



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 Schaumstoffwindschutze, 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 steifflankige Tiefenabsenkung am Mikrofon vermeidet ein "Zustopfen" der folgenden Stufen. Auf Druckempfängern sind Schaumstoffwindschutze am wirksamsten, auf Druckgradientenempfängern indessen die Windschutzkörbe.

Unter Zugrundelegung dieser Erkenntnisse wurde später eine neue Art von Schaumstoffwindschutzen entwickelt, die innen hohl sind. Solche Windschutze 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 Schalleintritten 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 tief-frequente 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 Dienste geleistet. Abb. 1 zeigt diese Maschine.

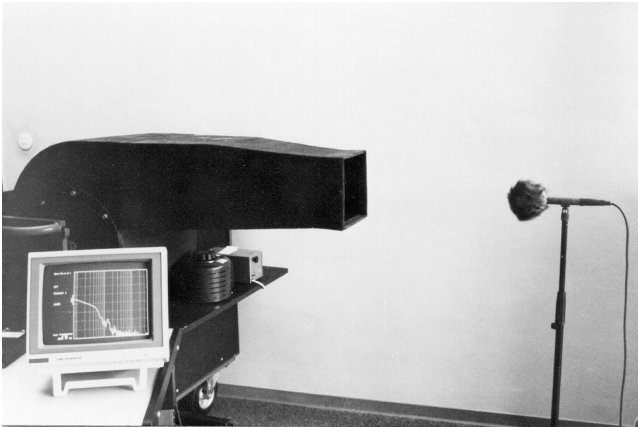


Abb 1
Messaufbau mit Windmaschine

Das typische Störpektrum 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.

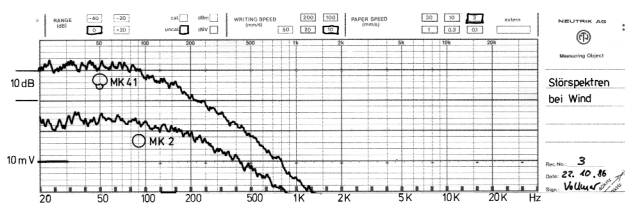


Abb. 2
Typische Störpektren bei Wind (Originaldiagramm)

4. Eingangverstärker

Lange Messreihen haben gezeigt, dass die Störpektren 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 dynamischen 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 Eingangübertrager. 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.

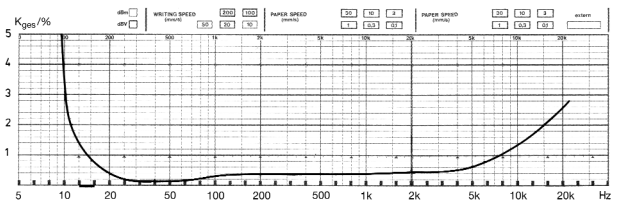


Abb. 3
Klirrfaktorverlauf eines Mikrofoneingangs mit kleinem Übertrager bei 300mV Eingangsspannung (Originaldiagramm)

Da viele Mikrofone sogar im Infraschallbereich noch zu erheblichen Störpegeln durch Wind angeregt werden, kommt es schließlich dazu, dass der Eingangübertrager 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 Eingangübertrager 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 Kondensatormikrofons eingefügt werden kann. Gegen die Übersteuerung von Übertragern hilft besonders der starke Abfall von 24dB/Okt. unterhalb 60Hz.

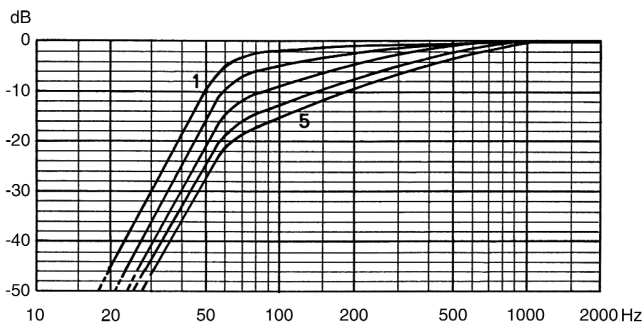


Abb. 4
Frequenzgänge des Filters CUT 1

5. Windschutztypen

Schließlich spielt aber der Windschutz eine bedeu-

tende 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-Windschutzte, die am weitesten verbreitet sind.

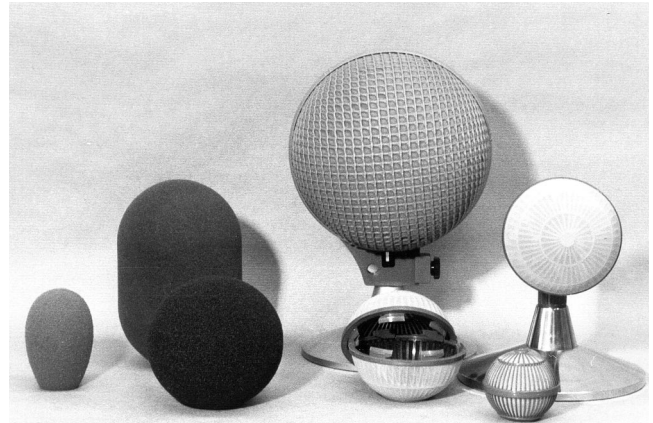


Abb. 5
Windschutzte: links Vollschaumstoffmodelle, rechts Körbe

Hohle Schaumstoffwindschutzte 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 Schalleinlässen 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 Windschutzte 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 Über-

tragungseigenschaften 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 Wechseldruck 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 Schwin-

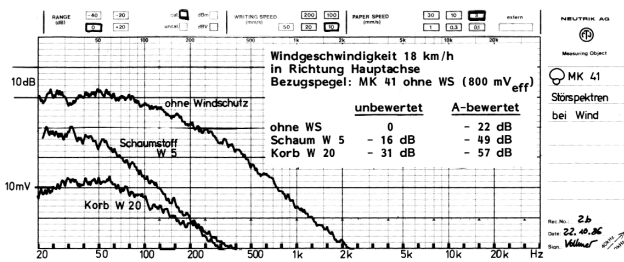


Abb. 6a
Wirkung verschiedenartiger Windschutze auf das Mikrofon CMC 541U (Superniere)

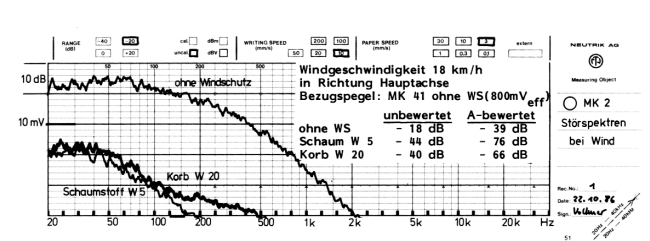


Abb. 7a
Wirkung verschiedenartiger Windschutze auf das Mikrofon CMC 52U (Kugel)

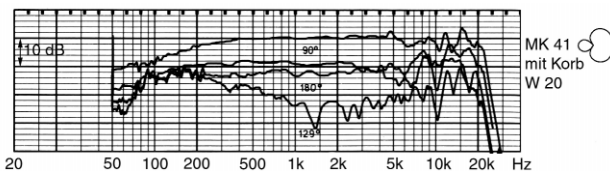
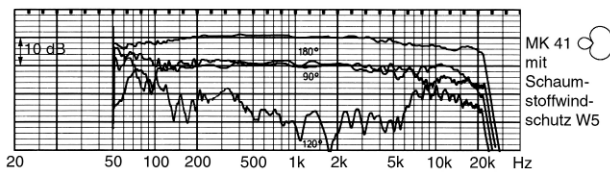
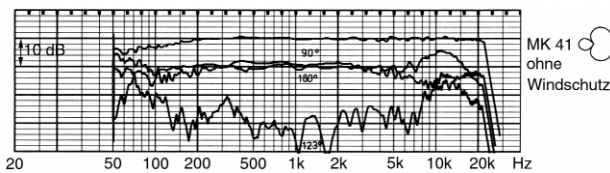


Abb. 6b
Akustischer Einfluss verschiedenartiger Windschutze auf ein Mikrofon mit Supernierencharakteristik (CMC 541U)
Oben: ohne Windschutz
Mitte: mit Schaumstoffwindschutz W 5
unten: mit Korb W 20

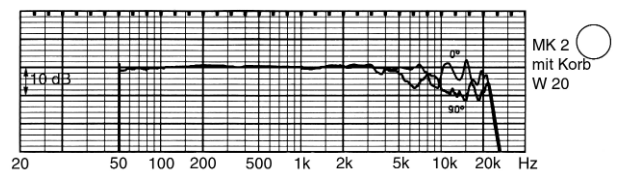
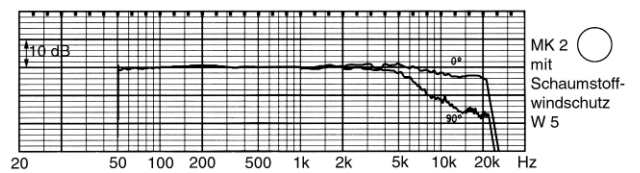
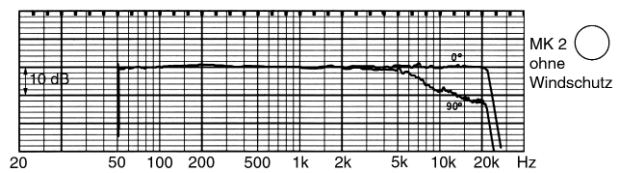


Abb. 7b
Akustischer Einfluss verschiedenartiger Windschutze auf ein Mikrofon mit Kugelcharakteristik (CMC 52U)
Oben: ohne Windschutz
Mitte: mit Schaumstoffwindschutz W 5
unten: mit Korb W 20

gungsmodi, 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 Luftpfeifen 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 Windschutzen erwähnt werden.

Bei allen Windschutzen 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: B 5 D und W 5 D) 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 die-

sen 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, darf auf dem Mikrofon kein Schaumstoffwindschutz Verwendung finden. Er verschlechtert das Ergebnis, 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 Windschutzen 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.



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

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.

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 Fernseh-techn. 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