

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 Fre-

quenzen zusätzlich auch noch stark vom Abstand zur Schallquelle ab. Dieser Abstands- bzw. Nahheitseffekt ist je nach Richtcharakteristik und Abstand unter etwa 2m derart ausgeprägt, dass die manchen Mikrofonen beigelegten Originalfrequenzschriebe bei tiefen Frequenzen aussagelos sind, sofern keine genaue Beschreibung der Messbedingungen beiliegt, und selbst in diesem Fall ist noch keine Vergleichbarkeit gewährleistet /1/. Einheitlich genormt ist der Messabstand nämlich nicht.

## Großmembranmikrofon und Tieftonwiedergabe

Bei Druckempfängern gibt es den Nahheitseffekt 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 Lautspre-

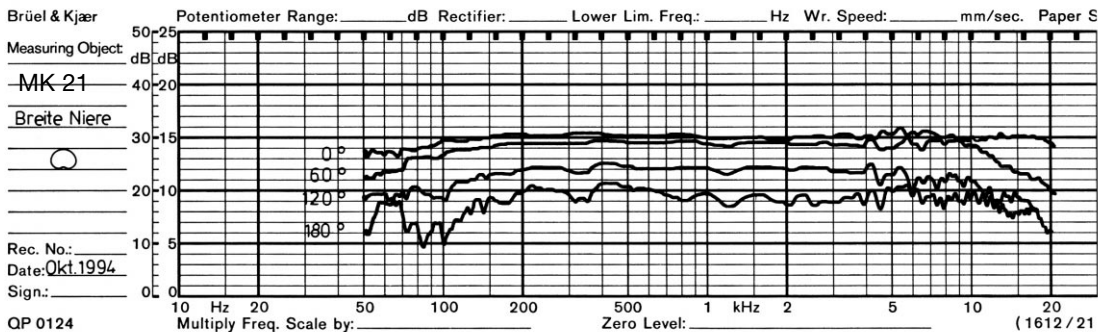


Abb. 1  
Bis 10kHz praktisch vom Schalleinfallswinkel unabhängiger Frequenzgangverlauf einer Breiten Niere

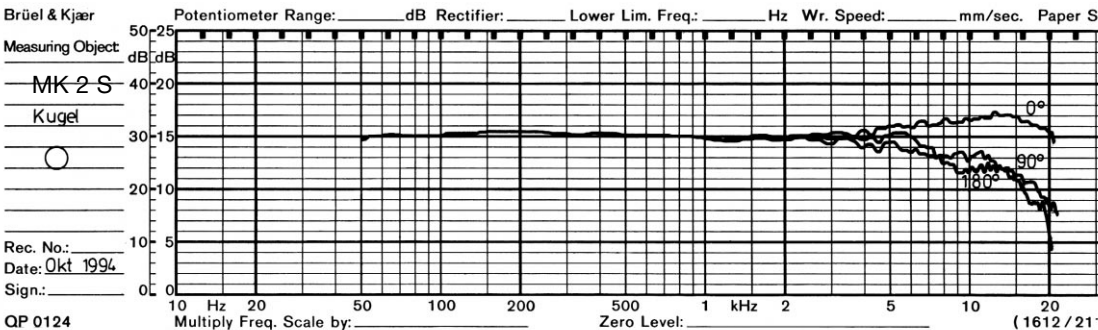


Abb. 2  
Oberhalb von 5kHz deutlich vom Schalleinfallswinkel abhängender Frequenzgang, wie für Druckempfänger typisch

cher 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. Hingegen stellt das Mikrofon nur eine Art Sensor dar.

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, 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 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 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.

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 geeigneter Ordinate (meist 50dB) dem erfahrenen Anwender bereits einen Eindruck vom Klangcharakter

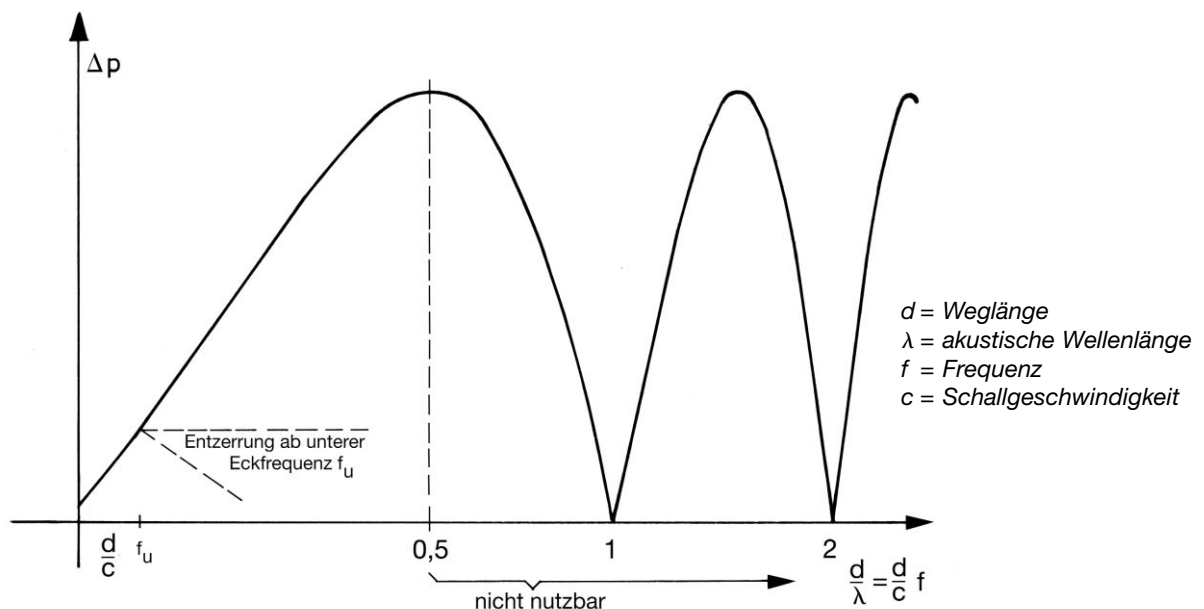


Abb. 3

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.

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:

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 Nutzschaupiegel im Verhältnis zu den Störungen sein muss, 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 Mikro-

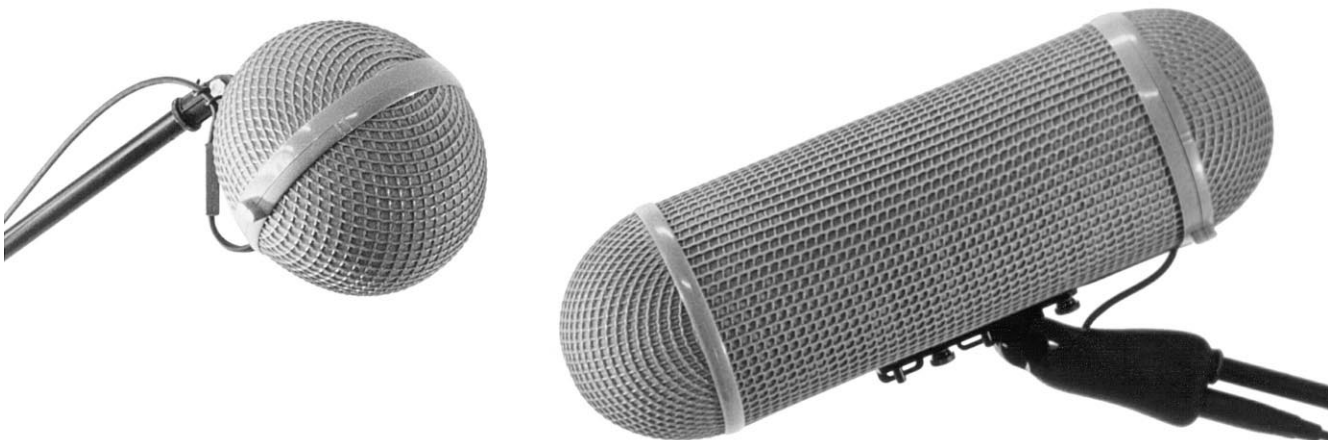


Abb. 4

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

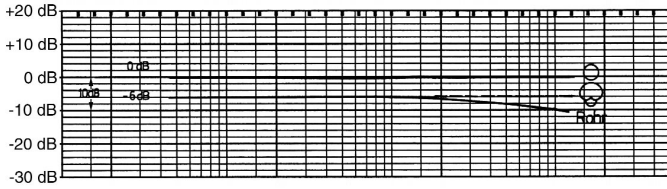


Abb. 5  
Erforderlicher Nutzschaall bei diffusem Störschall für  
gleiches Nutz-/Störverhältnis bei Kugel (Referenz),  
Hyperniere (-6dB), (Superniere -5,7dB) und ca. 15cm  
langem Interferenzrohr

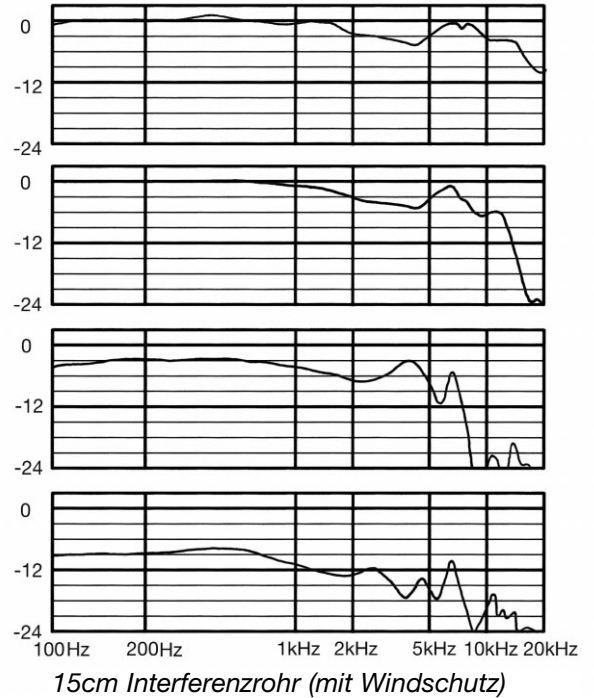
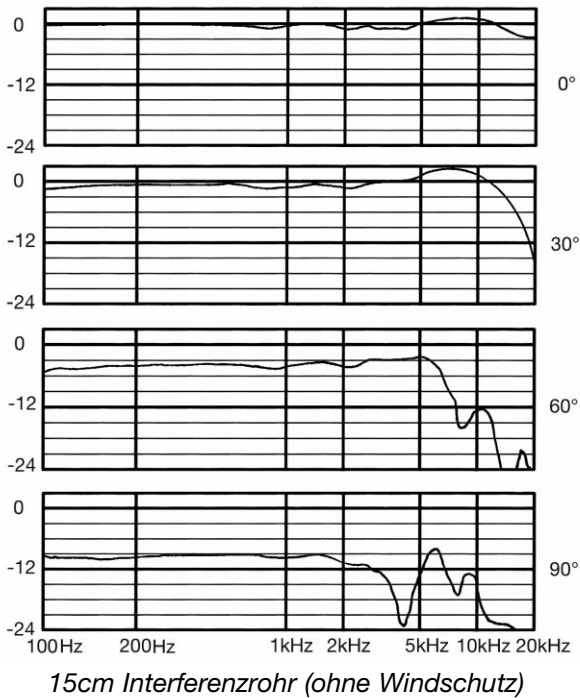
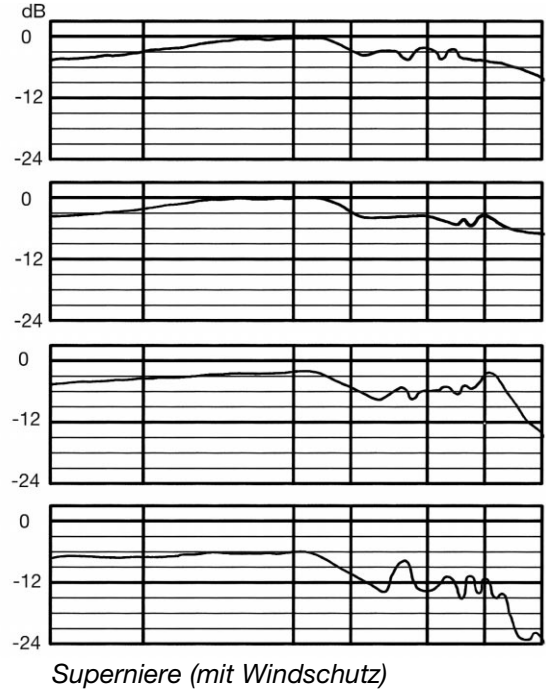
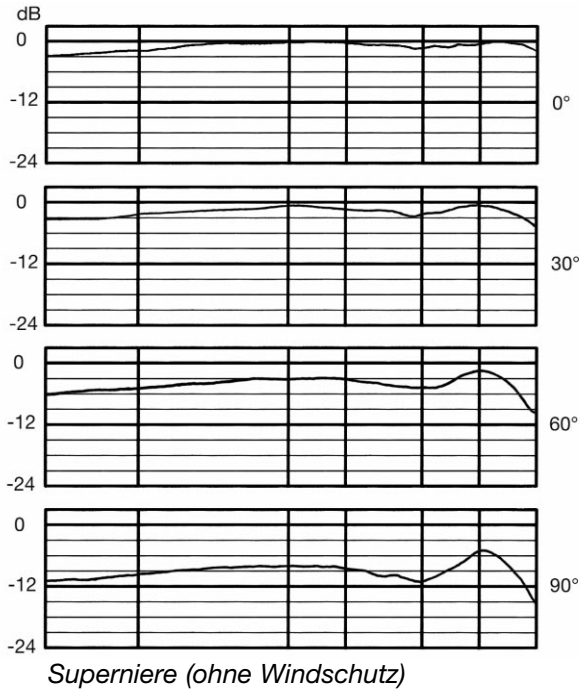


Abb. 6  
Frequenzgang bzw. Pegel von Superniere (oben) und  
ca. 15cm langem Interferenzrohr (unten) für verschie-  
dene Schalleinfallswinkel

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

fons 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 kann kaum große praktische Bedeutung haben, wenn man bedenkt, dass fast alle Störspektren zu hohen Frequenzen stark abfallen. Hingegen ist die ca. 6dB geringere Empfindlichkeit für diffus einfallenden Schall im Vergleich zu direktem, 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 Bau-

größe 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/.

## 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/.

## 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 bis 120dB 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 94dB-SPL. Hieraus erklären sich die bescheiden erscheinenden Störspannungsabstände in den Katalogen. Tatsächlich werden 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.

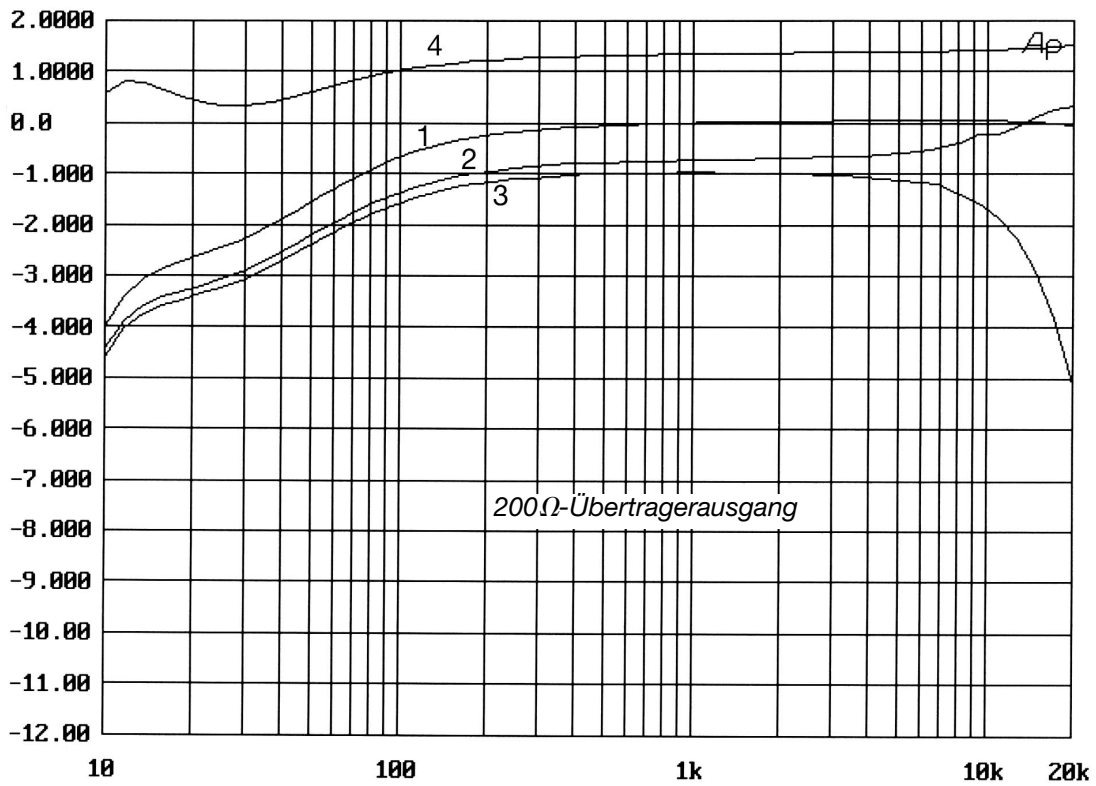
Wer dennoch Interesse an einer möglichst weit vorne in der Übertragungskette angesiedelten digitalen Elektronik hat, denkt sicher besonders an eine störungs- und verlustfreie Übertragung über große Distanzen.

Bei korrekter Anschlusstechnik sind moderne Kondensatormikrofone allerdings auch diesbezüglich bes-



Abb. 8  
Besonders kleines Kondensatormikrofon mit Supernierencharakteristik

Conventional Mike FR<sup>^</sup>CONU AMPL(dBr) vs FREQ(Hz) 31 AUG 94 08:13:00



Modern Transformerless Mike FR<sup>^</sup>-MTM AMPL(dBr) vs FREQ(Hz) 31 AUG 94 08:31:07

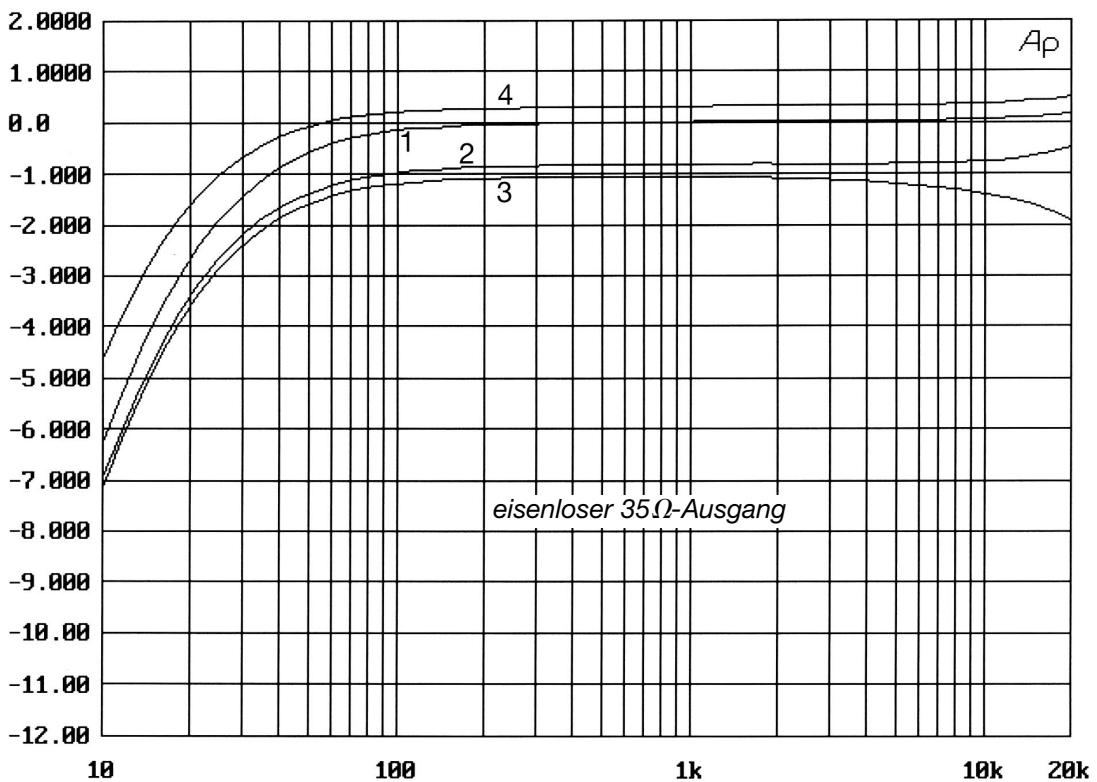


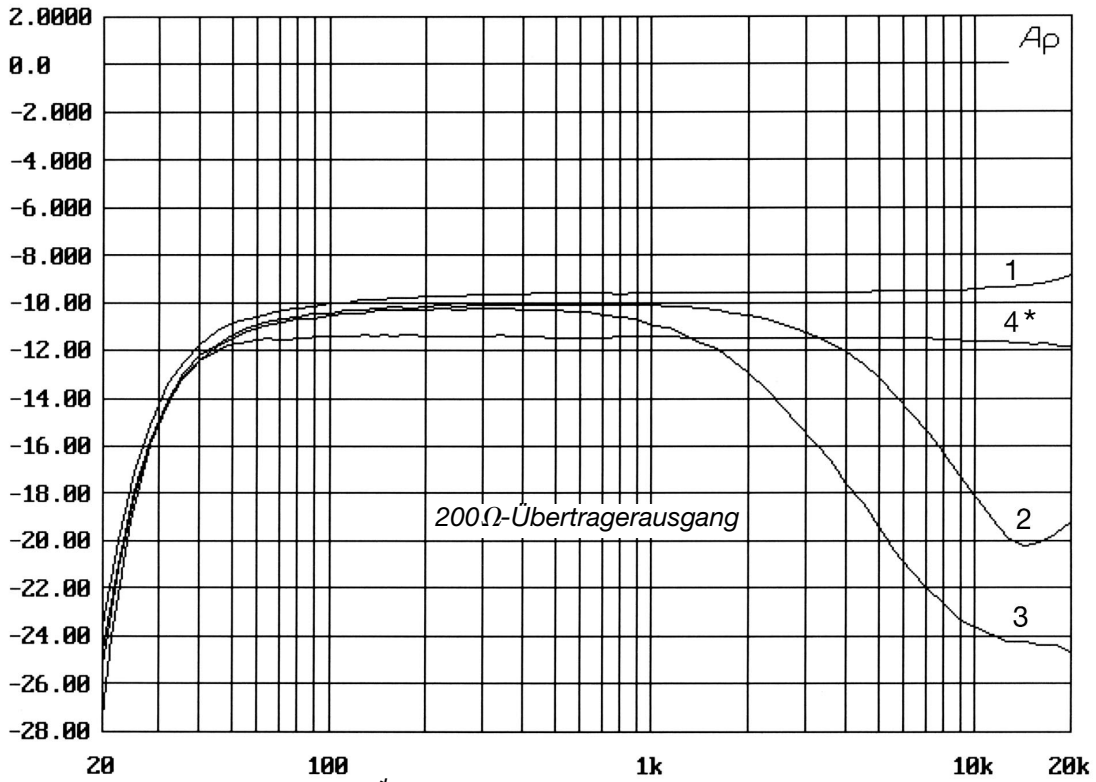
Abb. 9

Frequenzgänge des Verstärkers eines Kondensatormikrofons mit 200 $\Omega$ -Übertragerausgang (oben) und einer eisenlosen Ausführung mit 35 $\Omega$  Innenwiderstand (unten) an 1k $\Omega$  Last:

1. ohne Kabel, 2. mit 200m Kabel, 3. mit 400m Kabel; 4. im Leerlauf



Conventional Mike MOL^CONV LEVEL(dBV) vs FREQ(Hz) 31 AUG 94 08:24:58



Modern Transformerless Mike MOL^MTM LEVEL(dBV) vs FREQ(Hz) 31 AUG 94 08:39:54

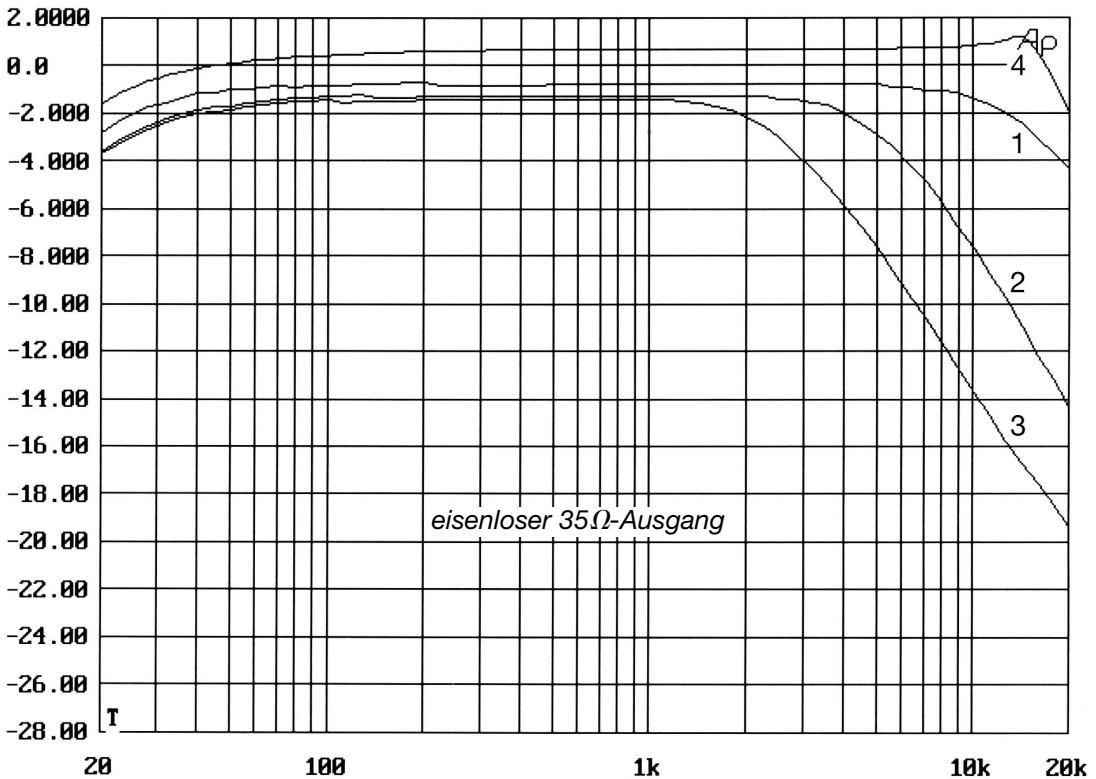


Abb. 10

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

ser, 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  $200\Omega$  Impedanz kann bei Verwendung von Kabeln mit hohem Kapazitätsbelag naturgemäß der Frequenzgang schon bei wenigen 100m inakzeptabel werden.

Mikrofone mit  $200\Omega$  Impedanz werden natürlich auch heute noch in großer Stückzahl gefertigt. Dieser Wert ist aus der Empfehlung zu erklären, dass die Impedanz  $200\Omega$  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 angeschlos-

senen Geräts (Mischpult) soll daher möglichst groß sein; der Wert von  $1k\Omega$  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  $15kHz$  z.B.  $130dB-SPL$  sein dürfte oder der Grenzschalldruck durch das lange Kabel auf  $110dB-SPL$  reduziert wird.

Generell vermindert ein kleiner Lastwiderstand die Aussteuerbarkeit aller Kondensatormikrofone. Der Abschluss mit  $200\Omega$  ist verwerflich, eine Parallelschaltung ist daher ebenfalls strikt abzulehnen. Sogar beim Betrieb von passiven Splittern, die den Anschluss eines Mikrofons an zwei Eingänge erlauben, ist Vorsicht geboten, wenn die Übertragungsqualität gewährleistet bleiben soll.

## 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 Mischpultther-

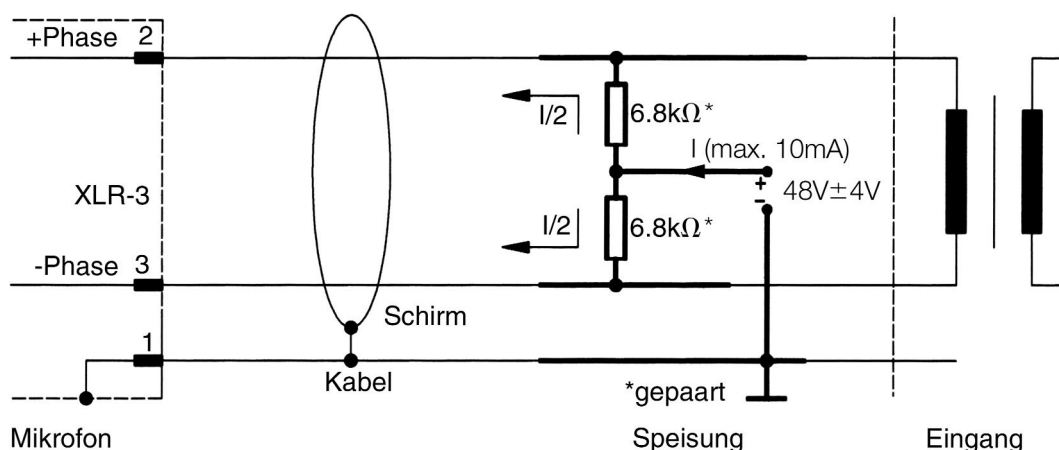


Abb. 11  
48V Phantomspeisung nach DIN EN 61938 Juli 97, (zuvor IEC 268-15 und DIN 45596),  
Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin





steller 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 48V-Phantomspeisung ist die Gleichheit der  $6,8k\Omega$ -Widerstände. Der Absolutwert 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 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  $-10\text{dB}$ -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.

### 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 Mikrofonen bei Wind und Pop, in: Bericht zur 14. Tonmeister-tagung 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