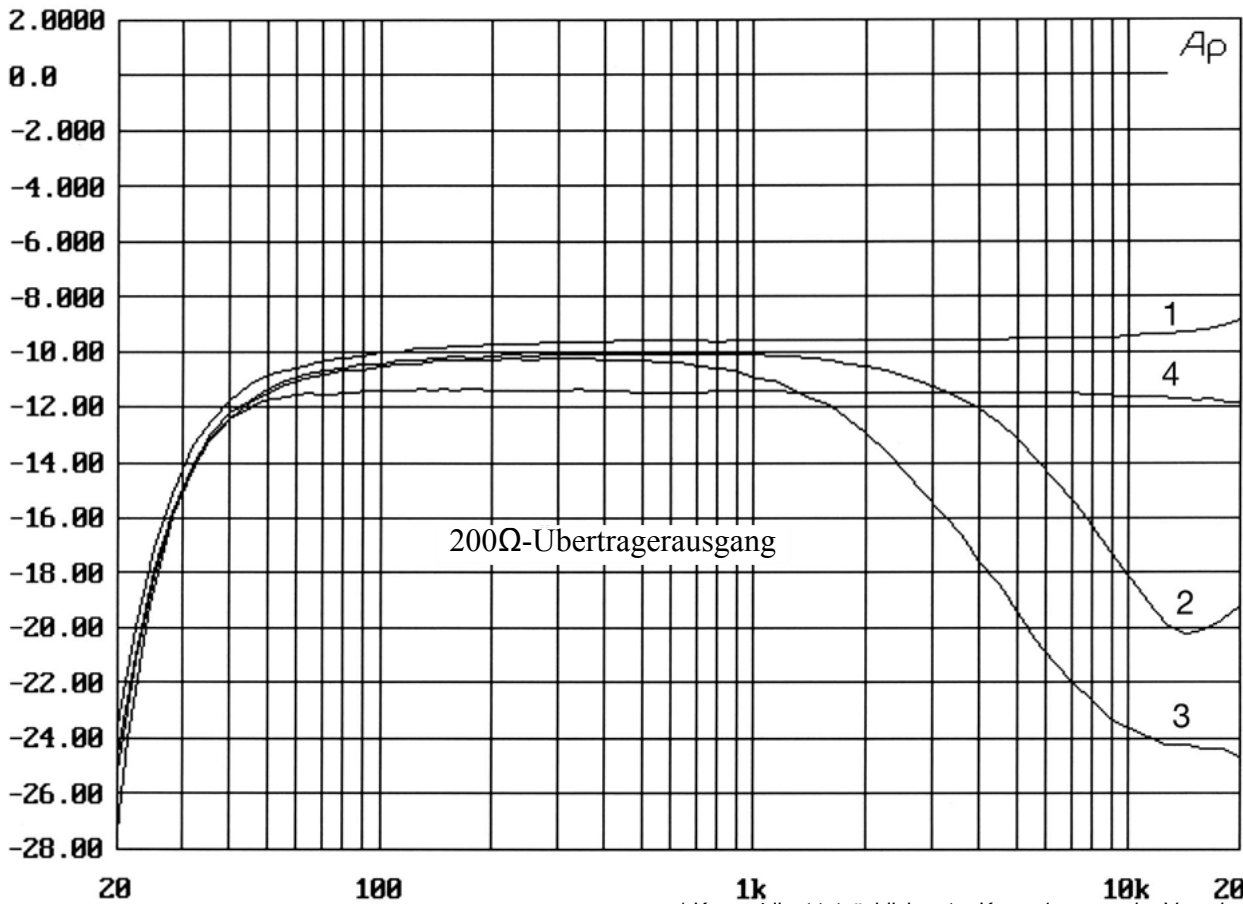


Abb. 9 Frequenzgänge des Verstärkers eines Kondensatormikrofons mit 200 Ω -Übertragerausgang (oben) und einer eisenlosen Ausführung mit 35 Ω Innenwiderstand (unten) an 1k Ω Last: 1. ohne Kabel, 2. mit 200m Kabel, 3. mit 400m Kabel; 4. im Leerlauf



* Kurve 4 liegt tatsächlich unter Kurve 1 wegen der Vorgabe $k < 0,5\%$!
Der Übertrager klinkt also bei kleinerer Last stärker

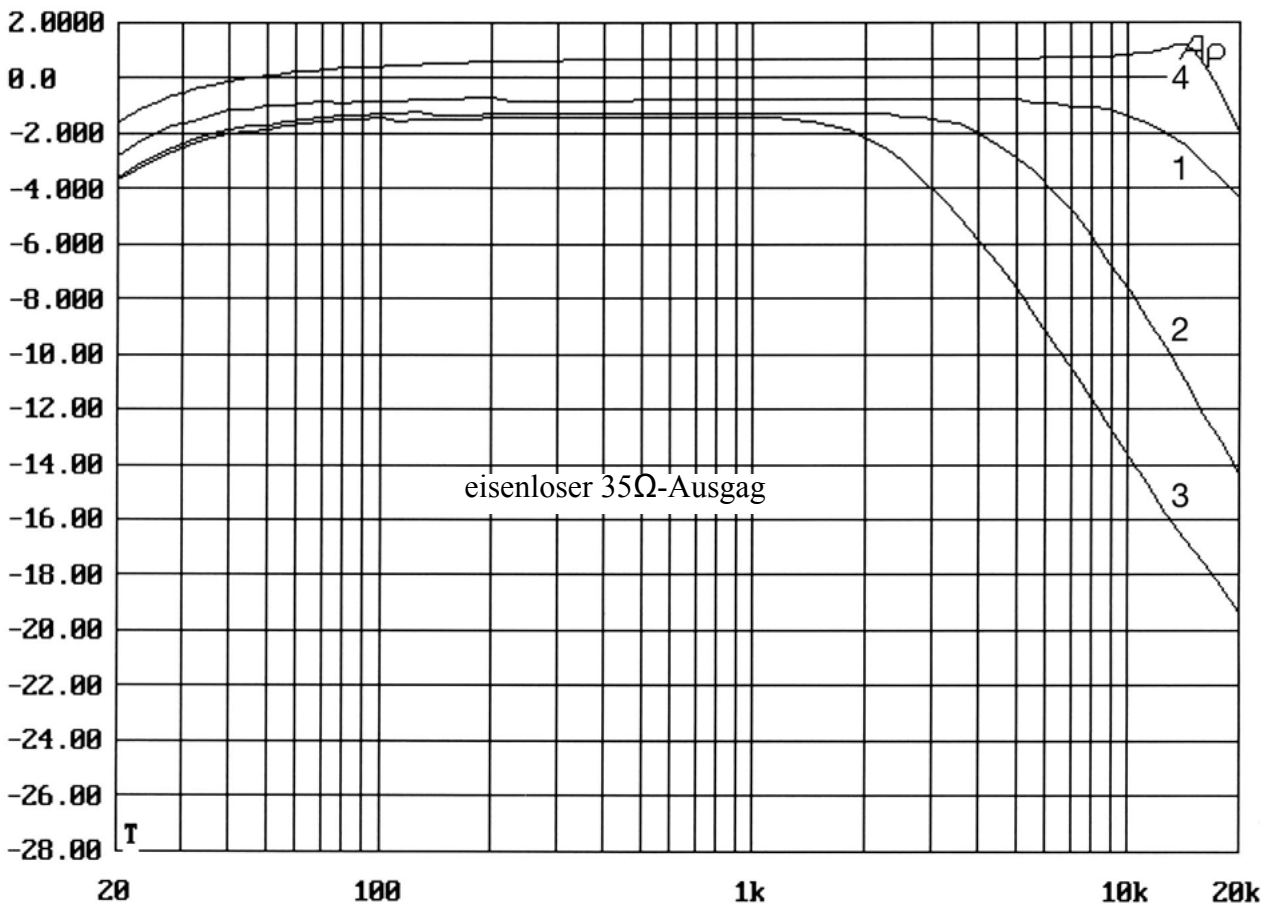


Abb. 10: Maximaler Ausgangspegel für 0,5% Klirrfaktor bei einem Kondensatormikrofon mit 200Ω-Übertragerausgang (oben) und bei einer eisenlosen Ausführung mit 35Ω Innenwiderstand (unten) an 1kΩ Last: 1. ohne Kabel, 2. mit 200m Kabel, 3. mit 400m Kabel; 4. ohne Kabel, im Leerlauf

Literaturverzeichnis:

1. G. Boré, Das Übertragungsmaß der Mikrophone bei tiefen Frequenzen und seine Messung, Fernseh- und Kinotechnik, 32. Jahrgang, Nr. 3, 1978, S. 101 - 103
2. L. Schreiber, Schallausbreitung im Freien, entn. M. Heckl, H.A. Müller, Taschenbuch der Technischen Akustik, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1975, S. 355 - 371
3. E. Meyer, E.-G. Neumann, Physikalische und technische Akustik, Vieweg Verlag Braunschweig, Wiesbaden, 3. Aufl. 1979, S. 84 - 90
4. J. Wuttke, Betriebsverhältnisse von Mikrophenen bei Wind und Pop, in: Bericht zur 14. Tonmeistertagung 1986, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister (siehe Aufsatz 10 dieses Sammelbands)
5. J. Wuttke, Microphones and Wind, J. Audio Eng. Soc., Vol. 40, No. 10, Oktober 1992, S. 809 - 817
6. A. Pudelewicz, Directional Microphones and Their Applications on Location in Film Production, The BKTS JOURNAL, Jan. 1979, S. 2 - 6 + 28
7. H. Gerlach, Stereo Sound Recording with Shotgun Microphones, J. Audio Eng. Soc., Vol. 37, No. 10, Oktober 1989, S. 832 - 838
8. Ambient, Konradinstr. 3, 81543 München
9. Beuth Verlag, Berlin
10. J.Wuttke, Ein neues XY-Mikrofon, Aufsatz 3 in dieser Aufsatzsammlung, 2010
11. J.Wuttke, Wie universell kann ein Mikrofon sein?, in: Bericht zur 19. Tonmeistertagung 1996, (entspricht Aufsatz 9 in den Mikrofonaufsätzen)
12. C.Langens, Mikrofon mit frequenzabhängig einstellbarem Bündelungsmaß, Bericht zur 20. Tonmeistertagung 1998
13. J.Wuttke, PolarFlex – Ein Mikrofonsystem für die Zukunft, Aufsatz 21, 2011

7. Wie universell kann ein Mikrofon sein?

Vortrag, gehalten auf der 19. Tonmeistertagung 1996.

Der Aufsatz erklärt zunächst Grundlagen der Signalverarbeitung. Dann wird dem theoretisch idealen Mikrofon das reale Mikrofon gegenübergestellt, das durch seine Fehler in bestimmten Fällen Vorteile bei der Anwendung bieten kann. Abschließend wird ein neuer Gedanke beschrieben, wie ein Mikrofon an alle Wünsche angepasst werden kann. Das patentierte System wurde weiterentwickelt und auf der Tonmeistertagung 1998 vorgestellt /8/. Etwa seit 2003 hat das Prinzip auch den Namen „PolarFlex“.

Bedingungen für universelle Übertragungselemente

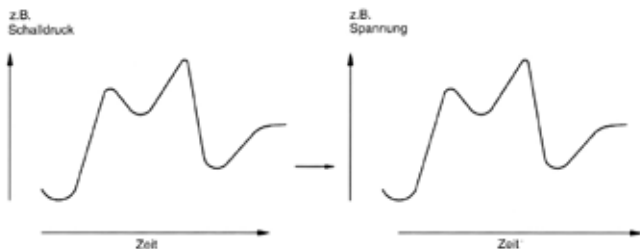


Abb. 1a: Bildgetreue, verzerrungsfreie Übertragung eines Zeitvorgangs

Damit ein Übertragungselement universell eingesetzt werden kann, muss es Signale unverändert übertragen. Ein universelles Mikrofon muss also ein akustisches Ereignis in ein äquivalentes elektrisches Signal wandeln (Abb. 1a). Nachrichtentechniker sprechen von einer „verzerrungsfreien“ oder auch „bildgetreuen“ Übertragung.

Die Bedingungen für verzerrungsfreie Übertragung sind konstanter Amplitudenfrequenzgang und linearer Phasengang (Abb. 1b) /1/, /2/. Durch diese beiden Parameter kann ein Signal bzw. dessen Zeitverlauf eindeutig beschrieben werden. Es wird nichts anderes übertragen, keine dritte oder vierte Dimension oder gar Magie, wie mancher HiFi-Freak zu glauben scheint.

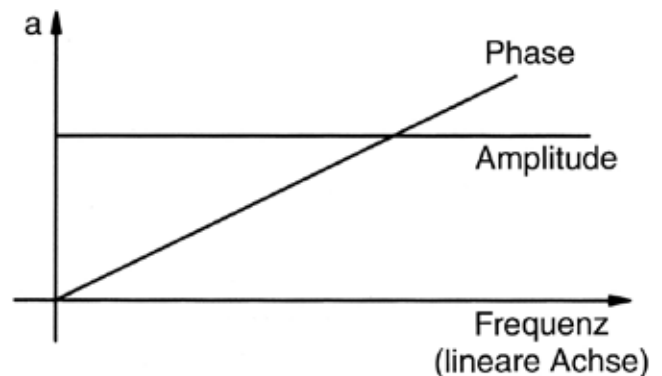


Abb. 1b: Bedingungen für verzerrungsfreie Übertragung

Es kann daher auch irreführend sein, wenn Hersteller durch die alleinige Angabe von Zeitfunktionen den Eindruck erwecken, sie wären der Zeit voraus. Es ist lediglich so, dass bei bestimmten Messungen, wie z.B. von Einschwing- oder Impulsverhalten, die Zeitfunktion zur Betrachtung besser geeignet ist.

Während die Forderung nach konstantem Frequenzgang einleuchtet, ist der lineare Phasengang eher erklärungsbedürftig. Es gibt Toningenieure, die vom idealen Phasengang erwarten, dass er so konstant verläuft wie der Amplitudenfrequenzgang. Das trifft nicht zu.

Zunächst muss die Phase bei 0° beginnen, denn der Grenzfall tiefster Frequenzen endet bei 0Hz, also Gleich-Verhältnissen. (Einen Phasenwinkel zwischen beispielsweise zwei Gleichspannungen gibt es nicht).

Im weiteren Verlauf ist ein beliebig großer Phasenwinkel bei gegebener Frequenz ohne Bedeutung, sofern er nur doppelt so groß ist bei doppelter Frequenz, dreimal so groß bei dreifacher, usw. Auch dies lässt sich anschaulich erklären:

Eine kurze Schallstrecke kann praktisch als ideales Übertragungselement betrachtet werden. Wenn man sich in einem ebenen Schallfeld ohne Einfluss von Reflexionen beispielsweise 17cm vor- oder zurückbewegt, so ändert sich das Klangbild praktisch nicht. Dennoch beträgt die Phase zwischen diesen

beiden Punkten bei 1kHz eine halbe Wellenlänge, entsprechend 180° Phasenwinkel. Bei 2kHz passt zwischen die beiden Punkte aber bereits eine ganze Wellenlänge, es besteht also ein Phasenwinkel von 360° . Die Forderung linearer Zunahme des Phasenwinkels mit der Frequenz für verzerrungsfreie (bildgetreue) Abbildung ist erfüllt. (Die mathematische Ableitung der Phase nach der Frequenz ist die so genannte Gruppenlaufzeit; sie muss konstant sein: $\tau = d\phi/d\omega = \text{konstant.}$)

Die Übertragungskette

Abb. 2 zeigt eine vollständige Übertragungskette, die mit einem Mikrofon beginnt. Die meisten Elemente dieser Kette werden universell eingesetzt.

Selbst Anwender, die ihre Ausrüstung besonders sorgfältig aussuchen und sogar Kabel philosophischen Betrachtungen unterziehen, produzieren und hören nach einmal erfolgter

Unterschiede zwischen Wandlern und Vierpolen

Der wesentliche Unterschied zwischen Mikrofonen bzw. elektroakustischen Wandlern und den anderen Elementen einer Übertragungskette besteht darin, dass Wandler mit dem Schallfeld verknüpft sind, während elektrische Übertragungselemente einfach als Vierpole mit zwei Ein- und Ausgängen beschrieben werden können.

Durch das Schallfeld kommen Parameter ins Spiel, die es bei Vierpolen nicht gibt. Die wichtigste Funktion hat dabei das Richtdiagramm:

Erstens bedeutet eine Frequenzabhängigkeit des Richtdiagramms, dass der Frequenzgang je nach Einfallswinkel des Schalls anders aussieht /3/.

Zweitens nutzen alle richtenden Mikrofone den mit der Frequenz linear abnehmenden Druckgradienten, so dass tiefste Frequenzen

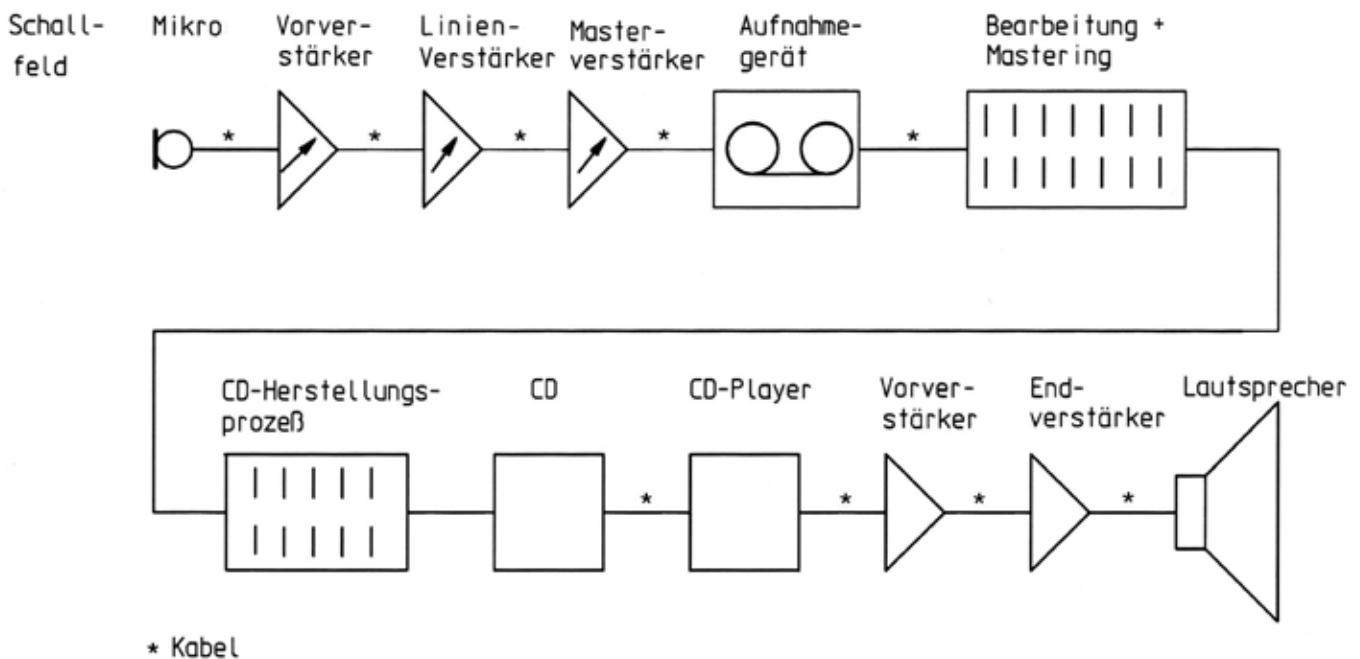


Abb. 2: Beispiel einer Audio-Übertragungskette

Wahl durchweg mit derselben Anlage. Die Idee, für unterschiedliche Arten von Musik jeweils andere Aufnahmegereäte, Bandmaterial, Kabel usw. einzusetzen, wäre für Industrie und Wirtschaft gewiss reizvoll, aber sie wird sich nicht durchsetzen.

Wie kommt es dann, dass es Toningenieure gibt, die in bestimmten Fällen das Mikrofon in Abhängigkeit vom Instrument wählen? Sind Mikrofone weniger universell als andere Übertragungselemente?

von derartigen Wandlern stets etwas geschwächt übertragen werden /4/.

Der Tiefenabfall kann durch den Nahheitseffekt nur in Sonderfällen kompensiert werden. Die im Vergleich zu Druckempfängern (Kugeln) schwächere Tieftonübertragung der Druckgradientenempfänger wird dagegen noch durch den Vektorcharakter des Druckgradienten verschärft: Es können nur die Schnellekomponenten aus dem Schallfeld aufgenommen werden,

die in Richtung der Hauptachse des Mikrofons liegen. (Die Schallschnelle ist proportional zum Druckgradienten.)

Die existenten Mikrofone

Befürworter von Kondensatormikrofonen mit Kugelcharakteristik können sich durch die zuletzt gemachten Ausführungen bestätigt fühlen. Andererseits zeigen sogar Druckempfänger mit kleinem Durchmesser bei hohen Frequenzen eine immer noch beachtliche Abweichung von der idealen Kugelcharakteristik. Der Bedarf an mehreren verschiedenen Modellen (bei SCHOEPS derzeit vier Typen) ist damit zu erklären, dass man je nach den Komponenten des direkten und des diffusen Schallfelds am Aufnahmeort den jeweils geeigneten Typ wählen muss. Besonders universell sind diese Mikrofone also nicht.

Ein weiterer Nachteil von Kugeln zeigt sich in der Praxis: Aus verschiedenen Gründen kann man nicht immer so nahe an die Schallquelle herangehen, wie es beispielsweise die Hallbalance verlangt. Die Ausblendung von Störschall oder zu viel Raumanteilen an einem vorgegeben Ort ist auch nicht möglich. So ist die Richtwirkung von Mikrofonen eine sehr wünschenswerte Eigenschaft, die sich im wahrsten Sinne des Wortes gezielt einsetzen lässt.

Bei kleinen Druckgradientenempfängern kann das Richtdiagramm im Vergleich zu Kugeln im Bereich mittlerer bis hoher Frequenzen eine bessere Konstanz aufweisen. Daraus erklären sich die recht universellen Einsatzmöglichkeiten kleiner Kondensatormikrofone mit den Richtcharakteristiken Breite Niere, Niere und Superniere.

Große Mikrofone weisen prinzipiell die stärkste Frequenzabhängigkeit des Richtdiagramms auf. Sie sind daher am wenigsten universell, können aber bei bestimmten Anwendungen durchaus Vorteile haben, wie später noch an einem Beispiel erklärt wird.

Das Bündelungsmaß

Der Frequenzabhängigkeit des Richtdiagramms entsprechen, wie schon festgestellt, unterschiedliche Frequenzgänge für Schall

aus verschiedenen Richtungen. Obwohl es sich durchaus lohnen kann, Frequenzgänge für verschiedene Schalleinfallswinkel zu untersuchen, ist das natürlich eine mühsame Angelegenheit. Eine übliche Vereinfachung besteht darin, neben der Frequenzgangmessung im schalltoten Raum auf der Achse des Mikrofons auch noch den Frequenzgang im diffusen Schallfeld zu ermitteln. Dies ist der gemittelte Frequenzgang über alle Richtungen.

Die Differenz der Frequenzgänge im direkten und im diffusen Schallfeld wird als Bündelungsmaß bezeichnet (ausgedrückt in dB). Sein Frequenzgang ist ein Hinweis darauf, wie sich die Richtwirkung in Abhängigkeit von der Frequenz ändert.

Betrachtung von Mikrofonen unterschiedlichen Charakters

Die Abb. 3-5 zeigen Frequenzgänge im direkten und diffusen Schallfeld, sowie die des Bündelungsmaßes verschiedener Mikrofone, wie sie früher z.B. grundsätzlich in den Mikrofonkennblättern des IRT veröffentlicht wurden /5/. Folgende Aussagen lassen sich aus den Darstellungen ableiten:

Abb. 3a/b: Ihrer jeweiligen Bestimmung entsprechend (Freifeld/Diffusfeld), haben die beiden Kugeln unterschiedliche Frequenzgänge im direkten Schallfeld. Da sie weitgehend gleich aufgebaut sind, ist ihre Abweichung

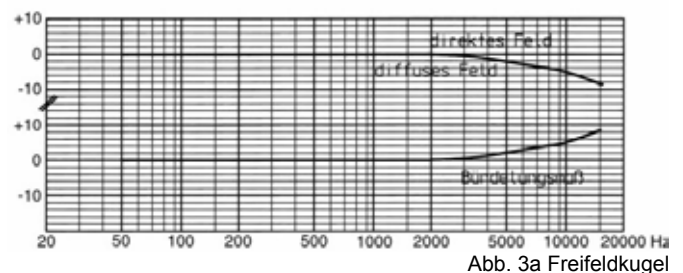


Abb. 3a Freifeldkugel

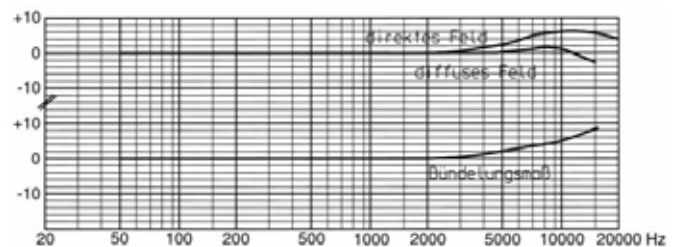


Abb. 3b Diffusfeldkugel

von der kugelförmigen Richtcharakteristik bei hohen Frequenzen jedoch gleich und damit auch der Verlauf ihrer Bündelungsmaße über

der Frequenz. Der Klang dieser beiden Wandler könnte daher ohne großen Nachteil durch einen guten Equalizer in den des jeweils anderen überführt werden.

Wie Praktiker wissen, gelingt es sonst fast nie, den Klang eines Mikrofons durch Einsatz eines Equalizers in den eines anderen Modells zu ändern. Die Ursache liegt in der unterschiedlichen Frequenzabhängigkeit der Richtdiagramme verschiedener Mikrofone, auf die man natürlich mittels elektrischer Korrektur keinen Einfluss nehmen kann.

Abb. 4a/b: Die beiden Nieren haben den gleichen Frequenzgang im direkten Schallfeld. Bei nahen Schallquellen auf der Hauptachse der Mikrofone ist daher kein Unterschied hörbar, aber sobald die Mikrofone entfernter aufgestellt werden, gewinnt Schall aus allen anderen Richtungen an Einfluss, und der Unterschied macht sich bemerkbar.

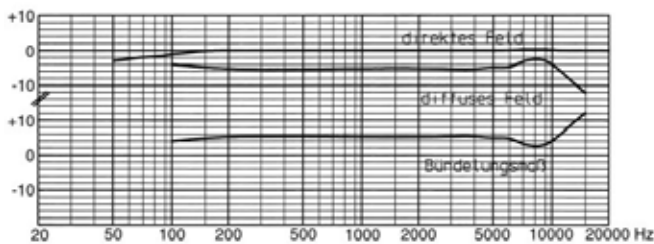


Abb. 4a Niere

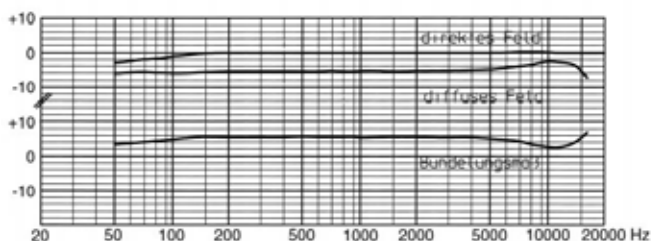


Abb. 4b Niere

Das Mikrofon der Abb. 4a wird bei großem Abstand zur Schallquelle ein mattes, etwas dumpfes Klangbild vermitteln, da der durch den Abstand erhöhte Diffusfeldanteil an Bedeutung gewinnt: Wie der Abbildung entnommen werden kann, überträgt dieses Mikrofon oberhalb 10kHz nur wenig Höhen aus dem diffusen Schallfeld.

Das Mikrofon in Abb. 4b hat auch im diffusen Schallfeld einen bemerkenswert konstanten Frequenzgang. Sein Richtdiagramm ist relativ wenig frequenzabhängig. Es wird auch

bei größerem Abstand zur Schallquelle zufrieden stellen und ist recht universell einsetzbar. Ein derartiger Wandler ist gut geeignet für eine Nutzung

z.B. im ORTF-Mikrofon. Es wird selten so nah aufgestellt, dass die reflektierten Schallanteile keine Rolle spielen.

Es ist unmöglich, die beiden Mikrofone mittels Equalizer klanglich gleich zu machen, da die Frequenzabhängigkeit ihrer Richtdiagramme dadurch unverändert bleibt.

Abb. 5 zeigt Frequenzgänge eines etwas exotischen Großmembran-Mikrofons, das nach grundsätzlichen

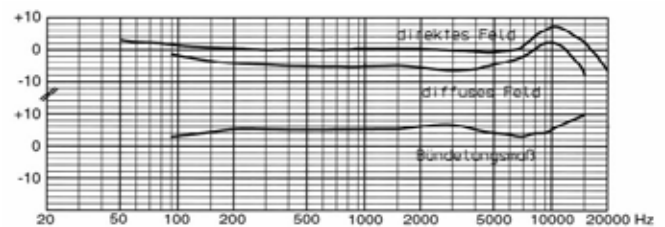


Abb. 5: Großmembran-Mikrofon

Betrachtungen als unausgeglichen bezeichnet werden kann. Bei Frequenzen zwischen 5kHz bis 9kHz verliert dieses Mikrofon an Richtwirkung.

Beim Einsatz in einem bei hohen Frequenzen überbedämpften Sprecherstudio, kann die kugelhähnlichere Übertragungseigenschaft aber mehr von der schwachen Raumakustik übertragen und dadurch positiv bewertet werden. Die überzogenen Höhenfrequenzgänge tragen darüber hinaus dazu bei, dass der Klang bestimmt nicht "muffig" wirkt, selbst wenn das Studio so klingt, als ob man in ein Kopfkissen spricht.

Der stark vom Schalleinfallswinkel abhängende Frequenzgang spielt keine Rolle, da der Sprecher höchstwahrscheinlich auf der Mikrofonachse bleibt.

Nutzung von Merkmalen nicht-idealer Wandler

Die beschriebenen Beispiele ließen sich fortsetzen und belegen einmal mehr, dass theoretische Schönheitsfehler in der Praxis nutzbringend eingesetzt werden können. Von einem wirklich universellen Mikrofon müsste man daher erwarten, dass es über die oben vorgenommene Definition eines "verzerr-

rungsfreien" Übertragungselements hinaus auch gezielte Abweichungen davon ermöglicht.

So stellt sich die Frage, ob man nicht ein Mikrofon bauen kann, bei dem die Frequenzabhängigkeit des Richtdiagramms einstellbar ist. Damit wäre ein wahrlich universeller Einsatz möglich, bis hin zu Sound-Wünschen, die sonst nur durch spezielle Mikrofone erzielt werden können /10/. Für den Anwender wäre damit der nützliche Nebeneffekt verbunden, dass er erkennt, welche Frequenzabhängigkeiten ihm erwünschte Effekte bringen. So kann er gezielt vorgehen und muss nicht die zufällig in Form von bestimmten Mikrofonen vorliegenden Merkmale suchen, die in aller Regel nicht hinreichend genau dokumentiert sind.

Das universelle Mikrofon

Es gibt umschaltbare Mikrofone, deren Richtcharakteristik z.B. auf "Kugel", "Niere" und "Acht" eingestellt werden kann, wobei der Anwender glauben könnte, diese sei für den gesamten Frequenzbereich gültig. Das ist jedoch nur annähernd der Fall.

Eine weitere Möglichkeit, die Richtcharakteristik zu verändern, ergibt sich mit dem so genannten "Straus-Paket". Das klassische Straus-Paket arbeitet mit einer Kugel



Abb. 6: Straus-Paket

und einer Niere. Abb. 6 zeigt eine erweiterte Anwendung mit Kugel und Superniere. Wenn man zwei Kanäle mit diesen Signalen abmischt, kann man von Kugel, Breiter

Niere, Niere bis Superniere beliebige Polardiagramme erhalten. Verwendet man anstelle der Superniere eine Acht, so kann die Palette der Richtcharakteristiken natürlich bis zur Acht erweitert werden. Auch in diesen Fällen ist die sich fast immer ergebende Frequenzabhängigkeit der Richtcharakteristik rein zufällig.

Wenn man dagegen das Polardiagramm frequenzabhängig machen will, kann man gemäß eines neuen Vorschlags den Übertragungsbereich in verschiedene Frequenzbänder unterteilen und darin Summen mit unterschiedlichen Pegeln von Kugel und Acht bilden (Patent angemeldet /6/). So erzielt man ein Mikrofon, das es erlaubt, in verschiedenen Frequenzbändern absichtlich unterschiedliche Richtdiagramme einzustellen. Versuche haben ergeben, dass sich so tatsächlich die Klangbilder sehr verschiedener Mikrofone nachbilden lassen /7/.

Für eigene Versuche kann der Interessierte so vorgehen, dass er ein Straus-Paket nutzt und vor der Summenbildung den Frequenzgang im Kanal von Kugel und Niere verändert. Sofern der Gesamtfrequenzgang dabei unbeeinflusst bleiben soll, stellt man die Frequenzgänge beider Kanäle spiegelbildlich ein. Weitere, leistungsfähigere Anwendungsmöglichkeiten erfordern die Verwendung von einer Kugel und einer Acht oder von zwei eng Rücken an Rücken montierten Nieren /9/.
<http://www.sengpielaudio.com/PolarFlex.pdf/> /
<http://www.sengpielaudio.com/PolarFlex-Bedienungsanleitung.pdf/>

Zusammenfassung

Mikrofone mit konstantem Frequenzgang und linearem Phasengang können sehr universell eingesetzt werden, wenn ihr Polardiagramm weitgehend frequenzunabhängig ist. Kleine Kondensatormikrofone erfüllen diese Bedingungen am ehesten.

Wenn das Richtdiagramm frequenzabhängig ist, kann dieser theoretische Fehler aber auch mit dem Nutzeffekt eingesetzt werden, bestimmten geschmacklichen Wünschen oder anwendungstechnischen Bedürfnissen näher zu kommen. Es wurde eine Technik vorgestellt, die es möglich macht, den Frequenzgang des Büh-

delungsmaßes eines Mikrofons einzustellen.

Literaturverzeichnis:

1. K. Küpfmüller, Einführung in die theoretische Elektrotechnik, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1965, S. 480
2. A. Schaumberger, AES Convention Copenhagen, 1974
3. J. Wuttke, Mikrofondaten und ihre Bedeutung in der Praxis, in: Bericht zur 12. Tonmeistertagung 1981, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister (Aufsatz Nr. 11 dieses Sammelbands)
4. J. Wuttke, Mikrofonen Allerlei – Kleines Kompendium, in: Bericht zur 18. Tonmeistertagung 1994, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister (Aufsatz 6 dieses Sammelbands)
5. P. Buhlert, Mikrofonkennblätter, IRT Hamburg, 1956 - 1974
6. J. Wuttke, SCHOEPS, Patentanmeldung P 44 36
7. R. Schnellbach, Untersuchungen an einem Mikrofonensystem mit frequenzabhängig variablem Bündelungsmaß, Diplomarbeit, 1995
8. Ch. Langen, Mikrofon mit frequenzabhängig einstellbarem Bündelungsmaß, in: Bericht zur 20. Tonmeistertagung 1998, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister 272.2
9. J. Wuttke, Ein neues XY-Mikrofon, Aufsatz 3 in dieser Aufsatzsammlung, 2010
10. J. Wuttke, PolarFlex – Ein Mikrofonensystem für die Zukunft, Aufsatz 21

8. Kondensatormikrofone mit Kugelcharakteristik

Vortrag, gehalten auf der 13. Tonmeistertagung 1984, überarbeitet

In diesem Aufsatz werden allgemeine Merkmale von Kondensator-Druckempfängern erläutert, und die besondere Konstruktion der SCHOEPS-Kapsel MK 2 S wird erklärt. Da der Druckstau eine wichtige Rolle spielt, wird seine Betrachtung bis zur Grenzflächentechnik erweitert und deren grundlegende Funktion verständlich gemacht.

Aufstellung von Druckempfängern

Im Hinblick auf die Aufnahmetechnik müssen die Vor- und Nachteile von Druckempfängern in Relation zu Druckgradientenempfängern betrachtet werden. Theoretisch muss man Mikrofone mit Kugelcharakteristik nur um den Abstandsfaktor $\sqrt{3}$ näher an der Schallquelle aufstellen, um die gleiche Hallbalance zu erzielen wie mit einer Niere. Dann ist das Verhältnis von direktem und diffusem Schall für Kugel und Niere gleich. In der Praxis sind die Verhältnisse aber komplexer. Die Abstandsfaktoren werden unter der Annahme von Kugelschallquellen und Beschallung auf der Hauptachse des Mikrofons errechnet.

Sofern sie für ein einzelnes Instrument noch gelten, werden die Verhältnisse bei der Aufnahme größerer Instrumentengruppen oder gar eines Orchesters mehrdeutig. Da keine Punktschallquelle mehr vorliegt, lassen sich auch keine festen Abstände und Schalleinfallswinkel mehr angeben. Außerdem ist die Perspektive für ein näher aufgestelltes Kugelmikrofon eine andere als die einer entfernteren Niere (Abb. 1). Die Abstandsverhältnisse zu den Schallquellen sind unterschiedlich.

Es wird hier keine Wertung der einen oder anderen Aufnahmetechnik mit Kugeln oder Nieren erfolgen, aber es soll klar werden, dass

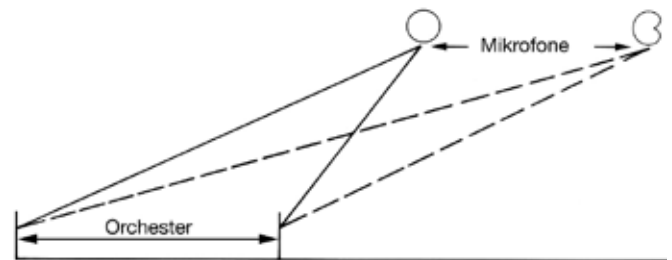


Abb. 1: Verschiedene Perspektiven unterschiedlich aufgestellter Mikrofone

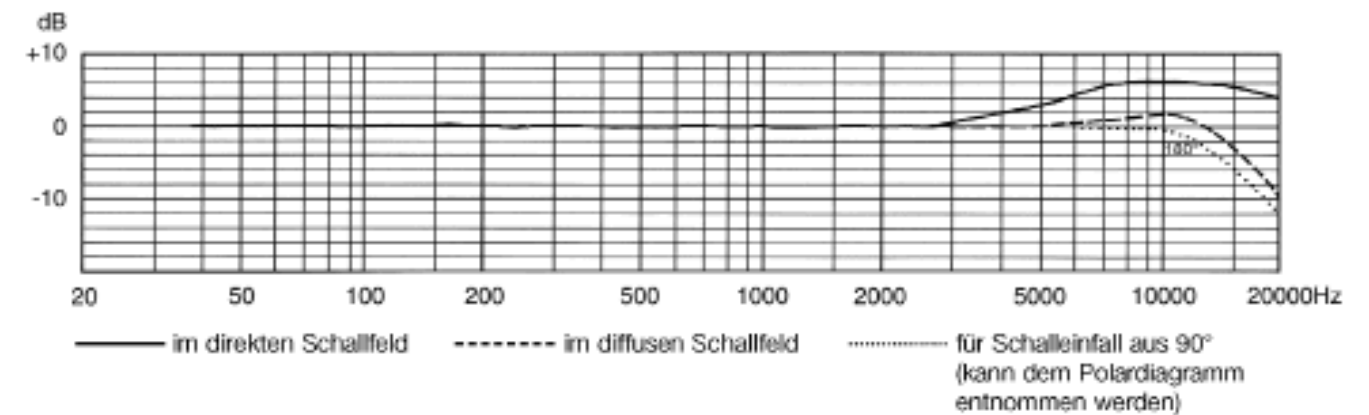
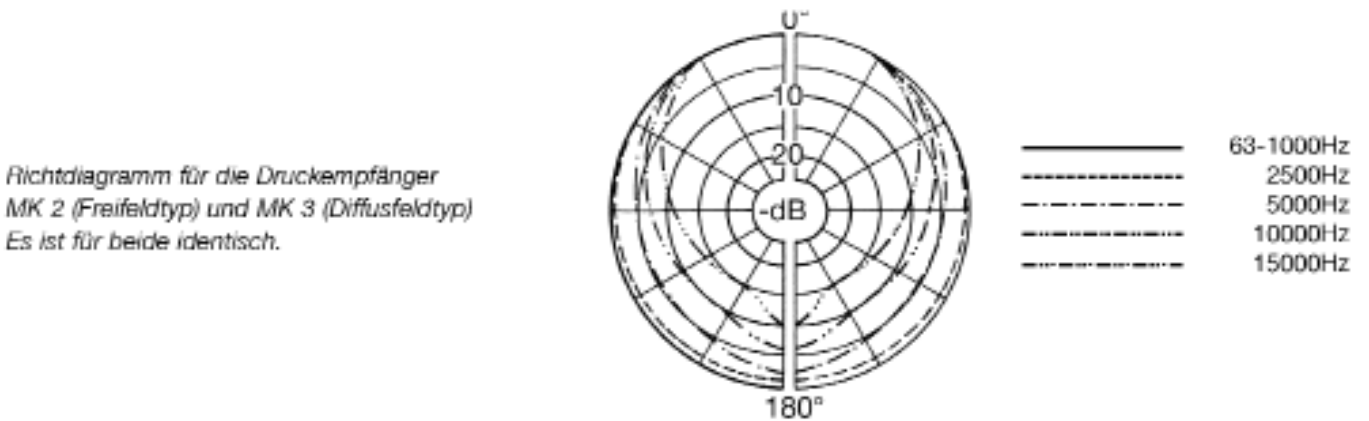
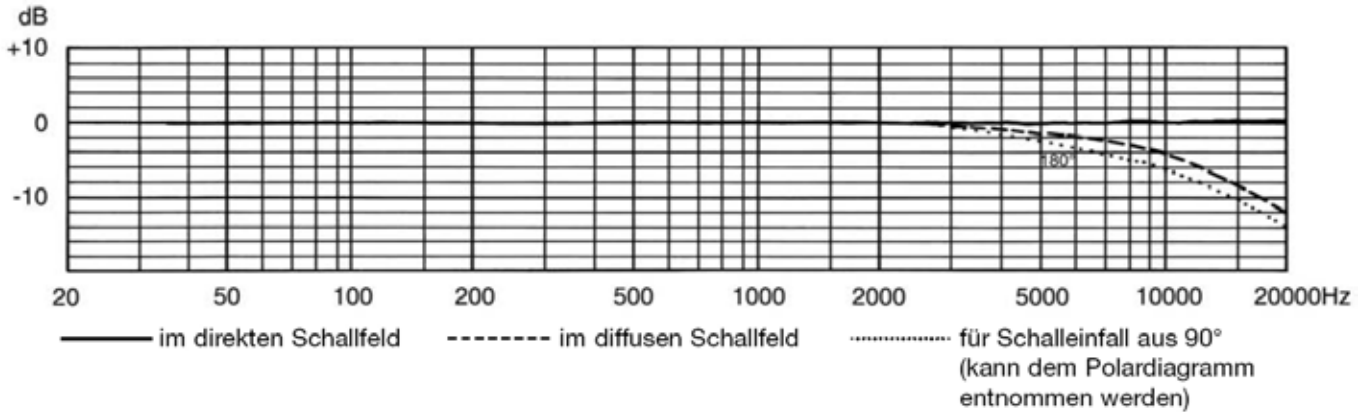
Nieren nicht einfach durch Kugeln ersetzt werden können, wie manchmal unterstellt wird. Beide Mikrofontypen und Aufnahmetechniken haben Vor- und Nachteile, die von Könnern jeweils zu ihrem Besten genutzt werden.

Tiefenfrequenzgang bei Druck- und Druckgradientenempfängern

Ein wesentlicher Vorteil elektrostatischer Druckempfänger ist ihr konstanter Frequenzgang bei tiefen Frequenzen. Da die Ausgangsspannung von Kondensatorwandlern proportional zur Membran-Auslenkung ist, gibt es im Prinzip keine untere Grenzfrequenz.

Druckgradientenempfänger haben dagegen naturbedingt einen Tiefenabfall, der unterhalb 100Hz nennenswert ist, wenn das Mikrofon einige Meter von der Schallquelle entfernt steht. Dann ergibt sich nämlich kein Nahheitseffekt, der bei dichter Aufstellung tiefe Frequenzen anheben würde.

Die tatsächliche Schwächung der Übertragung tiefer Töne von Druckgradientenempfängern geht aus den Prospektblättern von Mikrofonen meist nicht hervor, da sowohl die üblichen Messabstände, als auch ein besonderer Effekt schalltoter Räume (Kanaleffekt) eine Tiefenanhebung bei ihnen bewirken /1/.



Merkmale von Druckempfängern

Bei den immer besser gewordenen Möglichkeiten, selbst tiefste Frequenzen aufzunehmen und – entsprechende Räume vorausgesetzt – wiederzugeben, hat das Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik an Bedeutung gewonnen. Probleme mit Stereoaufnahmen schwacher Korrelation, wie sie durch die Aufnahmetechniken mit Kugeln leichter entstehen (AB, siehe Aufsatz 3), haben gleichzeitig teilweise ihre Schrecken verloren, z.B. weil weniger Schallplatten produziert werden, die nicht geschnitten werden können, wenn Gegenphasigkeit der Kanäle

bei tiefen Frequenzen vorliegt.

Während elektrostatische Druckempfänger bei den tiefen Frequenzen perfekt sein können, liegen ihre Probleme bei den Höhen. Die kugelförmige Richtcharakteristik bleibt bei hohen Frequenzen, bei denen das Mikrofon nicht mehr klein gegenüber der Wellenlänge ist, nicht erhalten (siehe auch Aufsatz 1). Das Mikrofon weist eine mehr oder minder ausgeprägte Richtwirkung auf. Dadurch werden hohe Frequenzen bei schrägem Schalleinfall und im diffusen Schallfeld weniger stark übertragen als bei axialer Beschallung (siehe Richtdiagramm in Abb. 2).

Aus den Erfordernissen der akustischen Messtechnik abgeleitet, gibt es daher zwei Grundtypen von Druckempfängern für die beiden Extremfälle des Schallfelds: den Freifeld- und den Diffusfeldtyp. Sie sind für den gerichteten Gebrauch im Nahfeld bzw. für die Anwendung weit außerhalb des Hallradius' geeignet.

Den Frequenzgang des so genannten Freifeldtyps zeigt Abb. 2 (MK 2). Der Frequenzgang in Richtung der Mikrofonachse ist sehr konstant, aber für schrägwinkligen Schalleinfall und im diffusen Schallfeld ergibt sich ein Höhenabfall. Der Frequenzgang des Diffusfeldtyps (MK 3, Abb. 3) ist dagegen im diffusen Schallfeld weitgehend konstant, während Beschallung in Richtung der Mikrofonachse eine Höhenanhebung bewirkt.

Anforderungen an einen neuen Druckempfänger

In der vergangenen Zeit wurden recht viele Anwendungen – vor allem bei klassischer Musik – bekannt, bei denen mit nur zwei oder drei Kugeln ein ganzer Klangkörper aufgenommen wurde. Die Aufstellung der Mikrofone erfolgt dabei notwendigerweise meist in Abständen, für die weder die Freifeld- noch die Diffusfeld-Kugel ideal sind. Der am besten geeignete Frequenzgang ist aber nicht einfach abschätzbar, da er immer von den individuellen räumlichen Gegebenheiten, vom aufzunehmenden Tonmaterial und auch physiologischen sowie subjektiven Kriterien abhängt. Daher wurde versucht, den erwünschten Frequenzgang möglichst praxisnah zu ermitteln.

Von einem Druckempfänger mit perfekt konstantem Frequenzgang ausgehend, wurden Anwender gebeten, ihren Wunschklang mit

genügend fein einstellbaren Equalizern zu realisieren. Bei Richtmikrofonen wäre ein derartiges Vorgehen nicht sinnvoll, da viele Klangunterschiede durch die Frequenzabhängigkeit des Richtdiagramms begründet sein können und diese natürlich nicht durch Equalizer beeinflussbar sind. Die Frequenzabhängigkeit des Richtdiagramms ist aber bei Druckempfängern gleicher Geometrie im wesentlichen vorgegeben, und um Mikrofone gleicher Abmessungen geht es hier. Phasendrehungen, die durch minimalphasige Equalizer hervorgerufen werden, ergeben sich in ähnlicher Weise auch im Wandler, wenn er akustisch verändert wird.

Das Ergebnis der Hörtests war überraschend eindeutig. Für zylindrische Mikrofone mit frontalem Schalleinfall und 20mm Durchmesser ergab sich ein Wunschfrequenzgang, der in Abb. 4 dargestellt ist.

Der Anstieg des Freifeldfrequenzgangs soll bei 5kHz beginnen. Bei logarithmischer Frequenzachse setzt er sich linear bis 20kHz fort und erreicht dort ca. +6dB.

Ein Vergleich zeigt, dass der Frequenzgang typischer Diffusfeldkugeln ähnlichen Durchmessers früher, also bei zu niedrigen Frequenzen, einsetzt und dass er bereits oberhalb 10kHz wieder abfällt.

Der Staudruck

Es ist nicht einfach, den Kurvenverlauf des Wunschfrequenzgangs zu erzielen. Der Buckel im Frequenzgang klassischer Diffusfeld-Druckempfänger mit dem anschließenden, unerwünschten Höhenabfall (Abb. 3) ist nämlich nicht nur durch die Lage der Systemresonanz zu erklären. Dieser Kurvenverlauf ergibt sich auch, wenn der Wandler – der Theorie

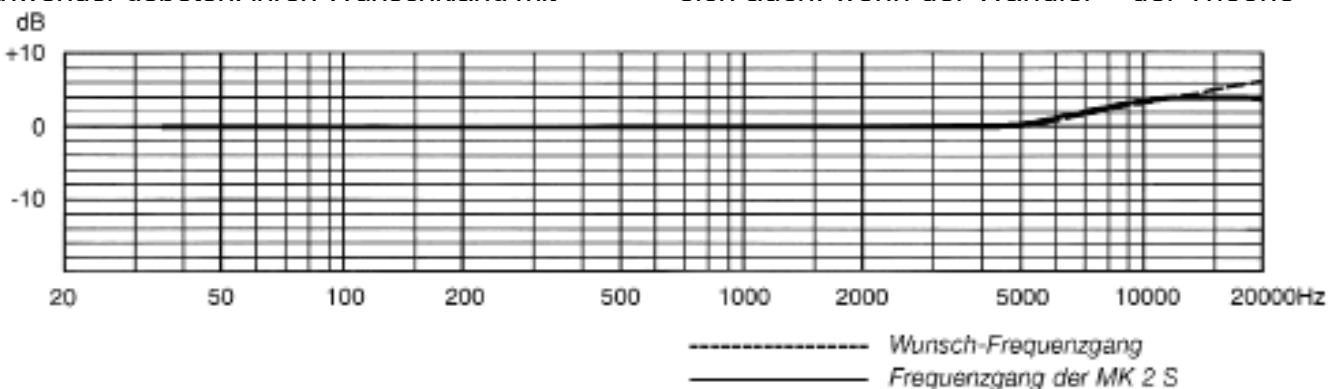


Abb. 4

entsprechend – sehr hoch abgestimmt wird, so dass seine mechanische Eingangsimpedanz im gesamten Übertragungsbereich eine Feder ist. Die Ursache liegt in dem Einfluss der Mikrophonkapsel auf das Schallfeld und dem dadurch zustande kommenden "Staudruck".

Objekte, die nicht klein gegenüber der Wellenlänge sind, beeinflussen nämlich das Schallfeld, indem sie Beugungen und Reflexionen verursachen. Dadurch kommt es zu Schalldruckänderungen, die von der Einfallrichtung des Schalls und der Frequenz abhängen. Das senkrechte Auftreffen einer ebenen Welle auf einen würfelförmigen Körper führt in der Mitte der getroffenen Fläche beispielsweise zu einem Frequenzgang des Schalldrucks, wie er qualitativ in Abb. 5 dargestellt ist /2/, /3/.

Die Verhältnisse sind stilisiert, um den Einfluss der Größe eines reflektierenden Objekts

zu verdeutlichen. Die Kurve ist zunächst nicht als Funktion der Frequenz dargestellt, sondern in Abhängigkeit vom Verhältnis der Seitenlänge des Würfels zu der Wellenlänge. Bei anderen Körpern, wie z.B. Zylindern, ergibt sich ein ähnlicher Verlauf. Bei senkrechtem Schalleinfall auf die reflektierende Fläche ergibt sich der größte Druckanstieg. Daher die Bevorzugung axial auf das Mikrophon auftreffenden Schalls.

Für ein Mikrophon mit 34 mm Durchmesser ergibt sich nach Umrechnung von L/λ die obere Frequenzachse in Abb. 5 (Achse a). Da die akustische Wellenlänge von 10 kHz in Luft ebenfalls 34 mm beträgt, ergibt sich für diese Frequenz $L/\lambda=1$.

Die untere Frequenzachse (b) hat dann Gültigkeit, wenn die Membran zentral in einer extrem großen Fläche liegt, wie das beim später zu besprechenden Grenzflächenmikrophon angenommen wird. $L/\lambda=1$ bei 10Hz bedeutet,

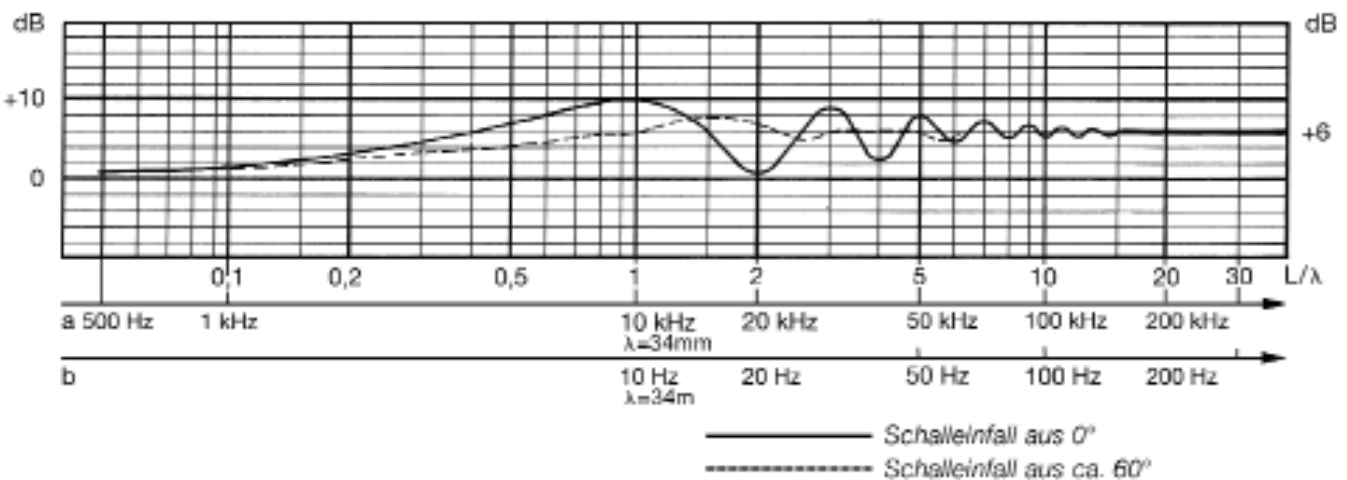


Abb. 5a,b: Typischer Frequenzgang des Schalldrucks in der Mitte eines reflektierenden Objekts

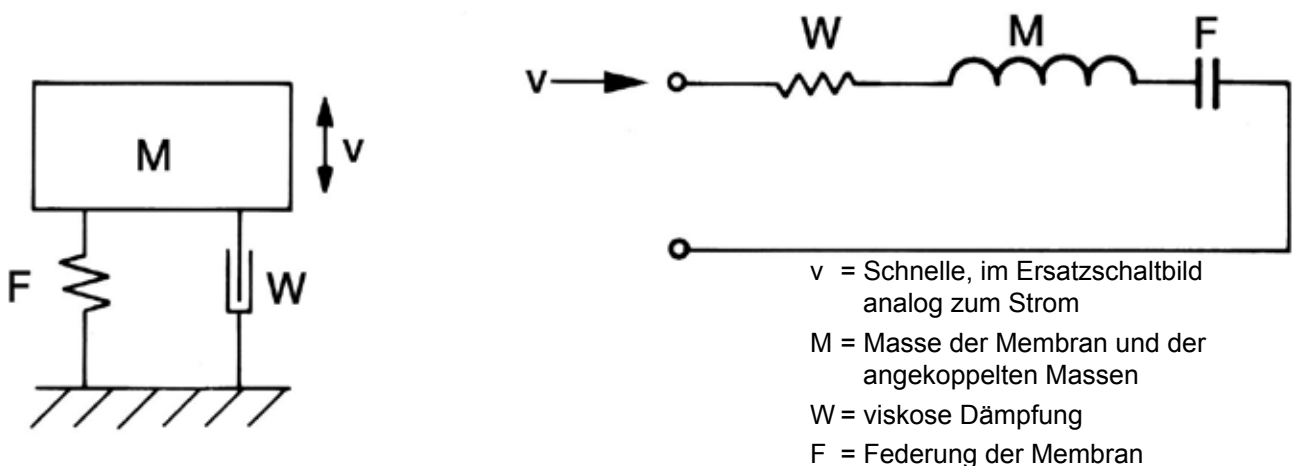


Abb. 6: Mechanisches System und elektrische Analogie eines elektrostatischen Druckempfängers

dass die Abmessung $L/\lambda=1$ entsprechend der akustischen Wellenlänge dieser Frequenz 34 m groß sein muss.

Realisierung des Wunsch-Frequenzgangs

Um bei einer Mikrofonkapsel dem Frequenzgang von Abb. 5a entgegenzuwirken, so dass der erwünschte Verlauf von Abb. 4 erreicht wird, muss das Schwingungssystem in geeigneter Weise aufgebaut werden.

Abb. 6 zeigt das einfachste Schwingungssystem eines Kondensatordruckempfängers und eine elektrische Analogie. Einem höheren Strom entspricht hier eine höhere Schnelle.

Eine oberhalb des "Staudruckbuckels" liegende Resonanzfrequenz kommt der Wandlertheorie entgegen, aber die hohe Impedanz im darunter liegenden Übertragungsbereich bewirkt einen kleinen Übertragungsfaktor und damit in der Praxis einen schlechten Störspannungsabstand. Außerdem ergibt sich bei mittleren Frequenzen nicht der Wunschfrequenzgang.

Abb. 7 zeigt das vereinfachte Ersatzschaltbild der Kapsel MK 2 S. Durch den Nebenschluss des hochabgestimmten Kreises mit F_3

durch W_2, M_2, F_2 , ergibt sich ein hoher Betriebsübertragungsfaktor, und der Geräuschspannungsabstand hat einen der Digitaltechnik gerechtfertigenden Wert. Ferner ist der Impedanzverlauf bei entsprechender Dimensionierung geeignet, den Frequenzgang in der erwünschten Form zu strecken. Erst oberhalb 16kHz wird die Steigung der Frequenzkurve leicht negativ (Abb. 4). Eine besondere Detailarbeit, die den Frequenzgang ermöglicht, kann im Ersatzschaltbild jedoch nicht dargestellt werden. Sie steckt in der Nutzung der Effekte der Druckverteilung in Abhängigkeit vom Ort auf der Membran.

Weitgehend konstante Gruppenlaufzeit

Die Anhäufung von Reaktanzen im Schwingungssystem (Abb. 7) kann die Vermutung aufkommen lassen, dass der Phasengang negativ beeinflusst wird. Tatsächlich ist es jedoch durch geeignete Dimensionierung des dargestellten Minimumphasen-Netzwerks möglich, eine Linearität zu erreichen, die keine Nachteile gegenüber der reinen arctan-Funktion klassischer Konstruktionen wie Abb. 6 ergibt.

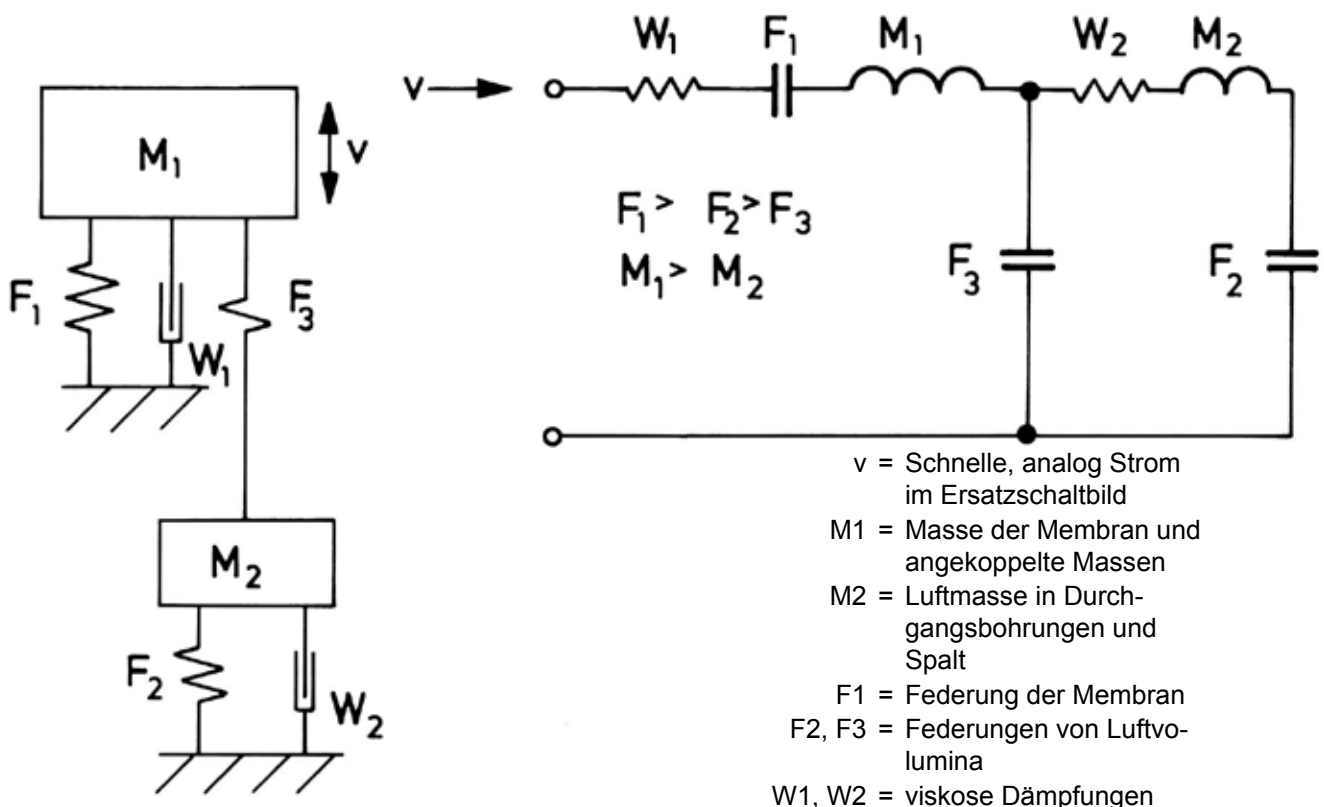


Abb. 7: Vereinfachtes mechanisches System und elektrische Analogie der Kapsel MK 2 S

Der Phasengang wird in der Audiotechnik relativ selten diskutiert, und es gibt wohl aus diesem Grund auch manchmal falsche Vorstellungen darüber. Daher sei es erlaubt, hier darauf hinzuweisen, dass der ideale Phasengang linear mit der Frequenz wächst oder fällt und bei 0Hz immer Null ist!

Als anschauliches Beispiel kann eine kurze Schallwegstrecke dienen, die ohne Zweifel keine Veränderung der Kurvenform bzw. des Klangs eines Schallereignisses zur Folge hat. Für bestimmte Frequenzen entspricht diese Wegstrecke der halben Wellenlänge bzw. einer 180°-Phasenverschiebung. Bei der doppelten Frequenz passt dann aber schon eine ganze Wellenlänge, entsprechend 360°, in die gleiche Wegstrecke. Die absolute Größe des Phasenwinkels spielt also keine Rolle. Nur die Ableitung nach der Frequenz, die so genannte Gruppenlaufzeit, muss konstant sein ($\tau = d\phi/d\omega = \text{konst.}$).

Das Polardiagramm bei hohen Frequenzen

Auch die MK 2 S bevorzugt bei hohen Frequenzen axial einfallenden Schall. Dies kann nützlich sein. Die Richtwirkung verursacht bei einer AB-Stereoanordnung, deren Mikrofone auseinander gerichtet werden, auf diese Weise zusätzlich zum Laufzeitunterschied einen Pegelunterschied zwischen den Kanälen. Es gibt Anwender, die so eine Verbesserung der Lokalisationsschwäche der AB-Technik herbeiführen.

Dennoch bleibt der Wunsch nach einem Mikrofon, dessen Polardiagramm auch noch bei hohen Frequenzen eine Kugel ist und dessen Frequenzkurven im freien und diffusen Schallfeld deshalb nicht divergieren.

Die übliche Abhilfe gegen das nicht ideale Richtdiagramm bei hohen Frequenzen ist der Bau kleinerer Mikrofone, aber diesem Lösungsweg sind leider Grenzen gesetzt: Kleinere Membranen führen auf Grund verschiedener Ursachen zu kleineren Betriebsübertragungsfaktoren (Empfindlichkeit), was wiederum eine Verschlechterung des Störspannungsabstands nach sich zieht. So ist es kein Zufall, dass heute praktisch alle zylindrischen Mikrofone, die ohne Einschränkung

im Studiobetrieb verwendet werden können, wenigstens 16mm Durchmesser haben. Die Mehrheit dieser Mikrofone hat Durchmesser um 20mm.

Der Druckempfänger als Grenzflächenmikrofon

Es gibt aber noch einen anderen Lösungsweg, um einen Druckempfänger mit einem frequenzunabhängigeren Richtdiagramm zu bauen. Wir wissen, dass die Abweichungen vom kugelförmigen Richtdiagramm vom Durchmesser der Membran und von der Größe und Form des Mikrofongehäuses abhängen. Ist die Membran klein gegenüber der Wellenlänge, und bauen Beugung und Reflexionen am Gehäuse keinen frequenz- und richtungsabhängigen Staudruck auf, ist das Richtdiagramm stets eine ideale Kugel.

Statt nun das Mikrofon besonders klein zu bauen, kann man auch versuchen, den Mikrofönkörper sehr viel größer als die Wellenlänge zu machen. In Abb. 5 verschieben sich damit die Unebenheiten des Druckanstiegs am Mikrofönkörper zu tiefen Frequenzen und spielen keine Rolle mehr, wenn sie in den nicht übertragenen Infraschallbereich fallen (Abb. 5b). Im Übertragungsbereich ergibt sich dann ein Schalldruckanstieg von +6dB, wie allgemein bei totaler Schallreflexion.

Da die Kurven des Druckanstiegs in Abb. 5 bei einem hohen Verhältnis von L/λ weniger vom Schalleinfallswinkel abhängen, wird auch das Richtdiagramm unabhängiger von der Frequenz.

Die notwendige Größe eines derartigen Mikrofönkörpers errechnet sich leicht zu mehreren Metern. Daher entwickelte man Wandler, die sehr flach sind, so dass sie beim Aufbringen auf vorhandene große, ebene Flächen praktisch als Bestandteil dieser Fläche angesehen werden können. Auf den Fußboden gelegt, ist der Betrieb am einfachsten.

Während die Schallreflexion tiefer Frequenzen durch Fußböden oder Wände meistens ausreichend gewährleistet ist, muss für mittlere und hohe Frequenzen ein Reflektor vorgesehen werden. Dazu integriert man den Wandler in eine schallharte Platte (Abb. 8). Derartige so genannte Grenzflächenmikrofone sollten nicht



Abb. 8: Grenzflächenmikrofon BLM 53 U

auf einem Stativ betrieben werden, da sonst die Welligkeit der Druckverstärkung entsprechend Abb. 5 mitten in den Übertragungsbereich fällt. Der Wegfall von Stativen ist darüber hinaus oft ein beachtlicher Praxisvorteil.

Bei richtigem Einsatz auf großen schallreflektierenden Flächen ist das Richtdiagramm halbkugelförmig und weitgehend frequenzunabhängig. Im Gegensatz zu klassischen Druckempfängern ist daher keine Ausrichtung des Mikrofons auf die Schallquelle erforderlich. Auch bei hohen Frequenzen gibt es kaum Bündelung, und die damit zusammenhängenden Vorteile können vielen Anwendern neue Aspekte eröffnen.

Natürlich sollen die Schallquelle und ein beispielsweise am Boden liegendes Mikrofon nicht durch Hindernisse getrennt werden. Die

„Sicht“ ist erforderlich, um nicht hohe Frequenzen, die nicht um das Hindernis herum gebeugt werden, abzuschatten.

In der Praxis kann es deshalb erforderlich werden, Grenzflächenmikrofone auf schallreflektierenden Platten zu montieren. Das Ideal einer einige zehn Meter großen reflektierenden Fläche muss dann natürlich aufgegeben werden. In der Praxis haben sich Platten mit mindestens 1 m² Fläche bewährt. Die Platten dürfen selbst nicht schwingen bzw. resonieren. Dicke Plexiglasscheiben z.B. sind geeignet. Außerdem soll das Mikrofon nicht genau in der Mitte der Platte montiert werden, und diese soll nicht rund sein, damit die akustischen Effekte am Rand nicht alle nach gleicher Laufzeit auf das Mikrofon wirken. Das hätte einen besonders deutlichen Einfluss auf den Frequenzgang.

Bei Aufnahmen von Sprache ist oft auch ein (möglichst schallharter) Tisch geeignet, um sehr zufrieden stellende Aufnahmen aller Personen am Tisch zu erzielen. In diesem Fall ist die Größe der Tischplatte weniger kritisch, weil Sprache keine besonders tiefen Frequenzen enthält und die Unebenheiten des Frequenzgangs im untersten Frequenzbereich ohnedies oft durch die raumakustischen Effekte verdeckt werden. Sollte es ausnahmsweise zu einer unerwünschten Addition von stehenden Wellen kommen, kann ein anderer Aufstellungsort oder Absenken der tiefen Frequenzen helfen.

Literaturverzeichnis:

1. G. Boré, Das Übertragungsmaß der Mikrophone bei tiefen Frequenzen und seine Messung, Fernseh- und Kinotechnik, 32. Jahrgang, Nr. 3, 1978, S. 101 - 103
2. Müller, Black, Davis, Bell Telephone, 1937
3. H.F. Olson, Acoustical Engineering, D. Van Nostrand Company Inc., London, New York, 1957, S. 20 - 21

9. Grenzflächen-Kurzinformation

Wie man die Grenzflächentechnik prinzipiell verstehen kann, ist in den letzten Kapiteln von Aufsatz 8 beschrieben. Die folgenden Ausführungen und Abbildungen sollen in Kurzform über die besonderen Merkmale der Grenzflächentechnik mit Druck- und Druckgradientenempfängern informieren.

1. Der Druckempfänger als Grenzflächenmikrofon

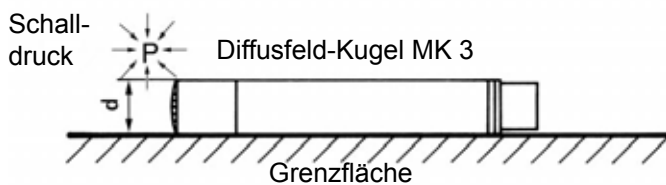


Abb. 1

Veränderung des Frequenzgangs durch eine große Grenzfläche (mehrmals so groß ist wie die Wellenlänge der tiefsten zu übertragenden Frequenz):

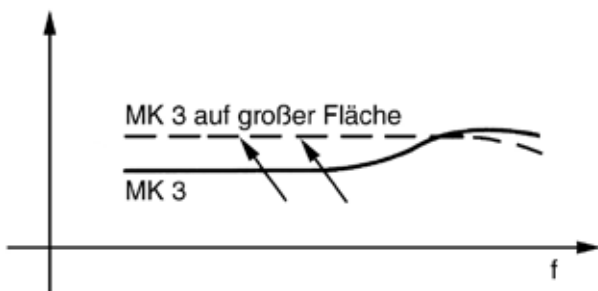


Abb. 2

In diesem Fall wird sämtlicher Schall an der Grenzfläche reflektiert, auch tiefe Frequenzen, die um Mikrofone normaler Größe herum gebeugt werden. Daher ergibt sich bei den Tiefen eine Pegelerhöhung von 6dB, entsprechend der Totalreflexion.

Bei hohen Frequenzen tritt eine leichte Pegelsenkung ein, da der Staudruck vor einem zylindrischen Mikrofon höhere Werte erreicht, als es der Totalreflexion entspricht.

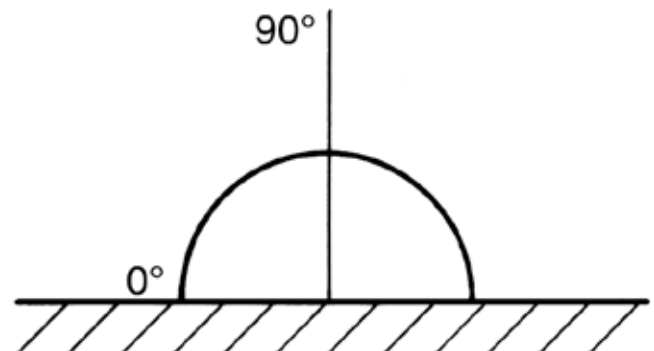


Abb. 3

Eine zu kleine Grenzfläche hat u.a. eine erhebliche Welligkeit des Frequenzgangs zur Folge, mit einer ersten Überhöhung bei der Frequenz, deren akustische Wellenlänge der ungefähren Abmessung der Fläche entspricht (siehe Aufsatz 8).

Veränderung des Richtdiagramms durch eine große Grenzfläche:

Das halbkugelförmige Richtdiagramm ist weniger frequenzabhängig als die vordere Hälfte des Richtdiagramms eines kleinen Mikrofon mit Kugelcharakteristik.

Weiterer Unterschied zur Kugel: Direkter Schall wird 3dB empfindlicher aufgenommen als reflektierter (diffuser) Schall. Bei einer Niere beträgt diese Differenz 4,8dB (Bündelungsmaß).

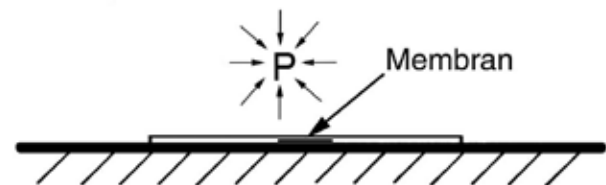


Abb. 4a



Abb. 4b: Grenzflächen-Mikrofonkapsel BLM 03 C

Der Druck in Luft, hier der Schalldruck, ist ungerichtet. Man kann daher den Grenzfächeneffekt exakter nutzen, wenn man die Membran in die Fläche legt, statt nur den Effekt in der Schichtdicke "d" aufzunehmen (Abb. 1). Bei BLM 3 und BLM 03 C (Abb. 4b) ist außerdem die Schalleintrittsöffnung verkleinert.

2. Der Druckgradientenempfänger als Grenzflächenmikrofon

Hier muss die Hauptachse des Mikrofons parallel zur Grenzfläche liegen, da der Druckgradient eine zu ihr parallel gerichtete Größe ist.

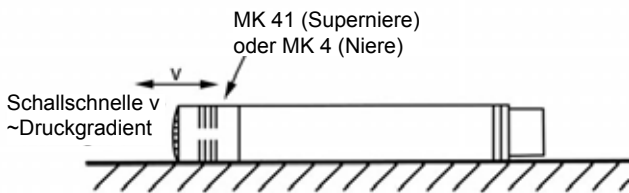


Abb. 5

Veränderung des Frequenzgangs durch eine große Grenzfläche

Aus den gleichen Gründen, die zulassen, dass allgemein bei Druckgradientenempfängern keine Unterscheidung zwischen Freifeld- und Diffusfeld-Wandlern gemacht werden muss, ist der Einfluss einer ausreichend großen Grenzfläche auf den Frequenzgang gering. Bezüglich der Größe der Fläche gelten aber die gleichen Bedingungen wie beim Druckempfänger.

Veränderung des Richtdiagramms durch eine große Grenzfläche

Das Richtdiagramm wird halbiert. Das Bündelungsmaß wird 3dB größer und erreicht so bei Verwendung einer Hyperniere 9dB! Damit ergibt sich eine beachtliche "Reichweite" ohne die Frequenzabhängigkeit von Rohr-Richtmikrofonen.

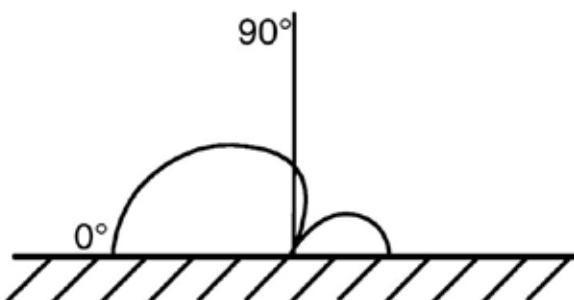


Abb. 6

Wenn sich der Akteur vom am Boden liegenden Mikrofon entfernt (Abb. 7), kommt er immer mehr auf die Hauptachse des Mikrofons, und der Pegel nimmt überraschend wenig ab. (Empfehlung: MK 41)

Problem: Im Gegensatz zum Druckempfänger sind Richtmikrofone besonders empfindlich gegenüber Körperschall. Eine wirksame Isolation ist daher meist nötig, wenn auch tiefe Frequenzen übertragen werden sollen.

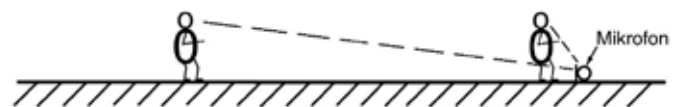


Abb. 7

Abb. 8 zeigt ein Beispiel, wie mit Hilfe eines Zubehörs (BLC) ein Miniaturmikrofon (CCM 41L) zu einem gerichteten Grenzflächenmikrofon wird.



Abb. 8: CCM 41L (Superniere) mit BLC

10. Betriebsverhältnisse von Mikrofonen bei Wind und Popp

Vortrag, gehalten auf der 14. Tonmeistertagung 1986, bearbeitet

In diesem Beitrag werden die verschiedenen Mikrofontypen und ihre unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber Einflüssen von Wind- und Poppgeräuschen beschrieben. Alle Mikrofonarten haben ihre eigenen Vor- und Nachteile. Die verschiedenen Windschutzmaßnahmen, zum Beispiel Schaumstoffwindschutz, kugelförmig abgerundete Zylinder, pelzartige Windschutzüberzüge werden behandelt.

Der Autor kommt zu dem Ergebnis, dass alle Elemente der Übertragungskette, insbesondere aber der Eingang, an dem das Mikrofon angeschlossen wird, eine hohe Übersteuerungssicherheit haben müssen. Das am besten für Aufnahmen bei Wind geeignete Mikrofon hat Kugelcharakteristik. Eine steilflankige Tiefenabsenkung am Mikrofon vermeidet ein "Zustopfen" der folgenden Stufen. Auf Druckempfängern sind Schaumstoffwindschutz am wirksamsten, auf Druckgradientenempfängern indessen die Windschutzkörbe.

Unter Zugrundelegung dieser Erkenntnisse wurde später eine neue Art von Schaumstoffwindschutz entwickelt, die innen hohl sind. Solche Windschutz bewähren sich gut, insbesondere bei Open-Air-Konzerten, bei denen es nicht nur auf den Schutz gegen Wind ankommt, sondern auch auf bestmöglichen Erhalt der Klangqualität.

Eine erweiterte Form dieses Aufsatzes liegt in Englisch vor /1/.

1. Problem – Ursachen

Probleme mit Wind sind jedem Praktiker, der Tonaufnahmen im Freien macht, zur Genüge bekannt. Auch dieser Aufsatz bietet keine Patentlösung, aber es werden einige Hinweise zur Lösung spezifischer Probleme gegeben.

Popp-Störungen werden durch Plosivlaute ausgelöst, wenn das Mikrofon in kurzem Besprechungsabstand benutzt wird. Diese Störungen haben große Ähnlichkeit mit Windstörungen, aber sie treten nur kurzzeitig auf und kommen praktisch immer aus der gleichen, definierten Richtung. Popp-Mikrofone können speziell für diesen Anwendungsfall entwickelt werden und dadurch relativ kompakt gebaut sein. Für den allgemeinen Einsatz bei Wind sind sie meist weniger geeignet. Umgekehrt kann ein Mikrofon mit einem Windschutz aber gut zur Vermeidung von Popp-Störungen eingesetzt werden, wenn dessen Größe nicht stört.

Eine Möglichkeit, Standardmikrofone vor Popp-Problemen zu schützen, sind Gewebeschilder, die mit einigen Zentimetern Abstand vor der Einspracheöffnung des Mikrofons montiert werden. Mit ihnen lässt sich die Klangqualität des Mikrofons bei hoher Schutzwirkung am besten erhalten.

2. Mikrofontypen

Verschiedene Mikrofontypen weisen unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber Störungen durch Wind auf. Der größte Unterschied ergibt sich zwischen Druckempfängern, also Mikrofonen mit Kugelcharakteristik, und Richtmikrofonen, deren Funktion auf der Nutzung des Druckgradienten beruht.

Druckempfänger haben nur eine Schalleintrittsöffnung, an der für alle Frequenzen des Übertragungsbereichs stets die volle Amplitude des örtlichen Schalldrucks zum Antrieb der Membran zur Verfügung steht. Dass dies sehr vorteilhaft ist, um die Empfindlichkeit gegenüber Wind gering zu halten, wird deutlich, wenn man sich die Verhältnisse bei Druckgradientenempfängern vergegenwärtigt.

Bei diesem Wandlertyp ist es die Druckdifferenz zwischen den Schalleintrittsöffnungen, die zum Antrieb der Membran genutzt wird. Diese Druckdifferenz wird aber bei tiefen Frequenzen geringer, da dem konstanten Abstand zwischen zwei Schalleintrittsöffnungen ein kleinerer Phasenwinkel entspricht. Um einem Tiefenabfall des Systems entgegenzuwirken, muss daher die Membran für tiefe Frequenzen sehr leicht beweglich sein. Dies führt zu einer besonders großen Empfindlichkeit der Druckgradientenempfänger gegenüber Wind. Die Störungen an den Schalleinlässen sind außerdem nur wenig korreliert, so dass die Differenz hohe Spitzenwerte annehmen kann.

Rohr-Richtmikrofone erzielen ihre besondere Richtwirkung bei hohen Frequenzen durch Interferenz. Bei Windproblemen handelt es sich aber vor allem um tieffrequente Phänomene. Da die gängigen Rohr-Richtmikrofone in diesem Frequenzbereich Druckgradientenempfänger sind, verhalten sie sich im Wesentlichen wie diese.

3. Messtechnik

Die messtechnische Untersuchung von Mikrofonen im Wind gestaltet sich nicht ganz einfach, weil die meisten künstlichen Windquellen, wie zum Beispiel Ventilatoren, Geräusche machen, die natürlich ebenfalls vom Mikrofon aufgenommen werden und so das Messergebnis verfälschen. Sofern man das Mikrofon an seinem Kabel pendeln lässt, kann man nach den bekannten physikalischen Gesetzen die eintretende Geschwindigkeit am Mikrofon und damit eine relative Windgeschwindigkeit bestimmen. Es gibt noch weitere Methoden, aber leider entsprechen diese Versuche in der Praxis meist nur dem Anwendungsfall mit einer schnell bewegten Angel, und es ist nicht ausreichend, einen Windschutz nur danach zu konzipieren. Wind um ein bewegtes Mikrofon ist laminar, und ein Windschutz, der sich unter diesen Umständen bewährt, kann in einer turbulenten Strömung eventuell sogar eine Verschlechterung der Windempfindlichkeit des Mikrofons bewirken. Ausgerechnet turbulente Strömungen stören aber im Freien ganz besonders.

Ende der 60er Jahre hat H. Buhlert als Mitarbeiter des IRT in Hamburg einen großen, leisen Lüfter entwickelt, der Wind geeigneter Turbulenz produzieren kann. Diese Windmaschine wurde von mehreren Mikrofonherstellern nachgebaut und hat bisher gute

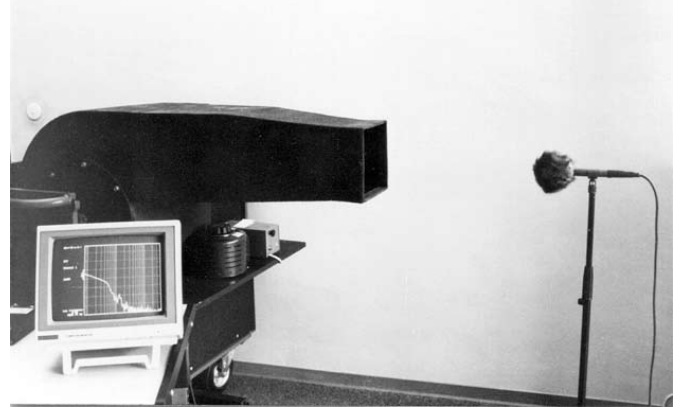


Abb 1: Messaufbau mit Windmaschine

Dienste geleistet. Abb. 1 zeigt diese Maschine.

Das typische Störspektrum weist einen sehr starken Anstieg zu tiefen Frequenzen hin auf. Dies liegt zunächst in der Natur des turbulenten Windes, wird aber – wie bereits erklärt – bei Verwendung von Druckgradientenempfängern noch verstärkt. Abb. 2 zeigt die Spektren für einen Druckempfänger und einen Druckgradientenempfänger mit Supernierencharakteristik. Der Betriebsübertragungsfaktor (Empfindlichkeit) beider Mikrofone ist gleich.

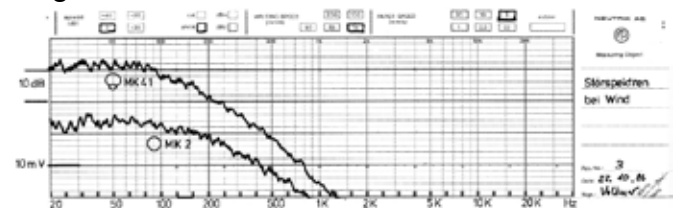


Abb. 2: Typische Störspektren bei Wind (Originaldiagramm)

4. Eingangsverstärker

Lange Messreihen haben gezeigt, dass die Störspektren natürlich vom Windschutz abhängen, ferner von der Windgeschwindigkeit und dem Winkel, in dem der Hauptstrom des Winds auftrifft. Die Tendenz ist jedoch immer gleich: Die höchsten Störampplituden gibt es bei den tiefsten Frequenzen.

Hier liegt eine besondere Problematik für den angeschlossenen Mikrofonverstärker. Sofern Kondensatormikrofone verwendet werden, bekommt der Eingang bereits einen um etwa 20dB höheren Pegel als bei dyna-

mischen Mikrofonen und muss entsprechend übersteuerungssicher sein. Meist wird aber die Übersteuerungssicherheit nur für den Übertragungsbereich angegeben oder eventuell sogar nur für 1kHz. Dadurch wird nicht deutlich, welche Probleme bei Wind entstehen können.

Abb. 3 zeigt den Klirrfaktor eines Mikrofoneingangs mit kleinem Eingangsübertrager. Man sieht, dass der Klirrfaktor unter 20Hz steil ansteigt. Die gewählte Eingangsspannung ist dabei noch nicht einmal so hoch, wie sie heute viele moderne Kondensatormikrofone verzerrungsfrei abgeben können. Bei Übersteuerungen sollte man daher nicht nur an das Mikrofon denken.

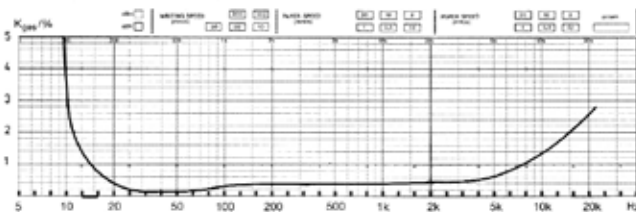


Abb. 3: Klirrfaktorverlauf eines Mikrofoneingangs mit kleinem Übertrager bei 300mV Eingangsspannung (Originaldiagramm)

Da viele Mikrofone sogar im Infraschallbereich noch zu erheblichen Störpegeln durch Wind angeregt werden, kommt es schließlich dazu, dass der Eingangsübertrager gesättigt wird, somit wie ein Transduktor arbeitet und den Signalfluss unterbricht. Aus dem theoretisch unhörbaren Ereignis des Infraschalls wird dann das bekannte "Zustopfen". Natürlich kann dies auch durch andere nichtlineare Elemente im Übertragungsweg ausgelöst werden.

In besonderen Fällen können die Verhältnisse am Eingangsübertrager noch verschärft werden, wenn die Phantomspeisung Mängel aufweist. Die Gleichheit der Speisewiderstände ist mit einer Differenz von max. 0,4% genormt. Wenn statt dessen dennoch ungepaarte 5%-Widerstände Verwendung finden, ist nicht nur die Betriebsunsymmetriedämpfung Zufallssache. Es können auch Gleichströme durch den Übertrager fließen, die dessen Aussteuerbarkeit verschlechtern (siehe auch Aufsatz 13).

Nach diesen Ausführungen kommt der Eindruck auf, dass dynamische Mikrofone eventuell wesentlich bessere Voraussetzungen zum Einsatz bei Wind bieten. Das ist aber kaum der Fall.

Mikrofone können zwischen Wind und Schall nicht unterscheiden. Sofern die Übertragungseigenschaften gleich sind, ergeben sich daher unabhängig vom Wandlertyp gleiche Ausgangssignale, wenn die die Membran treibenden Kräfte gleich sind. Es spielt dabei keine Rolle, ob diese Kräfte aus dem Schallfeld stammen oder vom Wind herrühren.

Dennoch ergibt sich in der Praxis oft der Eindruck, dynamische Mikrofone böten Vorteile bei Wind. Daher ist es sinnvoll, die Ursache zu klären, um sie auf das Kondensatormikrofon zu übertragen.

Vom höheren Pegel der Kondensatormikrofone war bereits die Rede, und es ist selbstverständlich, dass er bei unzureichender Aussteuerbarkeit des Eingangs reduziert werden kann, obwohl das im Interesse der übrigen Störsicherheit zu bedauern ist.

Außerdem haben dynamische Mikrofone oft einen weniger guten Tiefenfrequenzgang, vor allem, wenn man auch tiefste Frequenzen betrachtet. Dynamische Systeme geraten dort zwangsläufig an die Grenze ihrer Linearität, da sie für eine konstante Ausgangsspannung eine konstante Schnelle der Membran benötigen. Sie würde bei besonders tiefen Frequenzen zu unmöglich großen Hüben führen. Beim Kondensatormikrofon ist die Ausgangsspannung jedoch proportional zur Auslenkung der Membran, und das System kann theoretisch bis zu 0Hz herab arbeiten.

Um Windproblemen zu begegnen, ist es daher bei Kondensatormikrofonen besonders wichtig, eine geeignete Tiefenabsenkung einzuführen. Wie schon zuvor bemerkt, muss dies eventuell vor dem Eingangsübertrager erfolgen. Abb 4 zeigt die Frequenzkurve eines kontinuierlich einstellbaren Filters, das zwischen die Kapsel und den Verstärker eines

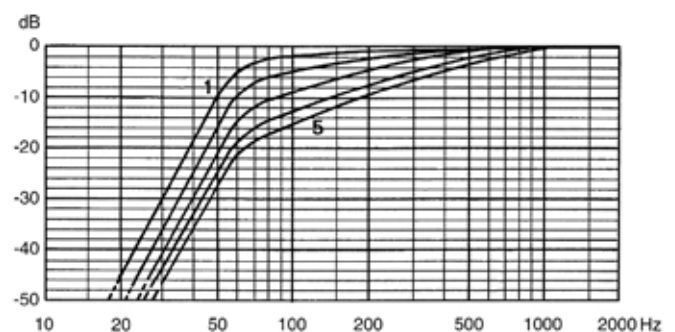


Abb. 4: Frequenzgänge des Filters CUT 1

Kondensatormikrofonen eingefügt werden kann. Gegen die Übersteuerung von Übertragern hilft besonders der starke Abfall von 24dB/Okt. unterhalb 60Hz.

5. Windschutztypen

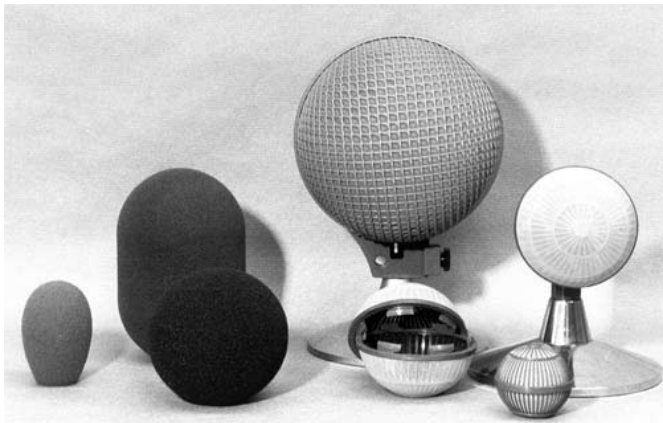


Abb. 5: Windschutze: links Vollschaumstoffmodelle, rechts Körbe

Schließlich spielt aber der Windschutz eine bedeutende Rolle. Bei dynamischen Mikrofonen ist das System meist mehr geschützt als bei den vergleichsweise "nackten" Kondensatormikrofonen.

Unter den Windschutzten sollen im Weiteren vor allem die beiden Grundtypen analysiert werden, die im Abb. 5 gezeigt sind. Es handelt sich um Windschutzkörbe und um einfache Vollschaumstoff-Windschutze, die am weitesten verbreitet sind.

Hohle Schaumstoffwindschutze haben wesentliche Eigenschaften mit den Windschutzkörben gemein, aber die inneren Reflexionen sind weniger ausgeprägt /1/.

Der Windschutzkorb ist dadurch gekennzeichnet, dass er ein Volumen um die Kapsel oder auch das gesamte Mikrofon einschließt. Das ist ein wesentliches Merkmal, weil hierdurch eine besonders große Wirkung bei Druckgradientenempfängern erzielt wird. Wie bereits früher erwähnt, trägt nämlich die geringe Korrelation zwischen den Störgrößen an den unterschiedlichen Schalleintrittsöffnungen zur hohen Windempfindlichkeit dieser Mikrofone bei. Das umschließende Volumen funktioniert nun aber bei tiefen Frequenzen, deren Wellenlänge groß ist gegenüber dem Windschutz, partiell wie eine Druckkammer. Dadurch werden die Drücke an den Schallein-

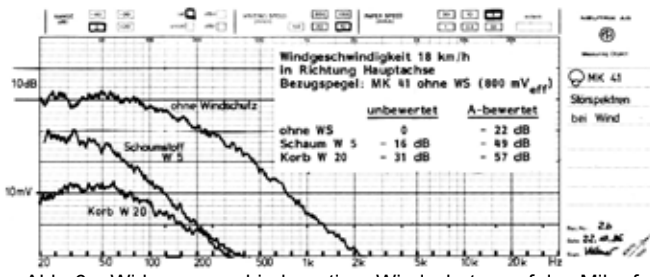


Abb. 6a: Wirkung verschiedenartiger Windschutze auf das Mikrofon CMC 541U (Superniere)



Abb. 7a: Wirkung verschiedenartiger Windschutze auf das Mikrofon CMC 52U (Kugel)

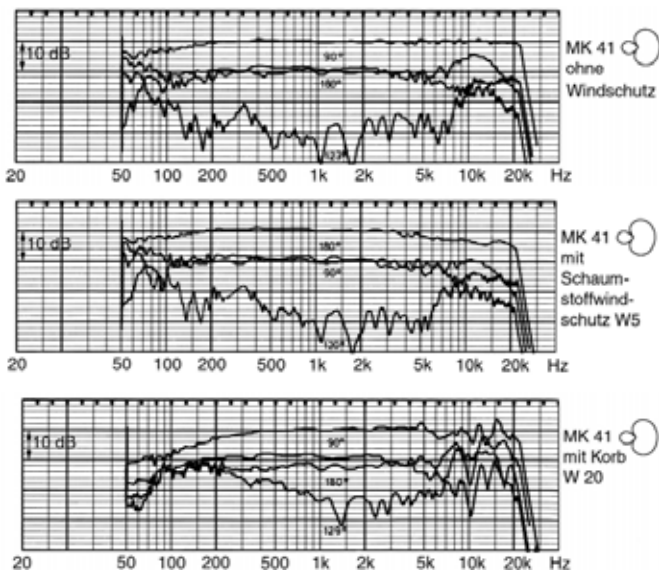


Abb. 6b: Akustischer Einfluss verschiedenartiger Windschutze auf ein Mikrofon mit Supernierencharakteristik (CMC 541U) Oben: ohne Windschutz Mitte: mit Schaumstoffwindschutz W 5 unten: mit Korb W 20

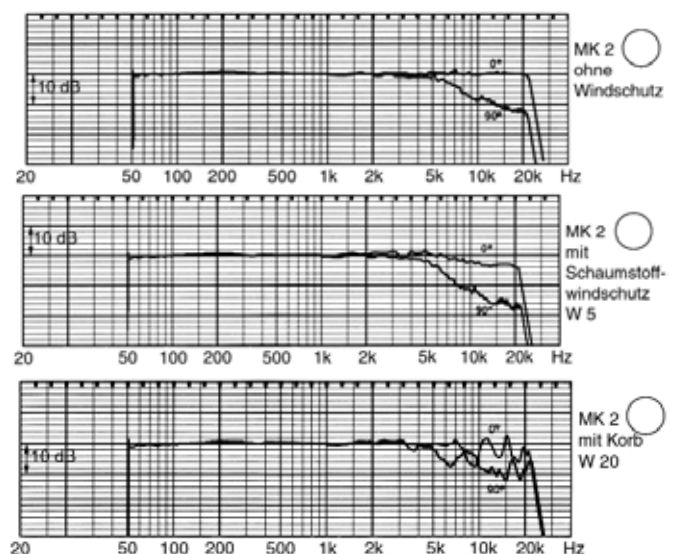


Abb. 7b: Akustischer Einfluss verschiedenartiger Windschutze auf ein Mikrofon mit Kugelcharakteristik (CMC 52U) Oben: ohne Windschutz Mitte: mit Schaumstoffwindschutz W 5 unten: mit Korb W 20

lassen des Richtmikrofons stärker miteinander korreliert, und die die Membran bewegende Differenzstörung wird kleiner. Dieser Effekt wird umso stärker, je dichter das Volumen abgeschlossen ist, je dichter also beispielsweise der Stoff der Umhüllung gewebt ist. Natürlich sind hier Grenzen gesetzt, denn letztendlich wird die eigentliche Funktion des Mikrofons dadurch beeinträchtigt. Alle Windschutze haben außer ihrem erwünschten Effekt auch nachteilige Nebenwirkungen auf den Frequenzgang und das Richtdiagramm, und dies gilt meist umso mehr, je wirksamer der Windschutz bei vorgegebener Größe ist. Sie spielt eine bedeutende Rolle: Ein größerer Windschutz verschlechtert im allgemeinen die Übertragungseigenschaften weniger als ein ebenso wirksamer kleiner Windschutz.

Abb. 6 und 7 zeigen die Wirkung und den akustischen Einfluss der verschiedenen Windschutztypen auf Mikrofone der beiden unterschiedlichen Arbeitsprinzipien.

Die Windschutzkörbe (hier W 20) behindern die hindurchlaufende akustische Welle derart, dass ein Teil der tieffrequenten Wellen in einen gleichmäßig verteilten Wecheldruck im Inneren des Volumens umgewandelt wird. Dieser bereits erwähnte "Druckkammereffekt" ist für die Wirkung des Windschutzes auf Druckgradientenempfängern (hier MK 41) wichtig. Gleichzeitig wird aber eine Tiefenabsenkung bewirkt, weil die Membran dieser Mikrofone durch den Differenzdruck zwischen den Schalleinlässen bewegt wird.

Die Tiefenabsenkung als solche ist oft durchaus wünschenswert. Nachteilig ist dagegen, dass durch die Wirkung des Windschutzkorbs bei Tiefen auch ein Teil der Richtungsinformation verloren geht. Das Bündelungsmaß wird daher in diesem Frequenzbereich reduziert.

Bei hohen Frequenzen, bei denen der Windschutz größer ist als $\lambda/2$, ergeben sich im Inneren stehende Wellen, wie sie aus der Raumakustik bekannt sind. Dies führt zur Welligkeit des Frequenzgangs, die davon abhängt, wo die Kapsel im Windschutz platziert ist (am besten nahe der Mitte). Außerdem hat die akustische Wandlerimpedanz Rückwirkungen auf die Schwingungsmodi, so dass

es sich nicht allgemein angeben lässt, wie der Frequenzgang verändert wird. Es ist aber eindeutig, dass eine klangliche Verfärbung eintritt.

Sofern ein gewöhnlicher Schaumstoffwindschutz (hier W 5) auf einem Druckgradientenempfänger verwendet wird, ist er für die Arbeit im Freien oft nicht genügend wirksam. Die Ursache besteht darin, dass der Schaumstoff an den Schalleintrittsöffnungen anliegt und daher keine verbesserte Korrelation zwischen den Störungen am vorderen und hinteren Schalleinlass zustande kommt.

Der Schaumstoff als solcher dämpft Turbulenzen aber besonders wirksam und ist daher sehr gut geeignet, Windstörungen bei Druckempfängern (hier MK 2) zu reduzieren. Schaumstoffwindschutze sind auf Druckempfängern sogar wirksamer als die Windschutzkörbe.

Sofern die Verwendung eines Mikrofons mit Kugelcharakteristik akzeptiert werden kann, ist es sehr zu empfehlen, lediglich einen dicken Schaumstoffwindschutz zu verwenden. Bei Eigenbauten ist auf eine geeignete Dichte und Porenzahl zu achten. Besonders wichtig ist außerdem, dass der Schaumstoff offenporig ist.

Der Einfluss auf den Frequenzgang und das Richtdiagramm ist im Wesentlichen nur bei hohen Frequenzen feststellbar. Der Schaumstoff wirkt mit seinen engen Kanälen und Lufteinschlüssen wie ein akustischer RC- oder auch LC-Tiefpass und absorbiert Höhen. Durch Verwendung diffusfeld-entzerrter Kugeln lässt sich dies aber kompensieren.

Nach diesen Ausführungen sollen noch einige Sonderformen von Windschutzten erwähnt werden.

Bei allen Windschutzten kann außer der noch durchdringenden Windstörung auch ein Sekundäreffekt beobachtet werden, nämlich die Entstehung von Geräuschen am Windschutz selbst. Kugelförmige oder kugelförmig abgerundete Zylinder vermeiden am besten die Entstehung zusätzlicher Turbulenzen am Windschutz. Dabei muss man auch sehr darauf achten, dass zum Beispiel Versteifungsstege keine Pfeifgeräusche verursachen. Ein pelzartiger Windschutzüberzug vermeidet

nicht nur gut das Zustandekommen von zusätzlichen, sondern bedämpft auch wirksam die vorhandenen Turbulenzen.

Eine andere Sonderform betrifft Schaumstoffwindschutze, die innen hohl sind. Sie unterscheiden sich bei der Verwendung auf Druckgradientenempfängern sehr positiv von den bekannteren Vollschaum-Ausführungen. Wesentliche Merkmale dieser Hohl-Schaumstoffwindschutze (SCHOEPS: B5D und W5D) fallen unter die Kategorie der Windschutzkörbe.

Eine weitere Sonderform betrifft die Schachtelung von Windschutzkörben, also die Verwendung eines zusätzlichen Windschutzes in einem Windschutzkorb.

Generell lässt sich feststellen, dass dieses Verfahren bei Druckempfängern nicht sinnvoll ist. Ein gleich voluminöser Schaumstoffwindschutz bringt bei diesen Wandlern praktisch immer das bessere Windschutzmaß.

Auf Druckgradientenempfängern ist die Schachtelung erfolgreich, aber sie hat unter Umständen schlimme Folgen auf Richtwirkung bzw. Bündelungsmaß. Darauf sollte man achten: Sofern geschachtelt wird, sollte auf dem Mikrofon kein Schaumstoffwindschutz Verwendung finden. Er kann das Ergebnis verschlechtern, weil er durch die unterschiedlichen Kanäle zum vorderen und hinteren Schalleinlass einen Teil der durch das Volumen des Korbs erhöhten Störungskorrelation wieder vermindert.

Schließlich soll noch eine Betrachtung von Windschutz bei stereofonen Mikrofonen angestellt werden. Auf koinzidenten Systemen, wie der in Abb. 8 unten gezeigten MS-Anordnung, kann man natürlich nur einen einzelnen Windschutz der beschriebenen Formen montieren. Am besten bringt man die ganze Anordnung in einem Windschutzkorb unter.

Bei dem unten abgebildeten ORTF-Mikrofon ist aber – wie gezeigt – die Montage von zwei Windschutzkörben möglich. Jede Kapsel für sich verhält sich natürlich wie bisher besprochen. Für die Mono-Summe beider Kapseln ergeben sich jedoch bessere Verhältnisse. Bei frontaler Beschallung ergibt sich für das Signal ein Pegelanstieg von 6dB. Das Windstörsignal erhöht sich aber wegen der geringen Links/

Rechts-Korrelation weniger. Ein gemeinsamer Windschutzkorb würde also in diesem speziellen Fall partiell den Nachteil bringen, dass die Links/Rechts-Korrelation der Störung erhöht wird, die dann im Mono-Signal ebenso stark auftritt wie im Stereo-Signal.



Abb. 8: ORTF- (oben) und MS-Stereomikrofon (unten)

6. Ergebnisse

Abschließend seien die wichtigsten Feststellungen zusammengefasst:

1. Alle Elemente der Übertragungskette, insbesondere aber der Eingang, an den das Mikrofon angeschlossen wird, müssen eine hohe Übersteuerungssicherheit haben. Dies gilt ganz besonders bei tiefen Frequenzen bis in den Infraschallbereich.

2. Das am besten geeignete Mikrofon für Einsatz bei Wind hat Kugelcharakteristik. Bei Luftbewegungen aller Art sollte man seinen Gebrauch immer erwägen und auch

bedenken, dass die Richtwirkung von Druckgradientenempfängern durch hochwirksame Windschutze bei tiefen Frequenzen ohnedies geschwächt wird.

Bei einem Vergleich von Kugel- und Richtmikrofon mit dem jeweiligen Windschutz muss außerdem berücksichtigt werden, dass die Kugel durch ihre perfekte Tieftonübertragung bei vielen Anwendungen im Freien im Nachteil ist. Deshalb sollte der Frequenzgang der Kugel durch ein elektrisches Filter so absenkt werden, wie es bei Richtmikrofonen naturgemäß gegeben ist. (Aufsätze 1 und 8)

3. Eine steilflankige Tiefenabsenkung am Mikrofon vermeidet das "Zustopfen" folgender Stufen.

4. Auf Druckempfängern sind Schaumstoffwindschutze am wirksamsten. Dem durch sie bewirkten Höhenabfall kann man mit Kapseln mit Höhenanstieg (Diffusfeldkapseln) begegnen. Weitere negative Einflüsse gibt es nicht.

5. Auf Druckgradientenempfängern sollte man möglichst nur Windschutze verwenden, die ein Volumen um alle Kapselöffnungen einschließen (Windschutzkörbe).

6. Windschutzkörbe bewirken auf Druckgradientenempfängern eine Tiefenabsenkung und sowohl auf ihnen wie auch auf Druckempfängern eine Welligkeit des Frequenzgangs bei hohen Frequenzen.

7. Große Windschutze beeinträchtigen bei gleicher Wirksamkeit die Übertragungsdaten meist weniger als kleine.

Literaturverzeichnis:

1. J. Wuttke, Microphones and Wind, J. Audio Eng. Soc., Vol. 40, No. 10, October 1992, S. 809 - 817; Weitere Literaturstellen in /1/: P. Buhler, Norddeutscher Rundfunk, Hamburg, unveröffentlichter Aufsatz
2. H.-J. Schubert, Einige Betrachtungen zur Dimensionierung von Windschutzgeräten für Studiomikrofone, Techn. Mitteilungen, Rundfunk- und Fernsehtechn. Zentralamt, Band 12, Nr. 4, 1986, S. 160 165
3. P. Költzsch, Zur Windgeräuschkämpfung von Windschirmen, Hochfrequenztechn. Elektroakust., Band 80, Februar 1971, S. 1-9
4. E. Werner, Dependence of Microphone Pop Data on Loudspeaker Properties, J. Audio Eng. Soc. (Engineering Reports), Band 38, Juni 1990, S. 469 -476
5. H. Wollherr und H. Ball, Messtechnische Bestimmung der Pop-Empfindlichkeit von Mikrofonen, in: Fortschritte der Akustik, DAGA-Tagungsband, 1991
6. J.C. Bleazey, Experimental Determination of the Effectiveness of Microphone Wind Screens, J. Audio Eng. Soc., Band 9, Januar 1961, S. 48 - 54
7. F. Skode, Windscreening of Outdoor Microphones, Brüel & Kjær Technical Review, Band Nr. 1, 1966, S. 3 - 10
8. M. Brock, Wind and Turbulence Noise of Turbulence Screen, Nose Cone and Sound Intensity Probe with Windscreen, Brüel & Kjær Technical Review Nr. 4, S. 32 - 39

11. Mikrofondaten und ihre Bedeutung in der Praxis

Vortrag, gehalten auf der 12. Tonmeistertagung 1981, überarbeitet

Unter der großen Anzahl wichtiger Mikrofondaten wird allgemein der Frequenzgang der Amplitude als besonders kennzeichnend angesehen. Ein einzelner Frequenzgang jedoch genügt nicht zur vollständigen Beschreibung eines Mikrofons. Z.B. führen verschiedene Schalleinfallswinkel meist zu unterschiedlichen Frequenzgängen. Zunächst soll daher das aufzunehmende Schallfeld betrachtet werden.

Das Schallfeld

Die Komponenten des natürlichen Schallfelds ohne Erstreflexionen sind in Abb. 1 dargestellt. Der zunächst in einem kleinen Bereich konzentrierte Schalldruck einer Schallquelle verteilt sich bei seiner Ausbreitung auf immer größere Raumteile. Die daraus resultierende Abnahme des Schalldruckpegels bei gleichartiger Ausbreitung in alle Richtungen – also Kugelwellen – ist in Abb. 1 dick gekennzeichnet. Der Schalldruck ist hier proportional zum Reziprokwert des Radius, nimmt also pro Abstandsverdopplung um 6dB ab.

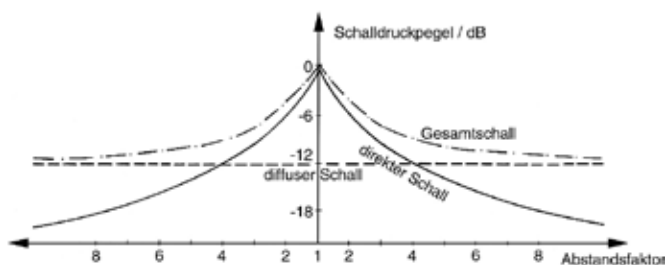


Abb. 1

Im schalltoten Raum gilt dies exakt. Sobald aber Reflexionen auftreten, addieren sich zum direkt von der Quelle herkommenden Schall Anteile aus anderen Richtungen. In Räumen wird der Schall an allen Wänden und Hinder-

nissen reflektiert, so dass man sich schließlich eine Gleichverteilung über alle Richtungen vorstellen darf. Der Schall ist diffus.

Der diffuse Schalldruckpegel ist in Abb. 1 durch die gestrichelte horizontale Gerade dargestellt. Dieser Pegel liegt um so höher, je länger die Nachhallzeit des Raums ist. Die Leistungsaddition von direktem und reflektiertem Schall ergibt den Gesamtschalldruck am jeweiligen Ort.

Um abzuschätzen, ob ein Mikrofon mehr im direkten oder im diffusen Schallfeld platziert ist, muss man den Hallradius kennen; dies ist der Bereich, innerhalb dessen der direkte Schallpegel höher ist als der diffuse. Der Hallradius eines Raums lässt sich berechnen. Er ist proportional zur Wurzel aus dem Quotienten von Volumen und Nachhallzeit. Das Volumen nimmt dabei wegen seines kubischen Charakters die wichtigere Rolle ein. Zwischen dem Volumen eines kleinen Raums und dem eines großen Saals besteht leicht ein Faktor von mehr als 100. Aus einer kurzen Nachhallzeit wird aber schon nach Multiplikation mit 10 eine lange Nachhallzeit. Daher sind die Hallradien in kleinen Räumen, wie dies leider in der Regel auch Abhörräume sind, meist überraschend klein, z.B. weniger als 1m. In guten Konzertsälen betragen sie oft 4 bis 6m.

Der Frequenzgang

Nur bei Einsatz des Mikrofons innerhalb des Hallradius' und korrekter Ausrichtung auf die Schallquelle gilt die Frequenzkurve des Datenblatts. Sie wird im schalltoten Raum und bei Beschallung allein in Richtung der Hauptachse des Mikrofons gemessen. Für schrägwinkligen Schalleinfall ergeben sich meist andere Frequenzgänge. Die Frequenzkurve im diffusen Schallfeld kann daher ebenfalls ganz anders aussehen. Dies ist auch die wichtigste Erklä-

rung dafür, warum Mikrofone mit – laut Datenblatt – gleichem Frequenzgang sehr unterschiedlich klingen können.

Der Frequenzgang im diffusen Schallfeld resultiert aus der Summe der verschiedenen Frequenzgänge für Schalleinfall aus allen Richtungen. Er ist von umso größerem Einfluss, je weiter entfernt von der Schallquelle ein Mikrofon in einem Raum aufgestellt wird.

Andererseits gibt es auch Gründe, die den Frequenzgang im direkten Schallfeld vorrangig erscheinen lassen. So formt der direkte Schallanteil, auch wenn er kleiner ist als der diffuse, stets die erste Wellenfront und liefert damit u.a. die Richtungsinformation. Außerdem erhöhen sich Anteil und Bedeutung des direkten Schalls dadurch, dass viele Schallquellen gerichtet abstrahlen und dass Mikrofone mit ausgeprägter Richtcharakteristik (z.B. Niere) eingesetzt werden. Statt des Hallradius' gilt dann der so genannte effektive Hallradius, der besagt, ab welcher Distanz der diffuse Schallanteil größer ist als der direkte. Der effektive Hallradius ist oft um den Faktor 2 bis 3 größer und wächst mit der Frequenz, wenn Reflexionen und Nachhallzeit abnehmen.

Das Richtdiagramm und sein Einfluss

Wie sieht der Frequenzgang im diffusen Schallfeld nun aus? Er wird allgemein nur mittelbar durch das Richtdiagramm bei verschiedenen Frequenzen ausgewiesen und findet deshalb nur wenig Beachtung.

Als erstes Beispiel betrachten wir einen Druckempfänger, also ein Mikrofon mit Kugelcharakteristik. Es liegt in der Natur dieser Mikrofone, dass sie bei höheren Frequenzen ihre konstante Empfindlichkeit für Schall aus allen Richtungen verlieren und mehr oder minder gerichtet empfangen. Das Richtdiagramm in Abb. 2 verdeutlicht dies und zeigt, dass Schall, der z.B. aus 180°, also von hinten auf das Mikrofon fällt, bei 10kHz um 6dB geschwächt gegenüber dem durch die Frequenzkurve ausgewiesenen Pegel aufgenommen wird. Wenn man die Pegelveränderung bei weiteren Frequenzen für die gleiche Schalleinfallrichtung aus dem Polardiagramm in das

Frequenzgangdiagramm überträgt, erhält man den kompletten Frequenzgang für Schalleinfall aus der gewählten Richtung.

Der diffuse Schall beinhaltet Schalleinfall aus allen Richtungen, so dass der entsprechende Frequenzgang in diesem Fall zwischen der 0°- und der 180°-Kurve liegt. Unter der meist zutreffenden Annahme, dass die Richtcharakteristik rotationssymmetrisch ist, kann man den Frequenzgang im diffusen Schallfeld durch grafisches Integrieren ermitteln, entsprechend der Definition des Bündelungsgrads (DIN 45591).

Der zu hohen Frequenzen hin fallende Frequenzgang im diffusen Schallfeld soll hier als Beispiel dienen, wie trügerisch die Betrachtung eines einzelnen Frequenzgangs sein kann. Das in Abb. 2 dargestellte – für Nahfeldeinsatz zweifellos hervorragende – Mikrofon würde in größerer Entfernung und überwiegend diffus Schallanteil ein dumpfes Klangbild liefern. Bei Druckempfängern höchster Qualität – wie bei Messmikrofonen – unter-

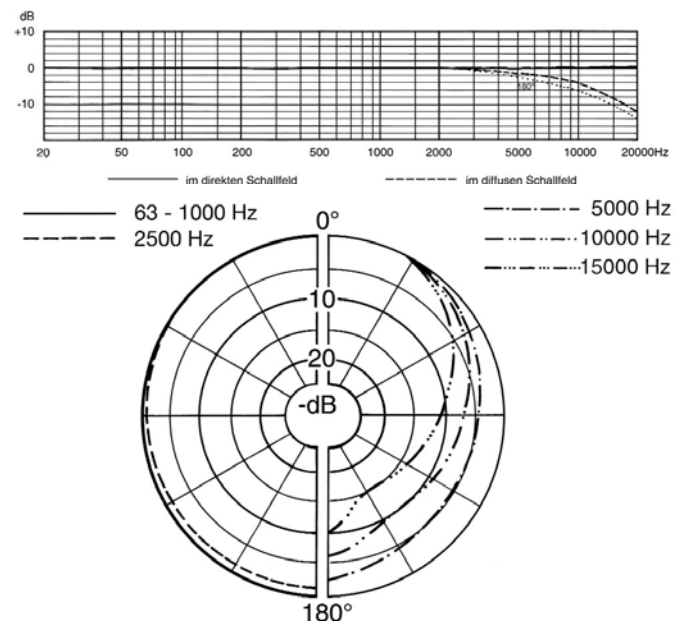


Abb. 2

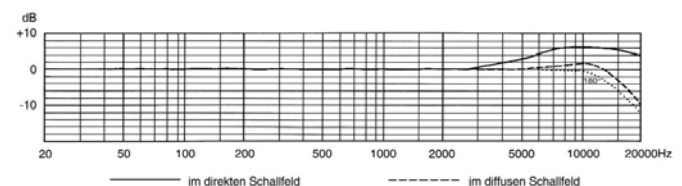


Abb. 3

scheidet man daher meist zwischen solchen für den direkten Schall (Freifeldtypen) und den für diffusen Schall. Letztere weisen eine

Frequenzgangüberhöhung im direkten Schallfeld auf, die den durch das frequenzabhängige Richtdiagramm bedingten Höhenverlust im diffusen Schallfeld kompensiert (Abb. 3). Beim bestimmungsgemäßen Einsatz eines diffusfeldentzerrten Mikrofons – also in großem Abstand zur Schallquelle – bekommt man daher nicht den Eindruck einer Höhenanhebung.

Andere Mikrofone, die prinzipbedingt ein besonders frequenzabhängiges Richtdiagramm haben und daher im diffusen Schallfeld anders reagieren, als es die üblicherweise veröffentlichte Frequenzkurve zeigt, sind die Interferenzrohr-Richtmikrofone. Da sie – ihrem Einsatzzweck entsprechend – weit von der Schallquelle eingesetzt werden, der diffuse Schallanteil also relativ groß ist, und andererseits der direkte Schall bevorzugt aufgenommen werden soll, ist bei ihnen nur ein Kompromiss zwischen gutem Freifeld- oder Diffusfeldfrequenzgang möglich.

Die Nutzung des Richtdiagramms

Druckgradientenempfänger wie Niere und Hyperniere bieten Möglichkeiten, dem Ideal eines Mikrofons nahe zu kommen, dessen Frequenzgänge im direkten und diffusen Schallfeld sehr ähnlich sind, obwohl es diesbezüglich nennenswerte Unterschiede zwischen den verschiede-

nen Modellen des Markts gibt. Abb. 4 und 5 zeigen die Frequenzgänge hochwertiger Kondensatormikrofone mit Nieren- und Supernierencharakteristik. Die Diffusfeldkurven liegen um das Bündelungsmaß unter den Kurven für den direkten Schalleinfall in Richtung der Hauptachse des Mikrofons.

Dies hat große Bedeutung im Hinblick auf die Vermeidung von akustischen Rückkopplungen. Der sie auslösende Schall der Lautsprecher wird mit einer um das Bündelungsmaß reduzierten Empfindlichkeit aufgenommen, wenn die Lautsprecher weiter vom Mikrophon entfernt sind als es dem Hallradius des Raums entspricht. Nur im Falle einer näheren Aufstellung – z.B. bei Bühnenmonitoren – spielt die Ausrichtung der Mikrofone zum nächsten Lautsprecher eine dominierende Rolle. Dann muss das Mikrophon mit seinem Empfindlichkeitsminimum zum Lautsprecher weisen.

So wie der Frequenzgang in der Praxis häufig von der Art des Schallfelds abhängt, verliert auch das Richtdiagramm an Bedeutung, wenn der diffuse Schall zunimmt. Das Richtdiagramm gilt nur für den direkten Schall. In den diffusen Anteilen eines natürlichen Schallfelds gibt es keine Vorzugsrichtung. Daher lässt die "Schärfe" der Richtwirkung in Räumen mit zunehmendem Abstand von der Schallquelle nach, bis sie im Extremfall nicht mehr feststellbar ist.

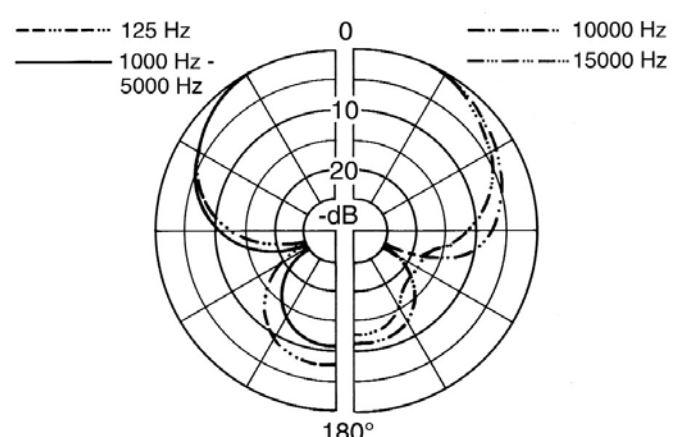
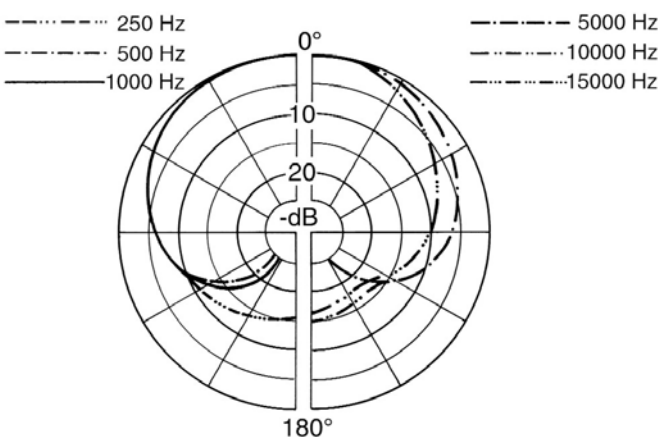
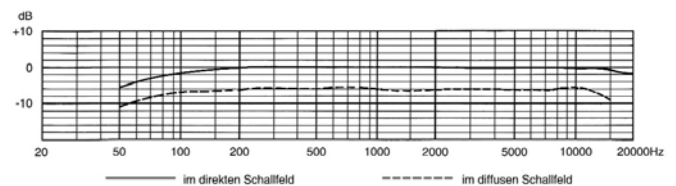
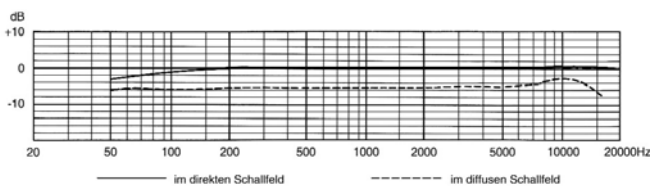


Abb. 4

Abb. 5

Die Vorstellung, dass Richtmikrofone Schall, der in Richtung ihrer Hauptachse einfällt, hervorheben, trifft leider nicht zu. Die Richtwirkung aller gängigen Modelle beruht alleine darauf, dass Schall aus anderen Richtungen als "von vorn" mehr oder minder unterdrückt wird. Anders ist dies nur bei der Verwendung eines Parabolspiegels.

Manche Anwender überschätzen die Möglichkeiten eines stark richtenden Mikrofons, weil sie erwarten, dass sie damit eine Schallquelle genauso orten können, wie sie selbst. Dies ist aber auf ein monofones Mikrofon nicht übertragbar. Der Mensch wertet die erste Wellenfront stereophon aus und kann nur deshalb auch im diffusen Schallfeld noch orten.

Wie hoch der Einfluss des diffusen Schallfelds ist, kann man abschätzen, indem man sich vorstellt, um wie viel leiser das gleiche Schallereignis bei gleichem Abstand in weniger reflektierender Umgebung – z.B. im Freien – wäre.

Die Dynamik

Nach diesen Betrachtungen zu Frequenzgängen und Richtdiagrammen soll die Dynamik diskutiert werden. Sie – bzw. ihre Grenzen – werden aus praktischen Gründen fast nur für hochwertige Kondensatormikrofone angegeben.

Die alleinige Angabe der Dynamik sagt noch nichts darüber aus, ob das Mikrofon auch für die Aufnahme sehr leiser Geschehnisse geeignet ist. Ein Dynamikgewinn kann z. B. alleine durch eine Erhöhung des Grenzschalldrucks erzielt werden, unter Beibehaltung des Grundgeräuschs. Im Hinblick auf die Vorzüge der Digitaltechnik wäre aber insbesondere ein geringes Grundgeräusch von Interesse.

Ersatzgeräuschpegel

Praktiker verwenden, auch nachdem es nicht mehr der Norm entspricht, noch gerne den Begriff der sog. "Ersatzlautstärke". Damit wird verdeutlicht, welcher akustische Pegel dem im Mikrofon zustandekommenden Störpegel unter Zugrundelegung der Empfindlichkeit entspricht. So ist die Suche nach einem

Mikrofon mit weniger als z.B. 24dB "Ersatzlautstärke" nicht sinnvoll, wenn schon die Umwelt des Studios "etwa so laut" ist.

Genau genommen ist diese Ausdrucksweise aber falsch. Lautstärke ist ein subjektives Maß, dessen Ermittlung schwierig ist. Der Pegel dagegen ist eine einfach messbare physikalische Größe. Man muss bei seiner Angabe allerdings darauf achten, ob und wie die Störung bewertet wurde. Störspannungsangaben fallen besonders niedrig aus, wenn die A-Kurve genutzt wird, was auch immer mit einer Effektivwertmessung verbunden ist. Deshalb werden solche Messergebnisse gerne in Katalogen genannt. Die A-Bewertungskurve war ursprünglich aber für ganz andere Einsatzgebiete gedacht.

Mehr Aussagekraft im Hinblick darauf, wie störend ein Signal ist, ergibt sich durch die Verwendung der CCIR-Bewertungskurve bei "quasi-peak-Messung". Diese Messart wurde eigens für Störspannungsuntersuchungen geschaffen. Die Katalogangaben zu Störspannungen fallen hiermit bei Kondensatormikrofonen ca. 10 - 12dB schlechter aus. Diese Relation kann aber nicht verallgemeinert werden.

Statt von der Ersatzlautstärke spricht man heute vom Ersatzgeräuschpegel oder auch vom äquivalenten Schalldruckpegel.

Der Geräuschspannungsabstand

Der Geräuschspannungsabstand ergibt sich aus dem Ersatzgeräuschpegel, indem man diesen von dem akustischen Bezugspegel von 1 Pascal abzieht (1Pa entspricht 94dB-SPL).

Da der akustische Bezugspegel weit unter Vollaussteuerung der Mikrofone liegt, kann ein Vergleich mit den Geräuschspannungsabständen anderer Geräte zu Trugschlüssen führen. Ein Geräuschspannungsabstand von z.B. 75dB mit CCIR-Bewertung ist ein exzellenter Wert für ein Mikrofon und erweckt evtl. dennoch keinen guten Eindruck. Würde man den Geräuschspannungsabstand von Mikrofonen – wie bei anderen Geräten – auf Vollaussteuerung beziehen, bekäme man Werte, die in der Digitaltechnik 20 bit oder mehr erfordern.

Der Grenzschalldruck

Die obere Grenze des Dynamikbereichs ist durch den Schalldruck gegeben, bei dem das Mikrofon – bei Kondensatormikrofonen meist der Mikrofonverstärker – einen vorgegebenen Klirrfaktor von z.B. 0,5% produziert. Soll der Grenzschalldruck eines Mikrofons voll in Anspruch genommen werden, ist es empfehlenswert, den Wert des Betriebsübertragungsfaktors – meist nur Empfindlichkeit genannt – zu betrachten. Es gibt Kondensatormikrofone, die bei Grenzschalldruck Linienpegel oder mehr abgeben. Dadurch kann es an dem Eingang, an den das Mikrofon angeschlossen wird, zur Übersteuerung kommen, die oft fälschlich dem Mikrofon angelastet wird. So können auch Popp- und Windprobleme, die mit hohen Ausgangsspannungen der Mikrofone verbunden sind, am Mischpulteingang entstehen, obwohl das Mikrofon selbst noch störungsfrei arbeitet. Diese Schwierigkeiten treten mit dynamischen Mikrofonen selten auf, weil sie viel geringere Pegel liefern als Kondensatormikrofone.

Impedanzen

Bei der Verarbeitung höchster Pegel durch Mikrofon und Mischpult müssen schließlich die Impedanzverhältnisse besondere Beachtung finden. Während dynamische Mikrofone hinsichtlich ihres Abschlusswiderstands relativ unkritisch sind, wird die maximale Aussteuerbarkeit von Kondensatormikrofonen allgemein durch einen zu niederohmigen Abschluss – z.B. 200Ω – stark reduziert. Dies hängt mit den Impedanzwandlerschaltungen der Mikrofonverstärker zusammen.

Generell soll der Innenwiderstand eines Mikrofons im Interesse geringer Störempfindlichkeit und geringen Rauschens so niederohmig wie möglich sein. Der Abschlusswiderstand soll dagegen so hochohmig sein, dass das Mikrofon praktisch im Leerlauf arbeitet. Auch für dynamische Mikrofone ist dies vorteilhaft. Schließlich bildet die Impedanz des Mikrofons mit der Impedanz des Eingangs einen Spannungsteiler, der frequenzabhängig sein kann, da die Komponenten R, L und C für Mikrofon

und Eingang nicht einheitlich sind. Frequenzangaben von Mikrofonen gelten stets für den Leerlauf. Eine Parallelschaltung von Mikrofonen ist daher generell unvertretbar. Das eine Mikrofon wird durch das andere zu stark belastet. Entkopplungswiderstände würden ins Rauschen eingehen, und im Falle von Kondensatormikrofonen würde die Phantomspannung beeinträchtigt sein (siehe Aufsatz 13).

Die Tatsache, dass Studiomikrofone sehr oft einen Innenwiderstand von 200Ω haben, hängt damit zusammen, dass meist Spulen im Einsatz sind, z.B. die Spule eines dynamischen Mikrofons oder die Sekundärseite eines Übertragers. Um mit diesen einen möglichst hohen Übertragungsfaktor zu erzielen, wird die Windungszahl hoch gewählt unter Ausnutzung des oberen Grenzwerts von 200Ω Innenwiderstand.

Kondensatormikrofonverstärker können auch ohne Übertrager und mit sehr niedrigem Innenwiderstand hohe Betriebsübertragungsfaktoren aufweisen (z.B. SCHOEPS CMC 54U: 15mV/Pa aus 35Ω). Die Eingangsimpedanz der angeschlossenen Geräte stellt im Betrieb die Lastimpedanz der Mikrofone dar. Sie liegt meist bei 600Ω und mehr. Damit ist der Leerlauffall annähernd erfüllt.

Der Betriebsfall, bei dem ein kleiner Quellwiderstand mit einem sehr hohen Lastwiderstand abgeschlossen wird, nennt man "Spannungsanpassung". Demgegenüber sind bei Leistungsanpassung Quell- und Lastwiderstand gleich, z.B. 200Ω . Dieser Betriebsfall ist für Mikrofone nicht vorgesehen; er bringt viele Nachteile mit sich. Wenn Hersteller von 200Ω -Eingängen sprechen, so ist dies – von bedauerlichen Ausnahmen abgesehen – oft nur ein unglücklicher Jargon. Tatsächlich beträgt die Impedanz dieser Eingänge nämlich durchaus 600Ω und mehr. Manchmal soll nichts weiter damit ausgedrückt werden, als dass die Empfindlichkeit dieser Eingänge für normale, dynamische Mikrofone mit symmetrischem 200Ω -Innenwiderstand ausgelegt ist.

Ein weiterer Grund für die irreführende Bezeichnung "200 Ω -Eingang" kann darin liegen, dass dieser Eingang mit 200Ω Quellimpedanz betrieben werden sollte, um einen konstanten

Frequenzgang zu gewährleisten. In diesen Eingängen befinden sich meist kleine Übertrager, deren Resonanzüberhöhung sehr dicht am – oder sogar im – Übertragungsbereich liegt. Der Frequenzgang ist dann nur bei Anschluss eines Mikrofons mit 200Ω Innenwiderstand korrekt. Andere Quellwiderstände beeinflussen den Frequenzgang bei hohen Frequenzen und, auf Grund der meist kleinen Hauptinduktivität, auch bei tiefen Frequenzen.

Wird ein Mikrofon mit niedrigerer Impedanz als 200Ω . an einen derartigen Eingang ange-

schlossen, sollten im Mikrofon oder im Kabel zwei ergänzende Widerstände symmetrisch in Serie geschaltet werden. Bei phantomgespeisten Kondensatormikrofonen ist dann zu beachten, dass diese Widerstände gepaart sein sollen, um die Symmetrie nicht zu stören. Der Einfluss auf Pegel und Stromversorgung ist unbedeutend; man gibt lediglich die Vorteile einer besonders niedrigen Quellimpedanz für das betreffende Mikrofon auf.

12. Elektrische Betriebstechnik von Kondensatormikrofonen

Dieser Aufsatz beschreibt auch Details der Tonaderspeisung, die allerdings schon vor 2010 kaum noch eine praktische Rolle spielte. Auf die 48 V-Phantomspeisung wird im 13. Aufsatz ausführlicher eingegangen.

1. Ein Kondensatormikrofon setzt sich aus dem Wand-Wandler (Kapsel) und dem Mikrofonverstärker zusammen. Der Mikrofonverstärker wird meist über das Mikrofonkabel aus dem angeschlossenen Gerät gespeist

Kondensatormikrofonwandler sind so hochohmig, dass sie ohne elektrisch aktive Anpassung nicht an Kabel angeschlossen werden können. Die Anpassung erfolgt durch den Verstärker im Kondensatormikrofon.

Der Speisestromkreis ist bei Studiogeräten (z.B. Mischpulten) meist eingebaut. Sofern dies nicht der Fall ist, müssen Batterien oder netzbetriebene Speisegeräte eingesetzt werden. (Abb.1)

2. Die Stromversorgung erfolgt durch verschiedene Speisungsarten.

Bei der Entwicklung der ersten transistorisierten Kondensatormikrofone hat man nach Möglichkeiten gesucht, den Strom des Speisegeräts über die gleichen Kabeladern in das Mikrofon zu liefern, auf denen auch das Signal liegt. Dadurch wurden zweiadrige Standardmikrofonkabel für alle Mikrofone einsetzbar.

Je nach Hersteller fand man unterschiedliche Lösungen, die lange Zeit miteinander konkurrierten.

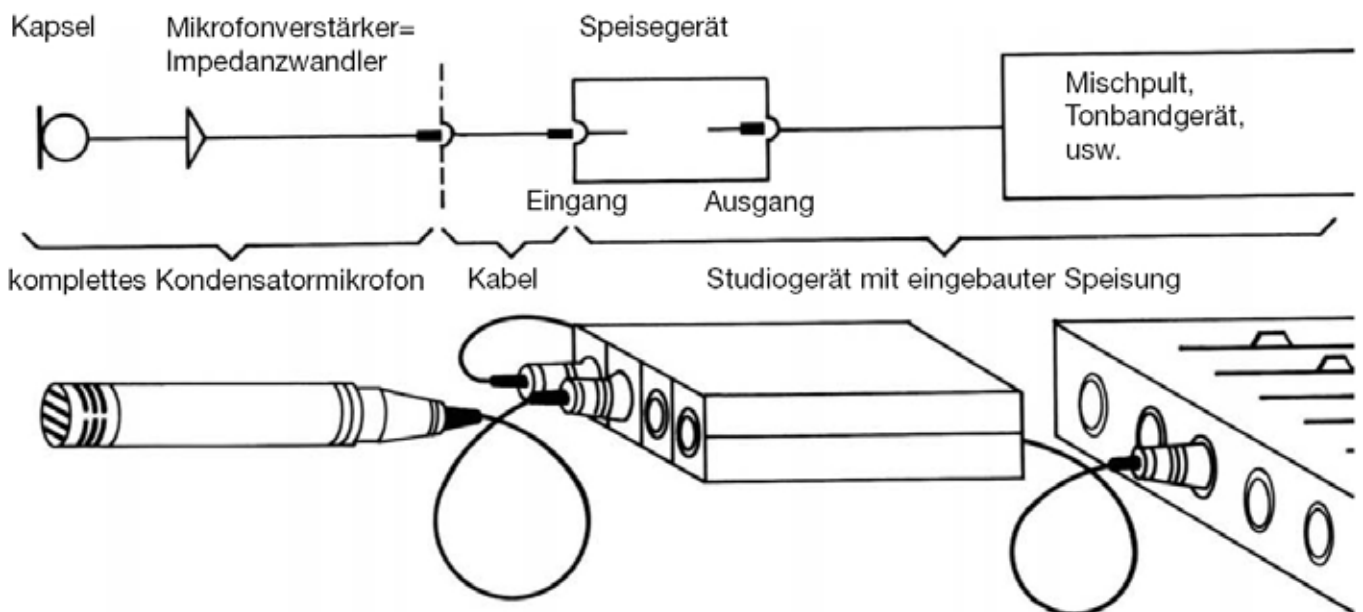


Abb. 1: Anschluss eines professionellen Kondensatormikrofons

Dieser Verstärker ist im wesentlichen nur ein Impedanzwandler. Seine Stromversorgung, die "Speisung", erfolgt im professionellen Bereich meist über das Mikrofonkabel, da eingebaute Batterien bei leistungsfähigen Mikrofonen relativ häufige Kontrollen erfordern würden.

2.1 Tonaderspeisung (parallel zum Signal)

Bei der Tonaderspeisung liegt die Betriebsspannung parallel mit dem Signal auf beiden Adern des Kabels. Diese Stromversorgung ist heute in Studios kaum anzutreffen.

Abb. 2 zeigt die Schaltung mit Angaben, wie sie in EN 61938 (früher DIN 45595, dann DIN IEC 268-15) genormt sind. Besonderheiten der Tonaderspeisung sind:

unsymmetrischen Betrieb einer der Speisewiderstände kurzgeschlossen. Etwaige Nachteile sind aber leicht vermeidbar, wie in 3.3.1.2.1 beschrieben.

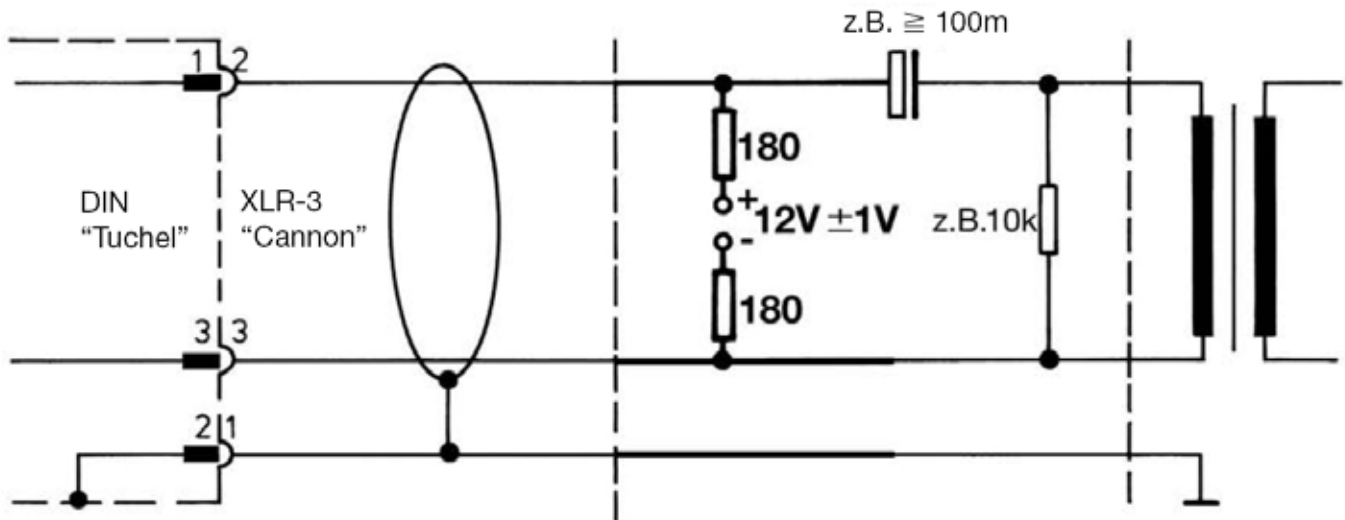


Abb. 2: Tonaderspeisung

2.1.1 Die Speisung soll abschaltbar sein.

Sofern ein tonadergespeistes Kondensatormikrofon durch ein dynamisches Mikrofon ausgetauscht wird, muss die Speisung abgeschaltet werden, denn dynamische Mikrofone lassen keinen Gleichstrom zu. Außerdem muss die Gleichspannung von der folgenden NF-Stufe entkoppelt werden.

2.1.2 Eine gute Siebung ist wichtig, eine gegenseitige Entkopplung mehrerer Mikrofone vorteilhaft.

Die Speisespannung muss sehr gut gesiebt sein, da sie parallel zur Signalspannung liegt. Bei mehreren, aus der gleichen Spannungsquelle betriebenen Mikrofonen kann eine getrennte Siebung zur Entkopplung nötig sein, wenn eine hohe Übersprechdämpfung gefordert wird.

2.1.3 Unsymmetrischer Betrieb ist problemlos.

Da der Schirm nicht im Stromkreis liegt, kann er prinzipiell mit einer der Adern verbunden werden. Unsymmetrischer Betrieb ist also sehr einfach zu realisieren. Ein Übertrager wird nicht benötigt.

Nach EN 61938 (DIN 45595) darf allerdings ein Pol der Versorgungsspannung an Masse liegen, was auch vorteilhaft im Hinblick auf die Symmetrie ist. Dann wird jedoch durch

2.1.4 Phase und Gleichspannungspolarität sind miteinander gekoppelt.

Eine weniger bedeutsame Eigenart der Tonaderspeisung besteht darin, dass die Kabeladern nicht vertauscht werden dürfen, da damit auch die Stromversorgung verpolt wird. Man kann dies nachteilig werten, weil so die Phasenlage erst nach der Speisung gedreht werden kann. Andererseits ergibt sich aber die Sicherheit, dass die Phasenlage mikrofonseitig stets richtig ist.

2.2 Phantomspeisung

Bei der Phantomspeisung wird der positive Pol der Speisespannung über zwei gleiche Speisewiderstände auf beide Adern gegeben; die Stromrückführung erfolgt über den Kabelschirm (Abb. 3). Diese Speisungsart ist heute die allgemein übliche Stromversorgungsart von Kondensatormikrofonen in Studios. In EN 61938 (DIN 45596) ist diese Speisung für verschiedene Spannungen genormt.

Die Definition eines maximalen Stroms ist nicht notwendig. Die Speisewiderstände sollten aus Sicherheitsgründen den Kurzschlussstrom zulassen. Entwicklungsgeschichtlich bedingt betrug die max. Stromaufnahme bei 48 V früher nur 2 mA.

Die Besonderheiten der Phantomspeisung sind:

2.2.1 Keine Gleichspannung zwischen den Adern des Mikrokabels, keine Probleme beim Anschluss symmetrischer dynamischer Mikrofone

Sofern die beiden Speisewiderstände exakt gleich sind (Selektion) und über beide Kabeladern der gleiche Strom fließt, kompensieren sich die Spannungsabfälle über den Speisewiderständen. Zwischen den Adern liegt daher keine Gleichspannung. Der Eingangsübertrager des nachfolgenden symmetrischen Eingangs wird meist direkt angeschlossen. Beim Anschluss dynamischer Mikrofone muss die Spannung nicht abgeschaltet werden. Es kommt auch zu keinem Stromfluss.

2.2.2 Hohe Störnempfindlichkeit bzw. Betriebssymmetriedämpfung; es ist keine gegenseitige Entkopplung mehrerer Mikrofone notwendig.

Da keine Spannung zwischen den Adern auftritt, bleiben auch Schwankungen der Versorgungsspannung ohne Einfluss auf das Signal, sofern nicht die Funktion des Verstärkers dadurch beeinträchtigt wird.

Die Restwelligkeit der Speisespannung ist daher nicht besonders kritisch. 1 mV kann meist zugelassen werden.

Ebenso haben Störspannungen, die in den Kabelschirm induziert werden und damit in Serie zur Stromversorgung liegen, nur einen um z.B. 60 dB gedämpften Einfluss auf das Signal

(Betriebsunsymmetriedämpfung).

Aus den gleichen Gründen ist bei der Speisung mehrerer Mikrofone aus einer gemeinsamen Spannungsquelle keine gegenseitige Entkopplung erforderlich.

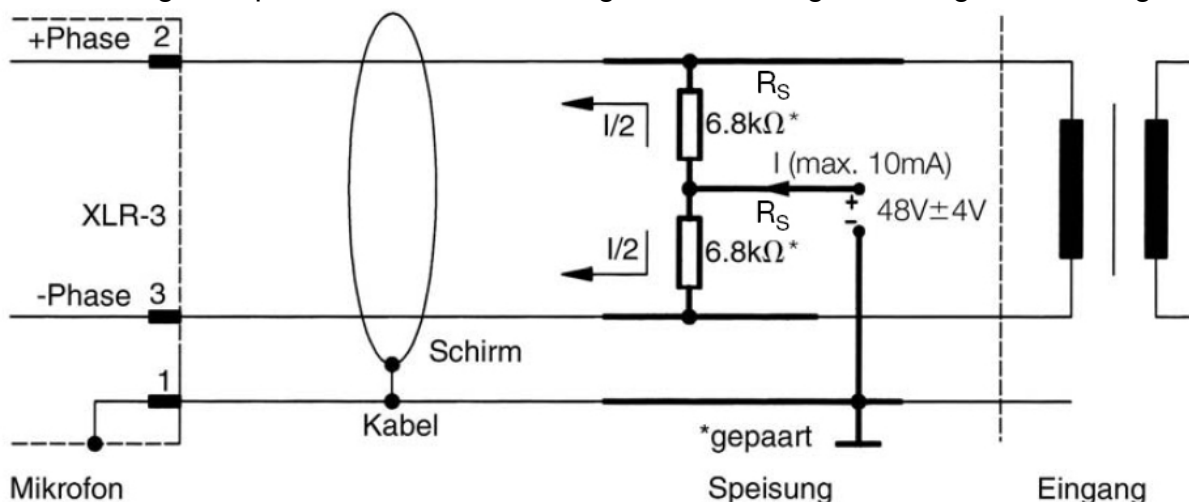
2.2.3 Voraussetzung für eine einwandfreie Phantomspeisung: auf höchstens 0,4% Differenz gepaarte Speisewiderstände

Die Besonderheiten der Phantomspeisung, wie unter 2.2.1 und 2.2.2 beschrieben, sind positiv, aber es muss daran gedacht werden, dass über beide Adern des Mikrofons der gleiche Strom fließt und dass die beiden Speisewiderstände eines Mikrofons exakt gleich sind. In der Praxis müssen die Toleranzen bedacht werden.

EN 61938 (DIN 45596) definiert, dass der Unterschied zwischen den Speisewiderständen eines Mikrofons nicht größer als 0,4% sein darf. Sogar die Verwendung von 1%-Widerständen ist also theoretisch nicht zulässig, da schließlich 2% Differenz resultieren könnten!

Der geforderte gleiche Strom auf beiden Adern gehört in den Aufgabenbereich des Mikrofonherstellers. Die Speisewiderstände sind aber meist im Mischpult eingebaut, und ihre Gleichheit obliegt daher der Verantwortung der Mischpulthersteller.

Ist die Gleichheit der Speisewiderstände nicht erfüllt, ergeben sich zwei unerwünschte Effekte: eine Magnetisierung des Übertragers (2.2.3.1)



| U | Rs | I _{max} |
|-----|-------|------------------|
| 48V | 6,8kΩ | 10mA |
| 12V | 680Ω | 15mA |

* Toleranz: ±20%, aber die Differenz der Widerstandswerte muss kleiner als 0,4% sein für eine ausreichende Symmetrie und zur Vermeidung einer schädlichen Gleichspannung zwischen den Adern.

Abb. 3: Phantomspeisung

und eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber elektrischen Störungen (Betriebsunsymmetriedämpfung 2.2.3.2).

2.2.3.1 DC-Offset bzw. Gleichstrommagnetisierung eines Übertragers durch nicht gepaarte Speisewiderstände

Wie Abb. 3 zeigt, wird das Signal aus dem Mikrofon meist direkt an den Eingangsübertrager des Mischpults angeschlossen. Damit keinerlei Gleichstrom durch den Übertrager fließt, müssen beide Speisewiderstände exakt gleich sein. Wie groß der DC-Offset in der Praxis sein darf, hängt von der Größe des Eingangsübertragers ab. Sofern das Mikrofon einen eingebauten Übertrager aufweist, ist natürlich auch dieser betroffen. Allerdings haben die meisten Kondensatormikrofone mit eingebautem Übertrager eine kleinere Stromaufnahme, so dass dadurch ggf. der DC-Offset entsprechend kleiner ist.

Eine Abhilfe gegen eine etwaige Gleichstrommagnetisierung des Eingangsübertragers im Mischpult kann natürlich durch Einbau von Koppelkondensatoren geschaffen werden. Die Nachteile dabei sind: erhöhter Aufwand und geringfügig kleinerer Fremdspannungsabstand, da der Eingang bei tiefen Frequenzen durch die Kondensatoren hochohmiger wird.

2.2.3.2 Erhöhte Störempfindlichkeit bzw. schlechte Betriebsunsymmetriedämpfung durch nicht gepaarte Speisewiderstände

Sofern Koppelkondensatoren entsprechend 2.2.3.1 eingebaut sind oder der Eingang des Mischpults ohne Übertrager arbeitet, bleibt die Forderung nach gepaarten Speisewiderständen dennoch unverändert bestehen, wenn man den Vorteil der Phantomspeisung nutzen will, dass Störungen, die auf das Kabel einwirken, so wenig Einfluss auf das Signal haben, wie man das bei symmetrischem Betrieb erwartet.

Sofern man definiert, dass eine in das Kabel induzierte Störspannung um wenigstens 60dB gedämpft auf das Signal gelangt, kommt man zu der bereits genannten Forderung, dass der maximale Unterschied zwischen den beiden Speisewiderständen 0,4% nicht überschreiten darf.

3 Anschlussstechnik

3.1 Impedanzen

Man muss zwischen der elektrischen Impedanz des Mikrofons und der Abschlussimpedanz unterscheiden (DIN 45590/45593). Mikrofone werden am besten unter Leerlaufbedingungen betrieben.

Die elektrische Impedanz des Mikrofons ist die Quellimpedanz (Innenwiderstand), und die Abschlussimpedanz ist gleich der Eingangsimpedanz des angeschlossenen Geräts. (Abb. 4) Falls die Abschlussimpedanz beispielsweise gleich der elektrischen Impedanz des Mikrofons sein sollte, kann die dadurch erfolgende Spannungsteilung unvorhersehbare Einflüsse auf den Frequenzgang haben, da die kapazitiven, induktiven und ohmschen Anteile beider Impedanzen nicht definiert sind. Ferner erfolgt bei rein ohmschen Verhältnissen eine Pegelsenkung um 6 dB. Da das Geräusch um weniger als 6 dB abnimmt (Leistungsbetrachtung), verschlechtert sich der Geräuschspannungsabstand.

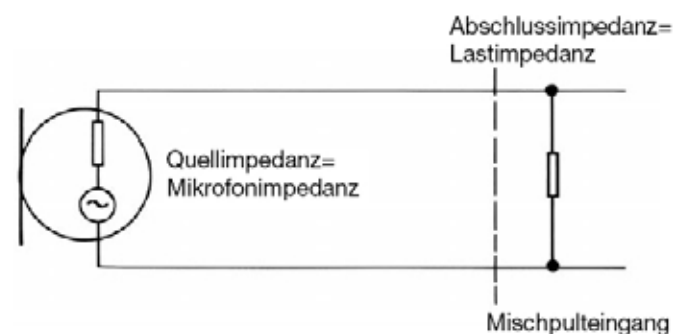


Abb. 4: Quellimpedanz und Lastimpedanz

Bei Kondensatormikrofonen gibt es einen weiteren Grund für eine möglichst große Abschlussimpedanz: Die Elektronik der Mikrofonverstärker kann nur wenig Leistung liefern, und so wird die max. Aussteuerbarkeit und damit der Grenzschalldruck durch eine zu kleine Lastimpedanz herabgesetzt.

3.1.1 Elektrische Impedanz des Mikrofons

Die Impedanz professioneller Mikrofone soll möglichst klein sein, um Störeinkopplungen unwirksam werden zu lassen.

Kleinere Werte als 200 Ω oder 150 Ω werden insbesondere deshalb selten realisiert, weil die Spulen von dynamischen Systemen oder Übertragern sonst zu wenig Ausgangsspannung liefern.

Halbleiterschaltungen können diesbezüglich leistungsfähiger sein und bei extrem niedriger Impedanz dennoch hohe Pegel liefern. Dies ist zwar ideal, aber in Ausnahmefällen ist Vorsicht geboten: Es gibt Mikrofoneingänge meist weniger hochwertiger Geräte, die nur dann einen konstanten Frequenzgang bieten, wenn sie aus einer Quellimpedanz von 200 Ω betrieben werden. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn die Eingangsübertrager sehr klein sind oder eine Gegenkopplung auf den Eingang zurückgeführt ist.

Die Abhilfe ist einfach: Man schließt zum Innenwiderstand des Mikrofons symmetrisch in beide Adern einen Widerstand derart, dass 200 Ω oder 150 Ω erreicht werden. Natürlich ist es besser, ein Gerät zu benutzen, das eine solche Technik nicht erfordert.

3.1.2 Abschlussimpedanz

Die Eingangsimpedanz des Geräts, an welches das Mikrofon angeschlossen wird, ist für das Mikrofon die Abschlussimpedanz. Die vom Hersteller angegebene Nennabschlussimpedanz soll nicht unterschritten werden.

Für niederohmige Mikrofone gemäß 3.1.1. sind 600 Ω meist ausreichend hoch. Dies soll jedoch auch bei tiefen Frequenzen noch erfüllt sein.

So genannte "200 Ω-Eingänge" weisen messtechnisch glücklicherweise meist viel mehr als 200 Ω auf. Ihre Bezeichnung ist meist ein Jargon, der besagen soll, dass die Eingangsempfindlichkeit für den mittleren Betriebsübertragungsfaktor gewöhnlicher dynamischer "200 Ω Mikrofone" ausgelegt ist.

3.2 Pegeldämpfung

Pegeldämpfung ist erforderlich, wenn Kondensatormikrofone an Eingänge angeschlossen werden, die hauptsächlich für dynamische Mikrofone entwickelt wurden.

Professionelle Kondensatormikrofone liefern bis zu 20 dB höhere Ausgangsspannungen als dynamische Mikrofone. Verzerrungen, die dadurch am Eingang des angeschlossenen Geräts auftreten können, äußern sich natürlich bei den Signalspitzen.

"Poppen" bei Plosivlauten, insbesondere bei Worten mit "P", müssen also nicht unbedingt auf das Mikrofon oder einen eventuell unzureichenden Windschutz zurückzuführen sein.

Eine Pegelsenkung ist prinzipiell einfach durch eine Dämpfungsschaltung zu realisieren. Dabei soll aber die unter 3.1.2 beschriebene Lastimpedanz nicht unterschritten werden. (Abb. 5a)

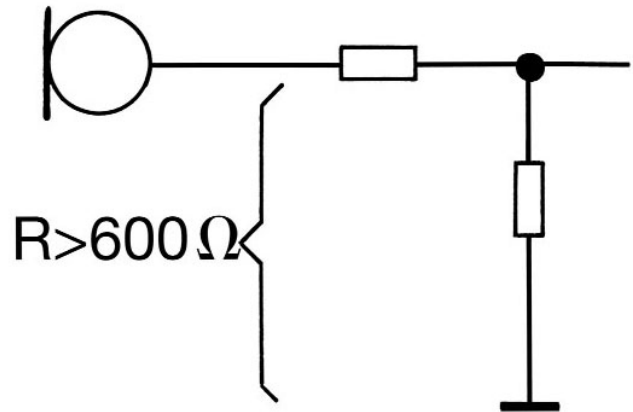
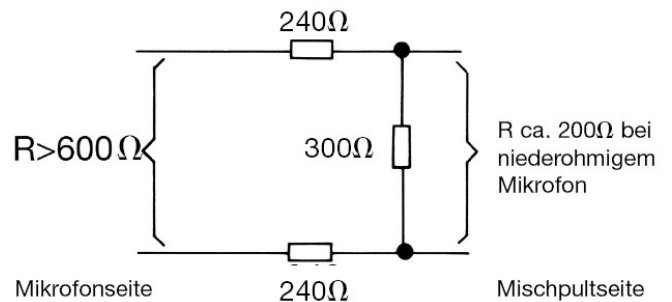


Abb. 5a: Mikrofonseitige Dämpfung mit Dämpfungsglied (Pad)

Ferner soll das Dämpfungsglied im professionellen Bereich natürlich symmetrisch ausgeführt sein, so wie Abb. 5b zeigt.



Dämpfung: ca. 10dB an 1kΩ

Abb. 5a: Speisungsseitige Dämpfung mit Dämpfungsglied (Pad)

Bei Kondensatormikrofonen mit Tonaderspeisung kann die Pegeldämpfung erst nach oder in dem Stromversorgungsgerät erfolgen (Abb. 6). Eine mikrofonseitige Dämpfung würde zu starkem Einfluss auf die Stromversorgung haben.

Bei Kondensatormikrofonen mit Phantom-speisung kann die Pegeldämpfung wie bei dynamischen Mikrofonen an beliebiger Stelle der Übertragungskette zwischen Mikrofon und angeschlossenem Gerät erfolgen. Die Serienwiderstände der Dämpfungsschaltung dürfen also bei mikrofonseitigem Betrieb durchaus in Serie mit den Speisewiderständen liegen, sofern die Stromaufnahme des Mikrofons dadurch nicht nennenswert verringert wird (Abb. 7a). Allerdings müssen auch hier die in Serie liegenden Widerstände gepaart

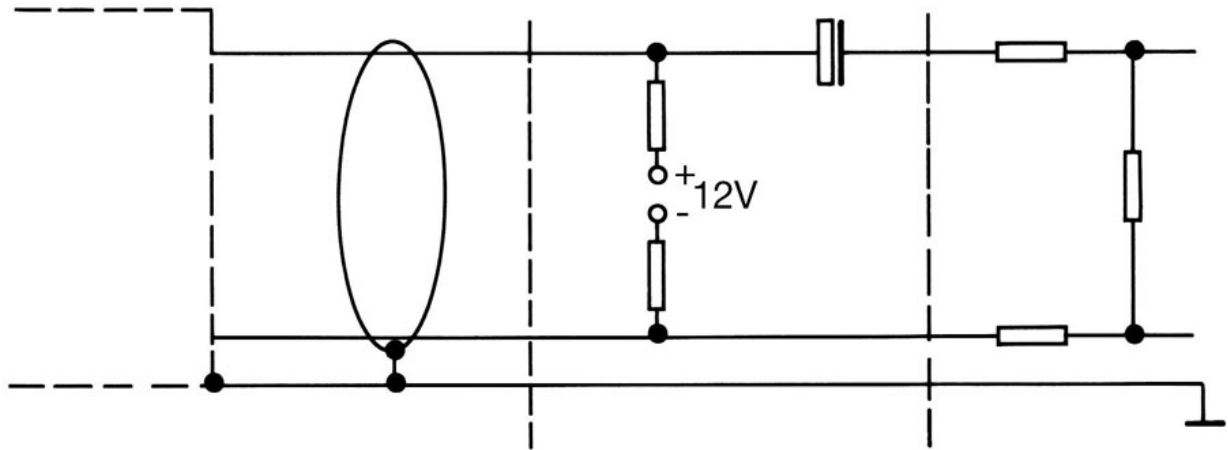


Abb. 6: Pegeldämpfung bei tonadergespeistem Mikrofon

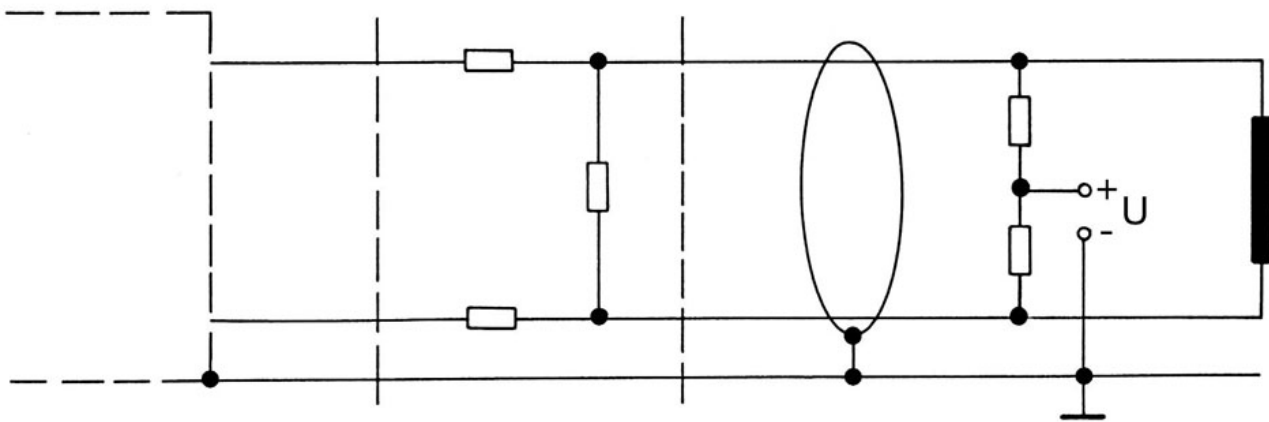


Abb. 7a: Mikrofonseitige Dämpfung

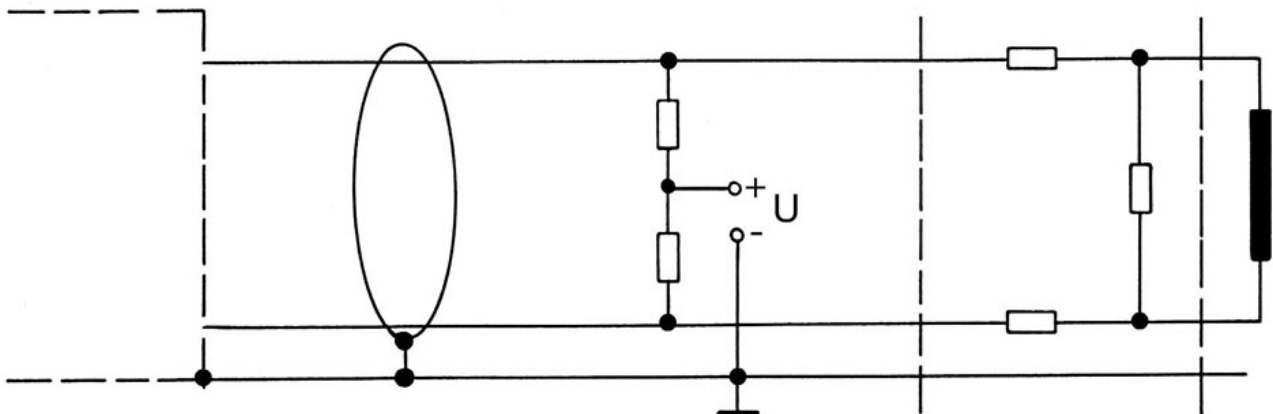


Abb. 7b: Pegeldämpfung bei phantomgespeisten Mikrofonen

werden, um die Symmetrie nicht zu gefährden.

Generell gilt, dass im Hinblick auf die Störspannungseinflüsse eine Platzierung der Dämpfung nach der eventuell langen Mikrofonleitung die bessere Lösung darstellt (Abb. 7b).

3.3 Unsymmetrischer Anschluss

Transistorisierte Kondensatormikrofone dürfen nicht bedenkenlos an unsymmetrische

Eingänge angeschlossen werden.

In der Studioteknik sind symmetrische abgeschirmte Kabel üblich, um Störungen, die auf die Adern einwirken können, zu eliminieren. Diese Technik sollte man stets anstreben.

Im semiprofessionellen Bereich genügt jedoch meist schon die Niederohmigkeit von Mikrofonleitungen um den Bedürfnissen der Praxis zu genügen. Daher gibt es viele unsymmetrische Mikrofoneingänge.

3.3.1 Anschluss von tonadergespeisten Mikrofonen an unsymmetrische Eingänge

Tonadergespeiste Mikrofone können meist problemlos ohne zwischengeschaltete Übertrager an unsymmetrischen Eingängen betrieben werden.

Beim unsymmetrischen Betrieb tonadergespeister Mikrofone sind, je nach Schaltungsdetails der Speisung, verschiedene Fälle zu unterscheiden:

3.3.1.1 Tonaderspeisung ohne Speisungspol an Masse

Wenn die Tonaderspeisung Abb. 2 entspricht, darf der Schirm mit einer beliebigen Ader verbunden werden, um ein unsymmetrisches Signal zu erhalten.

Weitergehende Veränderungen werden dadurch nicht bewirkt. Es spielt prinzipiell keine Rolle, welche Ader mit dem Schirm zusammengelegt wird. Dennoch ist es üblich, für unsymmetrischen Betrieb die negative Ader zu erden, da so die positive Ader mit der positiven Phase zum "heißen" Leiter wird.

3.3.1.2 Tonaderspeisung mit Speisungspol an Masse

Sofern ein Pol der Spannungsquelle der Tonaderspeisung an Masse liegt, muss beachtet werden, dass durch das Erden einer Ader verschiedene Kurzschlüsse mit verschiedenen Wirkungen auftreten.

Allgemein ist es üblich, dass der negative Pol der Spannungsquelle an Masse liegt. Dadurch wird eine oft vorteilhafte Symmetrierung bewirkt. Außerdem liegt der Minuspol auch dann meist an Masse, wenn die Speisung Bestandteil eines Geräts ist und die Versorgungsspannung dieses Geräts auch für die Speisung des Kondensatormikrofons verwendet wird.

Zur Entkopplung der Gleichspannung vom angeschlossenen Geräteeingang können zwei oder auch nur ein Kondensator verwandt werden.

Die Verwendung von zwei Kondensatoren hat den Nachteil, dass beim unsymmetrischen Anschluss stets einer der Speisewiderstände nur wechsellspannungsmäßig kurzgeschlos-

sen wird (3.3.1.2.2, Abb. 10). Deshalb werden die möglichen Betriebsverhältnisse für den Fall mit einem einzigen Koppelkondensator beschrieben. Dieser Kondensator muss dann in der Ader liegen, deren Speisewiderstand nicht an Masse liegt.

3.3.1.2.1 Gleich- und wechsellspannungsmäßiger Kurzschluss eines Speisewiderstands

Sofern durch das Erden einer Ader ein Speisewiderstand kurzgeschlossen wird, bleibt dies ohne gravierende Folgen. Man legt daher am besten die Ader, deren Speisewiderstand an der Masse der Spannungsquelle liegt, mit ihr zusammen (Abb. 8).

Dieser Speisewiderstand wird dadurch überbrückt und die Stromaufnahme des Mikrofons steigt in unbedenklichem Maße. Die max. Aussteuerbarkeit sinkt geringfügig (ca. 1dB bei SCHOEPS CMC 4#), da der verbleibende Speisewiderstand das Mikrofon mehr belastet. Der Speisewiderstand wirkt indes nicht genauso wie ein Lastwiderstand, da er auch vom Arbeitsstrom durchflossen ist. Sollen die geringen Veränderungen bezüglich Stromaufnahme und max. Aussteuerbarkeit vermieden werden, so ist eine Schaltung nach Abb. 9 sinnvoll. Man speist polrichtig über den doppelten Speisewiderstand in die Ader ein, die nicht an Masse gelegt ist. Die Gleichstromverhältnisse sind damit wiederhergestellt, und das Ausgangssignal ist unsymmetrisch.

3.3.1.2.2 Kapazitive Überbrückung eines Speisewiderstands

Diese ist nicht empfehlenswert, da die Ader, in der der Koppelkondensator liegt, weniger geeignet ist an Masse gelegt zu werden. Dadurch wird nämlich ein Arbeitswiderstand wechsellspannungsmäßig überbrückt, ohne dass die Stromaufnahme des Mikrofons zunimmt, wie das bei 3.3.1.2.1 der Fall war. So wird die Aussteuerbarkeit reduziert (ca. 4dB bei SCHOEPS CMC 4#) (siehe Abb. 10).

Außerdem liegt an der Ader mit dem Signal auch noch die Gleichspannung, die über dem Arbeitswiderstand abfällt. Bei direktem Anschluss an gleichstromgekoppelte Eingänge werden diese damit übersteuert, so dass keine Funktion mehr möglich ist.

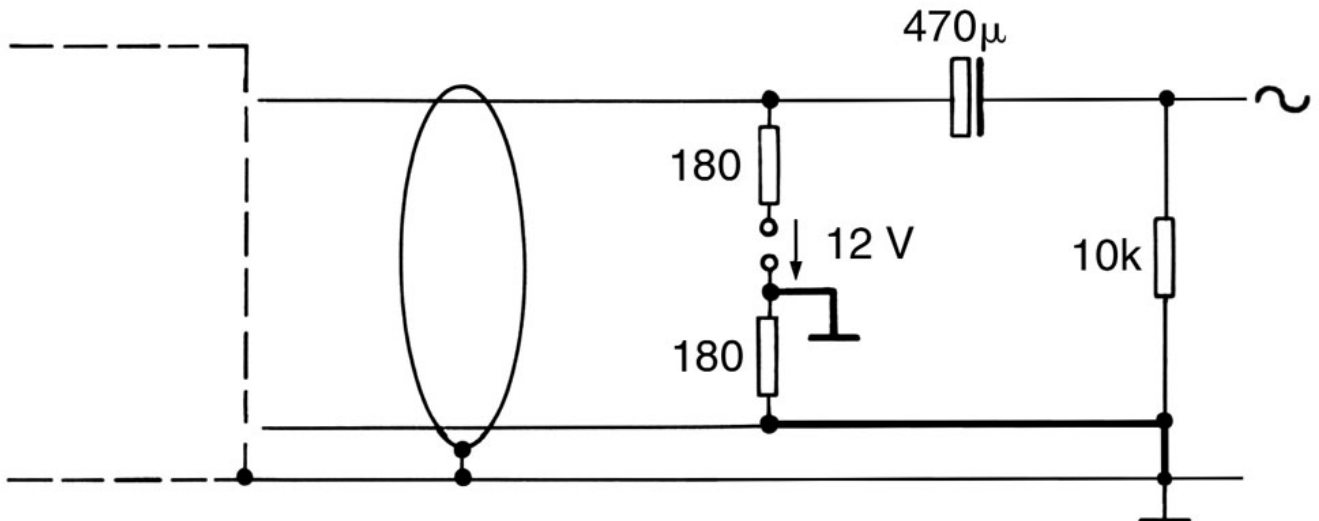


Abb. 8: Kurzgeschlossener Speisewiderstand durch unsymmetrischen Betrieb

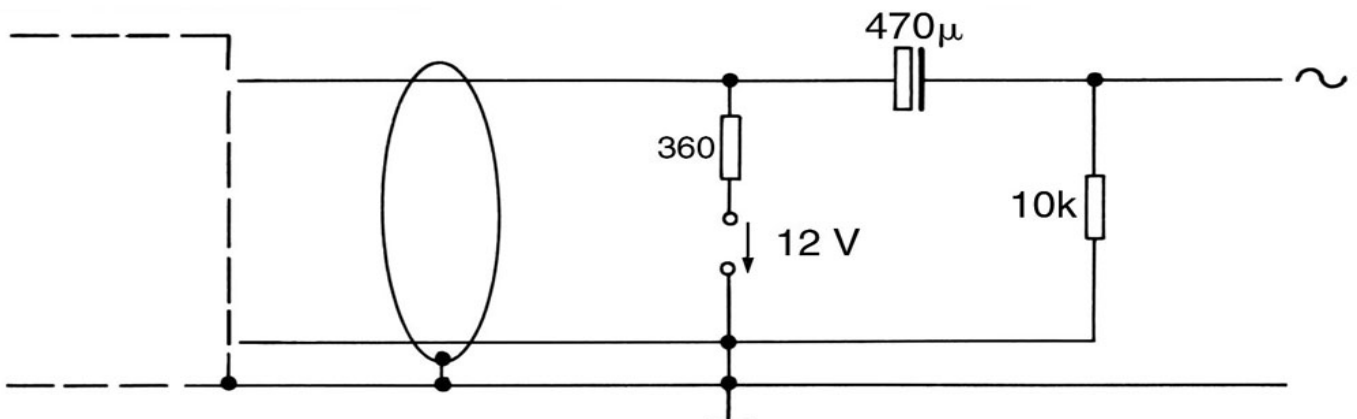


Abb. 9: Tonaderspeisung für unsymmetrischen betrieb; es genügt auch ein einadriges abgeschirmtes Kabel

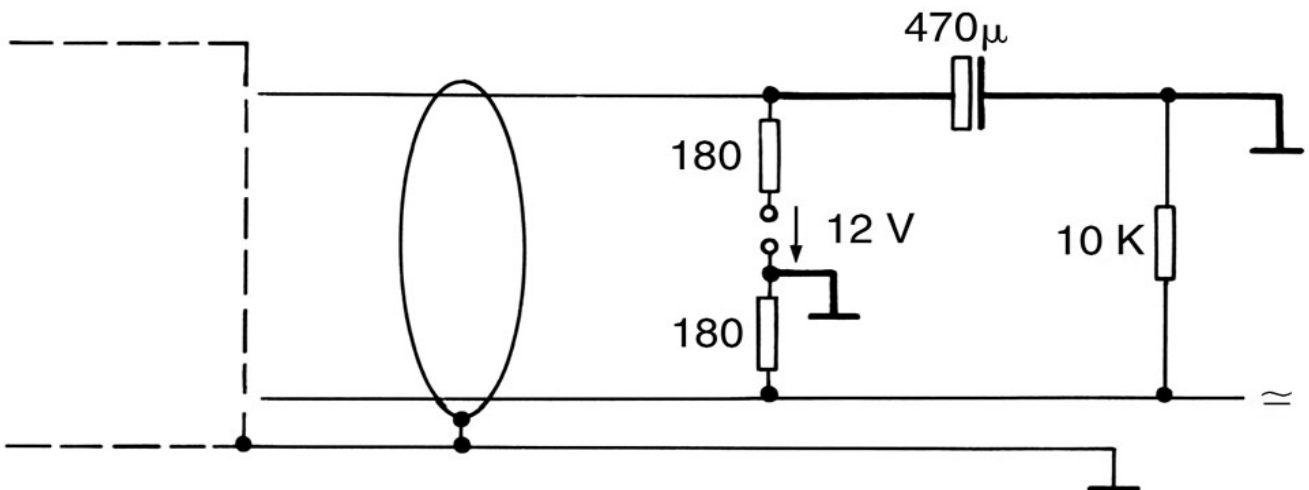


Abb. 10: Kapazitive Überbrückung eines Speisewiderstands durch unsymmetrischen Betrieb

Ein zweiter Koppelkondensator würde diesen Fall zwar ausschließen, aber der Nachteil der kapazitiven Überbrückung wäre dann unvermeidbar.

3.3.2 Anschluss von phantomgespeisten Mikrofonen an unsymmetrische Eingänge

Die Möglichkeiten, phantomgespeiste Mikrofone an unsymmetrische Eingänge anzuschließen, lassen sich nicht verallgemeinern.

Die beste Lösung ist es, den Eingang durch einen vorgeschalteten Übertrager oder geeignete Halbleiterschaltungen symmetrisch zu machen.

Der Übertrager soll möglichst groß bemessen sein und ist am unkritischsten, wenn sein Übersetzungsverhältnis 1:1 beträgt. Er soll zur Übertragung niedriger Impedanzen

vorgesehen sein. Ein Typ mit der Kennzeichnung $200 \Omega/200 \Omega$ ist beispielsweise geeignet, wobei jedoch nicht etwa mit 200Ω abgeschlossen werden darf, sondern nur mit Widerständen, die größer als der minimale Lastwiderstand sind (meist $> 600 \Omega$, vgl. auch 3.1.2).

Der Einbau des Übertragers in das Speisegerät ist besonders praktisch. Bei den SCHOEPS-Netzspeisegeräten NG- ist dies vorgesehen. Die Übertragungsqualität von Schnurübertragern und ähnlichen kleinen Bauformen genügt oft nicht den Ansprüchen an professionelle Kondensatormikrofone.

Eisenlose Schaltungen zur Eingangssymmetrierung sind heute in Form von Modulen am Markt. Sie können sehr hochwertig sein, benötigen aber eine zusätzliche Stromversorgung. Der Eingang muss ferner mit einer Schutzschaltung versehen werden. Meist genügen Zenerdioden, die verhindern, dass sich im Fall eines Kabelschlusses die Ladung der erforderlichen Entkopplungskondensatoren in den Eingang entlädt. (Siehe Herstellerempfehlungen)

3.3.2.1 Phantomgespeiste Mikrofone mit eingebautem Übertrager erlauben den Anschluss an unsymmetrische Eingänge.

Dazu muss die Speisung normgerecht über beide Adern erfolgen und in beide Adern ein Entkopplungskondensator eingefügt werden. Eine beliebige Ader darf dann geerdet werden, vorzugsweise derart, dass die positive Phase zum "heißen" Pol wird (Abb. 11).

3.3.2.2 Phantomgespeiste Mikrofone mit eisenlosem Gegentaktausgang im A-Betrieb (SCHOEPS, Colette-Serie) erlauben den unsymmetrischen Betrieb, indem nur das Signal einer Ader genutzt wird.

Die Speisung erfolgt dabei entweder normgerecht über beide Adern ($R_1 = R_1'$) oder über einen einzigen, im Wert reduzierten Widerstand (R_s), der nur mit der genutzten Ader verbunden wird. Dies soll vorzugsweise die Ader mit der positiven Phase sein. Die Gleichspannung der Ader muss ferner durch einen Kondensator entkoppelt werden (Abb. 12). Die ungenutzte Ader darf weder direkt, noch über einen Kondensator an Masse gelegt werden.

Ein genereller Nachteil dieser Betriebsart besteht darin, dass die Gegentakststufe nicht mehr genutzt und nur ein Eintaktsignal halber Amplitude weiterverarbeitet wird. Ferner verhalten sich die verschiedenen Ausführungen der CMC #-Verstärker unterschiedlich:

3.3.2.2.1 Unsymmetrischer Betrieb der Standardversion der Verstärker CMC 3#, CMC 5#, CMC 6# (Brücke B geschlossen)

In dieser Betriebsform ergibt sich eine Verschlechterung des Geräuschspannungsabstands um ca. 3 dB. Damit rauschen die SCHOEPS-Mikrofone der Colette-Serie zwar immer noch weniger, als es den üblichen Standard-Studioanforderungen entspricht, aber man darf Rauschen heute weniger denn je tolerieren, so dass die oben genannte Technik nur in Ausnahmefällen empfohlen werden kann.

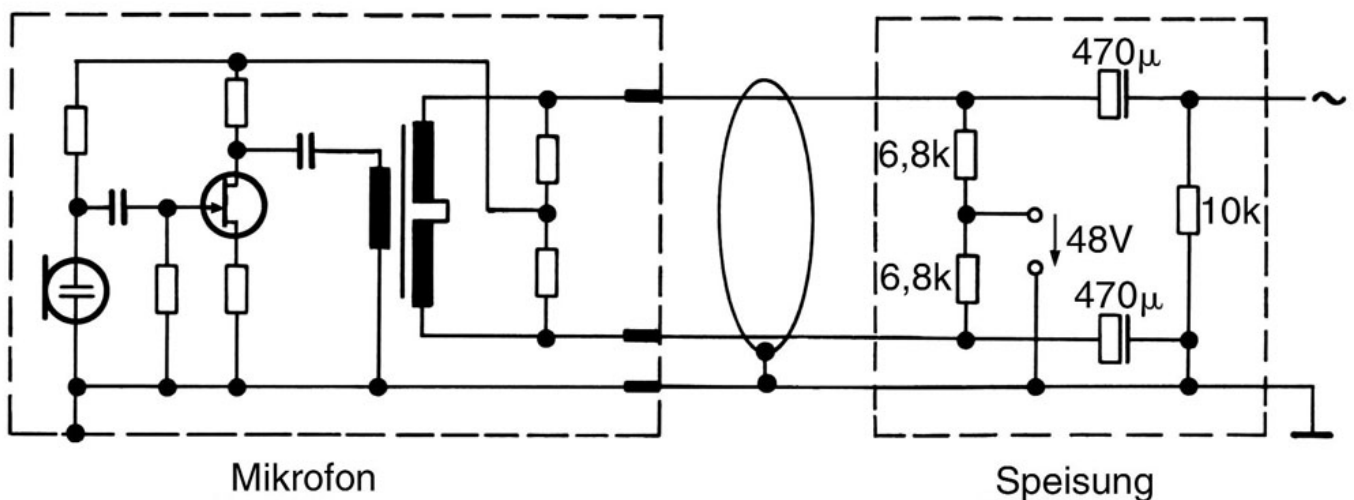
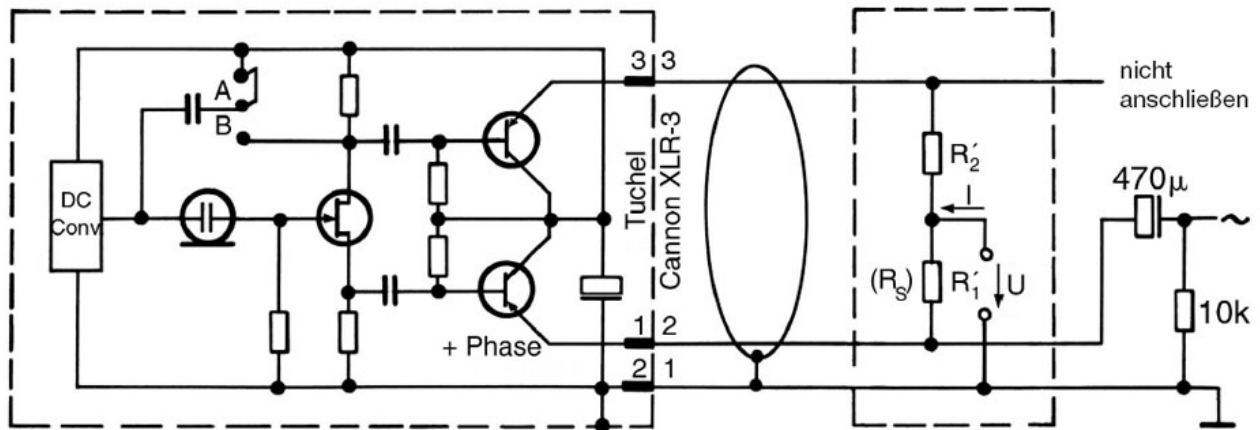


Abb. 11: Mikrofon mit Übertrager (CMT 50 - Prinzipschaltbild), für unsymmetrischen Betrieb beschaltet



Normwerte für U , R und I : siehe Abb. 3

Standardverstärker:

Brücke B geschlossen,
Verstärkungsgrad -3dB

Verstärker mit blauem Punkt (" $+5\text{dB}$ "):

Brücke A geschlossen,
Verstärkungsgrad $+2\text{dB}$

Die Version "blauer Punkt" (" $+5\text{dB}$ ") ist gezeichnet und wird für den beschriebenen Betriebsfall empfohlen.

Sonderspeisung unter Verwendung nur eines Speisewiderstands R_S :

| Verstärkertyp: | CMC 3# | CMC 5# |
|----------------|-------------|--------------|
| U : | 12V | 48V |
| R : | 560Ω | $3,3k\Omega$ |

Abb. 12: SCHOEPS CMC 3# und CMC 5# (Prinzipialschaltbild), für unsymmetrischen Betrieb beschaltet

3.3.2.2 Unsymmetrischer Betrieb der Verstärker CMC 3#, CMC 5#, CMC 6# mit heraufgesetzter Verstärkung;

(Brücke A geschlossen, Kennzeichnung durch Gravur " $+5\text{dB}$ ", früher: blauer Punkt)

Wenn bei den Verstärkern die Brücke A geschlossen ist, eignen sie sich besonders für den unsymmetrischen Betrieb. Bei Verwendung der Ader mit der positiven Phase ergibt sich kein Nachteil hinsichtlich des Geräuschspannungsabstands.

Allerdings sind diese Verstärker etwa um 5dB weniger hoch aussteuerbar, da sie 5dB Empfindlichkeitsgewinn ergeben und der maximale Ausgangspegel unverändert ca. 1V beträgt. Der Grenzschalldruck der SCHOEPS-Mikrofone liegt damit aber immer noch so hoch, dass daraus nur bei extremen Schallpegeln Nachteile erwachsen können, z.B. beim Abstand weniger Zentimeter zum Instrument.

3.3.2.2.3 Unsymmetrischer Betrieb von Verstärkern mit quasi-symmetrischem Ausgang

Es gibt Mikrofonverstärker, bei denen das Ausgangssignal nur auf der Ader mit positiver Modulation liegt. Die andere führt kein Signal (z.B. Neumann Serie KM 100 und weitere, bei SCHOEPS nur VST 62 IU und KFM 6). Bei diesen Mikrofonen kann das Signal entsprechend Abb. 12 ausgekoppelt werden, ohne eine Verschlechterung des Störspannungsabstands. Im Unterschied zum CMC #-Mikrofonverstärker kann bei ihnen die entkoppelte negative Phase (Pin 3) an Masse gelegt werden.

13. Die 48 V-Phantomspannung und ihre Geister

Erstveröffentlichung dieses Aufsatzes in "Mikrofon Special", Studio Magazin 1998.

Wie ein Gespenst spielen manche schlechten 48 V Phantomspannungen dem Anwender Streiche, die er sich oft nicht erklären kann. Die maximale Aussteuerbarkeit des Mikrofons kann leiden, Wind- und Körperschallprobleme können wachsen und sogar der Klang in Mitleidenschaft gezogen werden.

Da Fehler bei Phantomspannung und Mikrofon-Anschluss leider nicht selten zu völlig unnötigen Problemen führen, wurde folgender umfassenderer Aufsatz geschrieben:

J. Wuttke, The Analog Microphone Interface and its History, AES preprint 7773, AES Convention 126, May 2009

AES-Mitglieder können die Präsentation auch sehen unter <http://www.aes.org/tutorials/>

Der Sinn von Normen

Was würden Sie sagen, wenn Ihr E-Werk Ihnen demnächst nur noch 150 V statt 230 V lieferte? Wahrscheinlich würden Sie die schlechte Funktion der meisten Ihrer Elektrogeräte nicht allzu lange bei deren Herstellern reklamieren, sondern den Verursacher des Problems im E-Werk erkennen.

Das E-Werk wird allerdings keine unangekündigte Spannungsreduktion vornehmen. Schließlich gibt es Normen, und bevor diese geändert werden, wissen Sie meist, was auf Sie zukommt. So etwa bei der in Europa erfolgten Erhöhung der Netzspannung von 220 V auf 230 V, die allenfalls den Umsatz der Elektroindustrie zu Lasten von Altgerätenutzern belebt.

Erblasten der Phantomspannung

Bei der Phantomspannung bestehen keinerlei Pläne einer Spannungserhöhung. Im Gegenteil: Schon frühzeitig wurde beklagt, dass

eine so hohe Spannung gewählt wurde. Sie brachte den in der Anfangszeit der Transistorisierung gerne genutzten Vorteil, dass sie auch unmittelbar zur Polarisierung des Kondensatorwandlers genutzt werden konnte. Dazu musste die Stromaufnahme so gering wie möglich sein, damit nicht zu viel Spannung an den Speisewiderständen verloren ging.

Ein Nebeneffekt der aus 48 V abgeleiteten Polarisierungsspannung soll hier am Rande erwähnt werden: 48 V sind im Vergleich zu den bei Röhrenmikrofonen nutzbaren Spannungen der Anode wenig und erforderten in vielen Fällen anders aufgebaute Kapseln. Dies ist nur ein Beispiel, warum es falsch ist, wenn Röhrenliebhaber alle Unterschiede zwischen Röhrenmikrofonen und deren Nachfolgern allein auf die Röhre zurückführen.

Die niedrige Stromaufnahme der ersten transistorisierten Kondensatormikrofone kam also der Nutzung der 48 V-Spannung für die Polarisierung entgegen, und außerdem ergab sie sich einfach daraus, dass diese Mikrofone meist nur einen einzigen Feldeffekttransistor enthielten. Die Stromaufnahme lag meist unter 1 mA, und so wurde anfangs im Hinblick auf stromschwache Spannungsquellen (z.B. abgeleitet aus der Anodenversorgung alter Röhrengeräte) die Obergrenze des Stroms auf 2 mA genormt.

Nachteile stromschwacher Phantomspannungen

Diese Stromgrenze hat aber einen großen Nachteil: Wenn nur eine einzige Ader des Mikrofoneingangs mit Masse Verbindung bekommt – z.B. durch Anschluss eines unsymmetrischen Geräts – fließt ein Strom von 7 mA (48 V an 6,8 kΩ Speisewiderstand), und bei einem zweikanaligen Gerät, das nur 2 mA pro Kanal bereitstellen kann, bricht auch die

Versorgung für den nicht betroffenen Kanal zusammen. Dies ist nur eines von vielen Beispielen, das aber vermutlich schon ausreichend zeigt, dass eine solche Technik die Betriebssicherheit unnötig aufs Spiel setzt. Natürlich sollte die Phantomspeisung grundsätzlich abgeschaltet werden, wenn der Eingang unsymmetrisch beschaltet wird, aber in der Praxis wird dies mitunter vergessen, und ein Einfluss auf andere Kanäle sollte unterbleiben.

Unangenehm ist auch, dass Unterspannung durch Zusammenbruch leistungsschwacher Spannungsversorgungen für Kondensatormikrofone oft unerkannt bleibt. Die Daten der Mikrofone werden in ungewisser Weise in Mitleidenschaft gezogen.

Bei Unterversorgung wird insbesondere die maximale Aussteuerbarkeit reduziert, da diese direkt von der Versorgungsspannung abhängt. Beim Fortissimo der Produktion ergeben sich dann schlechtere Ergebnisse, als sie das Mikrofon leisten könnte und als sie bei den meist leiseren Proben festgestellt werden können. Sogar ein Einfluss auf die Windempfindlichkeit ist möglich, da das Mikrofon eine Auslenkung der Membran durch Luftbewegungen wie Schall verarbeitet und im Falle vorzeitiger Übersteuerung – eventuell auch nur im Infraschallbereich – hörbare Verzerrungsprodukte liefert.

Höhere Ströme für neuzeitliche Phantomspeisungen

Heute erwartet man "Power", und obwohl der Verstärkerteil eines Kondensatormikrofons kein Leistungsverstärker ist, gilt dennoch, dass eine gewisse Leistung eingespeist werden muss um hohe Spannungen aus möglichst kleinen Innenwiderständen erwarten zu dürfen. Außerdem ist zu bedenken, dass Halbleiterschaltungen meist mehr Strom und weniger Spannung erfordern als bewährte Röhrenschaltungen.

Die zulässige Stromaufnahme von 48 V-Kondensatormikrofonen (P48) wurde 1979 auf 10 mA erhöht (DIN 45 596, seit Juli 97: DIN EN 61938). 14 mA entsprechen dem Kurzschlussfall, bei dem keine Spannung mehr am Mikrofon anliegt.

Die typischen Stromaufnahmen moderner Kondensatormikrofone liegen bei mindestens 2 mA, aber es gibt viele Produkte mit 3 mA, 4 mA, 5 mA und ausnahmsweise auch mehr. Sogar ein erstes Mikrofon mit 10 mA Stromaufnahme ist inzwischen auf dem Markt.

Leider besteht das Problem, dass einige Speisungen nicht der Norm entsprechen. Die meisten 48 V-Speisungen kommen nicht aus der Fertigung der Mikrofonhersteller, sondern obliegen der

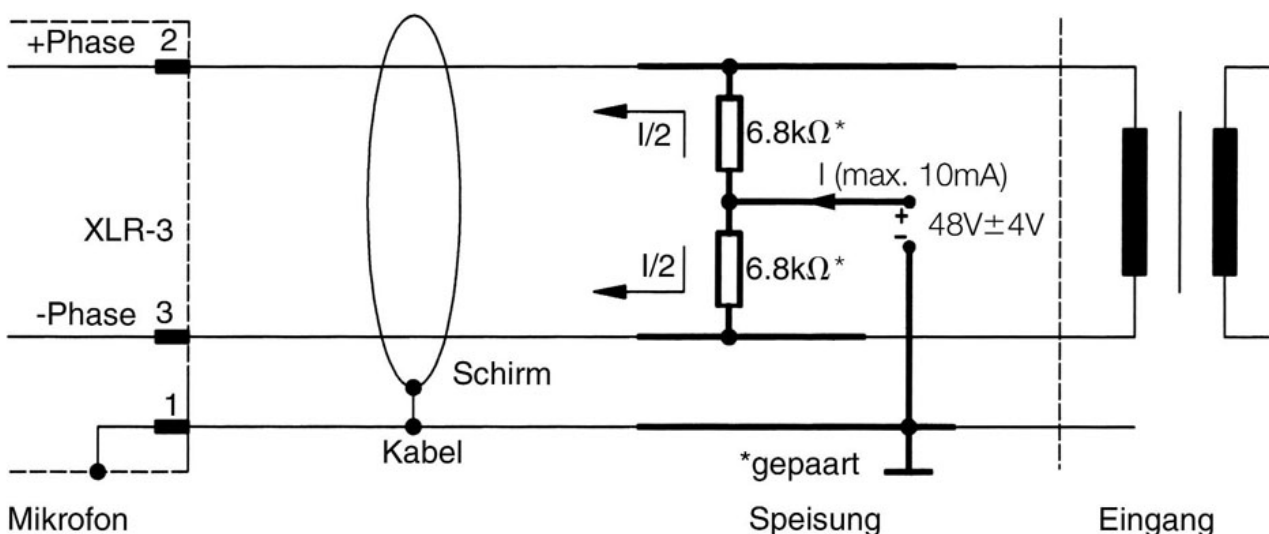


Abb. 1: 48 Ω Phantomspeisung nach DIN EN 61938 Juli 97, (zuvor IEC 268-15 und DIN 45596), Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag, Berlin

Verantwortung der Hersteller von Mischpulten, Mikrofonverstärkern, DAT-Recordern und wo sonst noch überall Phantomspisungen eingebaut werden. Da ist es schon schlimm, wenn festgestellt werden muss, dass es zweifellos unter diesen Herstellern einige gibt, denen noch nicht einmal bekannt ist, dass die Phantomspisung genormt ist.

Der Anwender, der verständlicherweise jedes beliebige Mikrofon erproben oder in der Wahl nicht eingeschränkt sein will, sollte darauf achten, dass das Gerät, aus dem die Spisung kommt, der Norm entspricht. Geräte-Tester würden ihren Lesern einen guten Dienst erweisen, wenn sie Phantomspisungen auf Normkonformität prüfen würden. Dazu ist kaum mehr als die Kenntnis des Ohm'schen Gesetzes und ein Multimeter nötig.

Bei der Phantomspisung nach Abb. 1 muss der Kurzschlussstrom einer Ader gegen Masse ca. 7mA betragen. Daran darf sich auch dann kaum etwas ändern, wenn weitere Kanäle belastet werden, da die zentrale 48 V-Versorgungsspannung innerhalb ihrer Toleranz von ± 4 V konstant bleiben muss.

Für den Übertrager oder die Spisewiderstände sollte eine derartige Messung ohne Nachteil sein, da versehentliche Kurzschlüsse dieser Art in der Praxis ohnedies nicht auszuschließen sind.

Paarung der Spisewiderstände für gute Symmetrie

Eine gute und normgerechte Phantomspisung muss aber noch eine weitere wichtige Bedingung erfüllen: Während der Absolutwert des Spisewiderstands unkritisch ist ($\pm 20\%$), ist die Symmetrie von größter Bedeutung. Deshalb müssen beide Spisewiderstände so gleich wie möglich sein! Es mutet sonderbar an, wenn Mischpulthersteller mit Stolz hohe Werte für die Gleichtaktunterdrückung ihrer Eingänge angeben und dabei die Phantomspisung außer Acht lassen. Wo braucht man höhere Gleichtaktunterdrückungen als bei Mikrofonleitungen?

Bei der noch bescheidenen Forderung der Norm, dass der Unterschied zwischen den beiden Spisewiderständen nicht größer als 0,4% sein soll, sind sogar Widerstände, die mit 1% toleriert sind, theoretisch unzureichend. Leider gibt es aber Hersteller, die im Hinblick auf die Kosten auch vor höheren Toleranzen nicht zurückschrecken. Der Kunde wird dann das Opfer und kommt selten dahinter, wieso es trotz symmetrischer Leitungen Probleme mit Störungen gibt.

Probleme mit einer Vormagnetisierung des Eingangsübertragers

Bei der Wahl eines Übertragers ist es darüber hinaus von Bedeutung, wie er auf momentane oder gar permanente kleine Gleichströme reagiert. Ein momentaner Gleichstrom ergibt sich meist schon beim Aufstecken des Mikrofons aufs Kabel, da die Kontakte kaum gleichzeitig Verbindung bekommen. Im Eingangsübertrager darf danach keine schädliche Magnetisierung zurückbleiben.

Im normalen Betriebsfall fließt der Speisestrom zu gleichen Teilen durch die beiden Spisewiderstände und verursacht Spannungsabfälle, die sich zwischen den Adern kompensieren. Etwaige Eingangsübertrager werden daher meist direkt angeschlossen.

Eine Ungleichheit der Spisewiderstände führt aber dazu, dass die Gleichspannung am Eingang nicht Null ist und Übertrager von einem kleinen Gleichstrom durchflossen werden. Wie der Übertrager dann reagiert, können auch deren Hersteller oft nicht sagen, da ein derartiger Fall meist nicht angenommen wird. Der Einfluss ist erwiesenermaßen selten deutlich hörbar, aber er stellt einen Unsicherheitsfaktor dar. Es sollte nicht mehr verwundern, wenn bei einem Mischpult in Abhängigkeit von den jeweiligen Spisewiderstands-Toleranzen klangliche Unterschiede zwischen den Kanälen auftreten, die mit einer reinen NF-Messung nicht erklärbar sind.

Bei übertragerlosen Eingängen tritt dieses Problem naturgemäß nicht auf, andererseits sind die Vorteile der perfekten Potentialtrennung durch Übertrager nicht zu unterschätzen.

12V- und 24V-Phantomspeisung

Man muss zugeben, dass 10mA Strom aus 48V besonders für batteriebetriebene Geräte eine harte Forderung darstellt. Daher ist die 12 V-Phantomspeisung in vieler Hinsicht die bessere Lösung. 12 V erfordern meist keinen verlustbehafteten und aufwendigen Gleichspannungswandler, und das Mikrofon kann ebenso leistungsfähig sein wie 48 V-Typen. Die Speisewiderstände der 12 V-Phantomspeisung sind zu 680 Ω genormt.

Der Markt hat sich aber für die 48V-Phantomspeisung entschieden. Um eine "bessere Speisung" durchzusetzen, die es erlaubt, mehr Leistung in den Mikrofonverstärker zu transportieren, wurde 1979 zusätzlich eine 24 V-Phantomspeisung genormt, deren Speisewiderstände zu nur 1,2 k Ω genormt sind. Es bestand die Vorstellung, dass alle zukünftigen Geräte so ausgerüstet werden sollten. Heute kann man sagen, dass dieser Gedanke zu spät kam. Kein Gerätehersteller kann es sich erlauben, nur eine 24 V-Phantomspeisung einzubauen. 48 V müssten also zusätzlich verfügbar sein. Umgekehrt will kein Mikrofonhersteller ein Produkt anbieten, das nur an 24 V funktioniert. Wenn also die Funktion an 48 V ebenso gegeben ist wie an 24 V, warum sollen dann die Gerätehersteller ihren Aufwand durch eine zusätzliche 24 V-Speisung erhöhen? Die möglichen Vorteile sind nicht überzeugend genug. Es

ist unwahrscheinlich, dass die 24 V-Phantomspeisung noch zum Zuge kommt, von Ausnahmefällen abgesehen.

Andere Phantomspeisungen

Außer der genormten Phantomspeisung nach Abb. 1 gib es noch eine Unterart, die ein gleichstrommäßiges Äquivalent darstellt. Abb. 2 zeigt diese Schaltung. Bei ihr ist ein Eingangsübertrager erforderlich. Er muss primärseitig eine Mittenanzapfung haben, in die mit dem halben Widerstandswert der Abb. 1 eingespeist wird. Sofern die beiden Übertragerhälften eine gute Symmetrie aufweisen, ist gegen diese Schaltungsvariante nichts einzuwenden. Allerdings bezieht sich die zu fordernde Gleichheit sowohl auf die Gleichstromwiderstände der Wicklungshälften als auch darauf, dass sich die magnetischen Flüsse im Übertragerkern aufheben müssen.

Bei der 24 V- und besonders bei der 12 V-Ausführung bringt diese Schaltung den Vorteil mit sich, dass die Serienschaltung der Speisewiderstände zwischen den Adern gemäß Abb. 1 keine zusätzliche Last für das Mikrofon parallel zum Eingang darstellt. Bei der 48 V-Speisung hat dieses Argument auf Grund der vergleichsweise hohen 2 x 6,8 k Ω jedoch keine praktische Bedeutung.

Eine besonders elegante Variante der Phantomspeisung mit "elektronischer Drossel" findet heute aus Kostengründen kaum noch Anwendung. Durch sie kann die Störsicherheit gesteigert werden.

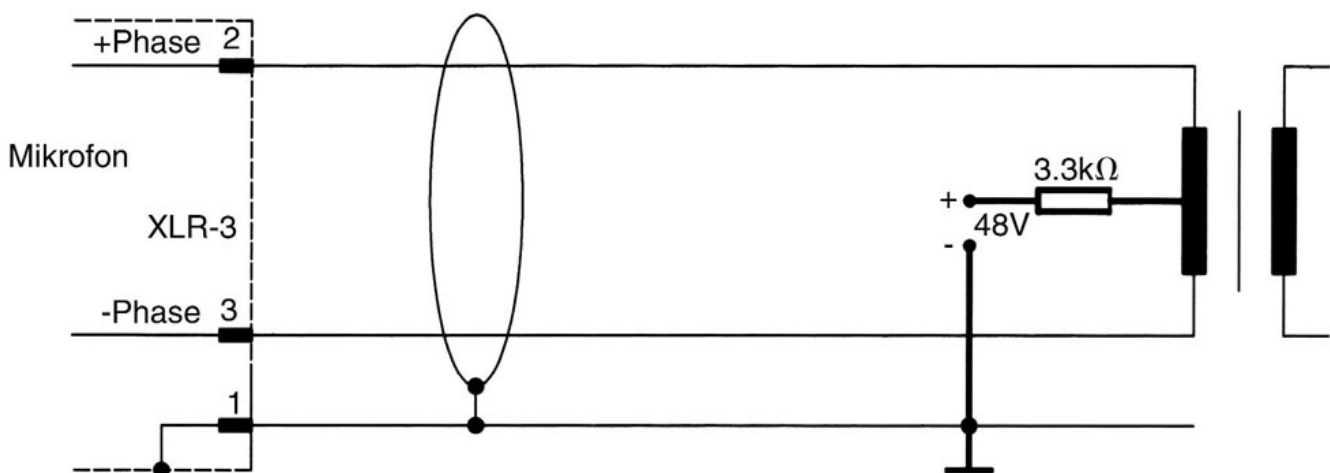


Abb. 2: Phantomspeisung über Mittenanzapfung des Eingangsübertragers

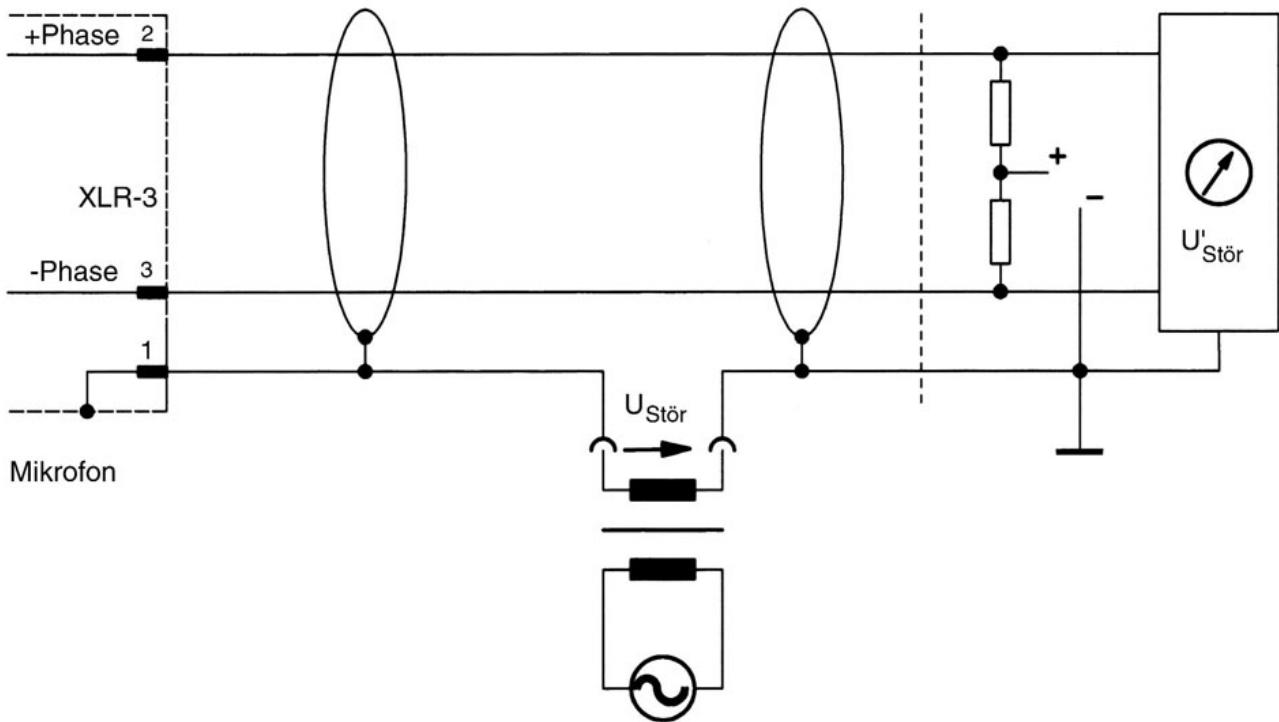


Abb. 3: Messung der Betriebsunsymmetriedämpfung

Die Betriebsunsymmetriedämpfung

Abb. 3 zeigt eine altbewährte Messanordnung, die dazu dient, praxisnah den Einfluss von Störungen auf das Mikrofon mit seinem Kabel zu untersuchen. Da das eingekoppelte Störsignal zur Speisespannung in Serie liegt, geht aus der Messung auch hervor, wie unempfindlich der Schaltkreis gegenüber einer etwaigen Restwelligkeit der Versorgungsspannung oder einer Einkopplung von Nachbarkanälen über den zentralen Speisungspunkt ist.

Diese Messung wurde vor mehr als 20 Jahren routinemäßig vom IRT (Institut für Rundfunk-Technik) durchgeführt, als es noch seinen Sitz in Hamburg hatte. Das Ergebnis ist die so genannte Betriebsunsymmetriedämpfung, die meist frequenzabhängig ist. Sie ergibt sich aus der Beziehung:

$$20 \lg (u_{\text{Stör}} / u'_{\text{Stör}})$$

Betriebsunsymmetriedämpfungen von mehr als 60dB sind wünschenswert. Eine Störspannung von 1V entlang dem Kabel tritt also nur noch mit 1mV als Störsignal auf. Gute Mikrofone können bei guter Symmetrie der Speisewiderstände (wie zuvor beschrieben) auch ohne weiteres 80dB Betriebsunsymmetriedämpfung erreichen.

Wenn man die Störuneempfindlichkeit noch höher treiben will, kann die schon erwähnte "elektronische Drossel" helfen. Sie sorgt dafür, dass die Gleichstromverhältnisse denen entsprechen, die bei normgerechter Speisung vorliegen, aber sie erhöht den Wechselstrom-Innenwiderstand der 48V-Spannungsquelle, so dass die Störspannung weniger in die Stromversorgung eingespeist wird.

Hierzu ließe sich noch einiges sagen, aber zuvor bleibt der Wunsch, dass wenigstens die eingangs beschriebenen Grundvoraussetzungen an die Phantomspeisung realisiert werden.

Manchmal lassen sich Störungen auf einfache Art reduzieren – vergessen Sie den Dämpfungsschalter!

Zu den Vorteilen von Kondensatormikrofonen gehört es, dass bei gleichen akustischen Pegeln etwa 20dB mehr Pegel auf den Leitungen liegt als bei dynamischen Mikrofonen. Dadurch ist auch der Störspannungsabstand bezüglich Stör-Einkopplungen auf das Kabel entsprechend besser.

Leider erwarten viele Anwender aber routinemäßig, dass Kondensatormikrofone einen Dämpfungsschalter haben, und manche Mikrofonhersteller scheinen diesen deshalb auch im Vordruck ihrer Pflichtenhefte verankert zu haben. Diesbezüglich wäre etwas mehr Überlegung meist besser als die Benutzung dieses Schalters.

Alte Kondensatormikrofone mit sehr kleinen Stromaufnahmen konnten Schallpegel über 120 dB-SPL tatsächlich nicht verzerrungsfrei übertragen. Vor allem deshalb ist der Dämpfungsschalter aufgekommen. Um auch höhere Pegel aufzunehmen, waren diese Mikrofone darauf angewiesen. Moderne Kondensatormikrofone mit Stromaufnahmen von 2 mA und mehr können heute aber ohne eingeschaltete Dämpfung Schallpegel übertragen, die früher nicht einmal mit Dämpfung verzerrungsfrei aufgenommen werden konnten.

Die Grenzschalldruckpegel aktueller Kondensatormikrofone mit eingeschalteter Dämpfung erreichen daher auch Werte, deren größte Bedeutung in der Veröffentlichung eindrucksvoller Prospektwerte gesehen werden kann. Dabei wird leider kaum darauf hingewiesen, dass sich in fast allen Fällen die Störspannung des Mikrofons kaum ändert, wenn die Dämpfung eingeschaltet wird, und der effektive Störspannungsabstand wird ganz erheblich schlechter, wenn auch noch Störungen auf dem Kabel hinzukommen.

Sofern der Einsatz von Dämpfungsschaltern damit begründet werden muss, dass die hohen Ausgangsspannungen von Kondensatormikrofonen bei Grenzschalldruck (Volt-Bereich) vom nachfolgenden Eingang nicht verzerrungsfrei übertragen werden können, muss festgestellt werden, dass die Dämpfung am Mikrofon dennoch der schlechteste Ort ist.

Ein Dämpfungsglied, das man am Kabelende vor dem folgenden Eingang einfügt, kann besser helfen. Hier wird nicht nur das Signal, sondern auch eine etwaige Störspannung auf dem Mikrofonkabel gedämpft. Abb. 4 zeigt ein Schaltbild.

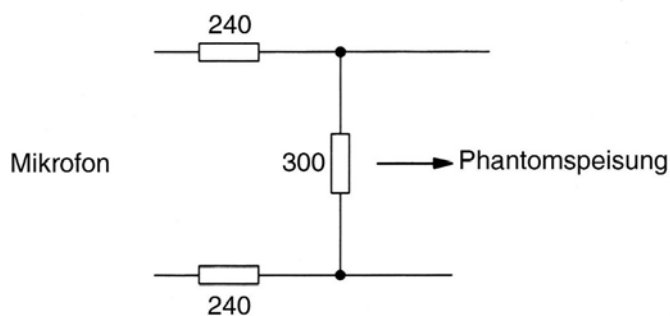


Abb. 4 Dämpfung eines Mikrofonsignals mit Widerstandsnetzwerk (Pad) (vorzugsweise am Ende des Kabels)

Die korrekte Stromversorgung des Mikrofons durch die Phantomspeisung wird hierdurch nicht gefährdet. Der absolute Wert der Speisewiderstände, zu denen die Längswiderstände in Serie liegen, ist nämlich unkritisch. Wichtig ist nur, dass auch die Längswiderstände keine Unsymmetrie herbeiführen, also möglichst gleich sind. Die Impedanzverhältnisse bleiben in einem Rahmen, der studioüblich ist. Bei einem Mikrofon mit z.B. 40 Ω Innenwiderstand ergibt sich der Ausgangswiderstand zu 190 Ω .

Schlussbetrachtung

Bei den heutigen Qualitätsforderungen allgemeiner Art und der lebhaften Diskussion marginaler Klangunterschiede, verursacht durch Röhre oder Transistor, 48 kHz- oder 96kHz-Abtastfrequenz und vielem mehr, ist es Zeit für Geisteraustreibung. Fahrlässig realisierte Phantomspeisungen für Kondensatormikrofone dürfen nicht Ursache sein für gravierende Einflüsse auf qualitativ hochwertige Tonproduktionen.

14. Das Mikrofon zwischen Physik und Emotion

Vortrag, gehalten auf der 20. Tonmeistertagung 1998

Was wäre Musik ohne Emotion? Ist es da nicht nahe liegend, technische Aspekte Gefühlen unterzuordnen und den Erfolg von Tonaufzeichnungen allein mit empirischen Erfahrungen und Fingerspitzengefühl an den Reglern anzustreben?

Andererseits sind technische Fortschritte nur denkbar, wenn aus einmal gemachten Erfahrungen Erkenntnisse abgeleitet werden, die als gesicherte Grundlage für neue, weitergehende Arbeiten dienen können.

So ist beispielsweise die Kenntnis von Gesetzmäßigkeiten der Stereophonie eine gute Voraussetzung, um bei Versuchen mit Surround-Aufzeichnungen erfolgreich zu sein.

Bei den Mikrofonparametern lohnt es sich, emotional beeinflusste Annahmen kritisch zu prüfen. Manchmal widerspricht die Erwartung den physikalischen Tatsachen. Korrekt durchgeführte Hörtests können dies belegen.

Mikrofon und Gefühle

In unserer modernen Zeit gehören Mikrofone zu den wenigen Elementen des Studiobetriebs, die in den vergangenen Jahrzehnten nur wenig grundlegende Veränderungen erfahren haben. Manche alten Mikrofone sind sogar bis heute im Einsatz und werden hoch geschätzt. Wie traurig ist dagegen die Geschichte von Tonbandgeräten, Plattenspielern und anderem technischen Gerät. Dies alles soll Schrott sein und war doch einst so attraktiv? Insbesondere die schöne Mechanik alter Zeiten, zu denen man Technik noch „anfassen“ konnte, ist nun fast überall durch vorzugsweise schwarze Kästen ersetzt, in deren Schlitz man etwas hineinsteckt, was dann eine Funktion auslöst oder manchmal auch nicht.

Ist es da nicht verständlich, wenn Mikrofone ins Zentrum nostalgischer Gefühle rücken? Je älter, umso besser, lautet dabei die Devise. Dass dieses Gefühl leicht in eine Falle führt, erklären auch Insider, die sich ausgiebig mit alten Mikrofonen auseinandergesetzt haben. Nicht jedes alte Röhrenmikrofon ist ein gutes Mikrofon /1/ (und auch nicht jedes neue).

Der Tonmeister muss die Realitäten der Physik mit der Gefühlswelt der Musik verbinden. Dies ist nicht einfach, weil Physik und Musik fast konträre Disziplinen sind. Während Physik objektiv und nüchtern ist, ist Musik ohne Emotionen unvorstellbar. Der Zwiespalt zwischen Physik und Emotion ergibt sich daraus, dass es auf rein physikalischer Grundlage nicht möglich ist, eine Aufnahme zu beurteilen.

Die Frage, ob es die Attraktionen der Technik sind oder doch eher Liebe zur Musik, was einen Tonmeister bewegt, kann nur individuell beantwortet werden. Letztendlich ist es aber vorteilhaft, wenn gute Kenntnisse in beiden Bereichen vorliegen, denn die gekonnte Kombination macht stark. Dagegen führt eine unreflektierte Mischung aus Objektivem und Gefühlsmomenten in die Irre.

“Gemischte Gefühle”

Wohin es führt, wenn Technik und Gefühle nicht auseinander gehalten werden, führen uns “Freaks” vor, die aus ihrer Liebe zur “high fidelity” eine Religion mit allerlei Fetischen machen. Gestandenes Ingenieurwissen, ohne das es die Objekte der Begierden gar nicht gäbe, stört dann nur. Gezielte Entwicklungen werden durch Trends ersetzt, und an die Stelle von Wissen und Verstehen tritt Glaube und Aberglaube.

In einer großen deutschen Hi-Fi Zeitschrift wurde z.B. über Netzverteilerleisten berichtet. Eine ganz besondere hat eine runde Bauform

mit kreisförmiger Anordnung der Netz-Steckdosen. Der Tester kam schließlich zu dem erstaunlichen Ergebnis, dass auch das Klangbild irgendwie rund wirke /2/. So etwas ist selbstverständlich einen märchenhaften Preis wert, und daher soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass es ein Märchen gibt, das in keiner Audiobibliothek fehlen sollte. Es ist das Märchen: "Des Kaisers neue Kleider".

Es erfordert keine höhere Psychologie um zu verstehen, wie es möglich ist, dass vorgegebene oder erwartete Klangunterschiede Bestätigung finden, auch wenn sie tatsächlich nicht hörbar sind. Man stelle sich z.B. nur einmal vor, dass ein Tester keinen Unterschied hört! Er würde sich damit doch gegenüber jedem Kollegen disqualifizieren, der mutig von deutlichen Unterschieden berichtet, ob sie nun tatsächlich gegeben sind oder auch nicht. Auch der Käufer, der viel Geld ausgegeben hat, kann es sich in verschiedener Hinsicht nicht mehr leisten, sich mit der Wahrheit auseinander zu setzen.

Hinzu kommt, dass die Wahrheitsfindung schwierig ist. Einfaches Hinhören ist umso ungeeigneter, je feiner die Qualitätsunterschiede sind. Wer ohne unmittelbaren Vergleich ein klangliches Ergebnis einem anderen gegenüberstellt, wird mit großer Wahrscheinlichkeit Opfer seiner Erwartungshaltung. So genannte AB-Vergleiche sind kein sicheres Mittel um herauszufinden, ob ein Produkt A oder B das bessere Ergebnis bringt, aber sie sind das einzige Verfahren, durch das überhaupt Unterschiede deutlich werden. Richtig durchgeführt können AB-Tests Mythen entschleiern. Dazu folgen an späterer Stelle noch einige Erklärungen.

Heute, nach einem Zeitraum, der sogar juristisch fast alles verjähren lässt, bekennt der Autor einen Fall, bei dem er selbst zu den Opfern allgemeiner Erwartung gehörte:

In einem Kreis interessierter Hörer stellte er die verbesserte Version eines Vorverstärkers vor. Alle Anwesenden waren vom Klang begeistert. Als sie gegangen waren, folgte ein Schreck: Bei der gesamten Vorführung war ein Bypass, der die neue Schaltung inaktivierte, in Betrieb gewesen!! Der ganze "Unterschied" bestand also aus ein paar Stückchen Draht, und die waren nicht „oxigenfree“!

Auch einige Profis sind nicht frei von Erwartungshaltungen. So wird z.B. angenommen, dass die Röhre grundsätzlich eine Garantie für "warmen Klang" sei, völlig unabhängig von den Randbedingungen. Es kann folglich überhaupt keine schlecht klingenden Röhrengeräte gegeben haben. Dann wundert es schon fast nicht mehr, dass es tatsächlich den Liebhaber von Röhrenmikrofonen gibt, der die klangliche Wärme mit der physikalischen Wärme erklärt, gemessen in Grad Celsius oder vorzugsweise Fahrenheit. Dies kann als besonders gravierendes Beispiel dafür genannt werden, wie irreführend die unreflektierte Kombination von Gefühl und Technik sein kann.

Jedem, der mit Ton zu tun hat, ist zu empfehlen, dass er beim Umgang mit technischen Geräten Physik und Emotion trennt.

Objektives und Subjektives

Technik ist objektiv. Im Bereich Newtonscher Physik sind Dinge richtig oder falsch und man hat gelernt, gegebene Aufgabestellungen gezielt zu lösen. Wenn es heute technische Entwicklungsleistungen gibt, die früher undenkbar waren, liegt das vor allem daran, dass die zeitgemäße technische Arbeitsweise streng rational ist, im Gegensatz zu früherer Alchimie. Damit geht einher, dass neue Arbeiten auf den Erkenntnissen unserer Vorfahren aufbauen. Würde man diese außer Acht lassen, müsste man immer wieder von vorne anfangen und könnte nicht weiterkommen. Der Fortschritt ist stets eng mit der Wissenschaft verknüpft. Es stellt sich sogar die Frage, ob es Fortschritt ohne Wissenschaft überhaupt gibt. Man denke nur einmal an die großen Erfolge der modernen Medizin im Vergleich zu der Zeit davor.

Die rationale Betrachtungsweise erschöpft sich andererseits rasch, wenn subjektive Komponenten an Bedeutung gewinnen, wie z.B. in der Kunst. Ob etwas als schön oder gut beurteilt wird, hängt hier vom Geschmack ab, und der unterliegt wiederum verschiedensten Einflüssen. Trotzdem gibt es zum Glück so etwas wie allgemeine Werte, aus denen sich in vielen Fällen ableiten lässt, was einer Mehrheit gefallen wird. So mag z.B. kaum jemand

Musikwiedergabe, der alle hohen Töne fehlen, aber schon bei der Frage, wie viel Klirrfaktor gut ist, scheiden sich die Geister. Zwar ist es unfein, Klirrfaktor zu fordern, aber Harmonische zweiter und eventuell auch dritter Ordnung werden oft gemocht. (Sie heißen ja auch „Harmonische“.)

Eine besondere Stärke der subjektiven Beurteilung beruht darauf, dass unser Gehirn in Blitzesschnelle eine sehr große Zahl von Daten auswerten kann. Deshalb können wir z.B. gleich, nachdem wir einen Menschen sehen, sagen, ob er uns gefällt oder auch nicht. Natürlich ist auch dabei eine persönliche Filterung in Aktion, aber die Vorstellung, man müsste den gleichen Eindruck durch Messdaten vermitteln, scheint kaum realisierbar zu sein.

Was ist Wahrheit?

Es stellt sich also die Frage, wie man mit größtmöglicher Sicherheit zu repräsentativen Aussagen bezüglich klanglicher Qualitätsmerkmale gelangt.

Der Versuch, objektive in subjektive Daten zu übersetzen, wurde schon verschiedentlich unternommen /3/. Leider ist eine Lösung dieses Unterfangens ziemlich aussichtslos. Man kann aber zwei andere Wege beschreiben, wenn man herausfinden will, welches Audioergebnis „besser“ ist:

Die wissenschaftliche Untersuchung

Messergebnisse sind für Entwicklungsingenieure immer der sicherste Leitfaden. Technische Daten sind objektiv und erlauben exakte Vergleiche. Aufgrund ihrer wissenschaftlichen Auswertung kann man komplexe Verhältnisse klären und Fortschritte erzielen.

Diese Feststellung wird viele Praktiker nicht befriedigen, aber anhand von Beispielen wird gezeigt, welche Realität manchen bekannten Erwartungen gegenübersteht. In vielen Fällen lässt sich die Richtigkeit theoretischer Erkenntnisse in der Praxis beweisen.

Der Hörtest

Er ist immer erforderlich, um letzte Sicherheit in der Beurteilung zu bekommen. Wie be-

reits erwähnt, muss er durch einen unmittelbaren Vergleich abgesichert werden, besonders wenn die Unterschiede klein sind.

I. Wissenschaftliche Betrachtungen

1. Das Kabel

Da die meisten Mikrofone mit Kabeln betrieben werden, soll auch dieses „heiße Thema“ kurz angesprochen werden. Eine ausführliche Beschreibung wäre an dieser Stelle zu lang, denn „Leitungstechnik“ ist ein eigener Bereich der Nachrichtentechnik /4//5/. Echte Kabel-Spezialisten sollten gute Mathematiker sein. Demgegenüber macht Mangel an Physikkenntnissen mutig. Da werden klar definierte Fachbegriffe, wie z.B. der Wellenwiderstand, für Vertriebszwecke missbraucht. Dies funktioniert erstaunlich gut, wenn eine Glaubensgemeinschaft dahinter steht, die Unglauben mit Exkommunikation bestraft.

Unbestreitbare Tatsache ist dagegen, dass die Betrachtung des Wellenwiderstands bei Kabeln, deren Länge deutlich unter einem Viertel der Wellenlänge liegt, keinen Sinn hat. $\lambda/4$ bei 20kHz und einer Dielektrizitätskonstante des Kabels von $\epsilon=2,5$ beträgt aber knapp 2,5 km! Anders als bei Audiosignalen spielt der Wellenwiderstand bei digitalen Kabeln (AES-EBU) allerdings schon ab einigen zehn Metern eine Rolle, je nachdem, wie genau es auf die Flanken der Impulse ankommt.

Bei allen Übertragungen durch Kabel spielen die Quellimpedanz und der Abschlusswiderstand eine ebenso wichtige Rolle wie die Kabelparameter selbst. Daher kann man Kabeln allein keinerlei allgemein gültigen Prädikate bezüglich ihrer Übertragungsqualität geben.

In der Praxis äußert sich die Qualität von Mikrofonkabeln vor allem durch die Wirksamkeit der Abschirmung, die Gleichheit der Adern und durch Verarbeitungskriterien.

Unter den Kabelparametern spielt bei Mikrofonen in der Praxis der kapazitive Belag die wichtigste Rolle. Seine Wirkung ist umso

größer, je hochohmiger die Ausgangsimpedanz ist, aber selbst Mikrofone mit 200 Ohm Innenwiderstand zeigen bei Kabeln bis 100m Länge meist noch keine ernste Beeinträchtigung des Übertragungsverhaltens. Deutlich größere Längen sind auch vertretbar (und kommen vor), wenn die Impedanz der Mikrofone besonders niedrig ist /6/.

Weit wichtiger als die Kabelfrage ist bei Kondensatormikrofonen dagegen eine korrekte Phantomspeisung. Sie wird leider erstaunlich oft geradezu fahrlässig realisiert /8/.

2. AB-Stereofonie

Es ist auch heute noch üblich, dass die Aufstellung des Mikrofonpaares einer AB-Stereoaufnahme empirisch erfolgt. Der Abstand zum Orchester entscheidet dabei über das Verhältnis von direktem zu indirektem Schall (Hallbalance), und der Abstand zwischen den Mikrofonen wird nach Erfahrung und Gutdünken gewählt. Es gibt auch immer wieder Studenten, die der Frage nachgehen, welches wohl der beste Abstand zwischen den Mikrofonen sei.

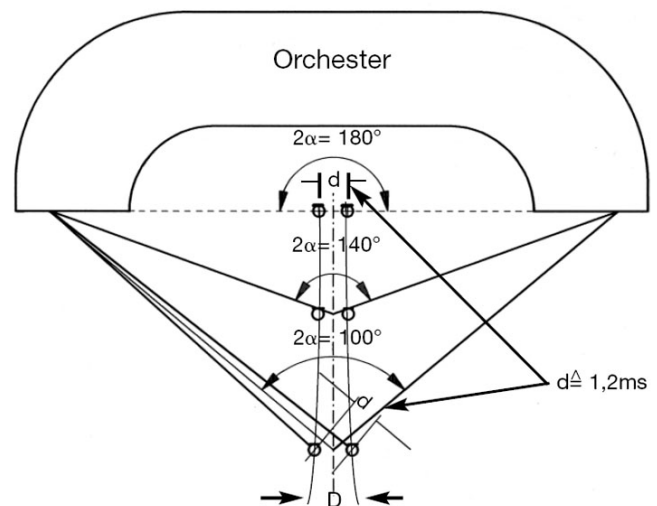
Diese Verfahrensweise ist aber unnötig. Wissenschaftliche Betrachtungen erlauben es, aus der Geometrie des Orchesters und den Mikrofonen abzuleiten, in welchem Abstand die Mikrofone zueinander stehen müssen, wenn die Stereobasis der Wiedergabe voll ausgefüllt werden soll /9//10//11/. Wenn derartige Erkenntnisse vorausgesetzt werden können, darf man hoffen, weitere Fortschritte in der Aufnahmetechnik zu machen, z.B. im Hinblick auf die Vielkanalstereofonie, deren Komplexität durch reines Experimentieren schwer zu bewältigen ist.

Die wesentlichsten Merkmale der allein auf Laufzeitunterschieden beruhenden AB-Stereofonie sollen hier nochmals kurz beschrieben werden:

Damit ein Signal, das mit gleichem Pegel in beiden Stereokanälen übertragen wird, durch einen Zeitunterschied ganz links oder ganz rechts von der Lautsprecherbasis geortet wird, ist ein Laufzeitunterschied von 1,1-1,6ms erforderlich. Dieses Kriterium ist leider nicht sehr scharf, was auch mit der bekannten Lokalisationsschwäche von AB-Aufnahmen zusammenhängt.

Da 1,2ms der Laufzeit entspricht, die Schall in Luft für ca. 40 cm benötigt, kann man sagen, dass 40 cm den kleinsten möglichen Mikrofonabstand darstellen, wenn die extrem außen liegenden Schallquellen, z.B. eines Orchesters, die Stereo-Lautsprecherbasis füllen sollen. Kleinere Laufzeitunterschiede führen zu einer Lokalisation innerhalb der Stereobasis.

Im Fall, dass die parallel ins Orchester weisenden Mikrofone nur 40 cm voneinander entfernt aufgestellt werden, müssen sie so nahe aufgestellt werden, dass ihre Verbindungslinie durch die außen liegenden Schallquellen geht (Abb. 1). Wenn die Mikrofone weiter entfernt aufgestellt werden, muss der Abstand zwischen ihnen vergrößert werden, so dass sich für Schall aus extrem linker oder rechter Richtung wieder der Laufzeitunterschied 1,2msec ergibt (Tabelle 1).



| 2α | 60° | 80° | 100° | 120° | 140° | 160° | 180° |
|-----------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| D/cm | 76 | 60 | 50 | 44 | 40 | 38,5 | 37,5 |

Abb. 1 AB-Stereoaufnahme bei verschiedenen Abständen zum Orchester und Abstand d zwischen den Mikrofonen, so dass sich $\Delta t = 1,2\text{ms}$ ergibt.

Den Laufzeiten entsprechen Wegstrecken, die für bestimmte Frequenzen die Abmessung einer halben Wellenlänge haben. Deshalb liefern die Mikrofone bei diesen Frequenzen gegenphasige Signale. Auch für ungeradzahlige Vielfache dieser Frequenzen liegt Gegenphasigkeit der Ausgangssignale vor. Es ist aber bekannt, dass eine Lokalisation bei einer Stereowiedergabe durch gegenphasige Signale, wie z.B. bei einem verpolten Lautsprecher, unmöglich wird und dass statt dessen nur eine diffuse Räumlichkeit empfunden wird.

Zum Glück ergeben geradzahlige Vielfache der gleichen Frequenz phasenrichtige Signale. Außerdem stimmt die Phase bei tiefen Frequenzen, deren halbe Wellenlänge deutlich größer ist als der Mikrofonabstand. So ist eine Lokalisation immer noch möglich, aber die gegenphasigen Anteile sind genau so häufig und täuschen eine Räumlichkeit vor, die von den einen gehasst wird, weil sie unecht ist /12/ und die andere dennoch mögen. Man kann sie beurteilen wie Zucker im Wein. Einer mag das und für einen anderen ist das ein Delikt.

Da die Phase zwischen den Kanälen von reinen AB-Aufnahmen ohne Stützmikrofone je zur Hälfte falsch und richtig ist, kann man, anders als bei koinzidenten Aufnahmen, die Polarität eines Lautsprechers durchaus umdrehen, ohne dass dies sicher bemerkt wird! Am ehesten fällt dann eine geschwächte Bass-Wiedergabe auf, besonders bei mono.

Die wissenschaftliche Betrachtung der AB-Technik erweist sich in diesem Beispiel als deutlich leistungsfähiger als der Versuch, AB-Aufnahmen rein empirisch anzugehen.

3. Mikrofonwahl

Ebenso wie Basiswissen der Akustik beim Umgang mit der AB -Technik hilft, erleichtern grundlegende Kenntnisse über Mikrofone die Wahl des richtigen Mikrofons. So sollte man beispielsweise wissen, dass für beste Tieftonübertragung nur elektrostatische Druckempfänger in Frage kommen, oder man muss den Nahheitseffekt von Druckgradientenempfängern ausnutzen, um nur zwei kurze Beispiele zu nennen.

Auch unter guten Mikrofonen gibt es viele verschiedene Typen. Dies ist aber nicht mit dem Wunsch nach entsprechend vielen Klangbildern zu erklären. Im Gegenteil, je besser die Mikrofone sind, umso ähnlicher klingen sie. Ihre Verschiedenartigkeit ist durch unterschiedliche Applikationen begründet. Kondensatormikrofone mit Kugelcharakteristik sind z.B. in vieler Hinsicht fast ideal, wenn man aber nicht nahe genug an eine Schallquelle herankommt oder akustische Rückkopplung zu befürchten ist, kann man sie nicht brauchen, sondern muss richtende Mikrofone einsetzen.

Viel wichtiger als der gewählte Mikrofontyp ist dessen richtige Aufstellung in Bezug auf das Abstrahlverhalten der Instrumente /13/. Für Stützmikrofone sollte man den so genannten „Sweet Spot“ suchen (nicht zu verwechseln mit dem „sweet spot“ einer stereofonen Wiedergabeanlage).

Wer etwas von der Funktion von Mikrofonen versteht, wird die verschiedensten Aufgaben gut meistern können. Rezeptwissen ist dagegen einfacher und folgt auch Moden, aber es ist kein guter Helfer bei ständig wechselnden Aufnahmesituationen. Tonaufnahmetechnik ist nicht einfach. Tonmeister ist ein Beruf.

4. Mikrofon mit Kugelaufsatz

Ein anderes Beispiel wissenschaftlicher Vorhersage ist bei der Verwendung von „attachments“ auf Mikrofonkapseln möglich (Abb. 2). Allerdings kann man die Frage, ob das „gut“ ist, nicht allgemein gültig beantworten. In /14/ wird sehr richtig getitelt: „Engineer turns accessories into art“. Bei Kunst ist es immer eine Geschmackssache, ob etwas gefällt oder nicht.



Abb. 2 Druckempfänger mit Kugelaufsatz

Abb. 3: SCHOEPS-Mikrofon1948

Technisch gesehen verhält sich eine Kugel im Schallfeld „gutmütig“. Diese Tatsache ist altbekannt (Abb. 3) und wurde schon 1951 beim Neumann-Mikrofon M 50 genutzt.

Die physikalischen Betrachtungen /15/ gehen allerdings bei Kugel und Zylinder von gleichen Durchmesser aus (genauer: normierte Darstellung). Wenn man nun eine Kugel

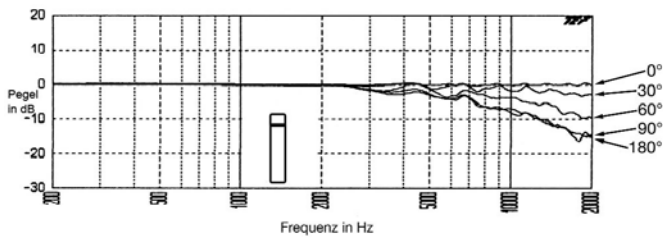


Abb. 4b: Frequenzgänge eines Freifeld – Druckempfängers (MK 2) für verschiedene Schalleinfallswinkel

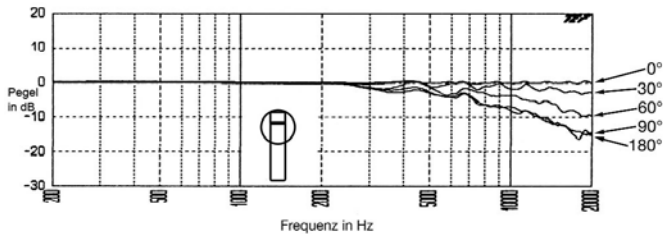


Abb. 4b: Frequenzgänge eines Freifeld – Druckempfängers (MK 2) für verschiedene Schalleinfallswinkel mit \varnothing 50mm Kugelaufsatz

auf ein zylindrisches Mikrofon aufsetzt, ist der Kugeldurchmesser aber zwingenderweise größer als der des Zylinders. Was geschieht, wenn man eine 50 mm Kugel auf ein zylindrisches Mikrofon mit 20 mm Durchmesser aufbringt, sieht man in Abb. 4b im Vergleich zum Verhalten des unveränderten Mikrofons.

Mit Kugelaufsatz ergibt sich ein leichter Buckel im Frequenzgang, der Töne im Bereich 2 - 8 kHz leicht anhebt. Danach fällt der Frequenzgang ab. Ansonsten ist der Einfluss der Kugel erstaunlich gering. Das zeigt, dass eine Kugel mit 50 mm Durchmesser einem Zylinder mit 20 mm Durchmesser im Schallfeld in akustischer Weise kaum nachsteht. Daher geht ein Kompliment an die Kugel, aber ist das Mikrofon nun besser?

Es kommt auf den Fall an. Bei geschicktem Umgang mit einem guten Equalizer ist eine ähnliche Klangveränderung allerdings auch möglich. Die allgemein folgenreiche Frequenzabhängigkeit des Polardiagramms, auf die ein Equalizer natürlich keinen Einfluss hat, wird durch die große Kugel nur geringfügig verändert.

5. Großmembranmikrofon

Auch die Einstellung vieler Anwender zum Großmembranmikrofon ist oft von Gefühlen und Erwartungen geprägt. Bei einer Umfrage zu den Gründen, aus denen in bestimmten Fällen ein Großmembranmikrofon gewählt wird, zeigte sich, dass die meisten einfach nur ein großes, optisch beeindruckendes Mikrofon wünschten. Das häufigste technische Argu-

ment, dass damit tiefe Frequenzen besser aufgenommen werden können, ist falsch. Es genügt, dass ein Mikrofon mit Kugelcharakteristik verwandt wird, damit sogar sehr kleine Kondensatormikrofone tiefste Frequenzen perfekt übertragen /6/.

Physikalisch betrachtet haben Großmembranmikrofone wenig Vorteile, aber einige beachtliche Nachteile /16/, /17/. Die bekannte Tatsache, dass Lautsprecher problematischer sind als Mikrofone, lässt sich damit erklären, dass Lautsprecher nie klein genug gebaut werden können, weil sie Leistung abgeben müssen. Der charakteristischste Nachteil von Mikrofonen mit großen Membranen ist ihre im Vergleich zu Kleinmembranmikrofonen höhere Frequenzabhängigkeit des Richtdiagramms. Das führt immer zu einer klanglichen Verfärbung, die jedoch als „Sound“ willkommen sein kann. Eine Richtcharakteristik, die sich bei tiefen Frequenzen zur Kugel aufweitet, bewirkt manchmal einen Klangeindruck, der mit „Wärme“ beschrieben wird.

Es gibt auch andere Beispiele, die zeigen, dass theoretische Nachteile in der Praxis durchaus auch zum Vorteil genutzt werden können /17/. Mit einem neuartigen Mikrofon wird es jetzt möglich werden, diese Parameter gezielt einzustellen /18/.

6. Rohr-Richtmikrofon (Shotgun)

Bei Rohr-Richtmikrofonen (Interferenzrohr) führt die Länge zu Erwartungen, die in der Praxis oft nicht zutreffen. Der Vergleich mit einem Teleobjektiv ist unzutreffend, weil kein handelsübliches Richtmikrofon den auf seiner Achse einfallenden Schall vergrößert. Die Richtwirkung beruht alleine darauf, dass Schall aus anderen Richtungen unterdrückt wird. Im schalltoten Raum kann man mit einer Kugel genauso gut „entfernte“ Schallquellen aufnehmen wie mit einem beliebig starken Richtmikrofon. Erst durch den reflektierten Schall und durch Störschall ergibt sich die Existenzberechtigung von Richtmikrofonen. Bei einer Gleichverteilung des reflektierten Schalls aus allen Richtungen spricht man vom diffusen Schall. Wenn er viel größer ist als der direkte Schall (weit außerhalb des Hallradius), kann man mit dem besten Richtmikrofon nicht

mehr feststellen, woher der Schall kommt. Daher nimmt die feststellbare Richtwirkung jedes Richtmikrofons ab, wenn der Abstand zur Schallquelle größer wird und der Diffusfeldanteil dabei wächst.

Diese Feststellungen lösen oft Erstaunen und Ungläubigkeit aus. Daher sei zunächst gesagt, dass wir als Mensch höhere Fähigkeiten haben, die nicht einfach gefühlsmäßig auf das technische Produkt „Mikrofon“ übertragen werden dürfen. Die Erklärung ist einfach: Der Mensch hat zwei Ohren, und mit stereofoner Übertragung können wir auch in einem stark diffusen Schallfeld noch erste Wellenfronten der Schallquellen lokalisieren.

Ferner haben wir hier ein Beispiel, bei dem es sich lohnt, einmal einen Vergleichstest zu machen, um Glaube durch Wissen zu ersetzen.

Abb. 5 zeigt eine mögliche Erweiterung eines Richtrohrs zu einem MS-Stereomikrofon, indem auf das Rohr ein Mikrofon mit Acht-Charakteristik aufgesetzt wird. Wenn man in die gleiche Klammer ein Mikrofon mit Supernieren-Charakteristik einsetzt, zeigt dies nach vorne. Diese Klammer ist für den im folgenden beschriebenen Versuch praktisch, da es sonst nicht einfach ist, die beiden Mikrofone so miteinander zu befestigen, dass keine Schlitze in beeinträchtigender Weise abgedeckt werden. Genau genommen dürfte man die kleine Klammer mit der Superniere auch ganz vorne auf dem Richtrohr montieren, da der frontale Bereich als erster bei einer Bildaufnahme stören würde. Der Abstandsvorteil des Richtrohres ist jedoch relativ unbedeutend, wenn es z.B. 2 m von der Schallquelle entfernt ist.



Abb. 5b: Rohr-Richtmikrofon mit aufgesetztem Mikrofon mit Acht-Charakteristik für MS-Technik

Um den Unterschied in der Richtwirkung praxisnah zu prüfen, ist es zunächst erforderlich, dass die Schallquelle genau auf der Hauptachse der Mikrofone angeordnet wird und beide Pegel exakt gleich eingestellt werden. Danach dreht man die Mikrofone gemeinsam so, dass der Schall im Winkel von z.B. 45°, 90° und mehr einfällt und hört sich abwechselnd eines der Signale an. Der Unterschied der Abschwächung für unerwünschten Schall wird dadurch deutlich.

Wenn man auf diese Weise Rohr-Richtmikrofone mit einer vergleichsweise winzigen, guten Superniere vergleicht, folgt regelmäßig Verblüffung, weil die Erwartung angesichts des langen Rohrs viel mehr Unterschied unterstellt. Tatsächlich richten Richtrohre nur bei hohen Frequenzen, z.B. oberhalb 5 kHz, stärker als Supernieren /6/.

II. Hörvergleich

Immer wenn qualitative Merkmale von Tonproduktionen verglichen werden, muss ein Hörtest letzte Gewissheit herbeiführen. Kleine Unterschiede können anders überhaupt nicht herausgefunden werden. Die menschlichen Sinne sind nicht absolut, und wer sich vergleichende Hörtests spart und nur ein einzelnes Produkt anhört, wird ständig Opfer seiner Erwartungshaltung. Schlimm daran ist, dass der Betroffene dies meist nicht erfährt und seine Arbeit auf Vorurteilen aufbaut.

Die korrekte Durchführung eines Hörtests ist aber erstaunlich schwierig /7/. Generell ist es vorteilhaft, zwischen zweierlei Fragen zu unterscheiden:

1. Gibt es einen klanglichen Unterschied und welcher Art ist er?
2. Welches Ergebnis ist besser? Zur Beantwortung dieser Frage sind lange Hörsitzungen erforderlich.

Aus Frage 1 folgt nicht unbedingt, welches Klangergebnis besser ist. Unsere Sinne sind relativ. Ob wir z.B. etwas als kalt oder warm empfinden, hängt u.a. davon ab, von welchen Temperaturen wir zuvor umgeben waren. Wenn aber angenommen wird, dass A besser klingt als B, gibt es keine andere Möglichkeit als einen unmittelbaren Vergleich nacheinander

ohne Zeitverlust, eventuell dadurch, dass bei laufendem Programm vom einen zum anderen Signal umgeschaltet wird.

Dann erkennt man, ob ein Unterschied besteht und wie groß und welcher Art er ist. Eine zeitliche Unterbrechung birgt große Gefahren der Fehlbeurteilung.

Bei diesem AB-Vergleich kommt es auf extreme Gleichheit der Pegel der zu vergleichenden Signale an. Ein Unterschied von beispielsweise nur 0,5 dB kann normalerweise vom Menschen nicht als Lautstärkeunterschied gehört werden. Dafür wäre etwa 0,5 - 1 dB Unterschied erforderlich [19]. (Andere Autoren halten sogar Pegelunterschiede bis zu 2 dB für erforderlich, damit man einen Lautstärkeunterschied empfindet.) Statt dessen gelangen wir aber in eine ganz andere Interpretationsebene: Das Signal mit dem höherem Pegel wird klanglich besser beurteilt. Daher muss bei allen AB-Tests peinlich genau auf Pegelgleichheit geachtet werden. Unterschiedliche Frequenzgänge von A und B erschweren den Test sehr. Dann sollten mehrere Vergleiche gemacht werden und einmal das eine und dann das andere Signal im Pegel leicht verändert werden.

Eine gute Methode die Pegel der beiden Kanäle abzugleichen, ist die Differenzbildung. Sie funktioniert natürlich nur, wenn auch die Phasengänge weitgehend gleich sind.

Dies ist beim Beispiel der Abb. 6 gegeben. A und B sind in diesem Fall der Röhrenverstär-

ker eines Kondensatormikrofons („Flasche“) und ein transistorisiertes, phantomgespeistes Pendant. Die Kondensatoren nach den Potentiometern entsprechen genau den Kapselkapazitäten des jeweiligen Mikrofons. Über sie werden beliebige Musiksignale anerkannter Qualität eingespielt. Betriebstechnisch ergeben sich für die Mikrofonverstärker daher die gleichen Verhältnisse wie bei einer Aufnahme. Es entfallen aber alle Unsicherheiten bezüglich unterschiedlicher Orte der Mikrofone im Raum, und vor allem entfällt der entscheidende Einfluss unterschiedlicher Mikrofonkapseln. Es geht also um einen reinen Vergleich der Mikrofonverstärker ohne die Kapseln, denen oft zu wenig Bedeutung beigemessen wird, wenn von Röhrenmikrofonen die Rede ist.

Das in Abb. 6 dargestellte Prinzip wurde schon vor ca. 6 Jahren in einem als „Auditor“ bezeichneten Gerät realisiert (Abb. 7). Nach genauestem Pegelabgleich wird ein Zufalls-generator aktiviert, der für jede Hörsitzung die



Abb. 7 Der „Auditor“ mit Fernbedienung

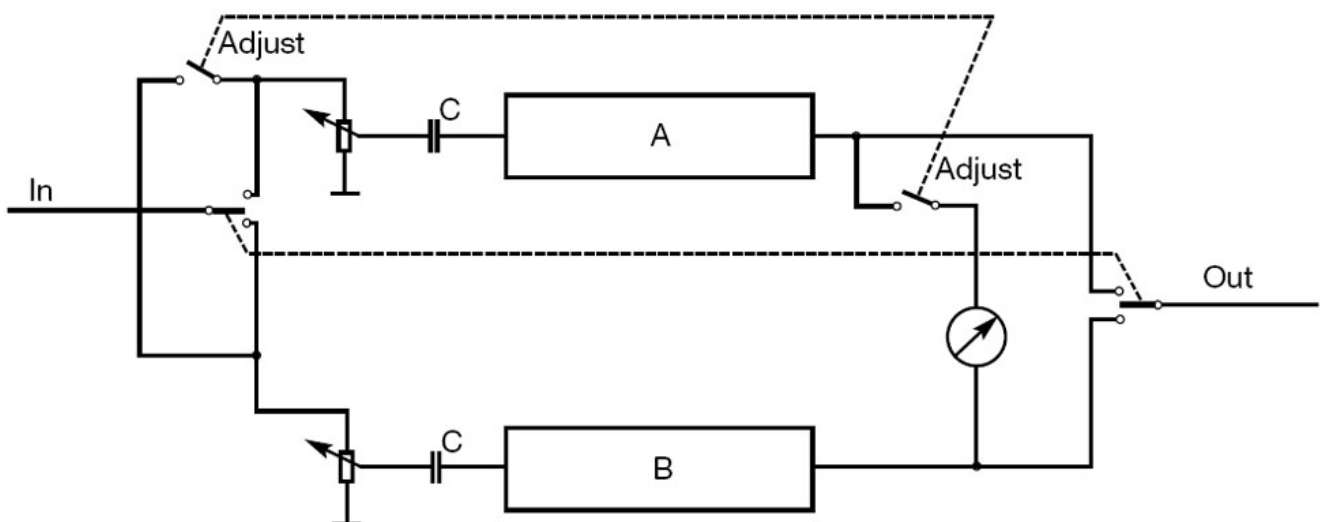


Abb. 6 Blockschaltbild eines Gerätes für Hörvergleiche mit Pegelabgleich durch Differenzbildung

Signale A und B anders auf die Übertragungswege 1 bis 8 verteilt. Man kann per Fernbedienung beliebig vorwärts und rückwärts zwischen den Übertragungswegen umschalten und erkennt den aktivierten Weg durch die jeweils rot leuchtende LED der Zeile „Actual Sequence“. Die Wege, die einem besser gefallen, kann man markieren. Die markierten Übertragungswege werden durch gelb leuchtende LEDs in der Zeile „Preference“ angezeigt. Wenn man sich

seines Urteils sicher ist, führt ein Druck auf die „Wahrheitstaste“ zum Aufleuchten der LEDs in der Zeile „Actual Sequence“, die den Stereokanälen A zugehören. Wenn der Unterschied eindeutig erkannt wurde, müssen den leuchtenden Dioden der Zeile „Preference“ entweder überall leuchtende oder überall nicht leuchtende LEDs der Zeile „Actual Sequence“ gegenüberstehen.

Das Ergebnis sollte jeder Röhrenliebhaber am besten selbst erleben. Bei hohen Pegeln, entsprechend Schalldruckpegeln von mehr als 110dB-SPL, ergibt sich am ehesten ein hörbarer Unterschied. Bei kleinen Pegeln erkennt man die Röhre in den meisten Fällen besonders schnell durch ihr stärkeres Rauschen. Erstaunlich schwierig wird die Unterscheidung bei normalen mittleren Pegeln. In diesem Fall muss man nach geeigneten Tonquellen suchen und mit einem elektrostatischen Kopfhörer abhören. Ein gestrichenes Cello z.B. kann Unterschiede aufzeigen. Bei komplexeren Klängen wird es schwierig bis unmöglich, herauszufinden, wann die Röhre im Einsatz ist und wann nicht.

Literaturverzeichnis:

1. D. Brauner, Valvo ergo sum, Studio – Mikrofon – Spezial, S. 6 – 20, 1998
2. Stereoplay, Sterns Stunde, Heft 2, S. 34, 1994
3. Brüel&Kjaer, Application notes, Multidimensional Audio, AES 1977
4. Steinbuch / Rupprecht, Nachrichtentechnik, S. 248-264, Springer-Verlag Berlin/ Heidelberg/ New York, 1967
5. K. Küpfmüller, Einführung in die theoretische Elektrotechnik, 8. Aufl. S. 377-410, Springer-Verlag Berlin / Heidelberg / New York, 1965
6. J. Wuttke, Mikrofonaufsätze, Aufsatz 6 in diesem Band
7. D. Braun, Ein neues Hörversuchskonzept, S. 354ff, Fortschritte der Akustik, DAGA, Bonn 1996
8. J. Wuttke, Die 48V-Phantomspeisung und ihre Geister, Studio Magazin – Mikrofon Spezial, S. 38 – 42, 1998, Aufsatz 13
9. M. Williams, AES Publication European Representative, “Unified theory of microphone systems for stereophonic sound recording”, AES preprint 2466 (H-6), 1987
10. E. Sengpiel, Blätter zu den Vorlesungen “Musikübertragung” an der UdK Berlin, seit 1990
11. J. Wuttke, Mikrofonaufsätze, Aufsatz 3 in diesem Band
12. S.P. Lipshitz, University of Waterloo, Ontario, Canada, “Stereo Microphone Techniques: Are the Purists Wrong?”, AES preprint 2261 (D-5) oder J. Audio Eng. Soc., Vol. 34, no.9, 1986
13. J. Meyer, Akustik und musikalische Aufführungspraxis, Bochinsky, 1995
14. Pro Sound News Europe, Engineer turns accessories into art, S. 14, July 1998
15. H.F.Olson, Acoustical Engineering, S. 20-21, D. Van Nostrand Company, Inc., London/New York, 1957
16. O. Brøsted Sørensen, Groß oder klein?, Studio Magazin – Mikrofon Spezial, S. 58 - 62, 1998
17. J. Wuttke, Mikrofonaufsatz-Sammlung, Aufsatz 7 in diesem Band
18. C. Langen, Mikrofon mit frequenzabhängig einstellbarem Bündelungsmaß, Vortrag auf der Tonmeistertagung, Karlsruhe 1998
19. D.E. Hall, herausgegeben von J. Goebel, Musikalische Akustik, S. 113, Schott, Mainz / London / Madrid / New York / Paris / Tokyo / Toronto, 1997

15. Allgemeine Betrachtungen zur Mehrkanal-Stereofonie

Im Gegensatz zu allgemeinen Mikrofon-Themen unterliegt die Betrachtung der Surround-Aufnahmetechnik derzeit einer lebhaften Entwicklung. Der folgende Aufsatz beschreibt einige grundlegende Gesichtspunkte.

Die Situation

Wer von Stereofonie spricht, denkt heute oft nur an zweikanalige Aufnahme/Wiedergabe. Dies soll sich ändern, denn Stereofonie lässt sich durch die Verwendung weiterer Kanäle verbessern. In Kinos gibt es schon seit einiger Zeit Mehrkanal-Stereofonie. Der wichtigste Lautsprecher befindet sich dort in der Mitte, also genau an dem Ort, an dem sich auch das Zentrum des Bildes befindet. Man kann sich im Kino nicht auf die Bildung von Phantomschallquellen allein durch rechts und links wiedergegebene Signale verlassen. Zu viele Sitzplätze liegen weit außerhalb der Hörzone, innerhalb welcher die Phantomschallquellen-Bildung funktioniert. Bekanntlich müssten alle Zuschauer im Idealfall an dem gleichen Punkt sitzen, der mit den Lautsprechern ein gleichseitiges Dreieck bildet, dem sogenannten „sweet spot“.

Auch im Audibereich könnte ein „Center-Lautsprecher“ zu mehr Bewegungsfreiheit im Hörraum führen. Gemeinsam mit mindestens zwei „Surround-Lautsprechern“ soll so ein Hörerlebnis möglich werden, das mehr als bisher einen authentischen räumlichen Eindruck vermittelt. Diese Zielsetzung ist nicht neu. Viele erinnern sich an die Quadrofonie, die nicht zum Erfolg wurde. Von den damaligen Problemen haben aber heute nur noch zwei ihre Relevanz behalten: Erstens muss der Anwender bereit sein, sich mit den zusätzlichen Kanälen und insbesondere weiteren Lautsprechern einzurichten, und zweitens sollte das Hörerlebnis eine solche Aufwertung erfahren,

dass kein Zweifel am Sinn des Mehraufwands möglich ist. Die Surround-Lautsprecher dürfen lediglich empfunden werden, nicht aber störend herauszuhören sein.

Noch bevor die Entwicklung der Fünfkanal-Stereofonie für reine Audioanwendungen aufkam, gab es andere Bemühungen, eine Verbesserung räumlichen Hörens herbeizuführen. Dazu gehören digitale Raumklang-Prozessoren, die aus herkömmlichen Zweikanal-Stereoaufnahmen weitere Kanäle künstlich ableiten. Dadurch kommen zu den zwei Frontlautsprechern noch zwei seitliche und zwei rückwärtige Lautsprecher hinzu. Die Signale hierfür sind jeweils mit Laufzeiten versehen und mit anderen Raumfunktionen überlagert. Man könnte sogar künstlich Signale für einen Center-Lautsprecher erzeugen [1][2].

Die Raumklang-Prozessoren haben keine große Verbreitung erlangt, aber sie sollten dennoch als Maßstab für Vergleiche mit echter Mehrkanal-Technik dienen. Es führt in die Irre, wenn der Unterschied zu einfacher Zweikanal-Stereofonie durch einfaches Abschalten der Zusatzlautsprecher vorgeführt wird. Allein die damit verbundene Pegelreduktion führt schon zu einer schlechteren Bewertung und außerdem bewirkt die Verwendung von mehr Lautsprechern fast immer eine bessere Bewertung, sogar wenn die vorderen und hinteren jeder Seite jeweils die gleichen Signale wiedergeben.

Die Mehrkanal-Stereofonie für Audio wird nur dann erfolgreich sein können, wenn überzeugend vorgeführt werden kann, dass ähnliche gute Ergebnisse anders nicht erzielbar sind.

Die Zielsetzung

Wie beeindruckend eine mehrkanalige Wiedergabe ist, hängt auch von dem zu übertragenden Ereignis ab. Sehr eindrucks-

voll wirken Produktionen, die diskrete reale Schallquellen aus allen Richtungen erfordern. Synthetisch hergestellte Räumlichkeits-Effekte aus allen horizontalen Richtungen, wie im Kino, sind dafür ein gutes Beispiel. Vielleicht sollte man insbesondere im Bereich der Pop-Musik spezielle Produktionen forcieren. Dadurch könnten breite Käuferschichten gewonnen werden.

Bisher wurde aber meist an die möglichst authentische Übertragung klassischer Konzerte gedacht. Dies ist die schwierigste Aufgabe überhaupt. Konzerte, die diskrete Schalleignisse von hinten liefern, sind selten, wenn man von der oft hinten angeordneten Orgel absieht.

Ein anderer Standpunkt ist es, statt einer naturgetreuen Übertragung ein wohlgefälliges Ersatz-Erlebnis zu produzieren. Dazu müssen bei der Aufnahme andere Bedingungen erfüllt werden, was die Aufgabe aber nicht erleichtert.

Generell ist zu überlegen, ob man nicht zulässt, dass Surround andere Qualitäten hat als Zweikanal-Stereofonie, etwa so wie Wein und Bier Getränke mit sehr unterschiedlichen Merkmalen sind. Wein wird immer seine Liebhaber finden, dennoch werden alle Bemühungen von Weinbauern nicht zur „Süffigkeit“ eines frisch gezapften Biers führen (es wird doch wohl niemand mit Sekt vergleichen wollen?).

Zweikanal-Stereofonie zeichnet sich vor allem durch die Möglichkeit einer präzisen lateralen Lokalisation einzelner Phantomschallquellen zwischen den Lautsprechern aus. Surround-Sound muss mehr bieten, z.B. eine erheblich vergrößerte Zone, in welcher das Hören Freude macht. Eventuell darf dafür die Lokalisation etwas unpräziser sein.

Hauptmikrofon oder Panning-Technik?

Selbst bei der klassischen Zweikanal-Technik gibt es keine allgemein anerkannte Antwort auf die Frage, ob ein Hauptmikrofon-System wie XY, MS, Blumlein, ORTF, Kugelfläche oder AB besser ist als eine Vielzahl einzelner Mikrofone, die mittels Panoramaregler in der

Stereobasis angeordnet werden. Meist wird bei klassischer Musik eine Kombination von beidem eingesetzt.

Es gibt aber Puristen, die eine Kunst daraus entwickeln, bestimmte Programme mit nicht mehr als zwei oder drei Mikrofonen in überzeugender Qualität aufzunehmen. Anderen ist der Begriff des Hauptmikrofons fast unbekannt, sie arbeiten nur mit Multimikrofonie.

Bei den zweikanaligen stereofonen Hauptmikrofonen haben sich Theorien bewiesen, deren richtige Anwendung bemerkenswert scharfe Lokalisation einzelner Schallquellen ermöglicht. AB-Stereofonie gehört aber aus ebenfalls geklärten Gründen nicht dazu. /3/. Die hier angesprochenen Erkenntnisse /4/ /5/ sollten weiteren theoretischen Betrachtungen als Basis dienen. Die Mehrkanal-Technik ist im Vergleich zur Zweikanal-Stereofonie viel zu komplex, um alleine durch „trial and error“ das ideale Ergebnis herauszufinden. Aller technischer Fortschritt baut auf Theorie und wissenschaftlichen Grundlagen auf.

Allerdings gibt es die Ansicht, dass ein erfolgreiches Mehrkanal-Hauptmikrofon sowieso nicht realisierbar ist. Ähnliche Skepsis gab es aber auch schon immer gegenüber den bekannten Stereo-Hauptmikrofonen, und dennoch sind sie erfolgreich und bei einigen Anwendungen kaum wegzudenken.

Man darf auch praktische Gesichtspunkte nicht außer Acht lassen: Für den mobilen Betrieb werden Hauptmikrofone immer wünschenswert, wenn nicht notwendig sein.

Bei Produktionen ohne Hauptmikrofon-Technik kommt einem guten Panning-Verfahren große Bedeutung zu. Was bei zwei Kanälen noch einfach, z.B. mit Cosinus-Reglern erledigt werden kann, erfordert bei zusätzlichen Kanälen mehr Überlegung und Aufwand /6//7/.

Es würde den Rahmen dieses Aufsatzes sprengen, alles Für und Wider des alleinigen Einsatzes von Hauptmikrofonen oder Multimikrofonie abzuhandeln, aber es ist bekannt, dass die Ergebnisse sehr unterschiedlich sind.

Die Auflistung einiger Systeme, die für Surroundaufnahmen eingesetzt werden, befindet sich am Ende dieses Aufsatzes.

Sweet spot-Problem

Es gibt Merkmale der herkömmlichen zweikanaligen Stereo-Hauptmikrofone, die wenigstens partiell auch Gültigkeit für mehrkanalige Hauptmikrofone haben. So werden durch sie z.B. die spektralen Verhältnisse an einem guten Hörplatz und alle zeitbezogenen Vorgänge originalgetreu übertragen und damit eine recht natürliche Wiedergabe ermöglicht /8//9/. Dazu gehört auch eine präzise Schallquellenlokalisierung, die aber praktisch immer voraussetzt, dass sich der Hörer an einem geeigneten Hörort („sweet spot“) befindet. Um diesen Ort herum gibt es eine Zone, in der man immer noch richtig lokalisieren kann, aber dieser Bereich ist beschränkt und damit auch die Bewegungsfreiheit. In der Praxis führt das zu Problemen, wenn z.B. die Wiedergabelautsprecher in Bezug auf den Hörplatz nicht optimal gestellt werden können, oder wenn viele Personen gleichzeitig hören wollen. Man muss sich vergegenwärtigen, dass der äußere Bereich grundsätzlich viel mehr Fläche bietet als der innere.

So kommt es, dass die viel diskutierte Lokalisation bei groß angelegten Hörversuchen oft gar nicht als wichtiges Kriterium für die Beurteilung dienen kann. Das Klangbild, das z.B. durch Verwendung elektrostatischer Druckempfänger besonders kräftige Tiefen aufweist, oder die Räumlichkeit werden dann zu den entscheidenden technischen Parametern.

Stereofone Abbildung

Aufnahmetechniken, die beim Abhören das Verbleiben in einer kleinen Hörzone erfordern, werden von einigen Toningenieuren abgelehnt /10/. Statt dessen wird großer Wert auf die Empfindung von Räumlichkeit gelegt.

Um die Hörorts-Beschränkung auf einen sweet spot zu vermeiden, werden Aufnahmetechniken empfohlen, bei denen die Signale der verschiedenen Ka-

näle möglichst wenig miteinander korreliert sind. Hierfür gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten:

Man kann die Mikrofone in großen, in Metern zu messenden Abständen zueinander aufstellen oder es werden Mikrofone mit starker Richtwirkung eingesetzt. Damit die Richtwirkung im ganzen Übertragungsbereich möglichst gleich ist, kommen nur kleine Mikrofone mit Super- oder Hypernierencharakteristik in Frage, in bestimmten Fällen auch Achten.

Dabei zeigen sich Unterschiede in der stereofonen Abbildung und beim vermittelten räumlichen Eindruck, die Ähnlichkeiten mit den Verhältnissen bei den stereofonen Zweikanal-Techniken haben. Der Abstand zwischen den Mikrofonen ist dabei der entscheidende Parameter, wobei XY das eine Extrem darstellt und AB das andere.

Es gilt, dass das XY-Verfahren (ΔL) bei richtiger Aufstellung der Anordnung entsprechend des Aufnahmewinkels zu guter Lokalisation führt, aber die Aufnahme wird besonders bei Verwendung von Nieren wenig Gefühl von Räumlichkeit vermitteln. Bei der AB-Technik (Δt) verhält es sich umgekehrt, die Lokalisation ist unpräzise aber die Räumlichkeit gut, obwohl sie teilweise unecht ist, weil sie z.T. auf Gegenphasigkeiten zwischen den Kanälen beruht.

Es ist eine Ermessens- oder auch Geschmacksfrage, ob man die Lokalisation oder die Räumlichkeit höher bewertet. Wenigstens für die von vorn kommende Information wäre es aber ein Verlust, wenn man die Lokalisation aufgeben würde. Dies ist aber auch keinesfalls erforderlich. Der Raumeindruck wird durch die hinteren Kanäle verstärkt und sie vergrößern auch die optimale Hörfläche /11/.

Für die Mikrofone der hinteren „Surround-Kanäle“ werden oft größere Abstände von mehreren Metern empfohlen, sowohl voneinander wie auch vor allem von den vorderen Mikrofonen. Da von diesen Orten hauptsächlich Raumreflexionen übertragen werden, ist ihre Aufstellung weniger kritisch als die der vorderen Mikrofone, aber es muss darauf geachtet werden, dass das Schallereignis nicht in Vorn und Hinten zerfällt.

Getrennte Betrachtung von „vorn“ und „hinten“

Man kann die Aufnahme der Front-Kanäle und der hinteren (Surround-) Kanäle getrennt betrachten. Eine Lokalisation von Schallquellen zwischen vorn und hinten ist in der Regel nicht zu erwarten /12//13/ und seitliche Phantomschallquellen gibt es nicht. Es ist ein Ausnahmefall, wenn ein Hörer einem Schalleignis physisch folgt, so dass er sich z.B. dreht und zwei seitliche Lautsprecher schließlich Links und Rechts darstellen. In der Regel gibt es ein Vorn und ein Hinten und die nach ITU genormte Lautsprecheranordnung geht auch davon aus.

Wenn das Ergebnis für die vorderen drei Lautsprecher befriedigt, kann der rückwärtige Schallanteil das Raumempfinden steigern. Selbstverständlich werden dafür mindestens zwei Mikrofone benötigt. Sie werden vorzugsweise im Abstand von einigen Metern hinter der vorderen Mikrofongruppe aufgestellt. Dabei können sich auch Grenzflächenmikrofone bewähren. Sie erübrigen den Gebrauch von Stativen. Wenn man hingegen Druckgradientenempfänger einsetzt, kann man sie so ausrichten, dass sie nur wenig von vorn aufnehmen.

Andererseits gibt es Fälle, bei denen hinten aufgenommene Raumanteile den vorderen Kanälen beigemischt werden, um einem möglichen Zerfall des räumlichen Geschehens in einen vorderen und einen hinteren Bereich entgegen zu wirken. Derartige Versuche wurden mit dem IRT-Kreuz gemacht /14/, das am Ende dieses Aufsatzes beschrieben wird.

Die Signale der zwei vorderen Mikrofone werden den entsprechenden frontalen Kanälen zugemischt, die beiden anderen Mikrofone liefern die Signale für die hinteren Lautsprecher.

Beispiele aktueller Hauptmikrofontechniken

Die folgende Aufzählung erfolgt ohne Bewertung. Die unterschiedlichen Vorschläge erfordern teilweise noch eine Ergänzung durch rückwärtige Kanäle oder einen Center-Kanal.

ASM 5

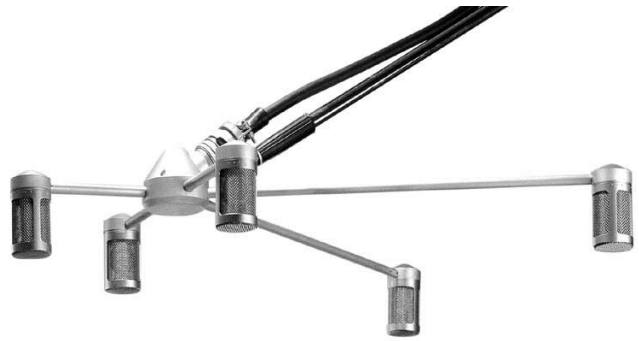


Abb. 1: ASM5

„ASM 5“ ist die Abkürzung für „Adjustable Surround Microphone“. Die einzelnen Mikrofone sind an langen Auslegern so montiert, wie dies bei „INA5“ /15//16/ vorgesehen ist. Bei ASM 5 können die Mikrofone aber in ihrer Richtcharakteristik eingestellt werden und auch die Winkel zwischen den Mikrofonen lassen sich verändern.

Doppelte MS



Doppel-MS-Anordnung in Windschutz

Abb. 2: Doppelte MS

Bei dieser Technik werden ein nach vorn und ein nach hinten gerichtetes Mikrofon

benötigt, zwischen denen ein horizontal zur Seite ausgerichtetes Mikrofon mit Achtcharakteristik angeordnet ist. Letzteres dient als gemeinsames S-Mikrofon einer nach vorn und einer nach hinten gerichteten MS-Anordnung. Daher bestehen auch die bekannten Einstell- und Nachbearbeitungsmöglichkeiten der MS-Technik.

INA 3

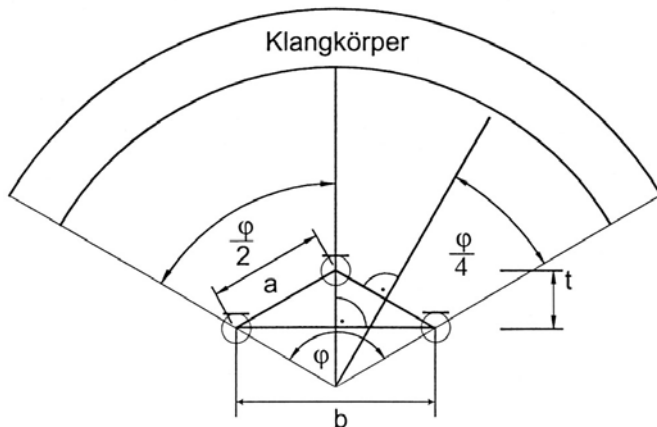


Abb. 3: INA 3 (3x Niere) nach Harrmann und Henkels

Mit INA3 werden nur die vorderen drei Kanäle übertragen. INA ist die Abkürzung für „Ideale Nieren-Anordnung“ /15//16/. Die Nieren sind dabei über Ausleger so weit voneinander entfernt montiert und so im Winkel zueinander ausgerichtet, dass nur jeweils zwischen Center und dem linken bzw. dem rechten vorderen Lautsprecher eine Phantomschallquellen-Lokalisation erfolgt, nicht jedoch zwischen dem linken und rechten Lautsprecher, da hier die Pegel- und Laufzeitunterschiede zu groß sind.

Ein kompakterer Aufbau, dem auch etwas andere Überlegungen zu Grunde liegen, wird unter der gleichen Literaturstelle /15//16/ beschrieben. Diese Anordnung heißt INA 5 und umfasst auch die hinteren Kanäle.

IRT Mikrofons-Kreuz



Abb. 4: IRT-Kreuz

Beim IRT-Mikrofonskreuz werden vier Mikrofone mit Nierencharakteristik an den Eckpunkten eines Quadrates mit 20-25cm Kantenlänge angeordnet. Alle Mikrofone

sind nach außen gerichtet. Ihre Achsen verlaufen in Richtung der Diagonalen des Quadrats. Das System ist also rundum symmetrisch. Bei Wiedergabe über eine nicht normgerechte Anordnung von vier Lautsprechern im Winkel von 90° zueinander, ist eine Rundum-Lokalisation möglich, z.B. wenn der Hörer einer bewegten Schallquelle folgt /17/.

Ursprünglich wurde das Kreuz jedoch als „Ambience-Mikrofon“ konzipiert. Es soll den Raum übertragen und kann als ein nach vorn und ein nach hinten gerichtetes Stereomikrofon betrachtet werden. Die Signale der vorderen Nieren werden vorn zugemischt. Die nach hinten weisenden Nieren ergeben unmittelbar das linke und rechte Surround-Signal.

KFM 360



Abb. 5: KFM 360

Das KFM 360 nach Bruck /18//19/ basiert auf einem Kugelflächenmikrofon, bei dem jeweils dicht unterhalb der in die Kugel eingebauten Druckempfänger ein Mikrofon mit Achtcharakteristik montiert ist. Diese „Achten“ sind nach vorn/hinten gerichtet. Bei einer MS-Matrixierung der Signale ergibt sich auf jeder Seite durch die Summenbildung ein von vorn bevor-

zugt aufnehmendes virtuelles Mikrofon. Durch die Differenzbildung ergibt sich die gleiche Richtwirkung nach hinten. Ihr Polardiagramm hängt vom Pegelverhältnis der beiden Signale ab und kann durch die Basisbreiteneinstellung (Width) verändert werden. Außerdem hängen die Richtdiagramme auch noch von der Frequenz ab. Dies ist ein typisches Merkmal des Kugelflächenmikrofons.

Wenn die vier Signale unmatriziert aufgenommen werden, können die optimalen Pegelverhältnisse von Druckempfänger und Acht auch in einer Nachbearbeitung bestimmt werden.

Multi Microphone Array

In /17/ ist ein Prinzip beschrieben, nach welchem der Aufnahmeraum z.B. in fünf gleich große Sektoren eingeteilt wird. In jedem Sektor werden jeweils die Gesetze für die Lokalisation herkömmlicher zweikanaliger Stereofonie angewandt. Eine Erweiterung dieser Technik wurde 1999 auf der AES in New York beschrieben /20/.

OCT

Dieses System (Optimized Cardioid Triangle) /21/ ist dafür gedacht, die vorderen drei Kanäle einer Surroundaufnahme zu übertragen.

Vorzugsweise werden zwei seitlich gerichtete Supernieren verwendet und in der Mitte zwischen ihnen ein etwas nach vorn versetztes Nieren-Mikrofon (siehe Abbildung). Da Druckgradientenempfänger tiefste Frequenzen prinzipiell schwächer übertragen, ergänzen zwei Kondensatormikrofone mit Kugelcharakteristik den Bereich unterhalb 100Hz.

Abb. 15.6

OCT

Wenn die Kugeln nahe bei den Supernieren montiert werden und Tiefpass-Filter mit geeignetem Phasengang zum Einsatz kommen, können die Frequenzgänge von Superniere und Kugel ohne Einbruch aneinander anschließen. Da der von der Superniere aufgenommene Pegel aber vom Schalleinfallswinkel abhängt, müssen die Kugeln nach Gehör beigemischt werden.

Der Center-Kanal soll keine tiefen Frequenzen übertragen. Daher wird der Niere ein Hochpass mit 100Hz Eckfrequenz nachgeschaltet.

Der besondere Gedanke hinter der Anordnung besteht darin, einen sauberen Center-Kanal dadurch zu erreichen, dass frontaler Schall vor allem von der zentralen Niere aufgenommen wird. Die seitlich gerichteten Supernieren nehmen ihn unter 90° auf und liefern daher ca. 10dB weniger Pegel (gleiche Empfindlichkeiten

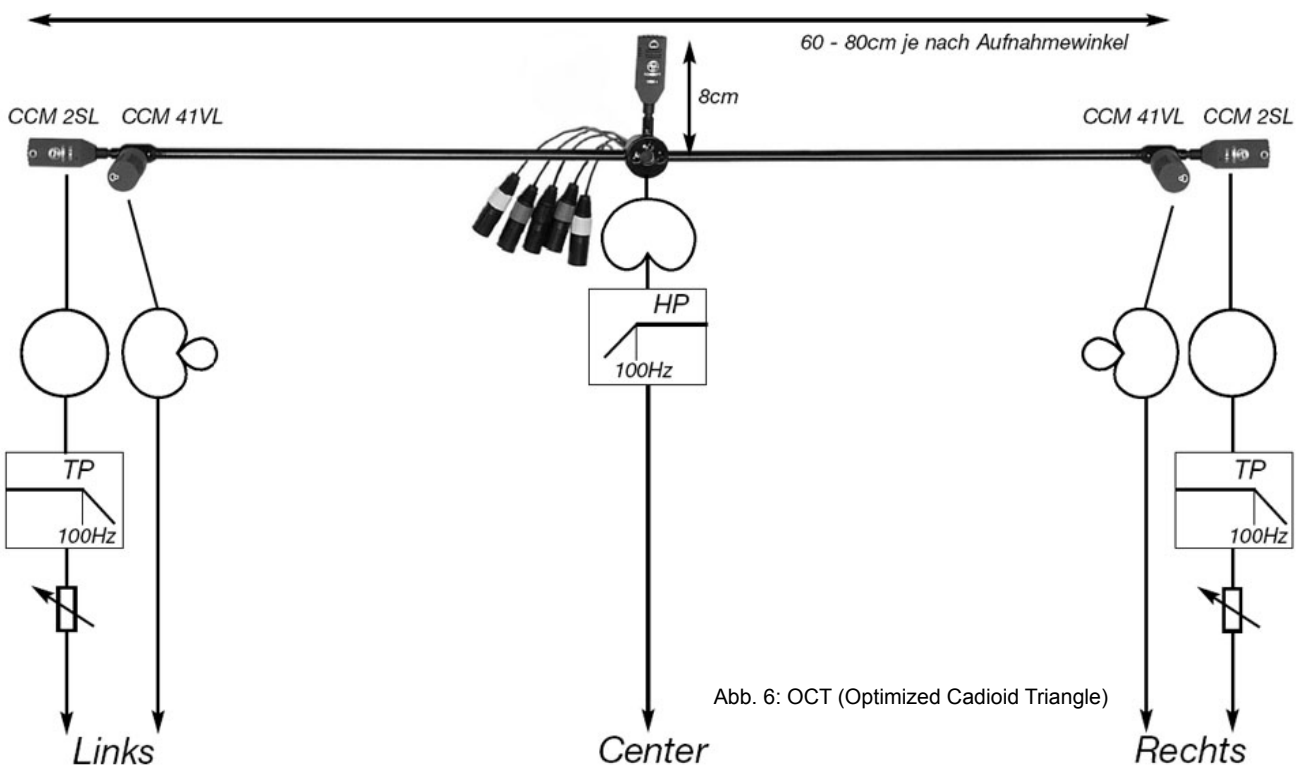


Abb. 6: OCT (Optimized Cardioid Triangle)

von Niere und Supernieren vorausgesetzt). Außerdem wird Schall, der z.B. von der rechten Seite eines Orchesters kommt, von der linken Superniere nur wenig aufgenommen. Das führt zu einer guten Trennung zwischen den Signalen für links und rechts.

Kommt der Schall von extrem rechts (auf der Achse der Superniere), so wird er natürlich vor allem von der rechten Superniere übertragen und 6dB schwächer von der Niere. Das Signal, das dann auch aus der linken Superniere kommt, ist ca. 10dB reduziert und führt zu keiner irritierenden Phantomschallquelle, weil die rückseitige Empfindlichkeitskeule der Superniere gegenphasig überträgt.

Der Aufnahmewinkel lässt sich berechnen und ist natürlich von der Geometrie der Anordnung abhängig /21/. Bei einem Abstand der Supernieren von 70cm und einer um 8cm nach vorne versetzten Niere ergibt sich ein Aufnahmewinkel von 100°.

Die Abbildung zeigt einen Laboraufbau mit fünf kleinen SCHOEPS Mikrofonen des Typs CCM-L.

Soundfield

Das Soundfield-Prinzip /22//23/ ist rein koinzident und kann aus den Signalen von vier Nierenkapseln beliebig viele einstellbare Richtcharakteristiken in allen Richtungen matrizen.

Literaturverzeichnis:

1. M. Gerzon: Optimal Reproduction Matrices for Multispeaker Stereo, AES preprint 3180 (U-3)
2. M. Gerzon: Three-Speaker Stereo - From Two Channels, AES preprint
3. S.P. Lipshitz, University of Waterloo, Ontario, Canada: Stereo Microphone Techniques: Are the Purists Wrong?, AES preprint 2261 (D-5) or: J. Audio Eng. Soc., vol. 34, no. 9, 1986
4. M. Williams, AES Publication European Representative: Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording, AES preprint 2466 (H-6), 1987
5. G. Theile: On the Naturalness of Two-Channel Stereo Sound, J. Audio Eng. Soc., vol. 39, no. 10, pp. 761–767, 1991
6. U. Horbach, M. M. Boone: Future Transmission and Rendering Formats for Multichannel Sound, Proceedings of the AES 16th Int. Conference on Spatial Sound Reproduction, Rovaniemi, Finland, April 1999
7. J. A. Moorer, Sonic Solutions, J. H. Vad, San Francisco Symphony: Towards a Rational Basis for Multichannel Music Recordings
8. G. Theile: The Natural Rendering of Sound Images in Broadcasting, EBU Review - Technical Nos. 241–242, pp. 95–116, 1990
9. M. Wöhr, G. Theile, H.-J. Goeres, A. Persterer: Room-related Balancing Technique: A Method for Optimizing Recording Quality, J. Audio Eng. Soc., vol. 39, no. 9, pp. 623–631, 1991
10. D. Griesinger: Statements during workshop W12, 106th AES Convention, Munich, 1999
11. R. Rebscher, G. Theile: Enlarging the Listening Area by Increasing the Number of Loudspeakers, 88th AES Convention, Montreux, preprint 2932, 1990
12. J. Blauert: Räumliches Hören, pp. 34–35. S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1974
13. W. Zieglmeier, G. Theile: Darstellung seitlicher Schallquellen bei Anwendung des 3/2-Stereo-Formats, 19. Tonmeistertagung Karlsruhe, Tagungsband pp. 159–169, 1996
14. IRT: Demonstrationen auf AES Conventions und Tonmeistertagungen in den letzten Jahren
15. U. Herrmann, V. Henkels, D. Braun, FH Düsseldorf: Vergleich von 5 Surround-Mikrofonverfahren, 20. Tonmeistertagung Karlsruhe, Tagungsband pp. 508–517, 1998
16. V. Henkels, U. Herrmann: Hauptmikrofonierungen für den 3/2-Stereo-Standard, Studio Magazin, pp. 51-63, Sept. 1997
17. M. Williams: Microphone Arrays for Natural Multiphony, AES preprint 3157, Oct. 91

18. J. Bruck: Die Lösung des "Surround"-Dilemmas,
19. Tonmeistertagung Karlsruhe, Tagungsband pp. 124, 1996
19. J. Marks: Soundfield of Dreams, Surround Professional, p. 48, January 1999
20. M. Williams: Multi-Microphone Analysis for Multichannel Sound Recording, AES preprint 4997 (A-5)
21. G. Theile: Multichannel Natural Music Recording Based On Psychoacoustic Principles, 108th AES Convention, 2000, preprint 5156
22. P. B. Fellgett: Ambisonics - Part One: General System Description, Studio Sound, August 1975
23. M. Gerzon: Ambisonics - Part Two: Studio Techniques, Studio Sound, August 1975, pp. 24, 26, 28, 30, Corrections: Oct. 1975, p. 60

16. Gedanken zu Surround-Aufnahmen

Vortrag gehalten auf der 22. Tonmeistertagung 2002

Stiefkind Audio

Seit Beginn der Audiotechnik haben sich der Kinoton und der Ton im Heim wechselseitig Impulse gegeben /1/. Die Surround-Technik hat im Kino begonnen, wo inzwischen bereits mit noch mehr Kanälen als 5.1 gearbeitet wird. Dabei ist die Filmindustrie ein so starker Werbeträger für den Mehrkanal-Ton, dass DVD-Videos inzwischen in vielen Wohnzimmern Einzug gehalten haben. Für reine Audio-Anwendungen gibt es aber kaum Werbung, schlimmer noch, dem Fachhandel fehlt meist sogar die Kompetenz, mit der beim Endverbraucher der Wunsch nach Musikproduktionen in Surround geweckt werden könnte.

Erfolgsbremsen

Leider werden den Videokunden oft Anlagen mit Minilautsprechern verkauft, die manchmal in Kombination mit dem Bild noch recht gut wirken, aber bei reiner Audiowiedergabe den falschen Eindruck erwecken, dass Surround nichts taugt. Es muss klargestellt werden, dass Mehrkanalanlagen klanglich nur dann mit guter Stereowiedergabe konkurrieren können, wenn Lautsprecher gleicher Qualität verwandt werden. Dementsprechend muss auch der Preis höher sein. Auch das Filmerlebnis profitiert von besseren Lautsprechern.

Die Hi-Fi-Fachpresse leistet ihren Lesern und auch sich selbst einen schlechten Dienst, wenn sie dazu animiert, Geld in „goldene Kabel“ und allerlei sonstigen Voodoo zu investieren, statt die große Bedeutung guter Lautsprecher und deren Aufstellung zu proklamieren.

SACD und DVD-Audio sind beide gut gemeint, aber der Systemstreit verunsichert

viele potenzielle Käufer derart, dass sie lieber nichts kaufen. Als guter Kompromiss dienen derzeit oft DTS-codierte CDs.

Die Diskussion um den Sinn des Center-Lautsprechers ist ebenfalls schädlich. Beim Heimkino ist er eine Notwendigkeit und auch bei Audio ist er eine Bereicherung, wenn er richtig aufgenommen wird /2//3//4/. Dann ist der Center allerdings auch unentbehrlich. Wer mit nur zwei Lautsprechern wiedergeben will, muss auf Stereo umschalten, ebenso wie eine gute Stereoaufnahme das Umschalten auf Mono erfordert, wenn keine Information verloren gehen soll. Dies bedeutet im reinen Audiobereich ein Umdenken. Einfach ist dieses Umschalten allerdings auch nicht, da die Kompatibilität zwischen den beiden „Qualitäts-Formaten“ 5-Kanal und 2-Kanal problematisch ist /5/.

Die Nutzung des Center-Lautsprechers wird übrigens auch durch die Geräteindustrie provoziert, weil fast alle DVD-Player für die Bedienung ihres on-screen displays (OSD) einen Fernseher benötigen. Da der Center aber für Video unerlässlich ist, kann man ihn doch auch gleich für Audio nutzen. Mit drei kleinen aktiven Studiomonitoren und einem Subwoofer ist das Aufstellungsproblem oftmals nicht mehr so groß wie oft behauptet wird.

Verlockungen des Surround-Erlebnisses

Klang und Tiefbass

Bevor die Stereophonie die Klangwelt bereicherte, erfreute sich der Hörer an „High Fidelity“. Der Filmtone entspricht diesem Ideal gelegentlich etwas weniger, aber dessen überzogene Tieftone-Wiedergabe kann auch Spaß machen. Dies ist natürlich kein spezielles Merkmal von Surround, aber ein satter Bass wirkt im Zusammenhang mit Surround besonders gut. Im Kino wird dies ausgiebig genutzt.

Lokalisation

Auch wenn nicht jedermann Wert darauf legt, einzelne Schallquellen aus verschiedenen Richtungen wahrzunehmen, ist die Lokalisation ein besonders wichtiges, Freude machendes Merkmal der Stereophonie. Wer wäre schon bereit, links und rechts zu vertauschen? Bei Surround wird darüber hinaus das Hörerlebnis durch Eindrücke zwischen vorne und hinten in besonderer Weise aufgewertet. Detailliertere Erklärungen zur Lokalisation folgen im Kapitel „Kernthema Lokalisation.“

Hörzone / Stabilität von Phantomschallquellen

Die klassische Stereophonie hat den Mangel, dass die Lokalisation nur in einem schmalen Bereich um die Mittelachse zwischen den beiden Lautsprechern möglich ist. Surround darf nicht dazu führen, dass dieser Bereich durch einen Punkt, den „sweet spot“ ersetzt wird. Das Gegenteil ist für den Erfolg von Surround nötig und möglich /6/. Phantomschallquellen können in einer größeren Hörzone stabil wahrgenommen werden.

Räumlichkeit und Umhüllung

Ein weiterer Parameter der Stereophonie ist die Empfindung in einem anderen, meist größeren Raum zu sein, als dies tatsächlich der Fall ist. Bei Surround besteht dabei die Gefahr, dass der Gesamteindruck in „Vorn + Hall von hinten“ zerfällt. Gute Aufnahmen müssen daher eine Umhüllung vermitteln, wie wir sie von realen großen Räumen gewohnt sind.

Kategorien von Surround-Aufnahmen

Wer aufmerksam Surround hört, kann die Produktionen in vier Kategorien einteilen:

1. Effekt-betonte Surround-Aufnahmen

Viele akustische Eindrücke im Kino imponieren durch den Einsatz von Effekten. Aber auch im Audio-Bereich ist deren Anwendung nicht neu. Man denke nur einmal an die Beatles-Produktionen, bei denen der Gesang nur im linken Kanal übertragen wurde und die Gitarre im rechten. Damit wurde auch „Otto Normal-

verbraucher“ klar, was Stereo bewirken kann. Ohne substanziellen Informationsverlust konnte man entweder nur richtig zweikanalig hören oder mono. Die Kompatibilität war auf diese Weise auch in besonderer Weise gegeben.

Natürlich ist eine derartige „Holzhammermethode“ nicht auf Dauer Erfolg versprechend, aber vielleicht wenigstens für eine Demonstration geeignet, was man mit dem Center-Lautsprecher machen kann. Aufnahmen, bei denen z.B. eine Solostimme trocken im Center übertragen wird, können sehr überzeugen /7/. Wer diesen Center weglässt, dem wird etwas fehlen.

2. Risikolose Surround-Produktionen

Natürlich gibt es auch Produzenten, die sich sorgen, dass eine Fehlanwendung beim Verbraucher (z.B. fehlender Center-Lautsprecher) zu einer schlechten Beurteilung der Aufnahme führen könnte. Um dies zu vermeiden, kann man allen Kanälen sehr ähnliche Signale liefern, die z.B. unterschiedlich verhallt sind und eventuell auch verschiedene Frequenzgänge aufweisen. Niemand kann dann reklamieren, dass z.B. ein Kanal ohne Signal ist, und wenn ein Kanal ausfällt, schadet es auch kaum. Leider muss man aber sagen, dass mit einem solchen Lösungsansatz die Chancen von Surround vertan sind. Ähnliche Ergebnisse lassen sich mit den in guten Surround-Receivern eingebauten Matrizen bzw. Surround-Prozessoren aus vorhandenen zweikanaligen Quellen ableiten.

3. Künstlerisch basierte Surround-Produktionen

Mit Recht betonen viele Tonmeister den künstlerischen Wert ihrer Aufnahmen. Ohne diesen wäre wirklich alle Mühe sinnlos. Es gibt auch bereits Produktionen, bei denen Richtungsinformationen, wie sie nur durch Surround vermittelt werden können, erfolgreich in die Gestaltung der Aufnahme einbezogen werden /8/.

4. Wissenschaftlich basierte Surround-Produktionen

Rein künstlerisch angegangene Aufnahmen unterliegen der Gefahr, keine „Maximalleistung“ der Surround-Technik zu erzielen. Tech-

nik ist immer dann besonders erfolgreich, wenn sie durch physikalische Gesetzmäßigkeiten untermauert ist. Während zwei Kanäle noch durch reines Experimentieren optimiert werden konnten, ist dies bei fünf und mehr Parametern höchst unwahrscheinlich. Dies sei ein Plädoyer für die Zusammenarbeit von Künstlern und Ingenieuren mit Kenntnissen der Hörphysiologie.

Produktionsformen

Surround ist die neueste und beste Form von Stereophonie. Für eine erfolgreiche Aufnahme müssen zuerst allgemeine Voraussetzungen erfüllt sein, wie vor allem gute Künstler, und bei Musikaufnahmen ein guter Raum. Dann erst kommt qualitativ hochwertige Technik ins Spiel wie insbesondere auch die Mikrofone, die aber immer jemanden erfordern, der damit umgehen kann. Dabei gibt es mindestens zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze, die beide ihre Befürworter haben:

1. Man kann das Schallereignis mehr oder weniger trocken aufnehmen und mittels technischer Maßnahmen in das Endprodukt einbauen. Der bekannteste und häufigste Weg dieser Art ist die Polymikrofonie mit Mischpult, Panoramareglern, Halleinkopplungen usw. Bei Surround kommen ferner Algorithmen ins Spiel, die theoretisch untermauert sind, aber oft nur dem jeweiligen Hersteller bekannt sind.

2. Die zweite Möglichkeit geht von einem natürlichen Schallfeld aus, das es wert ist, aufgenommen zu werden. Darin sind direkter Schall, Erstreflexionen und Nachhall derart enthalten, dass Raumeindrücke originalgetreu vermittelt werden können /9/. Dieser Vorstellung liegen Hauptmikrofone zugrunde. Wenn das Hauptmikrofon seine Bedeutung behalten soll, verzögert man gegebenenfalls die Signale zusätzlicher Stützmikrofone derart, dass die erste Wellenfront nicht durch sie übertragen wird.

Kernthema Lokalisation

Die folgenden Betrachtungen zur Lokalisation beziehen sich vorwiegend auf die letztgenannte Möglichkeit (Ableitung aus dem natürlichen Schallfeld).

Bei fünf Lautsprechern in einer Ebene ist es verständlich, dass auch die Lokalisation in der Ebene stattfindet, obwohl es durch Lernprozesse z.B. beim Hören von Flugzeugen eindrucksvolle Elevationseffekte gibt. Zur perfekten Lokalisation gehört ferner der Abstand zur Schallquelle. Bei gutem Surround kann man die räumliche Tiefe besser abschätzen als bei zweikanaligen Stereoaufnahmen /9/. Bei Aufnahmen, die kaum Abstandshören wohl aber seitliche Richtungen der Schallquellen vermitteln, sprach man schon gelegentlich von „Lateralisation“ statt Lokalisation. Wie bei anderen Parametern der Stereophonie wäre eine mit Beispielen untermauerte Begriffsbestimmung wünschenswert.

Wenn drei vordere Lautsprecher sinnvoll genutzt werden sollen, könnte man auf die Idee kommen, z.B. jedem Instrument eines Trios jeweils einen Lautsprecher zuzuordnen. Das Ergebnis wäre effektiv und aufnahmetechnisch mit den oben erwähnten alten Beatles-Aufnahmen vergleichbar. Jedermann würde auch begreifen, wozu die drei Lautsprecher dienen.

Leider ist dies aber nur ein Spezialfall, der nicht allgemein befriedigen kann und der keinerlei Tiefeneindruck vermittelt. Was wäre, wenn statt des Trios ein Quintett spielte? Dann würden wir erwarten, dass je ein Instrument den Raum zwischen der Mitte und den außen stehenden Lautsprechern ausfüllt. Weil dort aber keine Lautsprecher stehen, müssen sie durch Phantomschallquellen ersetzt werden. Die Gesetzmäßigkeiten dafür kennen wir von der Zweikanal-Stereophonie. Obwohl jeder äußere mit dem zentralen Lautsprecher nicht das bekannte gleichseitige Dreieck formt, an dessen einer Ecke der Hörer sitzen sollte, funktioniert die Phantomschallquellenbildung. Alle Theorien, die das Ziel einer korrekten Lokalisation verfolgen, betrachten Sektoren links und rechts von der Mitte oder auch rundum, die jeweils nach den Gesetzmäßigkeiten der Stereophonie zur Lokalisation von Phantomschallquellen führen. Die Befürchtung, dass dies nur im so genannten „sweet spot“ funktioniert, ist übertrieben. Man bedenke z.B., dass der Direktschall einer Schallquelle, die nur vom mittleren und dem linken Lautsprecher

wiedergegeben wird, auch dann noch links geortet wird, wenn man bereits weit rechts steht. Dies ist natürlich nur eine vereinfachte Betrachtung, aber sie zeigt, dass zusätzliche Kanäle die Hörzone erweitern können. Die Wahl geeigneter Signale ist dabei allerdings sehr bedeutsam. Das OCT-Verfahren /4//9/ ist dafür besonders prädestiniert.

Sinnvolles Center-Signal

Andererseits lassen sich gängige Stereo-Hauptmikrofone nicht derart durch ein zusätzliches Center-Mikrofon ergänzen, dass die Lokalisation verbessert wird. Das ist etwa so, als ob man einen dreibeinigen Tisch durch ein viertes Bein stabilisieren wollte. Die zusätzliche Montage am unveränderten Tisch würde immer einen „Krüppel“ ergeben. Ebenso wie man beim dreibeinigen Tisch zwei Beine an anderer Stelle befestigen würde um daraus einen „Vierbeiner“ zu machen, müssen für eine Surround-Aufnahme-Anordnung das linke und rechte Mikrofon anders stehen als bei einfachem Stereo. Ein Stereomikrofon ergibt alleine eine Phantom-Mitte. Eine zusätzliche Mitte durch ein Mikrofon hilft nicht sondern stört. Stereo + C /10/ erfüllt in dieser Beziehung eine Alibi-Funktion, indem der Mittenkanal ein Signal liefert, das eigentlich nicht gebraucht wird. Es stört in diesem Fall wenigstens nicht, aber eine verbesserte Lokalisation mit vergrößerter Hörzone kann dadurch nicht entstehen.

Anbei sei hier vermerkt, dass der Wert eines Center-Signals nicht einfach nur durch Ein- und Ausschalten ermittelt werden darf. Die damit verbundene Lautstärkeänderung muss gleichzeitig ausgeglichen werden.

Das IRT-Kreuz, ein „Ambience“-Mikrofon

Die Möglichkeit den Aufnahmebereich in Sektoren zu teilen, ist nicht nur auf den vorderen Bereich beschränkt. Wenn z.B. die Aufgabe zu lösen ist, ein Schallereignis 360° rundum zu lokalisieren, ist 5.1 keine gute Wahl. Dafür ist es auch nicht gedacht. Stattdessen genügen vier Lautsprecher, die dann aller-

dings am besten in den Ecken eines Quadrats aufgestellt sein sollten /11/. Je nach Ziel erfordern alle Aufnahmesituationen die jeweils für sie geeignete Übertragungsform.

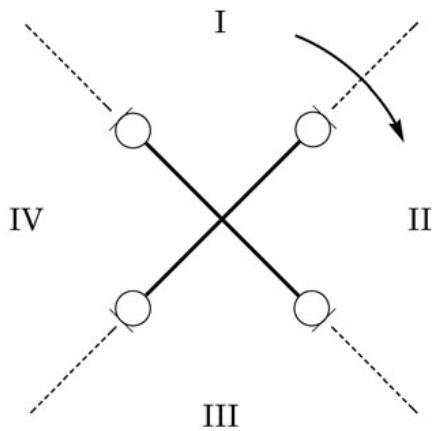


Abb. 1: IRT-Kreuz mit vier Compact-Mikrofonen mit Nierencharakteristik

Bei der Rundum-Übertragung führt das IRT-Kreuz (Abb.1) zu einem guten Ergebnis. Vier Mikrofone mit Nierencharakteristik sind hier an den Eckpunkten eines Quadrates von ca. 25 cm Kantenlänge angeordnet. Ihre Achsen verlaufen in Richtung der Diagonalen des Quadrats. Zwei benachbarte der so angeordneten Nieren ergeben einen Aufnahmewinkel von 90°. Er ist in diesem Fall also gleich groß wie der Hauptachsenwinkel der Mikrofone (Offset-Winkel = 0°, /12/). Damit ergibt eine Schallquelle, die auf der Achse eines Mikrofons einfällt, genau die Pegel- und Laufzeitunterschiede zum benachbarten Mikrofon, die für die Lokalisation in Richtung des entsprechenden Lautsprechers nötig sind. Wenn die Schallquelle von links nach rechts wandert, wird die Phantomschallquelle dieser Bewegung folgen, bis die Lokalisation aus Richtung des rechten Lautsprechers wahrzunehmen ist. Wie zuvor äquivalent auf der linken Seite ist dies rechts der Fall, wenn die Schallquelle in Richtung des rechten Mikrofons einfällt.

Wenn die Schallquelle im Uhrzeigersinn weiterwandert, ergibt sich für einen Hörer, der bewegungslos geradeaus blickt, das bekannte Problem der schlechten seitlichen Lokalisation. Wenn der Hörer aber die Schallquelle verfolgt und sich dreht, wird der ursprünglich rechte vordere Lautsprecher zu seinem linken und der rechte hintere zu seinem neuen rechten Lautsprecher. Damit wiederholen sich die Lokalisationseindrücke. Diese Beschreibung für die mit I und II bezeichneten Sek-

toren (Abb.2) lässt sich natürlich rundum für die Sektoren III und IV fortsetzen, womit die „Rundum-Lokalisation“ erklärt ist.



Bei Musik liegen natürlich ganz andere Verhältnisse zu Grunde. Hier setzt man das Kreuz nur ergänzend für eine bessere Um-

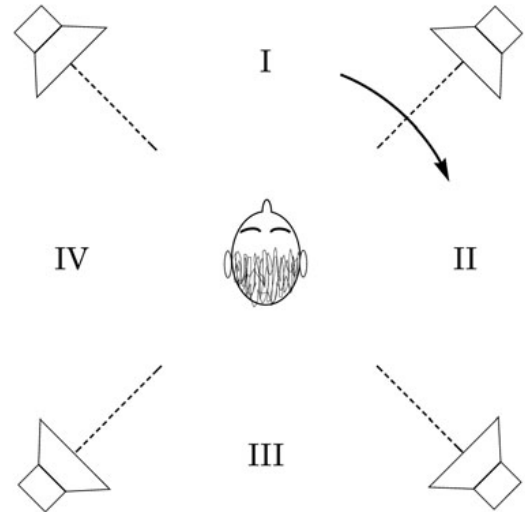


Abb. 2: „Rundum-Übertragung“ mit IRT-Kreuz (siehe Text)

Natürlich ist der die Schallquelle verfolgende Hörer ein Ausnahmefall und in einer 5.1 Anlage stehen die vier „Ecklautsprecher“ nicht im Winkel von 90° zueinander. Außerdem verfolgt der Hörer die Schallquelle nicht. Dennoch empfindet der Hörer auch mit einer 5.1 Lautsprecheranordnung die „Ambience“ (Atmo), die das IRT-Kreuz um ihn herum vermittelt, als sehr umhüllend.

Erklärungen bestehen darin, dass unterschiedliche Winkel zwischen den Lautsprechern die Lokalisation lediglich unschärfer machen aber nicht aufheben und dass der Hörer sich zwar nicht dreht, aber seinen Kopf mehr oder weniger stark bewegt.

Eine andere Erklärung basiert auf der natürlichen Wiedergabe von Raumreflexionen und anderen Signalen aus dem Raum, wie z.B. Klatschen /9/.

Einsatz des IRT-Kreuzes

Eine vielfach demonstrierte, beeindruckende Anwendung des IRT-Kreuzes zeigte die Surround Video-Produktion eines Eishockeyspiels /13/. Das gesamte lärmende Umfeld eines Zuschauerplatzes in der Nähe der Bande wurde mit dem Kreuz aus ca. 4m Höhe auf die vier Eckkanäle übertragen und der Center-Kanal vermittelte den Kommentar des Sprechers. Ein derartiger Einsatz wäre auf viele andere Sportereignisse übertragbar.

hüllung ein. Die vorderen drei Kanäle müssen mit einer dafür geeigneten Mikrofonanordnung aufgenommen werden und die Signale des entfernter aufgestellten Kreuzes werden links und rechts vorn hinzugemischt. Die beiden rückwärtigen Nieren ergeben direkt die hinteren Kanäle.

Ganz ähnlich wie die Signale der vier Nieren werden manchmal auch die von Mikrofonen mit Acht-Charakteristik verarbeitet /14/. Das sogenannte „Hamasaki-Square“ hat aber sonst keine Ähnlichkeiten mit dem IRT-Kreuz.

Vergleich verschiedener Hauptmikrofone

Für Anwender, die die Zahl der Mikrofonkanäle möglichst klein halten müssen und alle, die ihre Surround-Aufnahme aus dem natürlichen Schallfeld ableiten wollen, ist die Frage nach einem Surround-Hauptmikrofon wichtig. Dabei hat die Aufnahme des natürlichen Schallfelds den Vorteil, dass auch wesentliche Parameter wie Erstreflexionen und der diffuse Schall authentisch übertragen werden. Eine Auflistung von Surround-Hauptmikrofonen mit Erklärungen befindet sich in /5/.

Es gab schon mehrfach Versuche die verschiedenen Verfahren miteinander zu vergleichen. Besonders umfassend ist der Vergleich, der 2001 vom ORF veranstaltet

wurde /15/, aber man wird noch viel mehr Gegenüberstellungen brauchen, weil immer Kompromisse akzeptiert werden müssen und die Bedingungen unterschiedlich sind. Hier soll noch kurz eine Aufnahme beschrieben werden, bei der vier Surround-Hauptmikrofone eingesetzt wurden. Sie werden im Folgenden aufgelistet mit einem Kurzkomentar zu markanten Merkmalen.

1. Doppelte MS-Technik. Dies ist das kleinste System. Es leitet aus nur drei Kanälen fünf oder sogar sechs Surroundkanäle ab. Nachbearbeitung ist wie bei MS möglich.

2. Das Surround-Kugelflächenmikrofon (Bruck) /16/ ist im Vergleich mit den anderen Systemen immer noch klein und hat Merkmale des Kugelflächenmikrofons /17/. Diverse Einstellmöglichkeiten sind auf digitaler Ebene in einer Nachbearbeitung machbar /18/.

3. OCT-Surround (Theile) /9/ bietet beste Trennung zwischen dem linken und rechten Aufnahmesektor (kein „Cross-talk“). Es vermittelt eine saubere Lokalisation und Raumabbildung.

4. MMAD (Williams) /12/- erlaubt die Anwendung von fünf gleichen Standard-Nierenmikrofonen.



Abb. 3: Das Schubert Oktett



Abb. 4: Mikrofonaufstellung

Durchführung der Aufnahme

Für die Möglichkeit, die Generalprobe einer Aufführung des Schubert-Oktetts im leeren Saal aufzunehmen, sei der Musikhochschule Karlsruhe und den beteiligten Studenten herzlich gedankt. Wie erfahrene Tonmeister schon oft berichtet haben /19/, setzten sich die Musiker zunächst nicht so zueinander wie es der Toningenieur gerne hätte, sondern natürlich so, wie sie am besten miteinander kommunizieren konnten. Zum Glück konnte ein Kompromiss vereinbart werden und so saßen schließlich 8 Musiker schön nebeneinander, genauso wie man sie bei der Wiedergabe auch gerne lokalisieren möchte (Abb.3).

Die Mikrofon-Systeme wurden möglichst dicht beieinander aufgestellt (Abb.4) in einem Abstand zum Orchester, der die richtige Hallbalance versprach. Die genauen Abmessungen und die Aufnahmewinkel sind in Abb.5 dargestellt.

Außer den vier genannten Surround-Hauptmikrofonen wurden noch weitere Mikrofone für Versuche eingesetzt, darunter zwei Mikrofone mit Acht-Charakteristik, die so aufgestellt waren wie die beiden hinteren Kanäle des Hamasaki-Squares.

Die Auswertung dieser Aufnahme könnte Inhalt eines eigenen Berichts sein und wird deshalb im Rahmen dieses Aufsatzes auf das Wesentliche reduziert. Es besteht darin, dass die Unterschiede zwischen den Verfahren kleiner ausfielen als erwartet. Die Suche nach den Ursachen führt zu folgenden Erkenntnissen:

1. Da alle Mikrofone vom gleichen Hersteller stammen, dessen Entwicklungsziel eine möglichst verfärbungsfreie Übertragung ist, verwundert es nicht, dass die Klangbilder ähnlich sind. Im Idealfall gäbe es trotz unterschiedlicher Richtcharakteristika überhaupt keinen klanglichen Unterschied. Um die

Schlussbetrachtung

Damit Surround auch im Audio-Bereich erfolgreich wird, muss noch einiges geleistet werden. Der Handel muss in die Lage kommen, kompetent zu beraten und überzeugende Produktionen vorzuführen. Eine weitere Unterstützung kommt hoffentlich vom Rundfunk. Auch seitens der Produzenten ist noch einiges Umdenken erforderlich. Der Nutzung der speziellen Möglichkeiten von Surround, wie vor allem sinnvoller Signale aus allen Richtungen muss ein höherer Stellenwert eingeräumt werden als der Kompatibilität mit schlechten Abhöranlagen.

Literaturverzeichnis:

1. Tom Holman: Paper read at the 4th International Multichannel Sound Forum, Paris, 2001
2. Gerhard Steinke: Wieviel Kanäle/Signale braucht der Mensch? – Plädoyer für die Standard-3/2-Stereo-Hierarchie und ihre Optimierung im Heim, 21. Tonmeistertagung Hannover, Tagungsband S. 283 ff, 2000
3. Roland Rebscher, Günther Theile: Enlarging the Listening Area by Increasing the Number of Loudspeakers, AES preprint No. 2932, 88th Convention Montreux, 1990,
4. Helmut Wittek, Günther Theile: Untersuchungen zur Richtungsabbildung mit L-C-R-Hauptmikrofonen, 21. Tonmeistertagung Hannover, Tagungsband S. 432 ff, 2000
5. Jörg Wuttke: Allgemeine Betrachtungen zur Audio Mehrkanal-Stereofonie (II), Mikrofonaufsätze, 3. Auflage, SCHOEPS-Publikation, 2003
6. David Griesinger: The Psychoacoustics of Listening Area, Depth, and Envelopment in Surround Recordings, and Their Relationship to Microphone Techniques, The Proceedings of the AES 19th International Conference, pp. 176, Elmau, June 2001
7. Bauer Studio: Rosanna & Zelia, beigelegte DVD in Tonmeister-Informationen, Heft 2/2002
8. beigelegte DVD in Tonmeister-Informationen, Heft 2/2002
9. Günther Theile: Mikrofon- und Mischkonzepte für 5.1 Mehrkanal-Musikaufnahmen, 21. Tonmeistertagung Hannover, Tagungsband S. 384ff, 2000
10. Andreas Gernemann: Stereo+C: An All-Purpose Arrangement of Microphones Using Three Frontal Channels, AES preprint No. 5367, 110th Convention Amsterdam, 2001
11. Michael Williams: Microphone Arrays for Natural Multiphony“, AES preprint No. 3157, 91st Convention, 1991
12. Michael Williams, Guillaume Le Dû: Konzeption von Mehrkanalmikrofonen hinsichtlich Lautsprecheranordnung und Signalübersprechen, 21. Tonmeistertagung Hannover, Tagungsband S. 347 ff, 2000, www.mmad.info
13. Hans Schlosser: Multichannel Universe, Die Referenzdemo- und Test-DVD, Edition 2000 des VDT, Audiobeispiele, track „Eishockey“
14. Kimio Hamasaki: 5.1 Surround Sound Broadcasting and Recording, 5th International Multichannel Sound Forum, Paris, Oct. 2002
15. Florian Camerer: ORF-Seminar 2001, <http://hauptmikrofon.de>
16. Jerry Bruck: Solving the „Surround Dilemma“, 19. Tonmeistertagung Karlsruhe, Tagungsband S.124 ff, 1996
17. Jörg Wuttke: „Mikrofonaufsätze“, 2. Auflage, Aufsatz 11, SCHOEPS-Publikation, <http://www.schoeps.de>
18. Christian Langen: Signalverarbeitung für das KFM 360, 21. Tonmeistertagung Hannover, Tagungsband S 329 ff, 2000
19. Eberhard Sengpiel: <http://www.ton.UdK-berlin.de>
20. Jörg Wuttke: „Mikrofonaufsätze“, 2. Auflage, SCHOEPS-Publikation, <http://www.schoeps.de>
21. Robin Miller, www.filmaker.com

17. Audio-Aufnahmen in Surround

Dieser Aufsatz wurde bisher nur in Englisch veröffentlicht. In ihm spiegelt sich die Sorge, dass Surround für reine Audioproduktionen erfolglos bleiben könnte.

Vorwort

Die Realisierung von Surround-Aufnahmen erfolgt je nach Zielsetzung mit sehr unterschiedlichen Methoden. Wenn die natürlichen Verhältnisse eines Schallfelds wiedergegeben werden sollen, stellt die aufwändige Wellenfeldsynthese das Optimum dar. Mit ihr soll im Wiedergaberaum genau das Schallfeld rekonstruiert werden, das im Original vorlag /1/. Im Gegensatz zu früheren, sehr viel bescheideneren Versuchen mit ähnlichem Ziel, wie insbesondere dem Soundfield-Prinzip (Ambisonics) /2/3/, ermöglicht die Wellenfeldsynthese eine gute Rekonstruktion, die sich praktisch über den ganzen Raum ausdehnt. Damit wird das Hörerlebnis unabhängig vom Hörort, es gibt kein „Sweet Spot-Problem“.

Dieser Aufsatz beschäftigt sich hingegen mit der derzeit zumindest im Video-Bereich erfolgreichen 5.1-Technik. Damit sie auch für reine Audioanwendungen interessant wird, gibt es noch einiges zu tun. Darum geht es im Folgenden, ohne den „.1“-Kanal (Tiefton-Effekt-Kanal, =LFE) zu betrachten.

Genau genommen ist „Surround“ eine verbesserte Form von Stereo. Wegen der einfacheren Wortwahl folgt dieser Aufsatz aber auch dem allgemeinen Sprachgebrauch und bezeichnet Zweikanal-Stereo einfach als „Stereo“ und 5.1- bzw. Mehrkanaltechniken als „Surround“.

Unterschiede zwischen Tonproduktionen für Video und Audio

Bei Filmproduktionen erlebt man oft, dass Surround eine Kombination von Mono-Sprachsignalen in der Mitte mit Zweikanal-Stereofo-

nie für die Musik und einigen Effekten in den Surround-Lautsprechern bedeutet. Für reine Audioproduktionen ist dies nur in Ausnahmefällen interessant. Allerdings sollte der Centerkanal auch bei Audio eine so wichtige Rolle spielen, dass er unentbehrlich ist. Wenn man ihn auch weglassen kann, ist es nicht überraschend, wenn die Surround-Wiedergabe keinen nennenswerten Vorteil gegenüber Stereo zeigt. Quadrofonie wurde auch kein Erfolg und dies nicht nur, weil die damaligen Übertragungsverfahren Mängel hatten.

Theorie und Praxis

Aus der Sicht des Endverbrauchers erscheint die Surround-Technik oft sehr anders als dies auf den Kongressen der Profis aussieht [4]. Allen Tonmeistern muss daher empfohlen werden, nicht nur die eigenen Produktionen im Regieraum zu hören, sondern auch das Angebot des Marktes im eigenen Heim zu analysieren. Man lernt dabei sehr viel und wird sich klar, wie groß auch der Einfluss der Wiedergabebedingungen beim Verbraucher ist. Dies gilt es zu berücksichtigen.

Die Heimwiedergabe

Die Hersteller der Geräte für Surround-Wiedergabe haben eine große Mitverantwortung für den Erfolg von Audio-Surround. Langfristig wird die Entwicklung dieser neuen Technik durch falsche Informationen und falsche Beratung gefährdet.

Zur richtigen Beratung gehört, dem Endverbraucher klar zu machen, dass er wenigstens vorne drei gleichwertige (besser: gleiche) gute Lautsprecher benutzt, und dass die Ausgaben dementsprechend höher sein müssen. Die bekannten Surround-Anlagen zum „Schnäppchenpreis“ beeindrucken gelegentlich im Zusammenhang mit Video, aber langfristig führen sie zur Abwertung von Mehrkanalan-

lagen im Vergleich zu den traditionellen Stereoanlagen. Ebenso ist es irreführend und schädlich, wenn neue Systeme, die mit zwei oder auch nur einem Lautsprecher auskommen wollen, mit 5.1 gleichgesetzt werden. Der Ruf von „Surround“ wird dadurch beschädigt. Selbst wenn es andere, ernst zu nehmende Techniken für „Raumklang“ gäbe, wäre das kein Grund Lügen in die Welt zu setzen, die beim unwissenden Endverbraucher zu Enttäuschungen führen.

Zu den Geräten sollen hier auch noch zwei Anmerkungen für die Hersteller gemacht werden, die sicher jeder Anwender bestätigen kann. Erstens ist es bei reinem Audiobetrieb keine Freude den Fernseher für „On Screen Display“ einschalten zu müssen, und zweitens fehlt fast immer ein Balanceregler für vorne/hinten. Theoretisch ist er überflüssig und bedeutet sogar die Gefahr einer falschen Einstellung (für die kalibrierten Pegel ist eine Raststellung ratsam). In der Praxis erkennt man aber schnell, dass sich bedauerlich viele DVD-Hersteller nicht ihrer Verantwortung bewusst sind, die hinteren Signale richtig einzupegeln. Mal hört man hinten fast nichts und bei der nächsten Gelegenheit viel zu viel.

Kategorien von Surround

| Das Ziel | Das Prinzip | mögliche Probleme |
|--|-----------------------------|--|
| Eindrucksvolle Effekte | „Tools“ | Informationsverlust, wenn nicht alle Kanäle genutzt werden |
| Sehr kompatibel- etwaiger Kanal-Ausfall stört kaum | Surround-Prozessor (Matrix) | Wenig interessant |
| Befriedigung hoher künstlerischer Ansprüche | Polymikrofonie | Geschmacksache |

| | | |
|-------------------|--|---|
| Natürlicher Klang | Wissenschaftlich basiert + Delays für etwaige Stützmikrofone | Oft mit der Gefahr einer kleinen Hörzone verbunden („sweet spot“) |
|-------------------|--|---|

Tab. 1

Für Surround-Aufnahmen gibt es spezielle Gesichtspunkte, die in Tab. 1 aufgelistet sind.

Die beiden erst genannten Zielsetzungen stellen Gegensätze dar. Eindrucksvolle Effekte lassen sich gut verkaufen. Filme machen davon oft heftigen Gebrauch, aber auch in der Musik arbeitet man gelegentlich damit, sogar schon zu Beginn der Stereophonie, man denke nur an Beatles-Produktionen bei denen die Gitarre im einen Lautsprecher und der Gesang im anderen erklingen (die Gründe dafür waren allerdings eher technischer Natur). So etwas kann Spaß machen und verdeutlicht auch dem Laien, dass er alle Kanäle nutzen muss, wenn ihm nicht wichtige Informationen fehlen sollen.

Es gibt aber Produzenten, die besonders bei 5.1 Sorge haben, dass wenigstens einer der fünf Lautsprecher bei der Wiedergabe fehlen könnte, z.B. weil der Anwender nicht genügend Platz für alle Lautsprecher hat. Um auch diesen Anwendungen zu genügen, werden die Signale meist unterschiedlich bearbeitet (Hall, Verzögerung, EQ etc.) und in alle Kanäle eingespeist. Das Resultat sind zwar 5 Kanäle, aber das Ergebnis kann keine Begeisterung auslösen. Ähnliche Surround-Eindrücke erhält man auch mit Surround-Prozessoren, wie sie in Receivern eingebaut werden um aus normalen Stereo-Signalen 5.1 zu machen. Überzeugende Surround-Aufnahmen müssen besser sein, sonst lohnt sich der Aufwand für neue Aufnahmen und die mehrkanalige Übertragung nicht.

Die beiden letzten Zielsetzungen in Abb.1 einer künstlerisch hochwertigen Aufnahme und dem oft wissenschaftlich formulierten Anspruch nach natürlichem Klang sind nicht zwangsläufig gegensätzlich. Wer würde denn einen unnatürlichen Klang wünschen und wer will sich mit musikalisch unausgewogenen Produktionen begnügen? Die Kunst des Einstellens nach dem Gehör und die Kenntnis

technischer Grundlagen sollten kombiniert werden. Surround ist viel komplexer als Zweikanal-Stereo und erfordert die Nutzung aller Möglichkeiten um insbesondere bei reiner Audiowiedergabe zu überzeugen.

Die Aufnahme

Der richtigen Aufnahme gilt selbstverständlich die größte Aufmerksamkeit aller Tonschaffenden. Dabei spielt das angestrebte Ziel eine entscheidende Rolle. Filmtone /5/ und auch Video /6/ werden ganz anders realisiert als die Aufnahme von Musik, und hier muss wiederum zwischen synthetischen und real existierenden Ereignissen unterschieden werden. Vor allem Konzerte aller Art erwecken den Wunsch, man sollte das natürliche Ereignis einer Veranstaltung ins Wohnzimmer übertragen.

Tonmeister weisen darauf hin, dass das natürliche Hörerlebnis im Konzertsaal oft nicht gut genug sei um in den eigenen vier Wänden, wo uns alle die Rahmenereignisse eines Live-Geschehens fehlen, noch zu befriedigen. Man möchte es also besser machen, was lange Diskussionen zur Ästhetik aufwirft und in die Verantwortlichkeit des kreativ schaffenden Tonmeisters fällt. Die dazu gehörigen Aufnahmemethoden sind komplex und oft künstlerisch begründet. Dieser Aufsatz soll nur die technischen Aspekte beleuchten.

Natürlich gelten für eine gute Aufnahme auch bei einer nüchternen Betrachtungsweise einige Grundregeln. So steht und fällt der Erfolg mit der Qualität von Künstlern und Inhalt. Des Weiteren ist viel gewonnen, wenn der Aufnahmeort gut ist, und schließlich sollte der Aufnehmende sein Metier verstehen. Erst wenn diese Bedingungen erfüllt sind, spielt auch die Qualität der Aufnahme-Geräte und insbesondere der Mikrofone eine wichtige Rolle.

Eine besondere Möglichkeit von Surround-Wiedergaben besteht in der realitätsnahen Verteilung von direktem Schall vorne und Raumanteilen hinten. Da Lokalisation nur durch den direkten Schall erfolgt, kann die Erhöhung seines Anteils zu einer deutlicheren Richtungsanordnung führen.

Für die Mikrofonanstellung bedeutet dies, dass man die vorderen Mikrofone eher etwas weiter vorne aufstellt, als man es bei einer Stereoaufnahme machen würde.

Hauptmikrofon oder Polymikrofonie?

Die Diskussion der Bedeutung von „Hauptmikrofonen“ ist so alt wie die Stereophonie. Die Vor- und Nachteile sind in Tab.2 tabellarisch zusammengefasst.

Wie der Name sagt, sollte das Hauptmikrofon das entscheidende Mikrofon sein. Von der Stereophonie her wissen wir, dass es gute Aufnahmen gibt, die auch tatsächlich mit nur einem Hauptmikrofon gemacht wurden. Sobald aber die musikalische Balance Probleme macht und Stützmikrofone hinzugefügt werden, beginnen die Probleme. Es kommt dabei recht leicht vor, dass die Stützen mehr Pegel liefern als das Hauptmikrofon und außerdem liefern sie das Signal der „ersten Wellenfront“ und bestimmen damit die Lokalisation. Um den Sinn des Hauptmikrofons zu erhalten, wird eine Verzögerung der Stützmikrofonsignale empfohlen /7/8/.

| | Vorteil | Nachteil |
|---------------|---|---|
| Hauptmikrofon | Einfach, überträgt das natürliche Schallfeld inklusive Erstreflexionen und Nachhall | Für jedes Hauptmikrofon muss der geeignete Aufstellungsort ermittelt werden oder umgekehrt das Hauptmikrofon an den Aufstellungsort angepasst werden. Wenig Einfluss auf die musikalische Balance möglich |

| | | |
|----------------|---|---|
| Polymikrofonie | Die musikalische Balance kann nach künstlerischen Gesichtspunkten geregelt werden | Aufwendig, über die Richtungsabbildung entscheidet allein die Einstellung des meist monofonen Panorama-Potentiometers |
|----------------|---|---|

Die bekannten Hauptmikrofone der Stereophonie sind XY, M/S, ORTF, AB, Kugelfläche usw. Für Surround sucht man u.a. auch aus praktischen Gründen nach vergleichbaren Hauptmikrofonen bzw. Hauptmikrofonsystemen. Sie werden am Ende dieses Aufsatzes kurz beschrieben.

(mehr unter:http://www.schoeps.de/de/downloads/catalogues_and_brochures)

Die Lokalisation und der Aufnahmewinkel

Alle Qualitätsparameter, die eine gute Zweikanal-Stereoaufnahme auszeichnen, müssen für Surround auch erfüllt werden, aber vor allem verbesserte Lokalisation und ein erhöhtes Räumlichkeitsgefühl rechtfertigen Mehrkanalaufzeichnungen. Die eindeutige Lokalisation einzelner Schallquellen aus bestimmten Richtungen sollte in einer großen Hörzone möglich sein [9] und das Räumlichkeitsgefühl soll realistisch sein, so dass man sich vom Schall umhüllt fühlt. Um dies zu beurteilen sollte man nicht nur an einem Ort hören, sondern sich im Raum bewegen. Eine gute Surround-Aufnahme darf nicht nur an einem Ort beeindruckend [10/11].

Im einfachsten Fall basiert die Lokalisation auf einem Hauptmikrofon bzw. Hauptmikrofonsystem, bei dem fünf einzelne Mikrofone verwandt werden. Um damit erfolgreich zu sein ist die Kenntnis der elementaren Gesetzmäßigkeiten der Stereophonie wichtig. Zu den wichtigsten Begriffen zählt der stereofone Aufnahmewinkel, der deshalb hier kurz erläutert wird [12]:

Die Lokalisation basiert auf Unterschieden zwischen den Signalen der Kanäle. XY und M/S nutzen nur Pegelunterschiede, AB im We-

sentlichen nur Laufzeitunterschiede und viele andere Verfahren wie z.B. ORTF eine Kombination von beiden Parametern. Die größten Unterschiede ergeben sich für die links und rechts außen liegenden Schallquellen eines Orchesters. Um die Stereobasis zwischen den Lautsprechern auszufüllen, muss Schall aus diesen Richtungen gerade genügend große Unterschiede ergeben, damit er aus Richtung des linken bzw. rechten Lautsprechers lokalisiert wird. Aus dieser Überlegung folgen Regeln für die Geometrie von stereofonen Mikrofonanordnungen [12/13/14/15]. Der stereofone Aufnahmewinkel eines Stereomikrofons entspricht dem Winkel zwischen den Schalleinfallrichtungen für die die maximale Links- bzw. Rechts-Lokalisation bei Lautsprecherwiedergabe eintritt (+/-30°). Anders ausgedrückt ist der stereofone Aufnahmewinkel der Winkelbereich des Aufnahmefeldes, der in der Basis zwischen linkem und rechtem Lautsprecher abgebildet wird [13].

Überlegungen zum Center-Signal

Nur wenn alle Schallquellen innerhalb des Aufnahmewinkels der Mikrofonanordnung liegen, darf man bei der Wiedergabe eine mehr oder minder gleichmäßige Verteilung aller Schallquellen entsprechend der realen Positionen der Instrumente im Orchester zwischen den Lautsprechern erwarten. In diesem Fall macht ein zusätzliches Center-Mikrofon wenig Sinn, es wird sogar stören. Als Vergleich stelle man sich vor, dass ein dreibeiniger Tisch durch ein viertes Bein stabiler gemacht werden soll. Dann müssen wenigstens zwei Beine anders angeordnet werden, wenn ein guter „Vierbeiner“ entstehen soll.

Ebenso sollte ein Stereomikrofon nicht unverändert Ausgangsobjekt für die Übertragung der vorderen drei Kanäle sein. Obwohl das nicht unmöglich ist [16], müssen wir besser das äußerste an Qualität bzw. Eindruck aus den zusätzlichen Kanälen herausholen um Audio-Surround zum Erfolg werden zu lassen.

Eine Möglichkeit den Center-Kanal für eine deutliche Verbesserung zu nutzen, ergibt sich, wenn der vordere Wiedergabebereich in zwei Hälften aufgeteilt wird: einen linken

Stereo-Sektor zwischen dem linken Lautsprecher und dem Center und einem rechten zwischen dem rechten Lautsprecher und dem Center. Mit einer solchen Technik wird es möglich die Hörzone deutlich zu erweitern. Wenn z.B. die direkten Signalanteile der Schallquellen auf der linken Seite nur im linken Wiedergabesektor erscheinen und im rechten Sektor nur diffus übertragen werden, lokalisiert man diese Quellen auch dann noch links, wenn man sich auf der rechten Seite im Wiedergaberaum aufhält. Es liegt kein „Cross-Talk“ vor.

Koinzidente Techniken im Vergleich mit reiner Laufzeitstereofonie

Der richtige Aufnahmewinkel eines Stereomikrofons kann mit sehr verschiedenen Anordnungen der beiden Kapseln realisiert werden. Die Richtwirkung und die Basis (Kapselabstand zueinander) spielen dabei die entscheidenden Rollen. Eine Analyse der Extremfälle zeigt die Wahl, die man zwischen den spezifischen Merkmalen hat, wenn Pegelunterschiede oder Laufzeitunterschiede dominieren. Oft bewähren sich Kombinationen. Diese Verhältnisse lassen sich auf Surround übertragen.

Die Extremfälle lassen sich vereinfacht durch zwei typische Systeme beschreiben: Koinzidenz von zwei eng benachbarten Nieren oder im Abstand zueinander aufgestellte Kugeln (AB).

A) Koinzidenz von zwei Nieren

Nieren können stets als Kombination einer Acht und einer Kugel gleicher Empfindlichkeit verstanden werden, unabhängig davon wie die Niere tatsächlich realisiert ist. Aus diesem Grund übertragen sie 50% des Schallfelds wie zwei Kugeln am gleichen Ort, also mono. Hiermit lässt sich auch die ausgeprägte und stabile Mittenabbildung erklären, die koinzidente Stereo-Mikrofone bei alleinigem Einsatz produzieren. Anders ausgedrückt spricht man auch von der hohen Korrelation zwischen den Signalen, die rein koinzidente Aufnahmen schwach in der Räumlichkeit erscheinen

lassen. Mit Supernieren ist dies etwas besser und mit Achten verschwindet der Effekt, besonders wenn sie in einem Winkel von 90° zueinander stehen (Blumlein).

B) Zwei Kugeln in AB-Technik

Bei schrägem Schalleinfall entspricht der Wegunterschied des Schalls zu den beiden Mikrofonen für eine bestimmte Frequenz, deren halber Wellenlänge. In diesem Fall liefern die Kugeln gegenphasige Signale. Für die doppelte Frequenz tritt wieder Gleichphasigkeit auf, für die dreifache wieder Gegenphasigkeit usw.. Letztendlich wird die Hälfte aller höheren Frequenzen gegenphasig übertragen, was eine schlechte Lokalisation und das Empfinden einer künstlichen Räumlichkeit bewirkt („phasiness“, Stanley Lipshitz) /17/. Man erkennt, dass beide Systeme Vor- und Nachteile haben. Scharfe Lokalisation und Räumlichkeitsgefühl sind gegenläufig, der Tonmeister muss sich entscheiden.

Die Surround-Kanäle

Wie schon erwähnt, nutzt es Surround-Darbietungen, wenn die vorderen Kanäle viel direkten Schall übertragen. Besonders gut geht dies in großen Räumen mit entsprechend großem Hallradius. Die hinteren Kanäle sollen dagegen meist keinen Direktschall übertragen, bei Musik wirkt das unnatürlich, es sei denn spezielle Effekte sind erwünscht, wie im Fall von realen Schallquellen hinten.

Übliche Methoden zur Vermeidung einer Überpräsenz der hinteren Kanäle sind die Anwendung von Mikrofonen mit Acht- oder Nierencharakteristik, deren Empfindlichkeitsminima nach vorne ausgerichtet werden. Oft werden diese Mikrofone zusätzlich zum Hauptmikrofon eingesetzt oder von den vorderen Mikrofonen getrennt in einem größeren Abstand aufgestellt. Dort entspricht das Schallfeld mehr dem Eindruck, den man von hinten erwartet und die Signale sind von den vorderen besser dekorreliert. Außerdem nützt eine Absenkung der hohen Frequenzen, wie man sie z.B. auch durch an die Decke gerichtete Freifeldkugeln erzielen kann. Ein Delay für die hinteren Kanäle kann sich ebenfalls

als vorteilhaft erweisen, wenn eine genügend entfernte Aufstellung von den vorderen Mikrofonen nicht möglich ist.

Mit der Unterscheidung zwischen vorderen und hinteren Signalen kommt es aber zu der Gefahr, dass der Höreindruck entsprechend in einen vorderen und einen hinteren Bereich zerfällt. Dies ist unerwünscht. Man möchte sich vom Schall „umhüllt“ fühlen. Dafür haben sich Systeme mit vier separat hinten aufgestellten Mikrofonen bewährt, die in den Ecken eines Quadrates stehen. Die beiden hinteren Mikrofone dieser Anordnung liefern dabei unmittelbar die rückwärtigen Surround-Signale und die weiter vorne angeordneten Mikrofone werden vorne links und rechts hinzugemischt bis sich die angestrebte Umhüllung ergibt. Das IRT-Kreuz wurde z.B. so eingesetzt. Besonders bewährt hat sich allerdings das Hamasaki-Square. Dies sind vier Mikrofone mit Acht-Charakteristik, die in den Ecken eines Quadrates von 2 bis 3 m Seitenlänge stehen und seitlich nach links und rechts ausgerichtet sind. Dadurch fällt der direkte Schall des Orchesters in Richtung der Minima der Mikrofone ein und die seitlichen Reflexionen des Raumes werden bevorzugt übertragen. Bei Publikum werden auch dessen Geräusche nicht direkt übertragen, wenn die Mikrofone über den Köpfen angeordnet sind.

Kompatibilität

In diesem Aufsatz werden abschließend einige Surround-Hauptmikrofone aufgelistet. Wie schon bei der zweikanaligen Stereophonie kann man grob zwischen koinzidenten Verfahren und welchen mit Laufzeiten unterscheiden. Die damit verbundenen Merkmale wurden für zwei Kanäle bereits im Abschnitt: „Koinzidente Techniken im Vergleich mit reiner Laufzeitstereophonie“ erklärt. Die Vor- und Nachteile lassen sich auf mehrkanalige Verfahren übertragen.

Die hohe Korrelation zwischen den Signalen koinzidenter Verfahren wird theoretisch gerne als Vorteil gesehen, denn die Mono- und Stereo-Kompatibilität ist problemlos. Der Stereo-Kompatibilität kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, weil zweikanalige Stereophonie

auch in der Zukunft immer als Qualitätsformat benötigt wird. Ein weiterer Vorteil der koinzidenten Verfahren ist ihre kleine Bauform.

Dem steht gegenüber, dass rein koinzident und ohne Zusatzmikrofone gemachte Aufnahmen wenig Räumlichkeitseindruck vermitteln. Bei Aufnahmen, die mit verschiedenen Verfahren gemacht wurden, führt ein Vergleich deshalb praktisch immer zur schlechteren Bewertungen der koinzidenten Aufnahmen. Eindrucksvoll großräumig klingende Aufnahmen basieren meist auf Mikrofonanordnungen mit unhandlichen Abmessungen. Wegen deren Phasenunterschieden ist der Downmix aber leider oft problematisch.

Surround-Hauptmikrofone

Bereits im 15. Aufsatz der „Mikrofonaufsätze“ wurden Hauptmikrofone für Surround gezeigt. Um dies hier nicht zu wiederholen, folgt hier nur eine Auflistung mit Kurzkommentaren. Sehr zu empfehlen sind hier auch die Downloads unter http://www.schoeps.de/de/downloads/catalogues_and_brochures

Die Titel: OCT Aufnahmetechniken und Surround brochure geben einen schnellen Überblick. Besonders umfassend ist der Bericht von Helmut Wittek:

„Considerations on Stereo and Surround recording, reproduction and perception“ unter <http://www.schoeps.de/de/downloads/papers>

Liste:

Ambisonic

Das „Soundfieldmikrofon“ – Praktisch, vielseitig, koinzident

Decca-Tree

Ursprünglich nicht für Surround gedacht, kann der Decca-Tree auch für Surround eindrucksvoll die vorderen drei Kanäle liefern

Double MS

Klein und per PlugIn von einer Workstation steuerbar oder auch einfach mit einer Matrixbox umschaltbar auf 4 oder 5 Ausgänge, koinzident

Holophone

Der Vollständigkeit wegen hier aufgeführt. Liefert zu geringe Unterschiede zwischen den Kanälen.

INA3 und INA5

Großes System mit 3/5 Kanälen, das mit dem Image Assistant www.hauptmikrofon.de/ oder mit MMAD www.mmad.info erklärt werden kann.

MMAD

Multi-Microphone-Array-Design (<http://www.mmad.info>) Die Theorie von Michael Williams leitet dazu an Mikrofone je nach Richtcharakteristik und Aufnahmesituation so anzuordnen, dass sich am Sweetspot eine gute Lokalisation ergibt. Viele Anordnungen sind ausladend wie bei INA3(5)

IRT-Kreuz

Dies ist eigentlich nur ein vierkanaliges „Ambience-Mikrofon“, aber es ist natürlich für Surround geeignet, wenn z.B. bei einer Sportübertragung das Mikrofon des Reporters das Center-Signal liefert.

Surround-Kugelflächenmikrofon

Anders als beim „Holophone“ produzieren zwei angeflanschte Mikrofone mit Acht-Charakteristik durch Matrizierung einstellbar ausgeprägte Richtwirkungen

OCT

Das „Optimized Cardioid Triangle“ nach Günther Theile liefert für den vorderen Aufnahmebereich eine von anderen Systemen nicht erreichte Trennung zwischen dem linken und rechten Aufnahmesektor von Surround. Kein „Crosstalk“

Trinnov

Große Unterschiede zwischen den Signalen einer Surround-Übertragung sind eindrucksvoll. Mit der Trinnov SRP Surround Recording Platform lassen sich Richtcharakteristika höherer Ordnung produzieren.

Literaturverzeichnis:

1. D. de Vries, M. Boone, „Auralization of Sound Fields by Wave Field Synthesis“, preprint 4927, 106th AES Convention, 1999
2. Michael Gerzon, „Ambisonics in Multi-channel Broadcasting and Video“, Journal of Audio Engineering Society, Vol. 33, No.11
3. P. B. Fellgett, Ambisonics – Part One: General System Description, Studio Sound, August 1975
4. The Proceedings of the AES 19th International Conference, (a collection of highly interesting papers on surround), June 21-24, 2001
5. Tomlinson Holman, 5.1 Surround Sound - Up and Running, ISBN: 0-240-80383-3, Focal Press 2000
6. Florian Camerer, ORF, Practical Surround-Sound-Production, The Proceedings of the AES 19th International Conference, Elmau, June 21-24, 2001
7. Günther Theile: Natural 5.1 Music Recording Based On Psychoacoustic Principles, The Proceedings of the AES 19th International Conference, Elmau, June 21-24, 2001
8. Martin Wöhr, Günther Theile, H.-J. Goeres, A. Persterer: Room-related Balancing Technique: A Method for Optimizing Recording Quality, J. Audio Eng. Soc., vol. 39, no. 9, pp. 623–631, 1991
9. R. Rebscher, G. Theile: Enlarging the Listening Area by Increasing the Number of Loudspeakers, 88th AES Convention, Montreux, preprint 2932, 1990
10. David Griesinger, The Psychoacoustics of Listening Area, Depth, and Envelopment in Surround Recordings, and their relationship to Microphone Technique, The Proceedings of the AES 19th International Conference, June 21-24, 2001
11. David Griesinger, Surround: The Current Technological Situation, 3rd International Multichannel Sound Forum, Paris, 9-10. Nov. 2000

12. Michael Williams, AES Publication European Representative: Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording, AES preprint 2466 (H-6), 1987
13. Helmut Wittek, IRT Munich, Studies on Main and Room Microphone Optimization, The Proceedings of the AES 19th International Conference, June 21-24, 2001
14. Helmut Wittek, www.hauptmikrofon.de, Image Assistant
15. E. Sengpiel, www.sengpielaudio.com
16. Andreas Gernemann, Stereo+C: An All-purpose Arrangement of Microphones Using Three Frontal Channels, 110th AES Convention, Amsterdam 2001, preprint 5367
17. S.P. Lipshitz, University of Waterloo, Ontario, Canada, Stereo Techniques: Are the Purists Wrong?, Audio Eng. Soc., Vol. 34, no. 9, 1986

18. Mikrofone in der Digitaltechnik

Vortrag, gehalten auf der 21. Tonmeister-tagung 2000

Als dieser Aufsatz erschien, gab es nur ein einfaches „digitales Mikrofon“ am Weltmarkt. Inzwischen gibt es mehr Angebote, aber sie ändern nichts an den folgenden Aussagen.

Einleitung

Der Titel sollte nicht missverstanden werden, es geht im Folgenden nicht etwa um „das digitale Mikrofon“, auf das die ganze Audiowelt wartet. Was ist überhaupt ein digitales Mikrofon und warum fragen so viele danach?

Die letzte Frage ist leicht zu beantworten: es entspricht dem Zeitgeist, man ist modern. Zum Glück gibt es aber auch technisch begründete Antworten, die allerdings unterschiedliche Ansätze haben. Es gibt keine einheitliche Erwartungshaltung und die lapidare Feststellung das digitale Mikrofon sei „besser“ ist ohne nähere Spezifizierung etwas dünn. Wodurch wäre denn ein „besseres Mikrofon“ gekennzeichnet?

Die Frage danach, wann ein Mikrofon digital genannt werden darf, unterliegt einem großen Ermessensspielraum. Nach einem amerikanischen Patent /1/ ist ein digitales Mikrofon einfach die Kombination von einem herkömmlichen, analogen akustischen Wandler (transducer) und einem A/D-Wandler in einem Gehäuse (Abb. 1). Weitere Funktionsbausteine wie insbesondere ein DSP und ein „Transmitter Interface“ können natürlich auch enthalten sein.

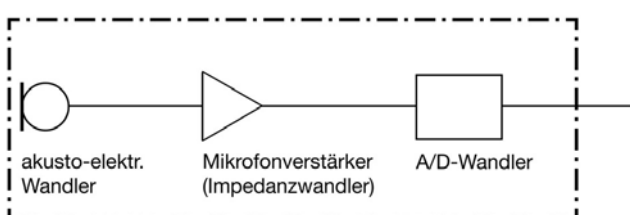


Abb. 1. Digitales Mikrofon?

Natürlich möchte man die A/D-Wandlung dichter zum Schallfeld hin verlagern. Zur Zeit ist aber kein Mikrofon absehbar, das auf einen analogen akustischen Wandler verzichtet. Wir sollten uns auch vergegenwärtigen, dass sogar das menschliche Ohr mit einer Membran arbeitet, obwohl unsere innere Datenverarbeitung mit ihren Nervenleitprozessen digital abläuft. Ganz sicher aber wird der natürliche Schall selbst immer analog bleiben.

Bei der Suche nach den möglichen Vorteilen digitaler Mikrofone erscheint es sinnvoll die Qualitätsparameter von Mikrofonen in bewährter Weise zu analysieren. Dabei sollte klar sein, dass man von einem digitalen Mikrofon klanglich nichts Besseres erwarten darf als dies der analoge akustische Wandler vorgibt. Ein etwaiger Vorteil digitaler Mikrofone, wie sie bisher abzusehen sind, entscheidet sich also an der Frage, ob die Entwickler analoger Leitungstreiber es verstanden haben, die volle Signalqualität weiter zu leiten oder nicht. Diesen Leitungstreibern entspricht bei Kondensatormikrofonen der Vorverstärker, der im Wesentlichen nur ein Impedanzwandler ist.

Die aus technischer Sicht besten Mikrofonvorverstärker sind zweifellos transistorisiert, sie erreichen sogar beim Anschluss langer Kabel Übertragungsmerkmale, die kaum einen Wunsch offen lassen. Daher muss es zu denken geben, wenn Anwender technisch weniger perfekte Übertragungselemente wie z.B. Röhrenverstärker /2/ positiv bewerten. Dass hierbei auch Erwartungshaltung und Nostalgie eine Rolle spielen, lässt sich beweisen/3/, es steht aber auch außer Frage, dass das Ziel der digitalen Datenübertragung eine noch perfektere Signalverarbeitung beabsichtigt, als sie bisher schon mit guten Halbleiterschaltungen erreicht wird.

Es folgt nun die Analyse der wichtigsten Qualitätsparameter von Mikrofonen im Hinblick auf die Digitaltechnik.

Der Frequenzgang

Technisch interessierte Anwender schauen oft auf die Frequenzgänge, die sich in den Datenblättern von Mikrofonen befinden. Diese werden in der Regel nur bis 20 kHz angegeben u.a., weil viele Audio-Messgeräte gar nicht viel höher messen können. Dafür gibt es gute Gründe:

Erstens ging man bisher davon aus, dass der Mensch maximal 20 kHz hört /4/ /5/. Auch neuere Untersuchungen kommen im Kern zum gleichen Ergebnis /6/.

Zweitens stellt die Übertragung unnötig hoher Frequenzen sogar eine Gefahr für die Qualität dar. Sie besteht in der Bildung hörbarer Differenztöne aus dem erweiterten Frequenzbereich. Diese können leicht entstehen, weil die meisten Übertragungselemente bekanntlich an ihren Frequenzgrenzen weniger linear sind /7/. Es steht daher außer Frage, dass Versuche, bei denen höhere Frequenzen als 20 kHz übertragen werden, zu hörbaren Ergebnissen führen können. Es bleibt aber zu bezweifeln, ob man diese künstlich entstehenden Töne hören will. Nur wenn alle

Elemente der Audiokette einschließlich der Lautsprecher die erhöhte Bandbreite problemlos übertragen, ergibt sich kein Nachteil.

Andererseits ist es durch die Digitaltechnik einfacher und preiswerter geworden Audiogeräte mit einer oberen Frequenzgrenze von mehr als 20 kHz zu bauen. Bei einer Samplingrate von 96 kHz ist dies sogar naheliegend.

Wie verhalten sich also moderne analoge Mikrofone oberhalb 20 kHz?

Zunächst muss festgestellt werden, dass es viele beliebte Mikrofone gibt, deren Übertragungsbereich kaum bis 20 kHz reicht. Je nach Bewertungskriterium kann man z.B. von vielen Großmembran-Mikrofonen sagen, dass ihre obere Frequenzgrenze eher bei 16 kHz als bei 20 kHz zu sehen ist.

Bei Kleinmembran-Systemen lohnt sich ein Blick in die Datenblätter auch dann, wenn die Darstellung nur bis 20 kHz geht. Bei einem Frequenzgang wie in Abb.2 erkennt man, dass er früh abfällt. Was dem Hörer auffällt, hat mehr mit dem Verhalten bei 10 kHz zu tun als bei 20 kHz. Andere Verläufe sind vielversprechender (Abb.3) /8/. Allerdings muss auch der Mikrofonverstärker genügend breitbandig sein. Häufig sind Tiefpässe enthalten, durch die das Mikrofon u.a. unempfindlicher gegenüber von außen eindringenden HF-Störungen wird.

Die Kapsel, deren Frequenzgang in Abb.3 dargestellt ist, wird mit einem eisenlosen Mikrofonverstärker betrieben, dessen Ausgangsfilterung erst über 50 kHz Wirkung zeigt. Das

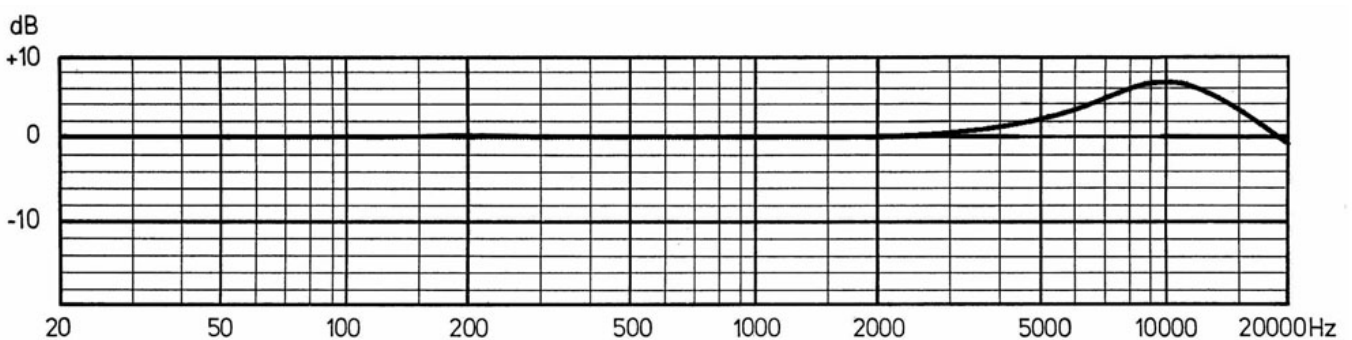


Abb. 2: Oft vorzufindender Frequenzgang-Verlauf

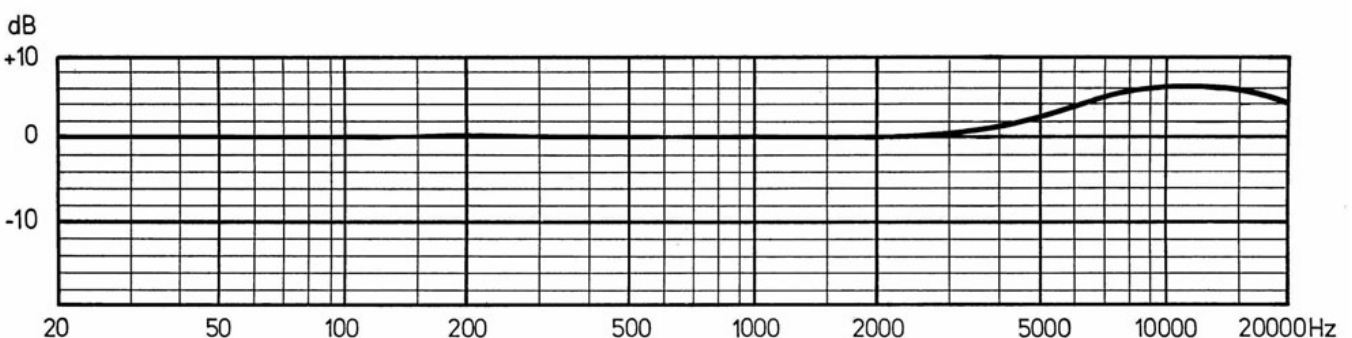


Abb. 3: Frequenzgang der Kapsel MK 2S

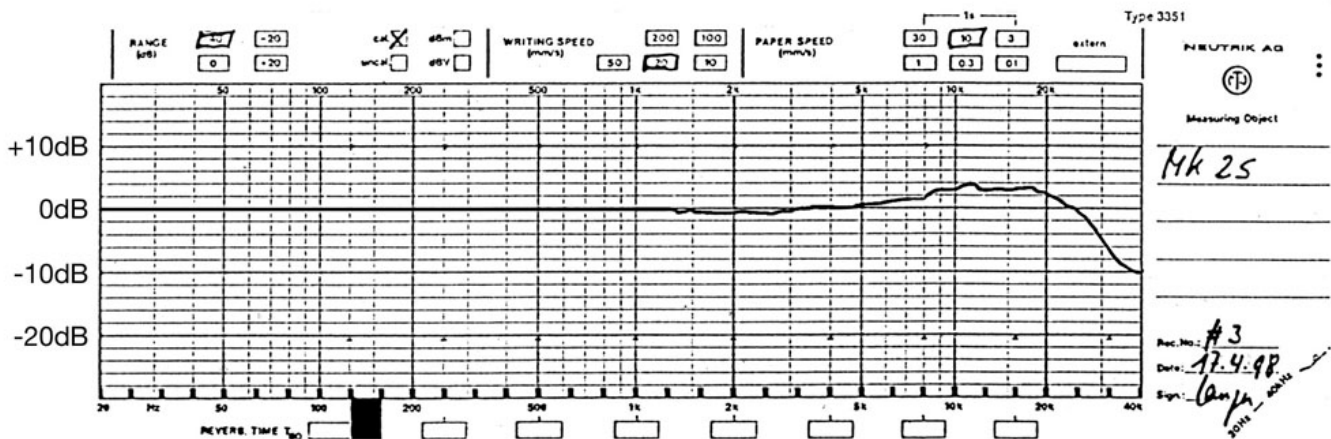


Abb. 4: Frequenzgang bis 40kHz

Messergebnis des kompletten Mikrofons ist in Abb.4 zu sehen.

Da sowohl Kapsel als auch Mikrofonverstärker hohe Linearitätskriterien erfüllen, ist eine Entzerrung bis 50 kHz durchaus möglich, wobei aber nochmals darauf hingewiesen werden muss, dass bei der weiteren Signalverarbeitung auf die Linearität aller Komponenten, insbesondere der Lautsprecher zu achten ist um negative Effekte zu vermeiden.

Ein anderer Aspekt hinsichtlich des Frequenzgangs, der im Hinblick auf die Digitaltechnik Bedeutung hat, ist natürlich die Sicherheit, mit der hohe Frequenzen ungeschwächt übertragen werden können. Hierzu folgen im späteren Kapitel „Praktische Aspekte“ Kommentare.

Das Polardiagramm

Die Betrachtung des Frequenzgangs allein ist aber kein ausreichendes Kriterium für die Qualität eines Mikrofons. Es kann daher verwundern, wie oft allein vom Frequenzgang gesprochen wird. Damit der Frequenzgang unabhängig vom Schalleinfallswinkel ist, muss das Polardiagramm bei allen Frequenzen des Übertragungsbereiches gleich sein.

Wie man den Datenblättern von Mikrofonen entnehmen kann (www.microphone-data.com), ist dies aber selten der Fall. Die Frequenzabhängigkeit des Polardiagramms ist dabei die entscheidende Ursache für die klanglichen Unterschiede von Qualitätsmikrofonen gleicher Nenn-Richtcharakteristik. /9/10/11/.

An einem Beispiel soll hier kurz rekapituliert werden, wie sehr sich der Frequenzgang mit dem Schalleinfallswinkel ändern kann. Abb.5 zeigt die Frequenzabhängigkeit eines ausgewählten Mikrofons mit Nierencharakteristik. Der Übersichtlichkeit wegen werden hier nur die Diagramme für mittlere und hohe Frequenzen gezeigt.

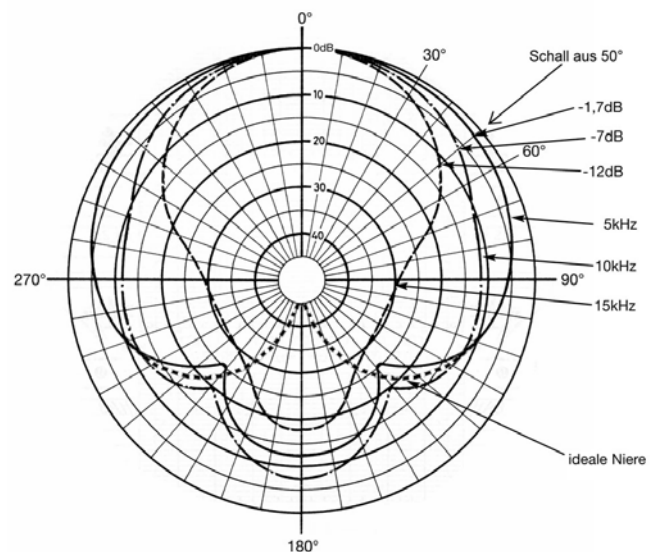


Abb. 5: Frequenzabhängigkeit des Polardiagramms einer „Niere“

Bei 5 kHz und seitlichem Schalleinfall aus 50° dämpft das Mikrofon den Pegel noch entsprechend der Charakteristik einer idealen Niere um 1,7 dB. Bei 10 kHz beträgt die Pegelabsenkung in diesem Beispiel aber bereits 7 dB und bei 15 kHz 12 dB. Dies sind rund 5 dB bzw. 10 dB mehr als bei der idealen Niere und der Frequenzgang fällt für Schall aus dieser Richtung entsprechend ab. Wenn man bedenkt, welche kleinen Frequenzgangverwerfungen oft heftig diskutiert werden, sollte hier die große Bedeutung des Polardiagramms klar werden. Es ist also nicht ausreichend, wenn oft nur

vom Frequenzgang allein gesprochen wird, ohne zu beachten, dass er für schrägwinkligen Schalleinfall ganz anders aussehen kann. Dies äußert sich auch in der Übertragung des diffusen Schallfelds, bei dem alle Schalleinfallrichtungen gleichermaßen vorkommen.

Untere Dynamikgrenze

Der Schlüssel zum Erfolg der Digitaltechnik war besonders bei Aufnahmegeräten die Verringerung von Störpegeln. Beim digitalen Mikrofon selbst ist aber diesbezüglich wenigstens vorerst keine Hoffnung auf Verbesserungen angebracht, weil der Grundgeräuschpegel aus der analogen Kapsel und dem nachgeschalteten Impedanzwandler stammt.

Im praktischen Betrieb können die Verhältnisse aber anders aussehen, wie im Kapitel „Praktische Aspekte“ beschrieben wird.

Obere Dynamikgrenze

Die obere Dynamikgrenze von Mikrofonen wird durch den Grenzschalldruck beschrieben. Er ist viel höher als der Bezugspegel für die Bestimmung des Störspannungs-Abstandes (94 dB-SPL), womit zu erklären ist, warum der Störspannungs-Abstand von Mikrofonen oft klein erscheint, obwohl Mikrofone unter allen analogen Geräten zu den Geräten mit der höchsten Dynamik zählen, so hoch, dass man deshalb keine Digitaltechnik benötigen würde.

Praktische Aspekte

Bei der Betrachtung der praktischen Aspekte stehen sich verschiedene Vorteile und Nachteile gegenüber. Artefakte der Analogtechnik treten in der Digitaltechnik naturgemäß nicht auf.

Dynamik

Nachdem die Dynamikgrenzen in den vorangegangenen Kapiteln bereits diskutiert wurden, könnte man davon ausgehen, dass die Digitaltechnik für Mikrofone keine Vorteile bringt. Gute analoge Mikrofone erreichen Dynamikwerte von bis zu 130 dB. Dies leisten sogar 24 bit-Wandler in der Praxis nicht, wenn nicht Zusatzaufwand wie gain ranging /12/ eingesetzt wird.

Andererseits gibt es in der Praxis ein paar Effekte der Analogtechnik, die die guten Dynamikwerte von Mikrofonen beachtlich schmälern können. Erstens fügen sogar gute Vorverstärker im Mischpult nicht selten einige dB Rauschen zum Mikrofonsignal hinzu, wenn sie nicht auf möglichst hohe Vorverstärkung eingestellt sind. Zweitens können Störungen, die auf das Kabel gelangen, zu einer weiteren effektiven Störspannungs-Verschlechterung führen. Dies hängt u.a. mit der Impedanz des analogen Mikrofons zusammen. Je kleiner sie ist desto besser.

Verwendung langer Kabel.

Eine niedrige Quell-Impedanz ist auch für gute Frequenzgänge analoger Signale über große Kabellängen wichtig. Besonders niederohmige Mikrofone können durchaus 400m lange Kabel ohne nennenswerten Höhenverlust treiben /13/. Dennoch kann man annehmen, dass die Digitaltechnik bezüglich großer Kabellängen unproblematischer ist. Allerdings müssen Einschränkungen gemacht werden. Die Hoffnung, dass Impedanz- und Anpassungsfragen in der Digitaltechnik keine Rolle spielen, ist nur partiell angebracht. In der Digitaltechnik ist der Wellenwiderstand von Bedeutung. Er soll bei AES/EBU-Kabeln 110 Ohm betragen. Mikrofonkabel hatten bisher keinen definierten Wellenwiderstand, weil er im NF-Bereich bei den üblichen Kabellängen keine Rolle spielt /14/. Vor allem, wenn Kabel verschiedenen Wellenwiderstands aneinander gefügt werden, kann es zu Betriebsstörungen durch Reflexionen des Signals kommen. Im einfacheren Fall setzt die Funktion aus. Schwieriger werden die Verhältnisse, wenn Jitter entsteht, wofür es verschiedene Ursachen gibt. Im Gegensatz zu den leicht erkennbaren analogen Störungen auf Kabeln wie z.B. Brumm oder Einstreuungen sind digitale Fehler weniger leicht erkennbar.

Ein weiterer Widerstandswert, der bei Mikrofonkabeln bisher kaum diskutiert werden musste, ist der ohmsche Widerstand. Bei Betriebsströmen von bis zu 250 mA aus 10 V kann ein zu hoher Spannungsabfall nicht in allen Fällen ausgeschlossen werden. Ein Vorteil ist damit allerdings auch verbunden: ein nicht

ordnungsgemäß mit Strom versorgtes Mikrofon wird einfach nicht funktionieren statt die Qualität zu gefährden, wie dies bei fahrlässig realisierten 48V-Phantomspesungen dem ahnungslosen Anwender widerfahren kann /15/ .

Besonderheiten

Die Besonderheiten der digitalen im Vergleich zur analogen Technik können hier nicht aufgezählt werden. Zu den positiven Merkmalen zählt, dass die digitale Signalverarbeitung Eingriffe in das Klanggeschehen ermöglicht, die analog schwer realisierbar sind. Weniger erfreuliche Punkte müssen aber auch gesehen werden:

Aufnahmetechniken aller Art, ob Stereo-, Surround- oder andere erfordern genaue Phasenbeziehungen zwischen den Kanälen. Im Zusammenhang mit den „Latenzzeiten“, die durch das „Processing“ entstehen können, werden wir uns angewöhnen müssen besonders auf Gleichphasigkeit der kritischen Signale zu achten.

Einen zweiten Punkt nehmen wir kaum noch wahr: Viele Anwender digital funktionierender Geräte scheinen sich bereits daran gewöhnt zu haben, dass ihr drei Jahre altes Equipment schon veraltet sein kann. In diesem Zusammenhang muss der Analogtechnik dann doch ein Kompliment gemacht werden. Vor allem Mikrofone sind dafür bekannt, dass sie auch nach einigen Dekaden ihre Anwender noch zufrieden stellen oder sogar begeistern. Bei den analogen Mikrofonen wird das so bleiben.

Die digitale Schnittstelle für Mikrofone

Unabhängig davon wie ein „digitales Mikrofon“ im Detail aufgebaut ist, wird eine Einigung auf eine einheitliche Anschluss technik erforderlich. Die Ergebnisse werden in der Norm „AES 42“ festgelegt. Dies ist eine Erweiterung des AES3-Standards mit der digitalen Phantomspesung DPP aus 10 Volt ohne Speisewiderstand. Die Stromzufuhr erfolgt über die Mittelanzapfung eines Übertragers.

Diskussionen gibt es zur Wahl des hohen maximal zugelassenen Speisestroms. Dies betrifft vor allem die Mischpulhersteller. Auch

der Steckverbinder ist nicht unproblematisch. Es ist der allgemein übliche „XLR-3“, der für Mikrofone natürlich mit der digitalen Phantomspesung DPP ausgestattet sein muss.

Verwechslungen mit Audio-Kabeln können eventuell Probleme verursachen, die schlimmstenfalls zu Gerätebeschädigungen führen können. Allerdings ist dieses Problem nicht neu. Eingänge mit 48V-Phantomspesung sollten z.B auch nicht irrtümlich mit dem Ausgang beliebiger Geräte verbunden werden.

Zur Aktualisierung dieses aus dem Jahr 2000 stammenden Aufsatzes wird hier auf folgendes „Whitepaper“ hingewiesen: http://www.hauptmikrofon.de/doc/WhitePaperD_AES42_v21_Mai2010.pdf

Digitale Vorteile

Die Norm der neuen Schnittstelle enthält verschiedene Betriebsarten, die als „Modes“ bezeichnet werden. Alle Modes des Typs „zwei“ beschreiben Betriebsformen, die auch das Senden von Daten zum Mikrofon zulassen. Diese „bidirektionale“ Funktion eröffnet viele neue praktische Möglichkeiten. So ist beispielsweise eine Mikrofonkennung vorgesehen, die es am Arbeitsplatz erlaubt, den angeschlossenen Mikrofontyp zu erkennen. Besser noch, entsprechend konzipierte Mikrofone werden es erlauben verschiedene Parameter der Mikrofone fernzusteuern. Dies beschränkt sich nicht nur auf die bereits bekannte Einstellung der Richtcharakteristik.

Einer der markantesten Vorteile der Digitaltechnik ist natürlich die Möglichkeit Signale verlustfrei zu speichern, zu kopieren und zu bearbeiten. Dass dies der Branche auch Probleme gebracht hat, ist ein anderes Thema, das nichts mit Mikrofontechnik zu tun hat.

Durch die verlustfreie Bearbeitung und Speicherung wird es u.a. möglich die Signale mehrerer Mikrofone miteinander zu verknüpfen und man erhält damit sehr leistungsfähige Aufnahme-Systeme. Als Beispiele lassen sich die bekannten Verfahren der MS-Technik und des Soundfield-Mikrofons nennen. Auch mit analoger Technik lassen sich deren Einstellungen bei einer Nachbearbeitung vornehmen,

aber erst durch die Digitaltechnik sind damit keine Nachteile mehr verbunden.

Das Prinzip „PolarFlex“ von SCHOEPS beinhaltet auch ein Matrizierungsverfahren von Mikrofonsignalen, wie es erst mit einem digitalen Prozessor ohne Qualitätsverlust möglich wird. Dabei werden pro „PolarFlex-Mikrofon“ zwei Mikrofon-Signale benötigt und zu einem AES/EBU-Signal vereint (<http://www.sengpielaudio.com/PolarFlex.pdf>). Der Klang kann damit auch noch nach der Aufnahme so gewählt werden, wie er sich mit den verschiedensten Qualitätsmikrofonen des Weltmarktes ergibt. Auch der Klang von Großmembran-Mikrofonen und andere erwünschte Verfärbungen sind durch die einstellbare Frequenzabhängigkeit des Richtdiagramms möglich.

Der gleiche Prozessor wird mit einem anderen Programm für die Matrizierung der vier Signale des Surround-Mikrofons KFM 360 eingesetzt um 5.1-Signale zu erhalten.

Andere Matrizierungen werden von noch mehr Mikrofonsignalen ausgehen und damit die besonderen und teilweise noch unbekannt Merkmale von Mikrofonarrays dem Anwender zur Verfügung stellen. Außerdem könnten „intelligente Prozesse“ helfen die Leistungsmerkmale von einfachen Mikrofonen weit zu überbieten.

Anmerkung aus dem Jahr 2010: Das Super-CMIT ist ein derartiges Mikrofon (<http://www.schoeps.de/de/news/71>)

Literaturhinweise

1. Paul et al., Digital Output Transducer, United States Patent, Patent Number 5,051,799, Sept.24,1991
2. Götz Corinth, Röhre oder Halbleiter in Kondensatormikrofonen, 20. Tonmeister-tagung Karlsruhe, Tagungsband S. 450ff., 1998
3. Jörg Wuttke, Das Mikrofon zwischen Physik und Emotion, 20.Tonmeister-tagung Karlsruhe, Tagungsband S. 450ff., 1998, *
4. Peter Schöne, Georg Plenge, Horst Jakobowski, Genügt eine Bandbreite von 15kHz für Elektroakustische Übertragungssysteme?, Rundfunktechnische Mitteilungen, 1979
5. Donald E. Hall, Musikalische Akustik, S.110, Schott Musik International, Mainz, 1997
6. Kaoru Ashihara, Audibility of Complex Tones above 20kHz, <http://www.aist.go.jp/ETL/etl/divisions/~acoustic/research/hf-e.html>., 14.01.2000
7. John Watkinson, Transforms and Spectra 3, Studio Sound, S. 92, June 2000
8. Jörg Wuttke, Herkömmliches und Neues zum Thema „Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik“, 13.Tonmeister-tagung München, Tagungsband S. 75ff, 1984 *
9. Jörg Wuttke, Wie universell kann ein Mikrofon sein? 19.Tonmeister-tagung Karlsruhe, Tagungsband S.675ff, 1998 *
10. Ralf Schnellbach, Untersuchungen an einem Mikrofonssystem mit frequenzabhängig variablem Bündelungsmaß, Diplomarbeit an FH Düsseldorf, 1995
11. Christian Langen, Mikrofon mit frequenzabhängig einstellbarem Bündelungsmaß, 20.Tonmeister-tagung Karlsruhe, Tagungsband S. 411ff, 1998,
12. Helmut Jahne, Verfahren und Anordnung zur Analog-Digital-Wandlung von Signalen, Offenlegungsschrift DE 195 02 047 A1, 12.01.1995
13. Jörg Wuttke, Mikrofonen Allerlei - kleines Kompendium, 18.Tonmeister-tagung Karlsruhe, Tagungsband S. 266ff, 1994 *
14. K.Küpfmüller, Einführung in die theoretische Elektrotechnik, 8.Auflage S.377ff, Springer-Verlag Berlin / Heidelberg / New York, 1965
15. Jörg Wuttke, Die 48V-Phantomspeisung und ihre Geister, Studio Magazin "Mikrofon Special", 1998 *

* Diese Aufsätze sind auch in der Publikation "Mikrofonaufsätze" von Jörg Wuttke enthalten

19. Was ist ein gutes Mikrofon?

Vortrag, gehalten auf der 23. Tonmeistertagung 2004

Dieser und der folgende Aufsatz „Wissenswertes rund ums Mikrofon“ haben viele Gemeinsamkeiten.

Einleitung

Das Wissen darum, welche Merkmale gute Mikrofone kennzeichnen, ist Voraussetzung für deren Weiterentwicklung. Mit Verbesserungen verbindet ein Hersteller Hoffnungen auf einen wachsenden Markt, wie dies von Wirtschaft und Politik endlos gewünscht wird.

Natürlich interessieren sich auch die Anwender für gute Mikrofone. Der Glaube, dass damit ebenso gute Ergebnisse gesichert wären, ist aber leider unberechtigt. Aufnahmematerial, Interpreten, Akustik und der erfahrene Tonmeister sind meist von größerer Bedeutung.

Definitionsebenen

Die Bewertung eines Mikrofons kann nach zweierlei Kriterien erfolgen: subjektiv oder nach technischen Daten. Die subjektive Beurteilung hat den großen Vorteil, dass sie dank menschlicher Auswertungs-Algorithmen schnell und praxisnah erfolgt und viele Parameter gleichzeitig einbezieht. Andererseits ist schon das Prädikat „subjektives Urteil“ eine Einschränkung. Es mag große Gruppen geben, deren Urteil gleich ausfällt und dennoch haben subjektive Bewertungen nie Allgemeingültigkeit. Dieses Problem wird umso größer, je höher die objektive Qualität von Produkten ist. Dann erschweren Markengläubigkeit, Trends aller Art und die Erwartungen des Anwenders eine allgemein gültige, objektive Bewertung. Die einzige verlässliche Basis für Qualitätsbetrachtungen bietet daher die Messtechnik, nur sie ist objektiv.

Der Wert technischer Daten im Wandel der Zeit

Technischen Daten wird oft entgegengehalten, dass Messwerte kein genügender Beleg für die Qualität von akustischen Wandlern seien. Oberflächlich betrachtet kann man zu diesem Eindruck kommen, besonders wenn man die nur wenigen Prospektwerte betrachtet, die die meisten Kataloge anbieten. Diesbezüglich gibt es einen „Teufelskreis“: Die Anwender interessieren sich zunehmend weniger für technische Daten, die ihrerseits auch Leser erfordern würden, die damit etwas anfangen können. Hinzu kommt, dass mit der Abnahme des Interesses an technischen Daten die Zahl der Institutionen, die solche Daten früher auch geprüft haben, stark nachgelassen hat. Wann hat z.B. das IRT zuletzt umfangreiche Messungen an Mikrofonen im Auftrag des Rundfunks gemessen? Die Fachzeitschriften messen oft überhaupt nicht, und fühlen sich verständlicher Weise meist mehr den eigenen Interessen verpflichtet, als denen einer schrumpfenden Minderheit technisch kritischer Leser. Eine Folge hiervon ist, dass es selten auffällt, wenn einige Anbieter Werbedaten veröffentlichen, die keiner Nachprüfung Stand halten, aber deutlich besser scheinen, als die der seriösen, teureren Konkurrenz. Dies alles führt zum Verfall des Wertes technischer Daten.

Zurück zur Alchemie?

Viele Kunden, die meist keine Ingenieure sind, sind fast erfreut, wenn die Aussagekraft von Messergebnissen angezweifelt wird. Damit lässt sich rechtfertigen, dass man sich mit dieser manchmal recht schwierigen Materie nicht auseinandersetzen muss. Als Ersatz werden Vokabeln erfunden, die geheimnisvolle Gefühlsmomente vermitteln. Was ist z.B. ein „musikalisches Mikrofon“, wie soll man es

sich vorstellen, wenn Instrumente „größer“ oder „kleiner“ dargestellt werden? Die Liste von Worten, auf die sich nichts reimt, ist riesig und Fachleute raufen sich die Haare, weil sie es jetzt sind, die nichts mehr verstehen /1/. Es kann kein Trost sein, dass sich die Wortgewaltigen dieser Prosa untereinander auch nicht verstehen. Sie versuchen einstweilen „nachdrücklichere Klangbilder“ und „druckvolleren Raum“ durch neuartige Haussicherungen in Gold oder „wertige“ Netzverteilerdosen herbeizuführen und eine andächtige Schar gläubiger Esoteriker wird glücklich ihre Erwartungen erfüllt finden. Ist es nicht ein Phänomen, dass oft Leute, die nie eine Grundlagenprüfung in Elektrotechnik absolviert haben, vorgeben bessere Kenntnisse z.B. über Kabel zu haben als diejenigen, die sie gezielt konstruieren und berechnen können? Alle, die die Grundlagen der Leitungstheorie verstanden haben, äußern sich mehr als skeptisch zu den Deutungen der Kabel-Gurus /2/.

Ebenso wie Kabel mit vielen unbewiesenen, fachlich unsinnigen Werbeargumenten beschrieben werden, existiert auch eine Gerüchteküche in Bezug auf Studioprojekte. Dazu gehören z.B. die Mär, dass metallische Membranen metallischen Klang produzieren oder die physische Wärme von Röhren für ihren warmen Klang verantwortlich ist usw. /3/ Fürs Geschäft mag das förderlich sein, aber ein sinnvoller, ehrlicher Fortschritt wird so behindert.

Problemlösung durch Wissenschaft

Außer der Belebung von Geschäften hat solches Treiben aber noch einen Vorteil. Die Alchemisten wussten nicht, dass sie zum Teil unerreichbare Ziele anstrebten (so wie heute fatalerweise unsere Wirtschaftler ihren unhaltbaren Glauben an endloses Wirtschaftswachstum nicht überdenken /4/5/). So lange aber die Unmöglichkeit einer Zielsetzung unerkannt bleibt, kann man unaufhörlich daran weiterarbeiten, man wird nie arbeitslos! Da haben es Ingenieure schwerer. Wenn der Wirkungsgrad einer Konstruktion annähernd 100% erreicht, ist ihre Arbeit abgeschlossen, und wenn sie

Pech haben werden sie mit Arbeitslosigkeit entlohnt.

Dennoch sollten wir uns daran erinnern, dass aller Fortschritt, der die Lebensverhältnisse des Menschen besonders im letzten Jahrhundert explosionsartig bewegt hat, auf der Etablierung der Wissenschaft und ihren Arbeitsmethoden beruht. Mit weiterer Forschung lassen sich auch in der Audiobranche noch echte Fortschritte erzielen, aber der heute schon fast religiös gepflegte Glaube, dass es nichts besseres als Vintage-Produkte, insbesondere mit Röhren gäbe, bedeutet zwangsläufig Stillstand. Manche Musikliebhaber verbinden die Musik der fünfziger Jahre, die Interpreten und die Art wie produziert wurde, mit den technischen Geräten, die dabei benutzt wurden. Die „guten alten Zeiten“ bekommen wir damit dennoch nicht wieder.

Übersetzungstabelle

Nach aller Kritik am unverständlichen Gebrauch vieler allgemeiner Worte im unwissenschaftlichen Sprachgewühl von Hi-Fi-Enthusiasten muss dennoch festgestellt werden, dass es einige Begriffe gibt, für die eine Übersetzung in seriöse fachliche Erklärungen möglich ist. Z.B. wird ein „helles“ Klangbild oder ein „dunkles“ einigermaßen einheitlich mit dem Vorkommen von viel oder wenig hohen Frequenzanteilen im Spektrum verbunden. Präzise ist das natürlich nicht, aber immerhin findet man Ansätze für eine Verständigung von Musikliebhaber und Ingenieur. Es gab schon einige Versuche eine Art Wörterbuch zu erstellen. Bild 1 zeigt das Titelbild eines recht interessanten Papers aus dem Jahr 1977 zu diesem Thema /6/.

Bei der hier gewählten Darstellungsgröße lassen sich einzelne Begriffe kaum erkennen, aber darum geht es auch weniger. Die Schlussfolgerung ist entscheidend und sie lautet überzeugend: Wer ein technisches Produkt durch Messwerte beschreiben will, braucht in der objektiven Bewertungsebene ähnlich viele Parameter wie in der subjektiven Ebene Begriffe. In dieser Beziehung gibt es noch viel zu tun. Bezüglich der Genauigkeit und Auflösung

der Messungen gibt es im Bereich akustischer Schwingungen kaum offene Wünsche. Alle Schwierigkeiten liegen bei der Interpretation und Gewichtung der unterschiedlichen Einflussgrößen auf unseren Höreindruck, z.B. werden Schalleindrücke nicht ausschließlich über das Trommelfell vermittelt.

Es gibt tatsächlich viele sehr alte Tonaufzeichnungen mit bemerkenswerter Klangqualität. Wenn man einmal den Frequenzgang der dabei verwendeten Mikrofone betrachtet, erkennt man, dass Frequenzen oberhalb 10 kHz nur noch mit abfallender Amplitude übertragen werden. Oberhalb 16kHz ist „fast nichts mehr

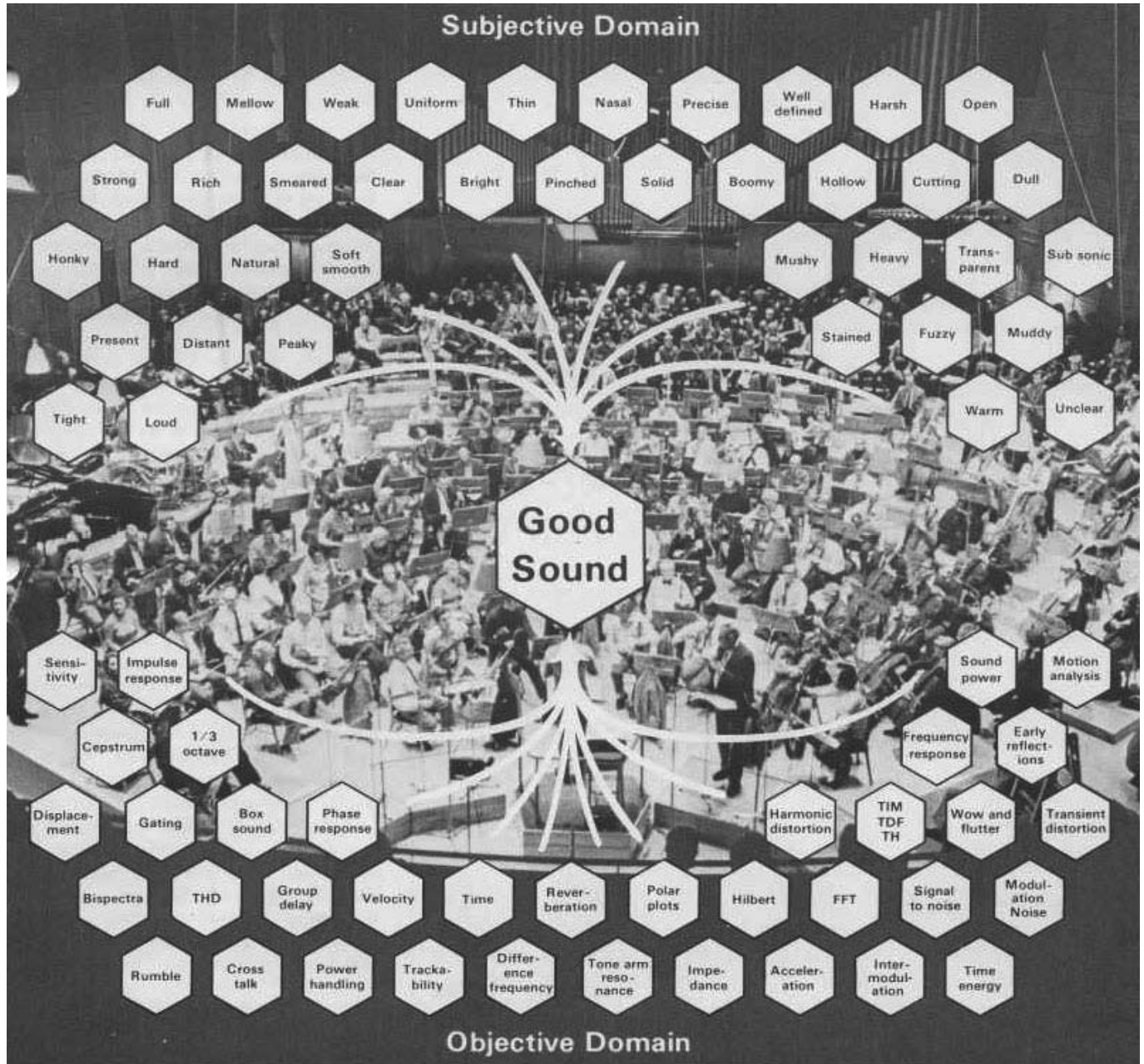


Abb. 1: Subjektive oder objektive Beschreibung von gutem Klang /6/

Divergenzen zwischen Glaube und Wahrheit

Natürlich stellt sich auch die Frage, wie viel Verbesserungen der Kunde bzw. die vielen ungeschulten Endverbraucher würdigen würden. Qualitätssteigerungen bleiben erfolglos, wenn sie nur von Kennern wahrgenommen werden.

los!“ (Abb.2) Bei Großmembran-Mikrofonen ist dies bis zum heutigen Tag oft so /7/. Daher ist es ein Widerspruch, wenn sich Protagonisten von Großmembran-Mikrofonen für Frequenzgänge oberhalb 20 kHz aussprechen, eher macht es Sinn anzunehmen, dass 16 kHz als obere Frequenzgrenze vollständig genügt. Es gibt allerdings vereinzelt auch Tonmeister, die

speziell bei klassischer Musik aus klanglichen Gründen nie Großmembranen einsetzen. Hören die besser? Das ist schwer zu beantworten, aber in letzter Zeit laufen Untersuchungen mit Mikrofonen, die deutlich über 20 kHz hinausgehen und daraus lässt sich wenigstens eine erste Forderung an ein gutes Mikrofon ableiten: Sein Frequenzgang sollte wenigstens bis 20 kHz möglichst konstant sein bzw. keine starke negative Tangente aufweisen (Abb.2).

wenn man Mikrofone der Subminiaturklasse (Anstecker) verwendet, zeigen sich auch deren Nachteile, wie höhere Störspannungen und Probleme bei richtenden Mikrofonen, von denen es in dieser Klasse auch nur wenige Modelle gibt.

Bei den technischen Daten erfordert ein gutes Mikrofon ein schnelles Einschwingverhalten, dessen Beschreibung zu den Grundlagen linearer Systeme in der Nachrichtentechnik

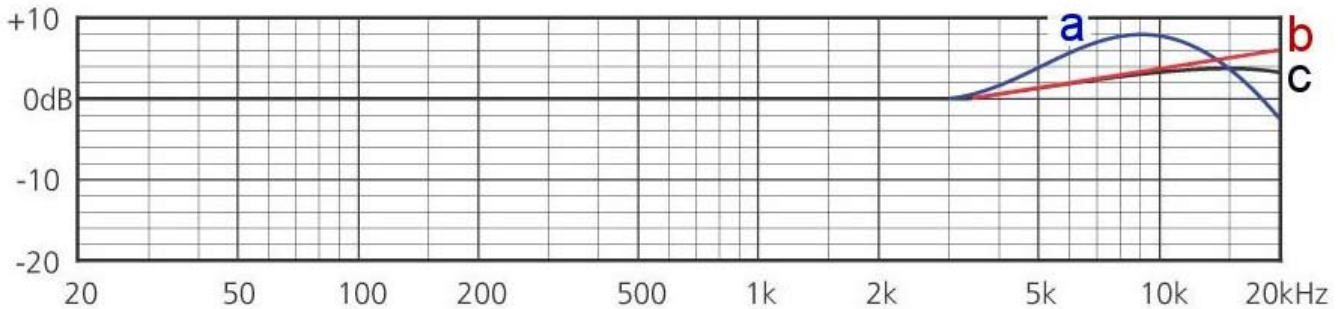


Abb. 2:
 a) häufig zufriedenstellender Frequenzgang (siehe auch Abb. 5-7)
 b) ein zur Kompensation von Verlusten bei hohen Frequenzen sinnvoller Frequenzgang
 c) Frequenzgang eines modernen Diffusfeld-Druckempfängers

Das gute Mikrofon orientiert sich an idealen Parametern

Ein konstanter (horizontaler) Amplituden-Frequenzgang ist nur eine von vielen Voraussetzungen für eine verzerrungsfreie Übertragung, d.h. für eine Übertragung, deren Zeitverlauf der Ausgangsspannung genau dem des Schalldrucks entspricht. Ferner ist ein linearer Phasengang für eine konstante Gruppenlaufzeit erforderlich /8/9/. Ein gutes Mikrofon wird diese Forderungen wenigstens in seinem Betriebsfall (z.B. im Freifeld oder im Diffusfeld) so weit wie möglich erfüllen. Trotzdem genügt dies nicht. Wie schon gesagt gibt es eine Fülle weiterer Größen, die hier nicht alle diskutiert werden sollen.

Die Baugröße des Mikrofons spielt eine von vielen Anwendern nicht erwartete Rolle. Nicht das größere, imposanter aussehende Mikrofon verhält sich im Schallfeld vorteilhaft, sondern das kleinere, unscheinbare. Es kommt daher zu dem Konflikt, ob man ein Mikrofon nach dem Gehör oder nach dem Auge auswählt. Wer das nicht glauben mag, sollte einen unmittelbaren Hörvergleich bei exakt gleicher Lautstärke im Blindtest durchführen /3/. Erst

gehört. Bekannt ist, dass das Einschwingverhalten bei Kondensatormikrofonen besser ist als bei dynamischen Mikrofonen, außerdem ist es bei Kleinmembran-Mikrofonen besser als bei Großmembran-Mikrofonen /10/.

Von guten Mikrofonen darf man außer Linearität und niedrigen Störspannungen auch erwarten, dass sie sich im täglichen Gebrauch unproblematisch verhalten. Besonders wichtig ist z.B. eine hohe Unempfindlichkeit gegenüber Störungen verschiedener Art, insbesondere von HF-Einstrahlungen (Mobilfunk usw.). Auch die Gleichheit von Mikrofonen desselben Typs ist ein Qualitätsmerkmal. Die Toleranzen sollten möglichst klein sein. Der Klang eines guten Mikrofons ist neutral ohne Verfärbungen oder Verzerrungen.

Plädoyer für den neutralen Klang

Dem Wunsch nach neutralem Klang wird manchmal der nach „gutem Sound“ entgegengehalten. Beides ist aber gut miteinander vereinbar. Auch wer bestimmte klangliche Verfärbungen als künstlerisches Gestaltungsmittel sucht, tut gut daran seinen Sound auf neutraler Basis zu bilden. Mit Equalizern und anderen den Klang verändernden Geräten lässt

sich der gewünschte Sound gezielt realisieren. Dann ist er kein Zufallsergebnis, sondern er ist dosiert reproduzierbar.

Man kann dies mit den Künsten eines Kochs vergleichen. Er braucht naturbelassene, „neutrale“ Rohstoffe, um seine Erfahrungen im Umgang mit Gewürzen erfolgreich für ein schmackhaftes Essen einzusetzen. Bei vorgewürztem Fleisch käme er in Schwierigkeiten, weil er dessen Geschmack nicht kompensieren kann.

Genau so verhält es sich auch bei Mikrofonen: Klangliche Verfärbungen hinzuzufügen ist kein Problem, aber man kann sie nur in Sonderfällen entfernen. Das Argument, man benötige für jedes Instrument ein bestimmtes Mikrofon, gilt nur, wenn die zur Wahl stehenden Mikrofone nur mäßige Qualität haben. Dann muss man für den jeweiligen Aufnahmzweck das Modell aussuchen, dessen Schwächen nicht schaden. Bei guten Mikrofonen ist dagegen die richtige Wahl des Aufstellungs-Ortes in Relation zum Instrument und im Raum von größerer Bedeutung als die Wahl des Modells. Natürlich gelten die Gesetzmäßigkeiten, dass für das gleiche Verhältnis von aufgenommenem direktem zum diffusem Schall richtende Mikrofone entfernter aufgestellt werden müssen als z.B. eine Kugel. Dies ist aber reine Applikationstechnik und unabhängig vom Instrument. Eine Ausnahme, bei der das Instrument einen Einfluss auf die Mikrofonwahl haben kann, ist die Orgel. Wenn so tiefe Frequenzen wie der Grundton der 32 Fuß-Pfeife (16 Hz) ungeschwächt übertragen werden sollen, bleibt nur die Wahl eines elektrostatischen Druckempfängers (Kugelcharakteristik). Es ist aber erwiesen, dass man nicht immer so verfahren sollte, weil manchmal die Wucht der Tiefbässe in einer großen Kirche nur vor Ort gefällt.

Gute Mikrofone und reale Mikrofone

Wie zuvor ausgeführt, sollten gute Mikrofone die Bedingungen der linearen Übertragungstechnik so weit wie möglich erfüllen. In der Praxis ist das selbst bei den besten Produkten nicht uneingeschränkt möglich. Daraus

resultieren die klanglichen Unterschiede, die selbst bei gleicher Richtcharakteristik und Positionierung auftreten. Die Richtcharakteristik hat zwar primär keinen Einfluss auf den Klang, aber das davon abhängige Verhältnis von direktem zu diffusem Schall (Hallbalance) spielt eine große Rolle.

Die Frequenzabhängigkeit des Polardiagramms

Zu den Parametern, die von Mikrofonanwendern meist viel zu wenig beachtet werden, gehört das Polardiagramm. Es genügt nicht, die Richtcharakteristik zu kennen. Man müsste keine Polardiagramme in Datenblättern darstellen, wenn die Richtwirkung nicht frequenzabhängig wäre. Wer die für verschiedene Frequenzen veröffentlichten Polardiagramme richtig auswertet, kann daraus den Frequenzgang des Mikrofons für verschiedene Schalleinfallrichtungen ermitteln. Abb.3 veranschaulicht z.B. die Konstruktion des Frequenzgangs einer Diffusfeld-Kugel für 90° Schalleinfallrichtung.

Das in jeder anderen Beziehung fast ideale Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik zeigt hier seinen größten Schwachpunkt. Deshalb gibt es die Unterscheidung in Freifeld-Kugeln und Diffusfeld-Kugeln. Ein gutes Mikrofon sollte ein möglichst frequenzunabhängiges Polardiagramm haben. Nur dann hängt der Frequenzgang nicht vom Schalleinfallswinkel ab. Besonders nahe am Ideal kann man in dieser Beziehung eine breite Niere bauen. Abb.4 belegt dies.

In /16/ werden für 10 Kondensatormikrofone verschiedener Herkunft die Frequenzabhängigkeit des Polardiagramms und einige daraus resultierende Frequenzgänge für verschiedene Schalleinfallrichtungen anonym veröffentlicht. Die Unterschiede sind beachtlich und sie sind die Hauptursache für die klanglichen Unterschiede unter Mikrofonen, deren Freifeld-Frequenzgänge praktisch gleich aussehen. Sogar Unterschiede im Klangcharakter zwischen Groß- und Kleinmembran-Systemen sind größtenteils darauf zurückzuführen.

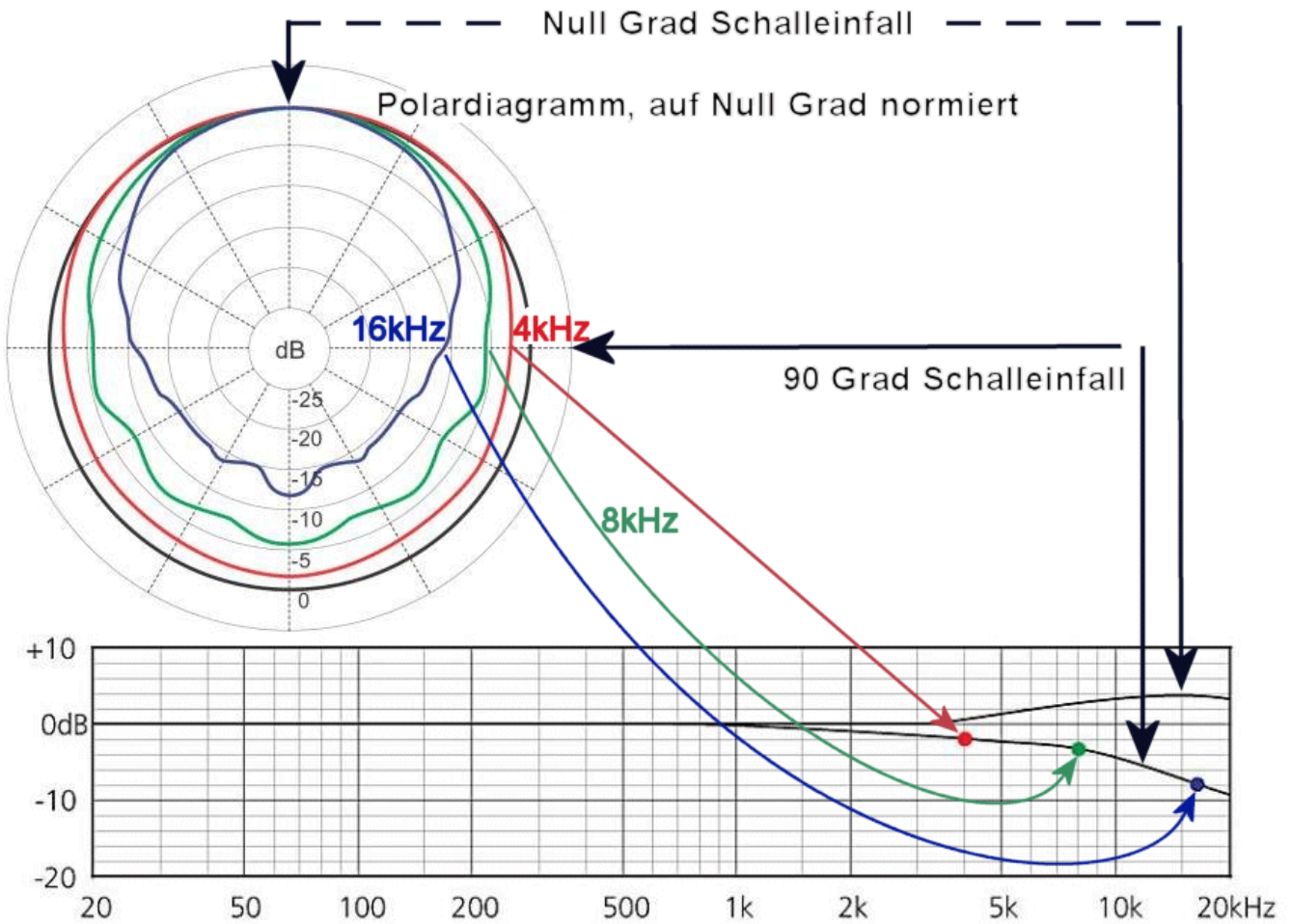


Abb. 3: Konstruktion des Frequenzgangs einer Diffusfeld-Kugel für Schalleinfall von der Seite (90°/270°)

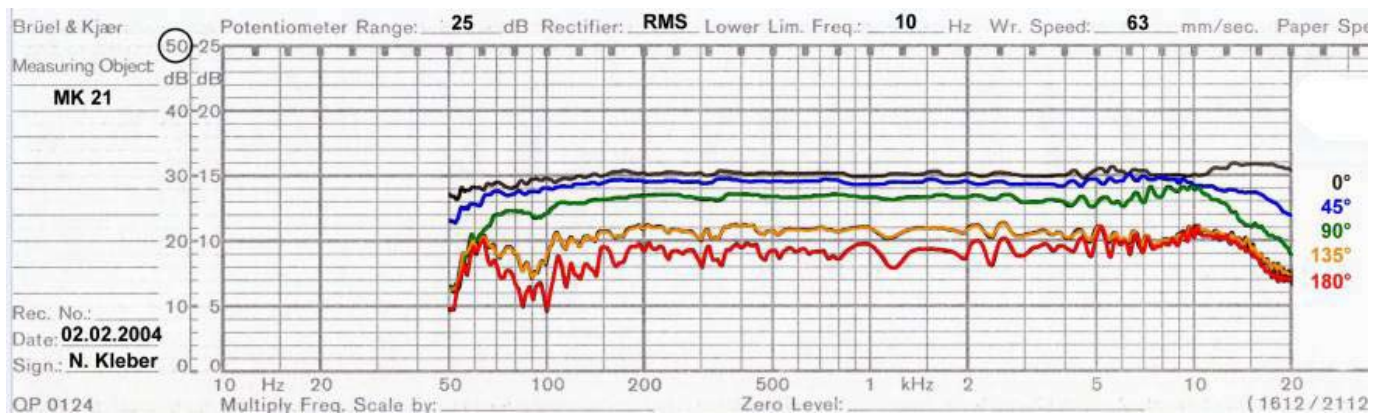


Abb. 4: Frequenzgänge der breiten Niere (MK 21) für Schalleinfall aus Winkeln von 0° bis 180°, bis 10kHz sehr ähnlich

Frequenzgang im diffusen Schallfeld und das Bündelungsmaß

Die Betrachtung der unterschiedlichen Frequenzgänge in Abhängigkeit von der Schalleinfallrichtung kann sinnvoll sein, aber sie ist beschwerlich. Eine erhebliche Vereinfachung ergibt sich, wenn der Frequenzgang im diffusen Schallfeld vorliegt. In ihm ist die Summe der Ergebnisse für Schall aus allen Einfallrichtungen enthalten.

Die Differenz zwischen dem im Datenblatt angegebenen Freifeld-Frequenzgang in Richtung der Hauptachse des Mikrofons und dem Diffusfeldfrequenzgang ist das Bündelungsmaß. Je besser das Mikrofon ist, umso konstanter bzw. frequenzunabhängiger sollte es sein (z.B. Kugel 0 dB, Niere 4,8 dB, Hyper 6 dB), die Praxis sieht meist anders aus. Das IRT hat in den frühen 70er-Jahren, als es noch seinen Sitz in Hamburg hatte, routinemäßig den Frequenzgang des Bündelungsmaßes

ermittelt /12/ (Abb.5-7). Leider werden solche Daten heute selten veröffentlicht, weil das Interesse und das Verständnis beim Anwender abgenommen haben. Außerdem ist die Messung problematischer als Messungen im reflexionsarmen Raum. Ohne Überprüfungen durch Kontrollorgane würden bestimmte Hersteller märchenhafte Kurven veröffentlichen, die alle seriöseren Hersteller in den Schatten stellen. Für alle um Korrektheit bemühten Ingenieure ist das ein Grund diese sowieso von fast niemanden erwarteten Daten lieber nicht zu veröffentlichen.

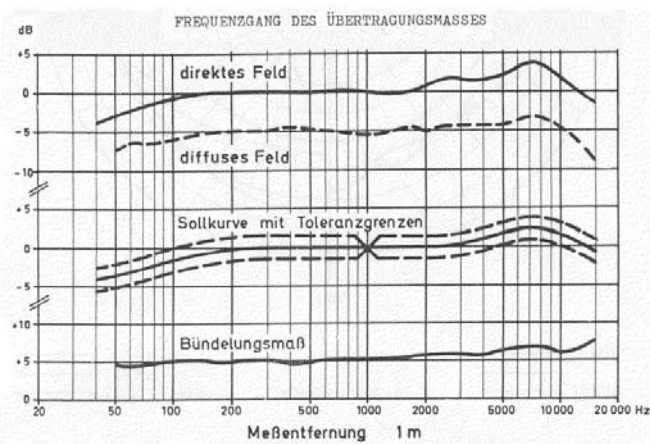


Abb. 5: IRT-Messungen aus den Jahren 1966-1974 Niere, Kleinmembran für axiale Beschallung

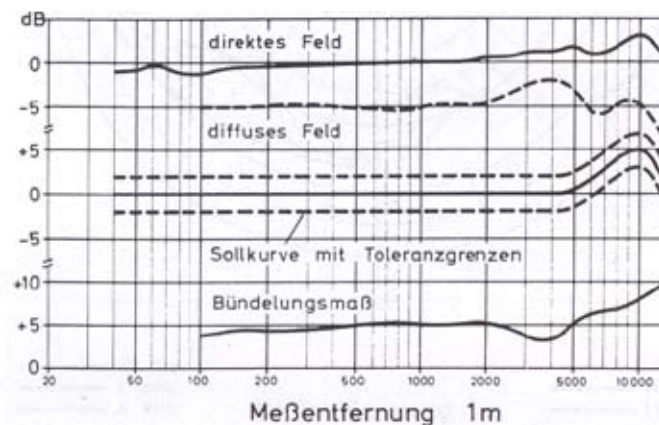


Abb. 6: Niere, Kleinmembran für radiale Beschallung

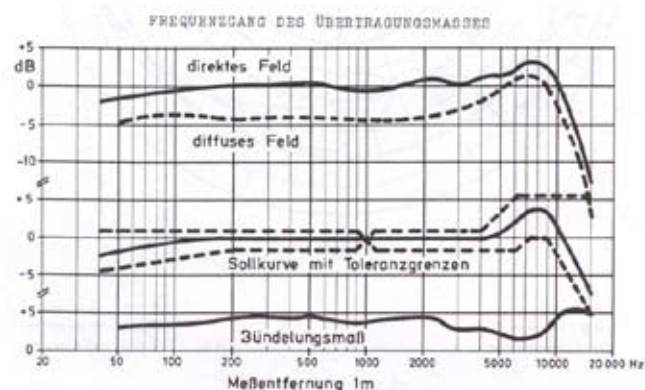


Abb. 7: Niere, Kleinmembran für radiale Beschallung

Die Ermittlung des Frequenzgangs im diffusen Schallfeld

Wenn Polardiagramme für eine genügende Zahl von Frequenzen vorliegen, lässt sich daraus der Frequenzgang im diffusen Schallfeld ermitteln. Bei Rotationssymmetrie um die Hauptachse, wie sie bei Mikrofonen für axiale Beschallung fast immer gegeben ist, wird die Rechnung relativ einfach /13/. Die umfassendste Ermittlung findet aber im Hallraum statt oder mittels Prinzipien, die einen Hallraum simulieren /14/. Dabei ist auch die komplexe akustische Impedanz des Wandlers und deren Einfluss auf die Messung enthalten.

Der Frequenzgang des Bündelungsmaßes

Wie schon gesagt ist der Frequenzgang des Bündelungsmaßes die Hauptursache für die klanglichen Unterschiede zwischen Mikrofonen. Da er stark konstruktionsabhängig ist, lassen sich zwei Mikrofone gleicher Art, aber verschiedener Hersteller klanglich nicht mit einem Equalizer aneinander angleichen. Der Equalizer verändert immer gleichzeitig den Frequenzgang im direkten und im diffusen Schallfeld, die Differenz (Bündelungsmaß) bleibt also gleich. In anderen Worten: Klangliche Unterschiede, die auf Frequenzgang-Abhängigkeiten im Polardiagramm zurückzuführen sind, können nur durch die Wahl des Mikrofons gesteuert werden.

Weil gute Mikrofone der angegebenen Richtcharakteristik meist in einem weiten Frequenzbereich entsprechen, sind die Unterschiede zwischen ihnen geringer als bei billigeren Produkten, unter denen z.B. zwei Nieren mit fast gleichem Freifeldfrequenzgang extrem unterschiedlich klingen können.

Wer die klanglichen Unterschiede zwischen Mikrofonen gestalterisch nutzen will, war bisher darauf angewiesen sie zu wechseln. Bequemer ist es natürlich, wenn man den Frequenzgang des Bündelungsmaßes einstellen könnte. Beim System „PolarFlex“ /11/15/17/18/19/ ist dies möglich und es erlaubt darüber hinaus auch die Einstellung von Klang-

merkmalen, die mit existenten Mikrofonen gar nicht möglich sind. Ein Mikrofon nach dem PolarFlex-System benötigt immer zwei Wandler, die bei getrennter Speicherung, aber auch noch nach erfolgter Aufnahme in allen wesentlichen Klangparametern und der Richtcharakteristik eingestellt werden können.

Zusammenfassung

Mit steigendem Qualitätsniveau wird die subjektive Beurteilung von Mikrofonen unsicherer, so dass sie letztlich keinen Informationswert mehr hat. Eine eindeutige, sachliche Bewertung ist nur messtechnisch möglich. Ein gutes Mikrofon ist ein Übertragungselement, das den Klang nicht selbst formen sollte, sondern dies dem Klangkörper überlässt. Eine Stradivari soll klingen wie eine Stradivari und nicht wie eine Geige mit Mikrofon. Aus künstlerischer Sicht erwünschte Klangverformungen linearer und nicht-linearer Art sollten mit dafür vorgesehenen Geräten gezielt und wiederholbar realisiert werden. Die Hardware wird dadurch zwar teurer, aber man kann viel Zeit sparen im Vergleich zu unreflektiertem Probieren und gleichzeitigem Verändern von zu vielen Parametern.

Die messtechnische, objektive Beschreibung von Mikrofonen erfordert sehr viele unterschiedliche Messungen um aussagekräftig zu sein. Der Frequenzgang allein genügt keinesfalls. Besondere Bedeutung kommt dem Frequenzgang bei Schalleinfall aus verschiedenen Richtungen zu. Bei Richtmikrofonen ändert sich idealerweise mit dem Schalleinfallswinkel nur der Pegel aber nicht der Verlauf des Frequenzgangs. Das ist gegeben, wenn das Polardiagramm möglichst frequenzunabhängig ist.

Die Kenntnis des Frequenzgangs im diffusen Schallfeld ergibt mit einer einzigen Messung einen Eindruck, wie unterschiedlich Schall aus allen Richtungen im Vergleich zum direkten Schall aufgenommen wird. Im Idealfall sieht der Diffusfeldfrequenzgang genau so aus wie der Freifeldfrequenzgang (Prospektangabe) und ist nur um das Bündelungsmaß der jeweiligen Richtcharakteristik im Pegel reduziert.

Der Frequenzgang des Bündelungsmaßes ist ein entscheidendes Kriterium für den unterschiedlichen Klang verschiedener Mikrofone, sogar dem zwischen einem Großmembran- und einem Kleinmembran-Wandler. Durch das Prinzip „PolarFlex“ lässt sich diese Größe einstellen. Damit wird erstmals ein Parameter steuerbar, der bisher nur durch die Wahl eines anderen Mikrofontyps geändert werden konnte. Darüber hinaus sind Klangcharakteristika möglich, die sich mit den gängigen Mikrofonen nicht erzielen lassen.

Literatur:

1. G. Steinke, Leserbrief über klare Begriffe und Definitionen zur Qualitätsbeurteilung von subjektiv zu bestimmenden Eigenschaften von Studio-Mikrofonen, Studio-Magazin, Heft 3, 2004, S. 38
2. J. Watkinson, The Cable Snake, Resolution (UK), Volume 1, No 2, p 57, July/August 2002
3. J. Wuttke, Das Mikrofon zwischen Physik und Emotion, 20. Tonmeistertagung Karlsruhe Tagungsband S. 460 ff, 1998
4. H. Pestalozzi, Auf die Bäume ihr Affen, Zytglogge Verlag Bern, 1989
5. L. Mayer, Ausstieg aus dem Crash, Publik-Forum Verlagsgesellschaft, Oberursel, 1999
6. H. Møller, Brüel & Kjær, Multidimensional Audio, Application Notes, Paper presented at the AES Convention New York, 1977
7. C. Woolf, Microphone Data Book, Rycote Ltd. and Human-Computer Interface Ltd., www.microphone-data.com
8. K. Küpfmüller, Einführung in die theoretische Elektrotechnik, Springer Verlag Berlin/Heidelberg/New York, 8. Auflage, 1964
9. J. Wuttke, Mikrofonen Allerlei – Kleines Kompendium,
18. Tonmeistertagung Karlsruhe, Tagungsband S.266 ff, 1994
10. S. Peus, Modern Acoustic and Electronic Design of Studio Condenser Microphones, AES Convention Preprint 6131, presented at the 116th Convention, Berlin 2004

11. C. Langen, Mikrofon mit frequenzabhängig einstellbarem Bündelungsmaß, 20. Tonmeistertagung Karlsruhe, Tagungsband S. 411ff, 1998
12. P. Buhlert, IRT Hamburg ca. 1966-1974
13. DIN EN 60268-4, Elektroakustische Geräte - Teil 4: Mikrofone, S. 17, Juli 2004
14. I. Veit, H. Sander, The production of a spatially limited „diffuse“ sound field in an anechoic room, AES Convention Preprint 2213 (G-1), presented at the 77th Convention Hamburg 1985
15. J. Wuttke, Wie universell kann ein Mikrofon sein?, 19. Tonmeistertagung, Karlsruhe, Tagungsband S. 675 ff, 1996
16. C. Langen, Wie zuverlässig sind Mikrofondaten?, 23. Tonmeistertagung Leipzig, Tagungsband (der gleiche, in dem dieser Aufsatz veröffentlicht wird), 2004
17. <http://www.sengpielaudio.com/PolarFlex.pdf>
18. <http://www.sengpielaudio.com/PolarFlex-Bedienungsanleitung.pdf>
19. J. Wuttke, PolarFlex – Ein Mikrofonensystem für die Zukunft, Aufsatz 21, 2011

20. Wissenswertes rund ums Mikrofon

Vortrag, gehalten auf der 24. Tonmeistertagung 2006

Dieser und der vorhergehende Aufsatz „Was ist ein gutes Mikrofon“ haben viele Gemeinsamkeiten.

Vorwort

Viele Diskussionen über Mikrofone lassen sich vereinfachen, wenn man Klarheit über einige grundsätzliche Betrachtungsweisen hat. Von fundamentaler Bedeutung ist die Frage, ob man ein Mikrofon als technisches Gerät sieht, das eine Aufgabe möglichst perfekt und klar definierbar erledigen soll, oder ob man es dem Klangkörper zuordnet. Des Weiteren ist es wichtig, die Richtwirkung als dreidimensionale Besonderheit der Wandler zu erkennen und zu nutzen. Schließlich genügt das beste Mikrofonsignal nicht, wenn das Interface zum nachfolgenden Equipment nicht durchdacht ist. Es beginnt schon beim Kabel und schließt mit dem Lastwiderstand ab.

1. Einleitung

Wer sich für Mikrofone interessiert, wird in vielen Fällen Musik damit aufnehmen wollen. Die folgenden Aussagen richten sich daher vor allem an diesen Anwenderkreis.

Mikrofone kann man unterschiedlich sehen:

1.1. Die künstlerische Betrachtungsweise

Aus dieser Sicht gehört das Mikrofon im weitesten Sinn zum Klangkörper und seine Beschreibung ist nicht eindeutig. Die Beurteilung ist sehr subjektiv und wird durch Trends, Glauben und Modeströmungen beeinflusst.

1.2. Die technisch-physikalische Betrachtungsweise

Diese Betrachtungsweise setzt einige physikalische Grundkenntnisse voraus, aber damit wird der vom Mikrofon aufgenommene Klang

weitgehend vorhersehbar und lässt sich gezielt in gewünschte Richtungen lenken. Diese Sicht ist eine Voraussetzung für zukünftigen Fortschritt. Wir müssen verstehen, was wir tun. Der gefühlsbestimmte Griff in die Kiste undefiniert den Klang verändernder Elemente kommt dagegen einem Stochern im Nebel gleich.

2. Audio und Wissenschaft

Wissenschaftliche Vorgehensweise führt zu Erkenntnissen, in der Musik sind dagegen auch Emotionen wichtig. Mit Emotionen als einziger Grundlage kann man jedoch keine technischen Geräte bauen und ohne Ingenieure gäbe es keinerlei Aufnahmetechnik. In den Zeiten, als die Tontechnik noch große Fortschritte machte, achtete man sehr auf die technischen Daten und Konstruktionsdetails, die zugleich ein Maßstab für Verbesserungen waren. Heute spielt die Vermarktung oft eine größere Rolle als die Technik, und vor allem schlecht ausgebildete, und von der Presse im Dienst wachsender Märkte schlecht informierte Anwender haben wenig Chancen, technische Daten zu verstehen. Sie stellen dann zur eigenen Beruhigung gerne fest, dass Spezifikationen sowieso nichts aussagen. Das stimmt nur für den, der sie nicht interpretieren kann. So ist es möglich, dass in Prospekten nur noch die Rede davon ist, dass etwas „great“ klingt und welcher (technisch inkompetente) Künstler schon damit gearbeitet hat. Als Ingenieur kann man diese Verhältnisse am besten mit etwas Humor ertragen /1/. Die Arbeitsweise der angesprochenen Klientel hat große Ähnlichkeit mit der Alchemie des Mittelalters. Ihr Vorteil liegt darin, dass man endlos Arbeit hat, solange niemand die Schar der Gläubigen davon überzeugt, dass man aus Katzendreck tatsächlich nie Gold produzieren wird. In der Mode dreht sich auch ständig alles im Kreis und man lebt gut damit. Das Wissen

um Zusammenhänge kann geschäftsschädlich sein. Das sieht vermutlich auch Präsident Bush so, wenn er nichts von der Klimakatastrophe wissen will. Business geht vor, und das Überleben der Nachwelt „wird von Gott gesichert“. Nicht zufällig haben Religionen immer eine negative Haltung gegenüber den Wissenschaften eingenommen. Wer nicht weiß muss glauben.

Der Nachteil ist, dass Fortschritt auf diese Weise nicht mehr erfolgen kann. Als aktuelles Beispiel lässt sich anführen, dass Surround für Audio u.a. deshalb kein Erfolg wird, weil mangels technischer Kenntnisse kritiklos z.B. Aufnahme-Techniken akzeptiert werden, die eine völlig unzureichende Kanaltrennung haben. Die Endergebnisse sind so wenig überzeugend, dass der Verbraucher nicht kauft. Surround-Aufnahmen ohne Center-Signal sind ebenfalls ein Beleg für Unkenntnis, wie nutzbringend es sein kann oder wie man es sinnvoll realisiert. Käufer, die den Aufwand getrieben haben, eine gute 5-Kanal Wiedergabeanlage einzurichten, dürfen sich zu Recht betrogen fühlen, wenn ein Lautsprecher gar kein Signal bekommt. Die Quadrophonie hat bereits versagt und zwar keinesfalls nur aus technischen Gründen.

Beim Klang gibt es ähnliche Ereignisse, die der Qualität abträglich sind. Ungeschulte Ohren haben kein Problem mit MP3 bei niedrigen Datenraten. Ebenso hat jemand, der an Fast Food gewöhnt ist, meist kein Verlangen nach hoher Kochkunst. Im Gegenteil, er würde in einem guten Restaurant eventuell nur feststellen, dass die Portionen zu klein sind. Schulung wäre erforderlich, um das Gute kennen und schätzen zu lernen. Sollte es Mut machen, dass in Sonntagsreden unserer Politiker jetzt auch schon die Einsicht eingekehrt ist, dass Bildung wichtig sei? Bildung könnte helfen mehr zu verstehen.

3. Wissen über den Klang

In der Musik spielt der Klang eine große Rolle. Oft wird der „natürliche“ Klang gerühmt. Er ist jedoch mit Vorsicht zu genießen. Tatsächlich kann er vor Ort auch einmal nicht befriedigen. Es kommt mehr darauf an, so

aufzunehmen, dass es gut klingt. Es ist die Kunst des Tonmeisters eine Aufnahme zu schaffen, die die entfallende Live-Atmosphäre ersetzt. Dies bedeutet aber nicht, dass der Klang unnatürlich bzw. künstlich klingen soll. Im Gegenteil: Den Klang guter Instrumente wird man bewahren wollen. Wer wollte schon den Klang einer Stradivari verfärbt hören? Der gute Klang lässt sich bei genügend Kenntnissen im natürlichen Schallfeld finden. Es kann eine gute Idee sein, um das Instrument herumzulaufen, um den besten Aufstellungsort herauszuhören.

Im Nahfeld klingen Instrumente recht unterschiedlich, je nachdem aus welchem Winkel man sie aufnimmt /2/ und über den Abstand lässt sich das Verhältnis zwischen direktem Schall und den Raumanteilen einstellen. Die richtige Positionierung ist daher entscheidend und ein natürliches Klanggeschehen bleibt dabei die Basis. Man benötigt keine speziellen Mikrofone je nach Instrument. Diese Vorgehensweise wird allerdings bei mangelhaften Mikrofonen notwendig. Wenn ein Wandler z.B. keine hohen Töne übertragen kann, ist er ja vielleicht für bestimmte Instrumente noch brauchbar, die diese Frequenzen nicht produzieren. Ein gutes Mikrofon ist dagegen für alle Anwendungen geeignet und sollte möglichst keinen eigenen Klang produzieren, sondern neutral sein. Der Klang eines teuren Instrumentes war vielleicht ausschlaggebend für dessen Kauf, dann kann es nicht richtig sein, wenn Übertragungselemente daran etwas ändern.

Das Mikrofon ist kein Teil des Klangkörpers sondern ein technisches Gerät (Abb.1). Komplikationen im Schallfeld gibt es genug, aber sie lassen sich besser beherrschen, wenn man einen Unsicherheitsfaktor weniger zulässt. Abb. 2a zeigt übereinander den Freifeld- Frequenzgang verschiedener Großmembranmikrofone. Sind sich die Anwender bewusst, welche Frequenzbereiche sie hier betonen, schwächen oder auch fast gar nicht übertragen? Zum Vergleich sind in Abb. 2b Frequenzgänge guter Kleinmembranmikrofone zu sehen.

Unregelmäßige Frequenzgänge erschweren eine Aussage, wie das Endergebnis aus-

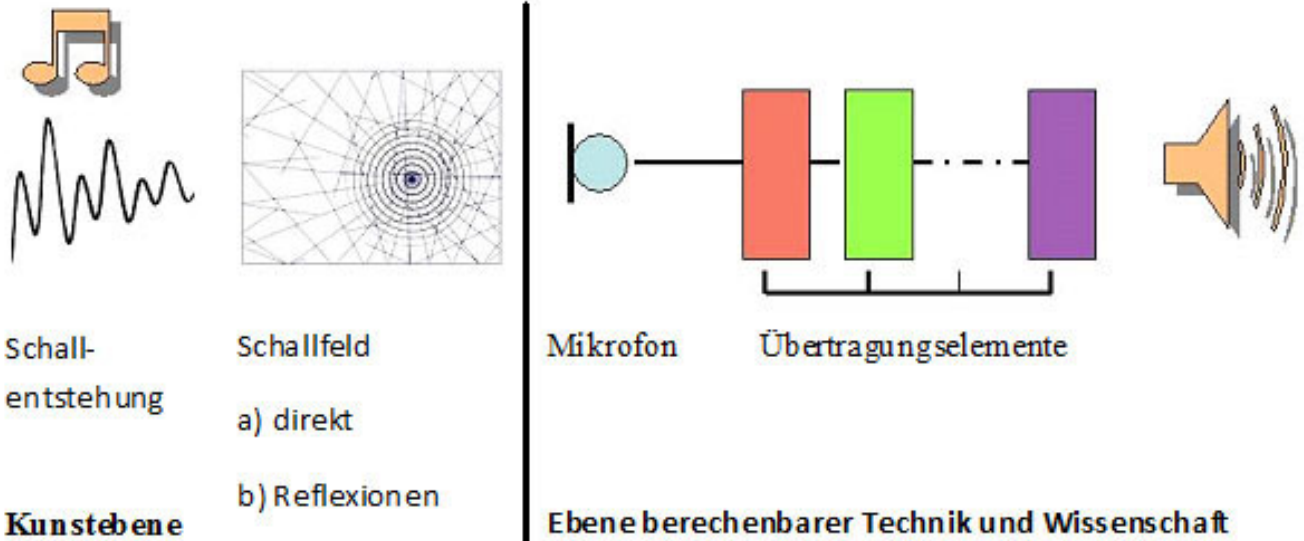


Abb. 1: Übertragung vom Instrument zum Lautsprecher

sehen wird bzw. sie machen eine Prognose meist unmöglich, da ja unabänderlich bereits Lautsprecher und Raum mit ihren Merkmalen Unsicherheiten mitbringen. Abb.3a zeigt, dass schon die Addition von nur zwei unregelmäßigen Frequenzgängen keine schnelle Prognose des Endergebnisses zulässt. In der Praxis liegen aber noch viel mehr Elemente in Serie, die Einfluss auf den Frequenzgang haben können. In diese Komplikation muss man Mikrofone nicht mit einbeziehen. Die Verhältnisse werden durch lineares Übertragungsverhalten möglichst vieler Elemente klarer. Abb. 3b verdeutlicht dies. Im Idealfall entscheidet ein guter Equalizer reproduzierbar über das Klangbild.

Manchmal wird aus der Wahl des „richtigen Mikrofons“ ein Kult gemacht, der mit wissenschaftlicher Betrachtungsweise und auch mit den wahren Verhältnissen nichts zu tun hat. In diesem Fall werden je nach Instrument bestimmte Mikrofone bevorzugt, und wenn sie imposant aussehen, wird dies besonders geschätzt. Der Klang ist dann oft ein vorgegebenes, aber nicht das eigentliche Auswahlkriterium. Im Film „Ray“ sah man ausschließlich sehr große „repräsentative“ Mikrofone. Dazu ist festzustellen, dass es zur Zeit von Ray Charles kaum kleinere Mikrofone gab. Es wäre ein Irrtum anzunehmen, dass man durch die Verwendung solcher Vintage-Mikrofone die alte Musik oder gar die alten Zeiten wiederbeleben könnte.

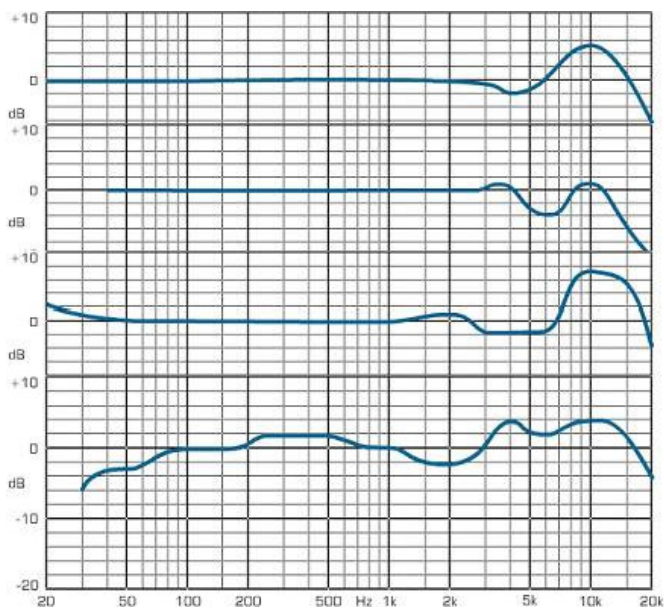


Abb. 2a: Frequenzgänge von Großmembranmikrofonen [3]

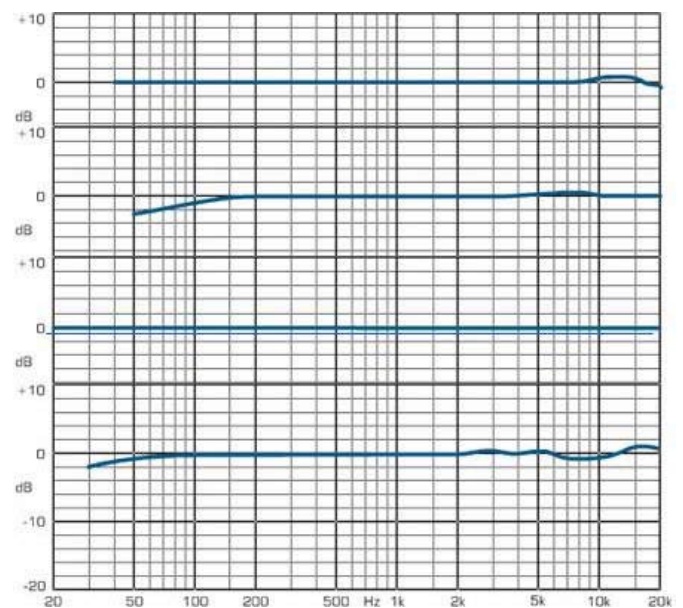


Abb. 2b: Frequenzgänge guter Kleinmembranmikrofone [3]

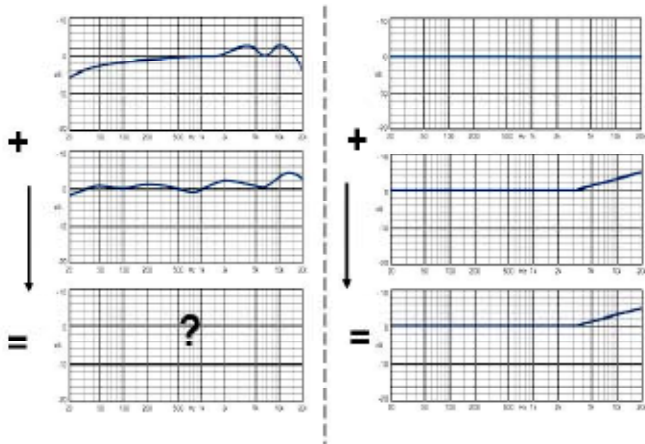


Abb. 3a: schlecht abschätzbare Addition

Abb. 3b: mühelose Addition

4. Eine elementare physikalische Grundlage

Tatsache ist, dass große Objekte im Schallfeld immer eine Störung darstellen, die man besser vermeiden sollte. Qualitativ hochwertige Kondensator-Mikrofone kann man heute schon sehr klein bauen. Bei Wandlerdurchmessern um 20 mm gibt es praktisch keine Nachteile mehr gegenüber größeren Systemen, aber man kann viel ausgeglichener und weiter reichende Frequenzgänge erhalten. Akustisch wünschenswerte, noch kleinere Durchmesser führen allerdings noch immer zu Störspannungsabständen, die den Forderungen der Studio-technik oft nicht genügen. Lautsprecher (die sendende Form von Wandlern) wird man höchstwahrscheinlich nie so klein bauen können, dass sie problemfrei übertragen. Der einzige Grund ist, dass sie im Gegensatz zu Mikrofonen Leistung produzieren müssen. Mikrofone brauchen dagegen selbst für die Aufnahme tiefster Frequenzen keine große Membran.

5. Die realen Mikrofone

Leider entspricht das Übertragungsverhalten realer Mikrofone auch bei bekannten kleinen Mikrofonen mit anerkannt neutralem Klang nicht 100-prozentig dem Idealfall.

Zu den wichtigsten Besonderheiten gehört, dass kein Druckgradientenempfänger, also alle Mikrofone mit ausgeprägter Richtwirkung, die tiefsten Frequenzen ohne Schwächung

übertragen kann. Das liegt ganz einfach daran, dass der Druckgradient selbst mit fallender Frequenz gegen Null geht. Nur im Nahfeld von Schallquellen kann man noch einen ausreichenden Membrantrieb für Druckgradientenempfänger finden, darauf beruht der Nahheitseffekt.

Im Gegensatz dazu übertragen elektrostatische Druckempfänger selbst tiefste Frequenzen ohne Abschwächung. Ihr Nachteil liegt bei hohen Frequenzen, weil Mikrofone mit gutem Störspannungsabstand bis zum heutigen Tag nicht so klein gebaut werden können, dass sie die Kugelcharakteristik beibehalten. Wegen ihrer Richtwirkung bei hohen Frequenzen benötigt man je nach Anwendung sowohl Freifeld- als auch Diffusfeld-Kugeln.

Aber auch kleine richtende Mikrofone behalten ihre Richtcharakteristik nicht im gesamten Übertragungsbereich konstant bei, am besten ist eine dahingehend gezüchtete Breite Niere.

Weitere Merkmale wie der Frequenzgang im diffusen Schallfeld und der des Bündlungsmaßes sowie eine Möglichkeit seiner Steuerung wurden im Tagungsbericht zur 23. Tonmeistertagung beschrieben /4/, auf den hier explizit hingewiesen wird, um nicht den gesamten Inhalt zu wiederholen.

6. Die Richtcharakteristik als Problemlöser

Bei der Diskussion von Frequenzgängen stellt die Tatsache, dass alle Wandler nicht durch nur einen einzigen Frequenzgang gekennzeichnet werden können, sondern eine räumliche Komponente hinzukommt, ihre größte Besonderheit gegenüber allen anderen Studiogeräten dar. Daraus resultiert eine gewisse Komplexität, zugleich aber auch der Vorteil, den direkten und den diffusen Schall bis zu einem bestimmten Maß trennen zu können. Der Sinn eines Richtmikrofons besteht nämlich nicht darin, einen anderen Klang zu realisieren, sondern unerwünschten Schall von erwünschtem zu trennen. Ohne diese Möglichkeit würden manche Toningenieure mit guten Gründen ausschließlich Kondensatormikrofone mit Kugelcharakteristik verwenden /5/.

7. Frequenzgänge in der Übertragungskette

Frequenzgänge werden oft sehr aufmerksam betrachtet. Wenn man Feinheiten betrachtet, hat fast jedes Übertragungselement kleine Schwächen im Frequenzgang. Verkäufer sprechen sich heute häufig dafür aus, das Impulsübertragungsverhalten zu beachten. Dem liegt ein wahrer Kern zugrunde, jedoch weiß jeder Nachrichtentechniker, dass die Zeitebene, in der Impulse dargestellt werden, in die Frequenzebene mit Amplitudengang und Phasengang überführt werden kann. Man erhält letztlich gleichwertige Aussagen. Für unerfahrene Betrachter bleibt die Zeitebene aber meist etwas „schleierhaft“. Ein Frequenzgang (genauer: Amplitudengang) ist leichter zu verstehen, auch wenn er bei umfassender Betrachtung immer durch einen möglichst linearen Phasengang ergänzt werden sollte. Die gute Reproduktion eines steilen Impulses ist z.B. immer gleichbedeutend mit einer guten Übertragung hoher Frequenzen.

Ein Kabel kann man sich als Aneinanderreihung unendlich vieler differentiell kleiner Leitungsstücke aus R, L und C-Elementen vorstellen, wie in Abb. 5 gezeigt /6/. Die Impedanzberechnung führt zum Wellenwiderstand. Er ist bei Audiofrequenzen meist ohne Bedeutung, weil seine Betrachtung erst sinnvoll ist, wenn die Kabellänge in die Größenordnung der Wellenlänge auf dem Kabel kommt. (ca. 2,5 km bei 20kHz). Erst bei den sehr hohen

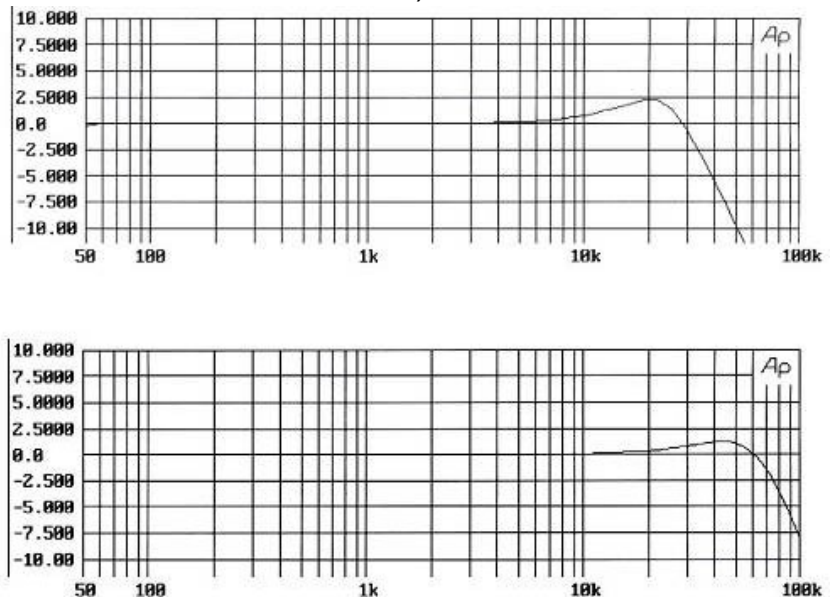


Abb. 4: Frequenzgangveränderung durch 200 m Kabel statt 1 m bei unterschiedlicher Mikrofonimpedanz oben: 200 Ohm unten: 35 Ohm (Überhöhungen durch induktive Komponenten der Ausgänge)

8. Das Mikrokabelfeld

Dem Mikrofon folgt das Kabel als erstes Element der Übertragungskette. Besonders in letzter Zeit wird Kabeln besondere Beachtung geschenkt. Zweifellos kann ein Kabel Einfluss auf den Frequenzgang haben. Wenn es z.B. eine große Kapazität hat, wird es bei hohem Quellwiderstand einen Höhenabfall bewirken. Wenn der Innenwiderstand der Quelle allerdings sehr niedrig ist, hat das Kabel praktisch keinen Effekt mehr (Abb. 4). Kabeln klangliche Merkmale zuzuordnen, ohne die Betriebsverhältnisse mit Quell- und Lastimpedanz zu fixieren, ist überaus unseriös. So werden „Des Kaisers neue Kleider“ verkauft, die verbale Beschreibung ist auch entsprechend nebulös.

Frequenzen der digitalen Signalübertragung muss man auf den Wellenwiderstand achten, weil hier leicht mehrere Wellenlängen aufs Kabel passen.

Wer sich nicht mit wissenschaftlichen Überlegungen befassen mag, sollte wenigstens vermeiden, dass er seiner Erwartungshaltung erliegt. Dazu lässt sich ein einfacher Versuch machen (Abb. 6): Wenn man einem

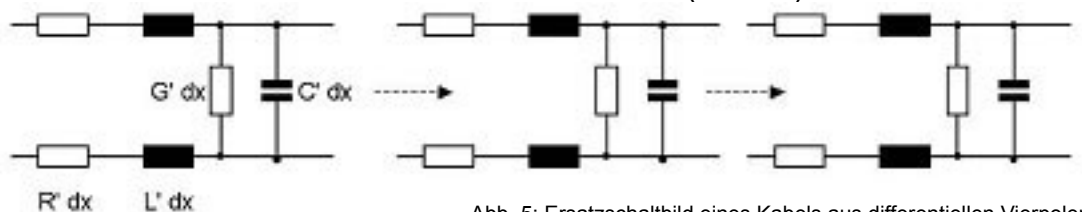


Abb. 5: Ersatzschaltbild eines Kabels aus differentiellen Vierpolen

Kabel einen besonderen Klang zuordnen will, sollte der Unterschied deutlich werden, wenn es während eines Hörerlebnisses im Signalweg liegt oder einfach überbrückt wird. Besonders Kabel, denen man weniger

gute Merkmale zuordnet, müssten durch den Bypass auffallen, weil ja dadurch der Klang plötzlich besser werden müsste. Tatsächlich hört man meist nur einen leisen Klick, der aber nichts verrät. Er tritt bei phantomgespeisten Mikrofonen auf, weil der Speisestrom über den Adern einen kleinen Spannungsabfall bewirkt, der vom Umschaltrelais nie beidseitig exakt zeitgleich erfolgt. Natürlich könnte man diesen Versuch auch mit mehreren in Serie liegenden Kabeln veranstalten, die wahlweise aktiv sind oder überbrückt werden.

Bei diesem besonders einfachen Versuch liegt das Kabel immer als Last an. Man kann es aber im kurzgeschlossenen Modus zur Kontrolle abschließen. Ein aufwendigerer Wechselschalter führt leicht zu lautem Knacken.

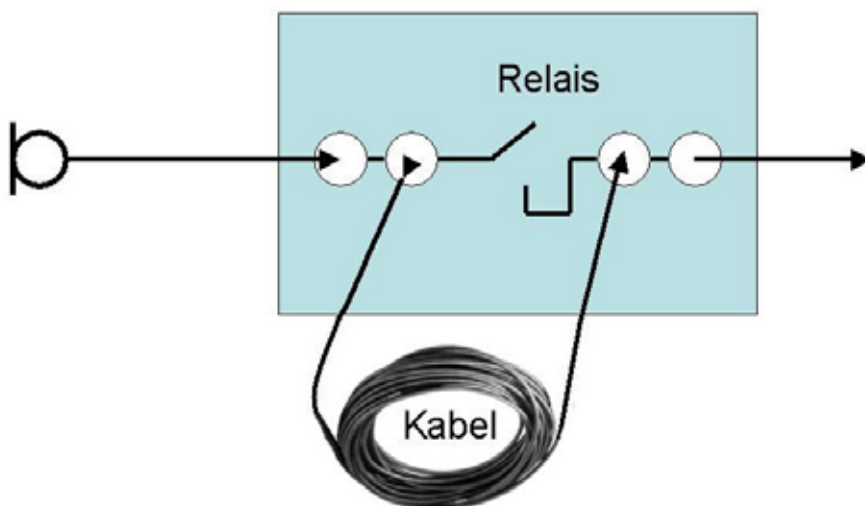


Abb. 6: einfacher Test, welchen Einfluss ein Kabel hat

9. Der Mikrofoneingang

Der Eingang des Mikrofonverstärkers stellt für das Mikrofon eine Last dar. Nach Norm (DIN EN 60268-4) soll der Lastwiderstand mindestens fünfmal so groß sein wie der Innenwiderstand des Mikrofons. Da viele professionelle Mikrofone Ausgangswiderstände von 200 Ohm haben, sind also Eingangsimpedanzen von weniger als 1 kOhm schlecht. Dies gilt für alle Mikrofonarten und für Kondensatormikrofone im Besonderen, weil deren maximal verzerrungsfrei abgebbare Ausgangsspannung und damit ihr Grenzschalldruck mit zu hoher Last (=kleinem Eingangs-Widerstand) abnimmt.

Generell hat eine zu niedrige Lastimpedanz den Effekt eines unkontrollierten Frequenzgangs. Impedanzen können die Komponenten Widerstand, Kapazität und Induktivität enthalten. Alles kommt in der Praxis vor, sowohl auf der Seite der Quelle (Mikrofon) wie auch lastseitig (Eingang). Beide zusammen stellen daher einen Spannungsteiler dar (Abb. 7), der bei gleicher Quell- und Lastimpedanz 6 dB Dämpfung bewirken würde. Bei unterschiedlicher Art der Impedanzen wird die Spannungsteilung jedoch frequenzabhängig und man bewirkt eine Klangveränderung, deren Merkmale jedoch rein zufällig sind. Der Anwender weiß dann nicht was ihn erwartet.

Hersteller, die damit werben, dass die Eingangsimpedanz ihres Mikrofonverstärkers einstellbar ist, offenbaren damit lediglich, dass sie sich nicht um die für Mikrofone verbindlichen Normen kümmern. Oft darf dann befürchtet werden, dass die Phantomspeisung auch nicht der Norm entspricht und Probleme bereitet [7].

10. Ein Kondensatormikrofon an mehreren Eingängen parallel betreiben?

Eine weitere problematische Anwendung entstand in der Praxis und wurde aus der Not geboren, ein Set von Mikrofonen an zwei oder noch mehr Mischpulte anschließen zu müssen. Aktive Splitter sind die einzige saubere Lösung, aber ganz ohne Probleme sind sie auch nicht. Bei digitalen Signalen tut man sich diesbezüglich sehr viel leichter.

Wenn man analoge Eingänge passiv parallel schaltet, muss man daran denken, dass auch bei Verwendung guter Übertrager die Lastimpedanz für die Mikrofone kleiner wird und damit Konsequenzen verbunden sind wie ein kleinerer Headroom der Kondensatormikrofone (reduzierter Grenzschalldruck) und eventuell veränderte Frequenzgänge. Abwärts transformierende Übertrager können helfen [8], aber bei den kleineren Signalen an ihren

Ausgängen kommt es natürlich zu einer größeren Gefahr durch Störungen.

11. Die kreative Gestaltung von Klang mit dem Equalizer

Auch unverfärbter Klang existiert nicht in nur einer einzigen unabänderlichen Form. Er hat meist eine eigene Note. Mit guten Equalizern

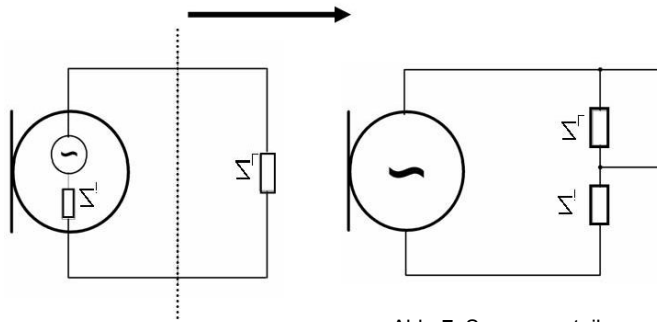


Abb. 7: Spannungsteiler aus:
 Z_i = Impedanz des Mikrofons
 Z_L = Impedanz des Eingangs

lässt sich das Klangbild eindeutig und reproduzierbar „würzen“. Obwohl namhafte Toningenieure sich oft hierfür aussprechen /9/ findet man auch immer wieder Ablehnung. Zum Teil liegt das an der Verwendung einfacher Equalizer, die tatsächlich nicht gut sind. Zur vorteilhaften Gestaltung von Equalizern lässt sich viel sagen, aber Vorurteilen ist schwer zu entgegnen

11.1. Gängige Argumente gegen Equalizer

11.1.1 Der Phasengang wird beeinflusst.

Eine ernsthafte Diskussion dieses Einwands offenbart bei einigen Anwendern einen Angstkomplex. Die Phase ist nicht leicht fassbar. Sie darf nicht konstant sein wie Frequenzgänge (Ausnahme: Sie ist Null), sondern muss linear mit der Frequenz variieren. Man sollte wissen was die Gruppenlaufzeit ist ($d\phi/d\omega$). Für eine bildgetreue, verzerrungsfreie Übertragung muss sie konstant sein /10/. Im deutschen Sprachgebrauch erscheint es aber manchmal so, als ob zwischen Phase und „faseln“ auch ein Zusammenhang besteht. Es ist beispielsweise ziemlich egal, ob die Höhenanhebung eines diffusfeldentzerrten Druckempfängers (Kugel) akustisch in der Kapsel oder elektrophonisch mit einem Equalizer vorgenommen wird. Beides sind minimalphasige Systeme und sie

bewirken gleiche Phasendrehungen bei vorgegebener Änderung des Frequenzgangs.

11.1.2 Equalizer ermöglichen nicht alle Klänge.

Das zweite Argument enthält mehr Wahrheit. Man kann Klangkorrekturen für Mikrofone nur in engen Grenzen mit einem Equalizer einstellen. Die bereits erwähnte Diffusfeldentzerrung von Mikrofonen mit Kugelcharakteristik ist ein Beispiel, bei dem dies funktioniert, sofern der Wandleraufbau und insbesondere sein Durchmesser gleich sind. Dagegen kann man klangliche Merkmale von Druckgradientenempfängern verschiedener Konstruktion nicht durch Equalizer aneinander angleichen. Die Ursache ist die Frequenzabhängigkeit der Polardiagramme. Sie wird fast nie beabsichtigt, weil sie eine Abhängigkeit des Frequenzgangs vom Schalleinfallswinkel bedeutet. In der Praxis ist sie aber die Hauptursache für die klanglichen Unterschiede von Mikrofonen, deren Frequenzgänge im Datenblatt fast gleich aussehen. Das einzige System, mit dem man das Polardiagramm gezielt frequenzabhängig einstellen und daher beliebige Mikrofonklänge simulieren kann, heißt „PolarFlex“ /10/11/12/. Es benötigt grundsätzlich zwei Wandler, deren Signalzusammenführung auf digitaler Ebene erfolgt.

12. Schlusskommentar

Es gibt viele elementare, seit langem gesicherte Erkenntnisse, die dem erfolgreichen Toningenieur selbstverständlich sind. Es ist dennoch sinnvoll von Zeit zu Zeit Grundlagen aufzufrischen, denn im Rahmen des herrschenden Zeitdrucks, des zurückgegangenen Ausbildungsangebots und der vielen ungelerten Anwender ist es schwer geworden, zu echten Verbesserungen der Audio-Technik zu kommen. Die zuvor angesprochenen Grundlagen lassen sich nicht zusammenfassen. Wenn sie verstanden sind und keine Esoterik das Denken vernebelt, kann die Tontechnik noch bemerkenswerte Fortschritte machen.

Literaturverzeichnis:

1. J. Watkinson, "Does humor belong in pro audio?", RESOLUTION – The Pro End-User Audio Production Magazine, April 2006, S. 62-63
2. J. Meyer, "Acoustics and Performance of Music", Bold Strummer Ltd., 1988
3. Ch. Woolf, "Microphone Data Book", Rycote Ltd. und Broadcast Engineering Systems Ltd. <http://microphone.data.com>
4. J. Wuttke, „Was ist ein gutes Mikrofon?“ Beitrag auf der 23. Tonmeistertagung, Leipzig 2004
5. O. Scholtze, (ex Philips Classical), in einem Round Table auf der AES Convention Amsterdam 1998
6. K. Steinbuch /W. Rupprecht, Nachrichtentechnik, „Übertragungswege, Leitungen“, S. 248-264, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1967
7. J. Wuttke, „Die 48 V-Phantomspeisung und ihre Geister“, Studio Magazin „Mikrofonspezial 1998, Aufsatz 13
8. J. Brown, http://www.audiosystemsgroup.com/Mic_Splitters.pdf
9. E. Sengpiel, <http://www.sengpielaudio.com/DasProblemDenKlang.pdf>
10. K. Küpfmüller, Theoretische Elektrotechnik, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1965, S. 450
11. <http://www.sengpielaudio.com/PolarFlex-Bedienungsanleitung.pdf>
12. J. Wuttke, „Wie universell kann ein Mikrofon sein?“, Vortrag gehalten auf der Tonmeistertagung 1996, Bildungswerk des Verbandes Deutscher Tonmeister
13. C. Langen, „Mikrofon mit frequenzabhängig einstellbarem Bündelungsmaß“, Bericht zur 20. Tonmeistertagung 1998, Bildungswerk des Verbandes Deutscher Tonmeister, Bericht S. 411ff, .K.G. Sauer Verlag, München 1999