

DML – Distributed Mode Loudspeaker

Ein neuer Schallwandler, akustische Eigenschaften und die Konsequenzen für den praktischen Einsatz

Charalampos Ferekidis

New Transducers Ltd
Huntingdon PE18 6ED England
Tel: +44-1480-451777, Fax: +44-1480-437177
E-Mail: l.ferekidis@nxt.co.uk

Abstract

DMLs (Distributed Mode Loudspeaker) bezeichnen eine neue Klasse von Schallwandlern, die sich von herkömmlichen dynamischen Lautsprechern sowohl in der Art der Schallerzeugung als auch in dem Form des erzeugten Schallfeldes unterscheiden. Die grundlegenden Eigenschaften von DMLs werden anhand von Messungen erläutert und die daraus sich ergebenden Konsequenzen für den praktischen Einsatz diskutiert.

1 Einleitung

Distributed Mode Loudspeaker, auch kurz **DML** genannt, stellen eine neue Klasse von Schallwandlern dar, weil der Mechanismus zur Schallabstrahlung gerade nicht auf einer kolbenförmigen Bewegung der Membran basiert. Im Gegenteil, ein flaches Panel wird derart in Vibration versetzt, daß möglichst viele seiner Eigenmoden angeregt werden. Diese einzigartige Technik der Schallerzeugung und Schallabstrahlung ist verantwortlich für die akustischen Eigenschaften von DMLs. Sie lassen diese für verschiedene Anwendungen auf dem Beschallungssektor interessant erscheinen. Die Intention dieses Berichts ist es daher, die

akustischen Eigenschaften von DMLs anhand von Messungen zu verifizieren. Darüber hinaus sollen Experimente zeigen, welche praktischen Konsequenzen durch den Einsatz von DMLs zu erwarten sind.

Um DMLs hinsichtlich ihrer akustischen Eigenschaften zu charakterisieren werden konventionellen Meßgrößen analysiert, wie z.B. Empfindlichkeit, Impulsantwort, Verzerrungen, und Abstrahlcharakteristik. Darüberhinaus wird auch der Schalldruckpegel als Funktion des Abstandes von der Quelle untersucht.

Als Basis für die Untersuchung dienen Forschungsergebnisse, die bei NXT, Huntingdon England, im Rahmen von Studien gewonnen wurden.

2 Distributed Mode Loudspeaker (DML)

Ein DML-Panel besteht aus einer dünnen (0.2 - 6 mm), ebenen Platte, welche idealerweise eine hohe Steifigkeit und ein geringes Gewicht aufweist. Die Anregung erfolgt über sogenannte Exciter (siehe Bild 1), die die gesamte innere Struktur des Panels zu Biegeschwingungen anregen. Ein korrekt entworfenes DML-Panel zeigt ein Modenverhalten derart, daß die angeregten Moden gleichmäßig im Frequenzbereich verteilt sind. Eine hohe Modendichte erzeugt eine stark unterschiedliches Geschwindigkeitsprofil im Panel, wodurch ein räumlich gleichmäßig verteiltes Abstrahlverhalten bewirkt wird (siehe auch Bild 2).

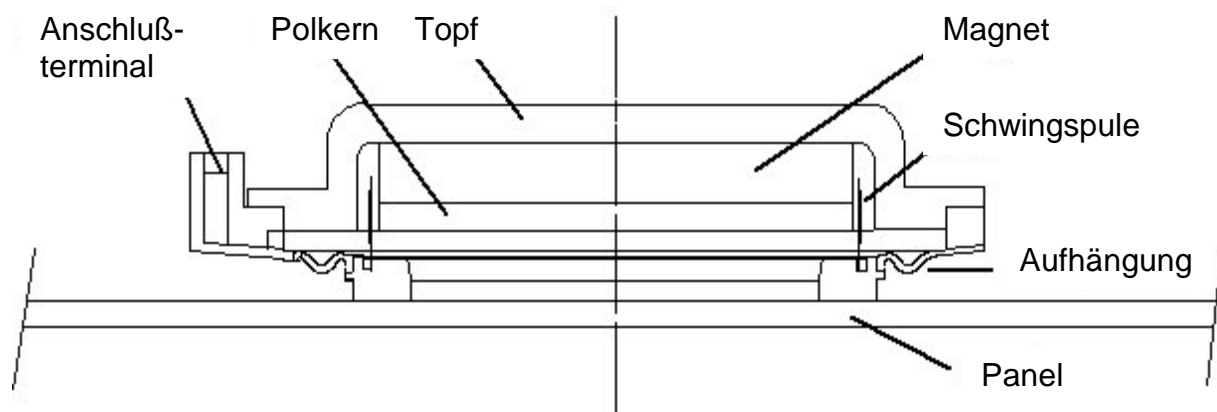


Bild 1. Querschnitt eines typischen Moving-Coil Exciters

Mit anderen Worten, jede mikroskopisch kleine Region des Panels scheint vollständig unabhängig von benachbarten Regionen zu schwingen - ganz im Gegensatz zu der wohlgeordneten und gleichförmigen Bewegung eines Kolbenstahlers. Harris and Hawksford¹ haben gezeigt, daß eine Platte, die eine solche Schwingungscharakteristik aufweist, einen breitbandigen akustischen Strahler darstellt. Wie noch erläutert wird stellt dieses anderartige Schwingungsverhalten die grundlegende Ursache für die akustischen Eigenschaften eines DML-Panels dar.

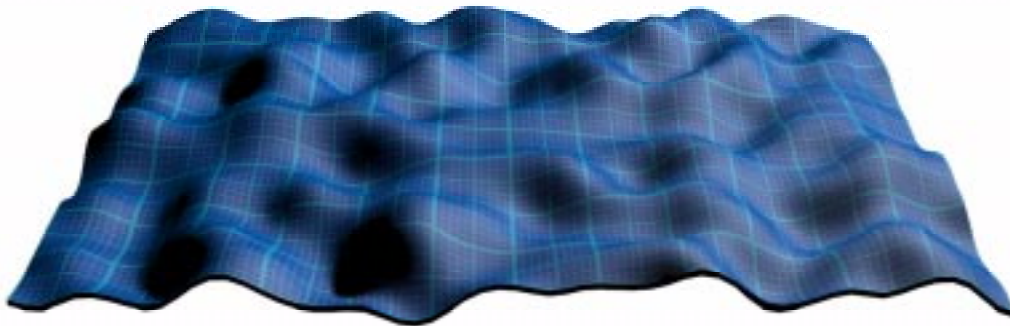


Bild 2. Quasi-zufälliges Schwingungsmuster eines Distributed-Mode-Loudspeaker.

3 Meßergebnisse

Standardmessungen stellen eine Möglichkeit dar, die akustische Eigenschaften neuartiger Schallwandler zu beschreiben. Anhand dieser kann verifiziert werden, ob und in wie weit, sich DMLs von herkömmlichen Kolbenstrahlern unterscheiden. Im folgende Abschnitt werden daher Meßergebnisse vorgestellt, die bei NXT in Huntingdon im reflektionsarmen Umfeld ermittelt wurden.

¹ Harris N. and Hawksford M. O., “**The Distributed-Mode Loudspeaker (DML) as a Broad-band Acoustic Radiator**”, *Preprint 4526, 103rd AES Convention*, New York, September 1997

3.1 Impulsantwort

Wie oben beschrieben basiert der Mechanismus zur Schallabstrahlung eines DML-Panels auf der Anregung möglichst vieler Eigenmoden im Panel. Es liegt die Vermutung nahe, daß die Ausschwingvorgänge der Resonanzen die Form der Impulsantwort deutlich beeinflussen. Tatsächlich ist dies der Fall, wie in Bild 3 zu erkennen ist. Die dargestellte Impulsantwort, ist mit einer Länge von ca. 10 ms, typisch für ein DML-Panel. Man erkennt zu Beginn einen sehr steilen Anstieg dem ein deutlich erkennbarer Ausschwingvorgang folgt.

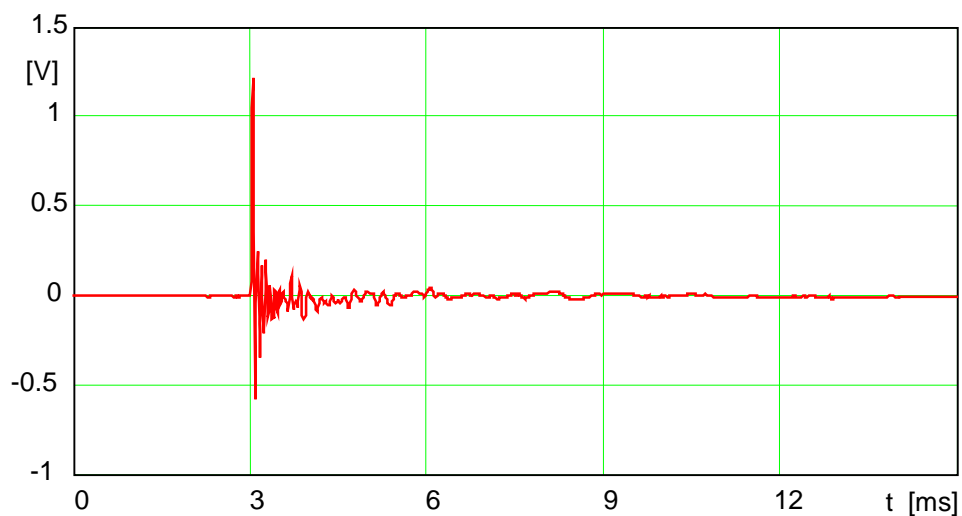


Bild 3. Typische Impulsantwort eines DM Panels

Membranresonanzen, wie sie für konventionelle Lautsprecher, als exponentiell abklingende Sinusschwingungen bekannten sind, sind dagegen nicht zu erkennen. Die Erfahrung zeigt, daß der langanhaltende Ausschwingvorgang keine negativen Auswirkungen auf die subjektiven akustischen Eigenschaften von DMLs hat. Im Gegenteil, diese werden von vielen als transparent und klar geschildert. Die charakteristische Impulsantwort, erzeugt durch die Dispersion der Biegewelle, steht verträglich demzufolge mit unseren Hörgewohnheiten.

3.2 Frequenzgang

Der Frequenzgang eines typischen DM Panels ist in Bild 4 dargestellt. Im Bereich tiefer Frequenzen sind die Fundamentalresonanzen des DM Panels deutlich zu erkennen. Die Welligkeit des Frequenzgangs bleibt aber trotzdem ausgesprochen gering, da die Modendichte

zu höheren Frequenzen schnell zu nimmt. Die Erklärung hierfür liegt in der Dispersivität der Biegewellen. Das bedeutet, die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Biegewellen ist abhängig von der Frequenz. Als Folge der Dispersivität erhöht sich die Modendichte im Panel mit zunehmender Frequenzen rasch, so daß bereits beim Doppelten der fundamentalen Biegeschwingung die Modendichte ausreichend hoch ist um einen ausgeglichenen Frequenzgang zu gewährleisten.

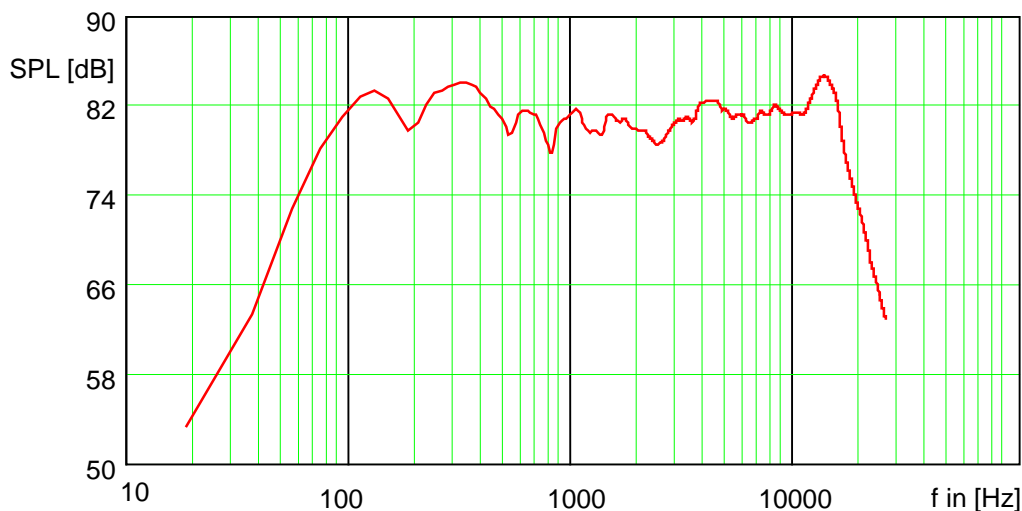


Bild 4. Frequenzgang eines DM Panels

Nichtstdestotrotz, um eine für HiFi-Applikationen ausreichende Breitbandigkeit gewährleisten zu können, muß ein DM Panel mit einem herkömmlichen dynamischen Tieftonlautsprecher kombiniert werden, der die untersten zwei oder drei Oktaven abstrahlt. Die Trennfrequenz liegt dann, je nach Panelabmessungen, zwischen 200 und 400 Hz und damit immer noch außerhalb des Bereichs, in dem das menschliche Gehör besonders empfindlich ist. Gegenüber herkömmlichen Zwei- bzw. Mehrwegesystemen ist dies ein Vorteil. Bei diesen ist in der Regel eine Trennfrequenz innerhalb des kritischen Bereichs von 1.5 - 4 kHz unvermeidbar.

Die axiale Empfindlichkeit eines DML-Panels hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z.B. dem verwendeten Membranmaterial und der Art und Anzahl der verwendeten Exciter. Als Anhaltspunkt sei eine typische Empfindlichkeit von 87 - 89 dB für ein 58cm x 66cm messendes Panel genannt, welches von zwei Excitern angeregt wird.

3.3 Verzerrungen

Man sollte gemeinhin vermuten, daß ein Wandler dessen Schallabstrahlung auf der Anregung von Eigenmoden beruht, in nicht geringem Maße Verzerrungen produziert. Dieser Vermutung liegt die Annahme zugrunde, die Frequenzen der Eigenmoden seien identisch mit denen der abgestrahlten Schallwellen. Die Erklärung² dafür, daß dieses in der Tat nicht so ist, sprengt den Rahmen dieser Abhandlung, weshalb darauf verzichtet werden muß.

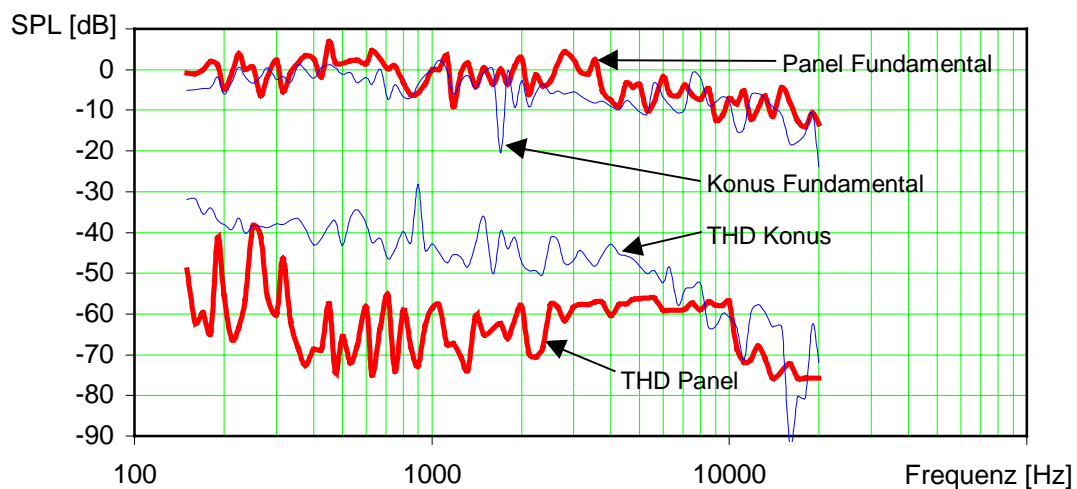


Bild 5. 10cm Konuslautsprecher und 0.36m² DML-Panel.

In Bild 5 sind sowohl das Verzerrungsspektrum eines konventionellen 10cm-Konuslautsprechers als auch das Verzerrungsspektrum eines DML-Panels dargestellt. Es ist bemerkenswert, daß die Verzerrungswerte des DML-Panels teilweise deutlich unter denen des Konuslautsprechers liegen. Die Gründe hierfür liegen zum einen in den verschwindend geringen Auslenkungen des Panels selbst, zum anderen in den ebenfalls geringen Auslenkungen der Exciterschwingpule. Erstere stellen sicher, daß die Rückstellkräfte des Panelmaterials immer im linearen Bereich liegen, letztere sorgt dafür, daß die Schwingspule den linearen Bereich des Magnetfelds nicht verläßt.

² Colloms M., Panzer J., Gontcharov V. and Taylor V., “**Distortion Mechanisms of Distributed Mode (DM) Panel Loudspeakers**”, *Preprint 4757, 104th Convention*, Amsterdam, May 1998

3.4 Abstrahlcharakteristik

Konventionelle dynamische Lautsprecher verhalten sich prinzipiell wie Kolbenstrahler, daß heißt, Schallanteile, die von benachbarten Regionen der Membran abgestrahlt werden, interagieren nach regelmäßigen geometrischen Gesetzmäßigkeiten. Die Überlagerung verschiedener Schallanteile in einem Punkt p_1 (Bild 6 rechts) wird dominiert von den geometrisch bedingten Laufzeitunterschieden zwischen diesen. Bei einem DML-Panel, wird dagegen die geometriebedingte Regelmäßigkeit in der Überlagerung, durch das stark, über die Membran variierende Geschwindigkeitsprofil, aufgebrochen.

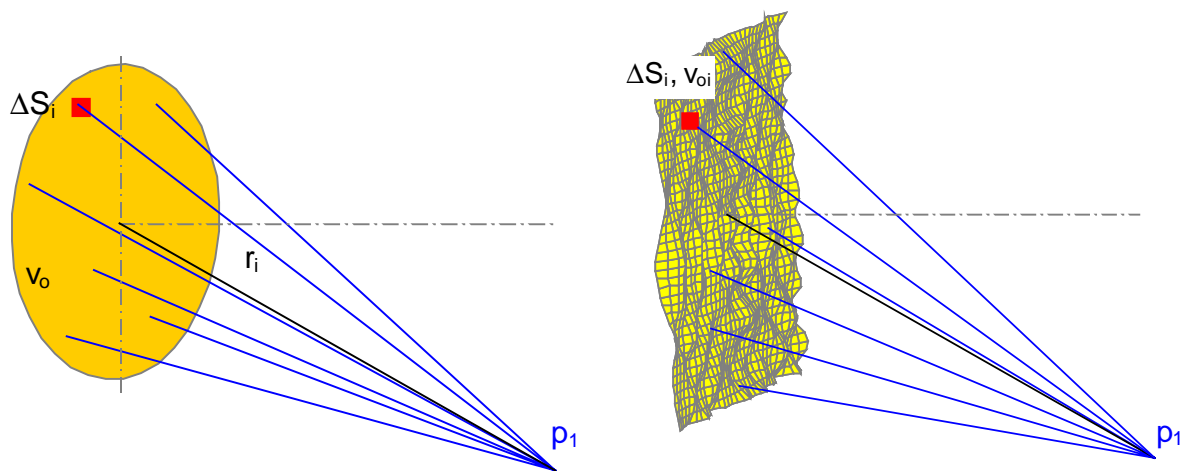


Bild 6. Geschwindigkeitsverteilung auf einer kolbenförmig schwingende Membran (links) und einem DML-Panel (rechts).

In Bild 7 sind die Richtdiagramme für ein 48cm x 54cm messendes DML-Panel (links) sowie für einen dynamischen 10cm Breitband Lautsprecher (rechts) dargestellt. Man erkennt, daß der Konuslautsprecher tiefe Frequenzen ($ka \ll 1$, $f = 600$ Hz) dipolartig abstrahlt, jedoch hohe Frequenzen ($ka \gg 1$, 11 kHz) stark in Richtung der 0° -Achse bündelt. Das Richtdiagramm des DML-Panels (Bild 7 links) zeigt ebenfalls eine dipolare Abstrahlcharakteristik. Die Form des Richtdiagramms variiert zwar mit zunehmender Frequenz, jedoch beträgt der Abstrahlwinkel selbst bei hohen Frequenzen mehr als 120 Grad. Hier zieht sich die diffuse Natur des von einem DML-Panel erzeugten Schallfeldes.

Darüber hinaus verläuft der Betrag der abgestrahlten Leistung nahezu konstant über die Frequenz. Ein DML-Panel vermag daher bei hohen Frequenzen ein Mehrfaches der Leistung abzustrahlen als ein irgend ein herkömmlicher Kolbenstrahler.

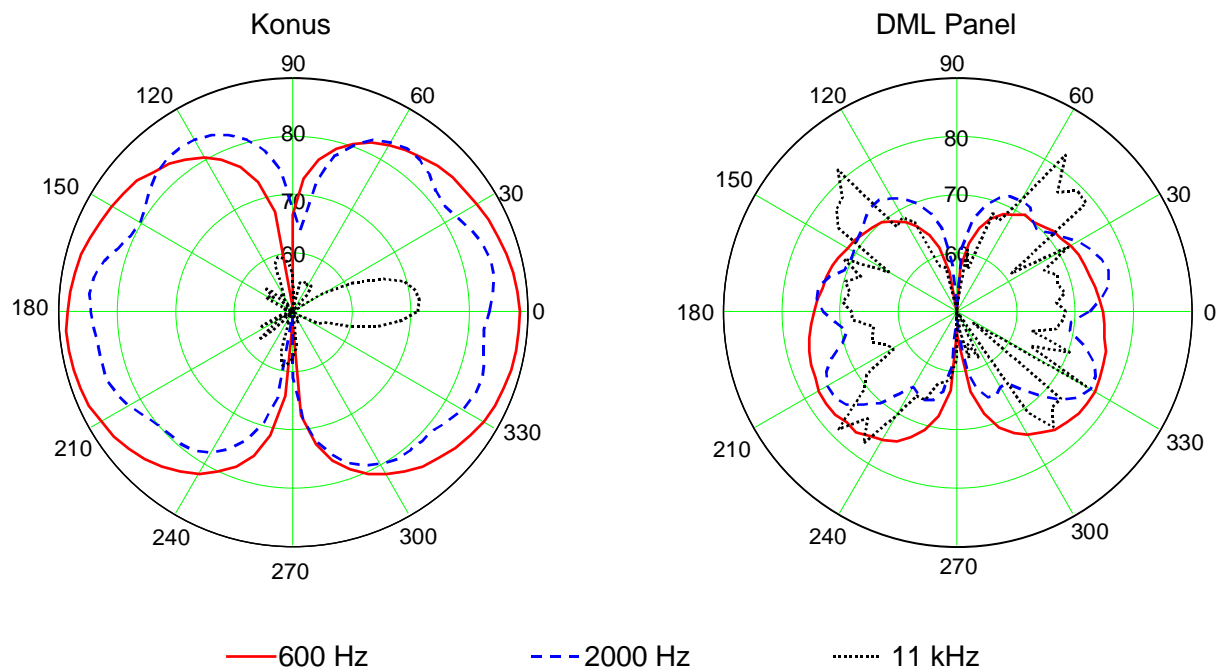


Bild 7. Abstrahlcharakteristik eines konventionelle 10cm Konuslautsprechers und eines DML-Panels (Abmessungen: 48cm x 54cm).

Ein weitere bemerkenswerte Eigenschaft von DML-Panels ist die vollständige Skalierbarkeit der Abstrahlcharakteristik, daß heißt, große als auch kleine DM Panels erzeugen sehr ähnlich Richtdiagramme³.

³ Bank G., „**The Intrinsic Scalability of the Distributed Mode Loudspeaker (DML)**“, *Preprint 4742, 104rd AES Convention*, Amsterdam, May 1998

3.5 Schallpegel als Funktion der Distanz

Aus der Literatur ist bekannt, daß für tiefe Frequenzen, d.h. $ka \ll 1$, der Schall von einer Kolbenmembran ungerichtet abgestrahlt wird. Für den Schalldruckpegel bedeutet dies eine Abnahme um 6dB pro Entfernungsverdopplung. Anders ausgedrückt, der Schalldruckpegel nimmt proportional zum inversen des Abstandes r ab ($L \sim 1/r$).

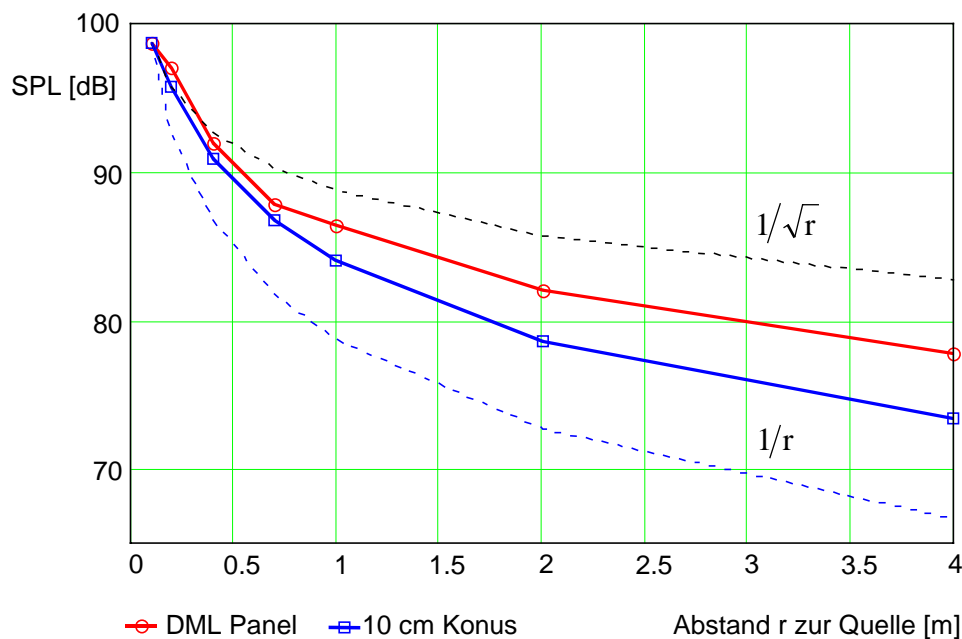


Bild 8. SPL als Funktion der Distance zur Quelle

In Bild 8 ist die Abnahme des Schalldruckpegels für ein DM Panel sowie einen konventionellen Konuslautsprecher als Funktion des Abstandes r dargestellt. Man erkennt, daß beim DML-Panel der Schalldruck mit zunehmendem Abstand in geringerem Maße abnimmt, als dies für den Kolbenstrahler der Fall ist. Grund hierfür ist die, gegenüber einem herkömmlichen Kolbenstrahler, deutlich größere abstrahlenden Fläche. Dies bewirkt im Nahbereich der Quelle eine geringere Schalldruckabnahme. Diese Eigenschaft macht den Einsatz von DML-Panels überall dort sinnvoll, wo eine möglichst gleichmäßige Schallverteilung im Raum erzielt werden soll.

Die Verwendung von DMLs kann in diesem Zusammenhang zu neuen Lösungsansätzen^{4,5} für bekannten Probleme im Beschallungsbereich führen. Im Fernfeld verhält sich auch ein DML-Panel wie eine Punktschallquelle, so daß die Schalldruckabnahme dann ebenfalls proportional $1/r$ verläuft.

4 Ergebnisse praktischer Untersuchungen

In Abschnitt 3 ist das akustische Verhalten von DML-Panels beschrieben worden, wie es sich im reflektionsarmen Meßraum darstellt. Dieses Vorgehen erlaubt es, einen meßtechnisch korrekten Eindruck von dem untersuchten Wandler zu gewinnen. Eventuelle Störungen durch Raumeinflüsse würden in diesem Zusammenhang die Ergebnisse verfälschen.

In der Praxis werden Lautsprecher in der Regel in einem, zumindest teilweise, reflektierenden Umfeld eingesetzt. Das Verhalten eines Schallwandler in einem solchen reflektierenden Umfeld ist daher ebenso von Interesse, wie jenes unter reflektionsarmen Bedingungen.

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse von Experimenten vorgestellt, die aufzeigen sollen, wie sich ein DML-Panel in einem definiert reflektierenden Umfeld verhält. Damit die Ergebnisse verifizierbar sind, wurden die Untersuchungen als vergleichende Tests durchgeführt, dabei diente ein konventioneller Lautsprecher als Vergleichsmaßstab.

4.1 Reflektierende Begrenzungsfläche

In diesem Abschnitt wird die Interaktion eines DM Panels, als auch eines konventionelle Lautsprechers, mit einer hart reflektierenden Begrenzungsfläche untersucht. Plaziert man eine Schallquelle in der Nähe einer Begrenzungsfläche, so wird ein Großteil der einfallenden Schallwellen von dieser Fläche zurück in den Raum reflektiert. Als Folge wird dem direkten

⁴ Mapp P. and Colloms M., “**Improvements in Intelligibility through the Use of Diffuse Acoustic Radiators in Sound Distribution**”, Preprint 4634, 103rd AES Convention, New York, September 1997

⁵ Mapp P, and Gontcharov V., “**Evaluation of Diffuse Mode Loudspeakers in Sound Reinforcement and PA Systems**”, Preprint 4758, 104th AES Convention, Amsterdam, May 1998

Schallanteil eine zeitlich verzögerte Version desselben Schalls überlagert. Ein periodisches Interferenzmuster im Summenfrequenzgang ist das Ergebnis der Überlagerung der beiden Schallanteile. Dieser Effekt wird auch als "Kammfilter" bezeichnet.

Beträgt die Verzögerungszeit zwischen Direktschall und reflektiertem Schall wenige Millisekunden, so wird dieses Phänomen auch als "Early Reflection" - frühe Reflektionen - bezeichnet. In verschiedenen Arbeiten^{6,7} wurde gezeigt, daß diese "Frühen Reflektionen" als Klangverfärbungen wahrgenommen werden können. Für die im folgenden vorgestellten Ergebnisse wurden zwei Lautsprecher mit bekanntem Frequenzgang und Abstrahlverhalten verwendet. Dies waren im einzelnen:

- a) Ein konventioneller Zweiwege-Lautsprecher, bestehend aus einem 10cm Konus-Tiefmitteltöner und einem 19mm Hochtöner.
- b) Ein DM Panel, 58cm x 66cm groß, bestückt mit einem Exciter. Als Panel findet eine Kompositmembran Verwendung, die Deckschicht besteht aus Karbonfaser und ist auf einen Aluminiumwabenkern geklebt.

⁶ Olive E., Toole F., "**The Detection of Reflections in Typical Rooms**", 85th AES Convention, Nov. 1989.

⁷ Lipshitz S., Vanderkooy J., "Experiments in Direct/Reverberant Ratio Modifications", 79th AES Convention, Oct. 1985.

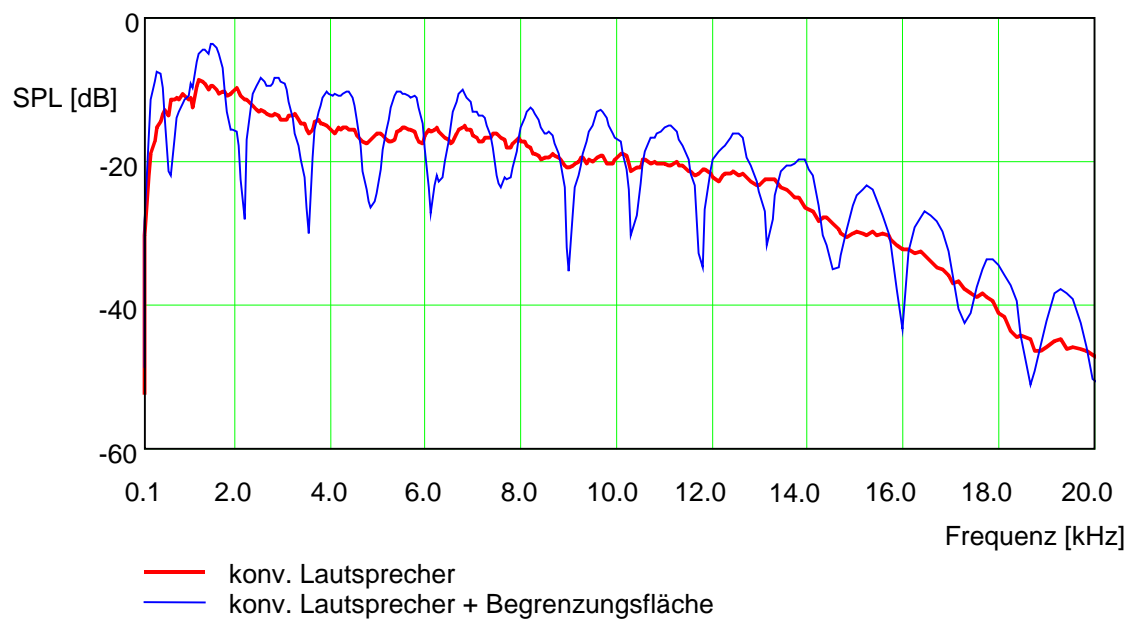


Bild 9. SPL des konventioneller Lautsprechers im Freifeld und mit einer Begrenzungsfläche. (*lineare Frequenzachse*)

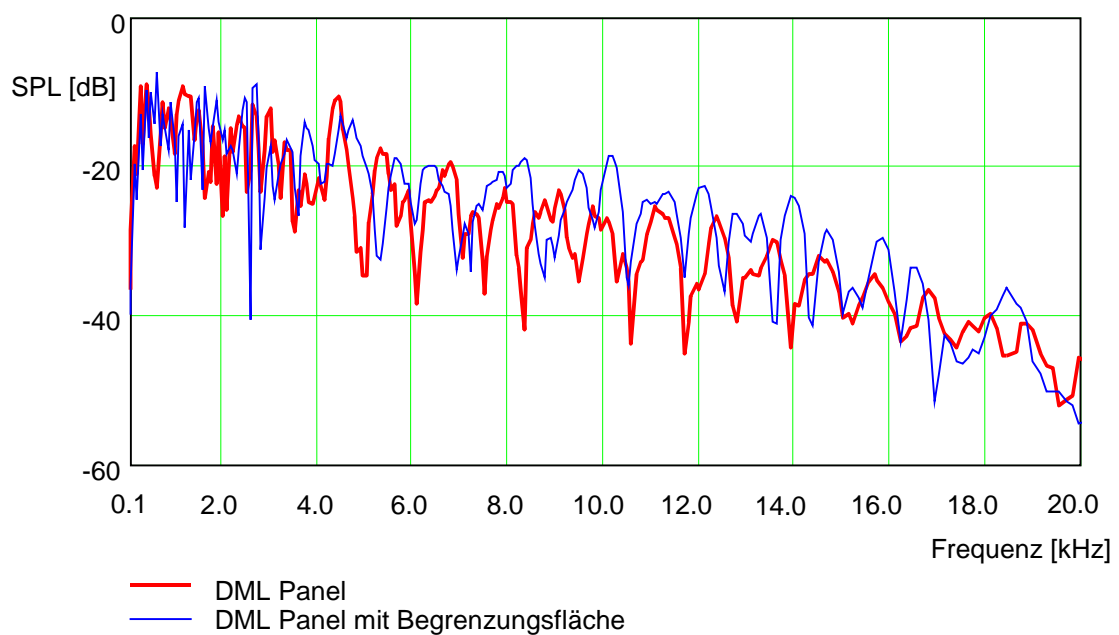


Bild 10. SPL des DML-Panels im Freifeld und mit einer Begrenzungsfläche. (*lineare Frequenzachse*)

4.2 Einzelpunkt Messung

Es wurden die Frequenzgänge "auf Achse" beider Lautsprecher mit und ohne den Einfluß einer Begrenzungsfläche im reflektionsarmen Meßraum ermittelt. Die Ergebnisse sind in Bild 9 und Bild 10 über einer linearen Frequenzachse aufgetragen, um den durch die Begrenzungsfläche verursachten Kammfilter-Effekt zu verdeutlichen. Dabei verhält sich die Frequenz der periodisch auftretenden Interferenzen umgekehrt proportional zur Verzögerungszeit zwischen direktem und reflektiertem Schall.

Aus dem Vergleich der in Bild 9 und Bild 10 dargestellten Kurven geht hervor, daß das DML-Panel wenige bis gar keine Spuren eines periodischen Interferenzmuster aufweist. Das Ergebnis für den konventionellen Lautsprecher in Bild 9 entspricht dagegen genau dem, was für eine phasenkohärenten Schallquelle erwartet wird.

Das Fehlen von eindeutig erkennbaren Interferenzeffekten im Frequenzgang des DML-Panels in Bild 10, ist ein weiterer Beweis für die sowohl räumlich als auch zeitlich diffusen Eigenschaften des von einem DML Panel erzeugten Schallfeldes.

4.3 Frequenzverlauf als Funktion des Meßpunktes

Im vorherigen Abschnitt wurde die Wechselwirkung zwischen direkt abgestrahltem und dem an einer Wand reflektierten Schall anhand einer Einzel-Messung untersucht. Im folgenden soll die Wechselwirkung zwischen Schallquelle und reflektierender Begrenzungsfläche für mehrere Meßpositionen betrachtet werden.

Die dazu verwendeten Meßanordnung zeigt Bild 11. Beide Schallquellen werden (nacheinander) in etwa 50 cm Abstand zu einer hart reflektierenden Wand positioniert. Die Hauptabstrahlrichtung der Schallquelle ist dabei parallel zur Wand ausgerichtet. Als Erregung dient weißes Rauschen. Das Meßmikrofon wird nun mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um den Lautsprecher herum bewegt - von der Wand weg bis zu einem Winkel von 90 Grad. Das vom Mikrofon aufgenommene Signal wird digital aufgezeichnet und anschließend weiterverarbeitet.

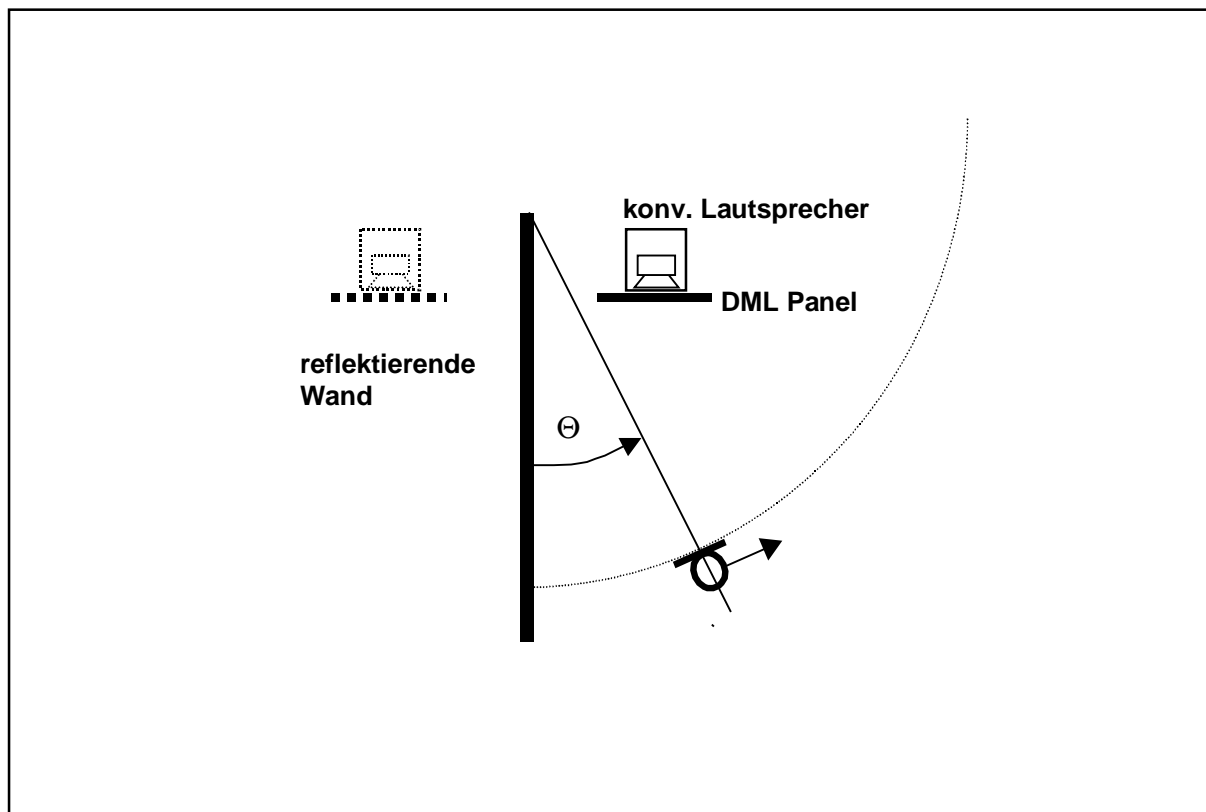


Bild 11. Anordnung im reflektionsarmen Meßraum für die "Messung mit radial bewegtem Mikrofon".

Berechnet man für das aufgezeichnete Signal fortlaufend Fouriertransformierte konstanter Länge, so erhält man eine Folge von Kurzzeitspektren. Jedem dieser Spektren kann ein bestimmter mittlerer Winkel Θ zugeordnet werden. Trägt man die Spektren nacheinander als Funktion dieses Winkels und der Frequenz in einem Diagramm auf, so erhält man die in Bild 12 dargestellten Spektrogramme. Hohe Pegel sind hell, niedrige Pegel dunkel eingefärbt.

In Bild 12 oben sind dunkle "Spuren" zu erkennen, die sich, von der linken oberen Bildecke kommend, langsam in die Waagerechte neigen. Die "Spuren" verlaufen parallel zu einander und ihr Abstand nimmt mit zunehmender Frequenz ab. Sie zeichnen den Verlauf destruktiver Interferenzen nach, wie er typisch ist für zwei überlagerte kohärente Schallfelder. Man kann festhalten, daß im Schallfeld des Zweiwege-Lautsprecher eine starke Wechselwirkung zwischen Schallquelle und reflektiertem Schall, in Form des Kammfilter-Effekt, zu erkennen ist.

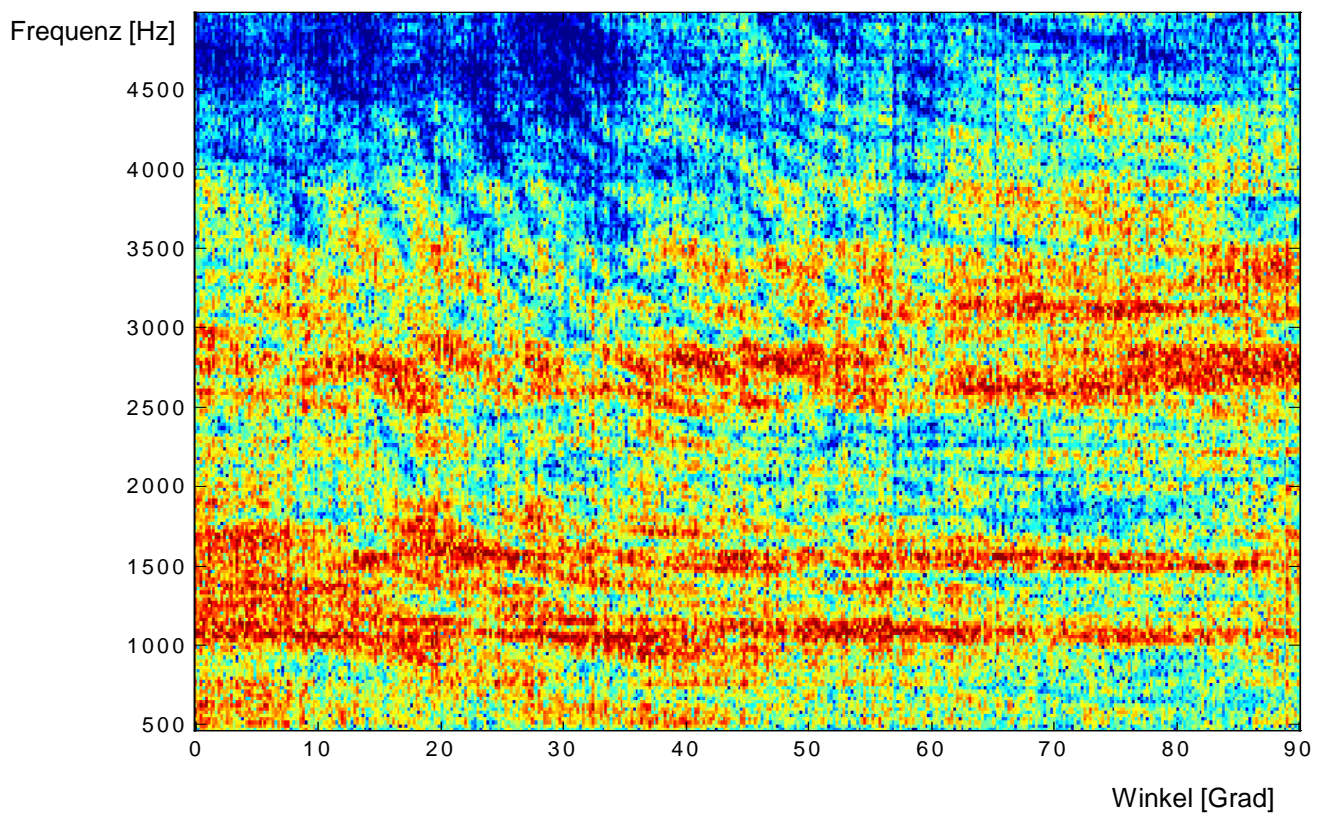
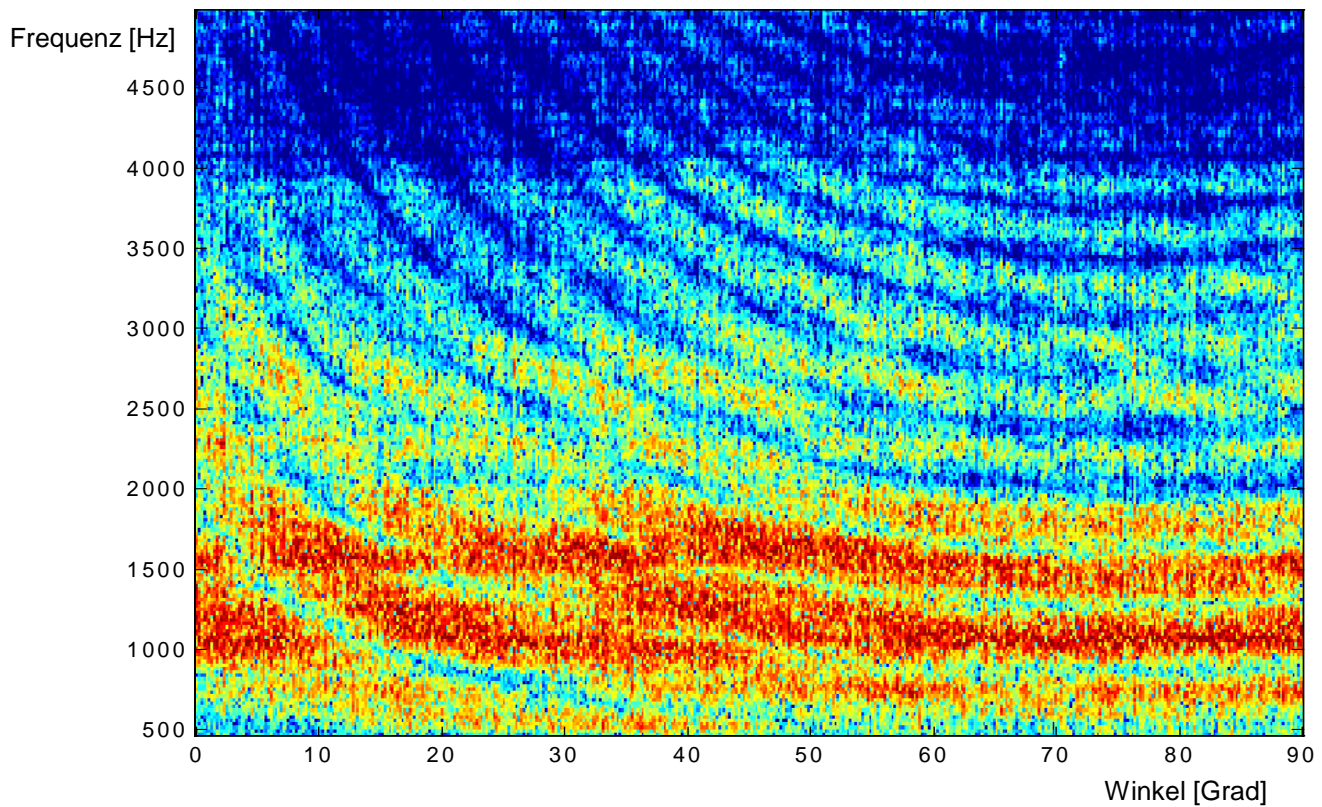


Bild 12. Frequenzgang des konventionellen Lautsprechers (oben) und des DML Panels (unten) als Funktion des Winkels Θ (siehe Bild 11). Hohe Pegel sind hell, niedrige Pegel dunkel gekennzeichnet.

In Bild 12 unten ist das Spektrogramm für das DML-Panel dargestellt. Vergleichbare Muster, wie sie in Bild 12 oben auftreten, sind kaum erkennbar. Ein gleichmäßig verteiltes und zufälliges Muster würde bei dieser Art der Messung bzw. Darstellung auf eine nahezu perfekte diffuse Schallquelle hinweisen. Das Ergebnis zeigt, daß bei Verwendung eines DML-Panels eine deutliche Reduktion der Wechselwirkungen zwischen Schallquelle und begrenzender Fläche zu beobachten ist. Auch hier findet die These Unterstützung, ein DML-Panel erzeuge ein nahezu diffuses Schallfeld.

5 Folgerungen für die Praxis

Welche Folgerungen können nun aus den vorgestellten Messungen für den praktischen Einsatz von DML-Panels gezogen werden. Am wichtigsten erscheint in diesem Zusammenhang die Tatsache, daß das von einem DML-Panel erzeugte Schallfeld in hohem Maße diffuse Eigenschaften aufweist. Daraus lassen sich folgende Aussagen ableiten.

Aufgrund der sehr breiten Abstrahlcharakteristik und der Diffusität des erzeugten Schallfeldes erscheint der Einsatz von DML-Panel-Lautsprechern überall dort sinnvoll, wo die Schallquelle selber nicht in den Vordergrund treten soll. Beispielhaft seien hier Hintergrundbeschallungsmaßnahmen in gewöhnlichen Objekten wie Flughäfen, Restaurants, Hotels, etc. genannt. Aber auch der Einsatz als verzögertes Side-Fill-System in Theatern, Auditorien und Vortragsräumen erscheint sinnvoll. Aufgrund des diffusen Schallfelds tritt eine Lokalisation der DML-Schallquelle erst bei höheren Verstärkungspegeln ein, als dies bei Verwendung konventioneller Lautsprecher der Fall ist. Dabei macht sich besonders die geringere Schalldruckabnahme mit zunehmender Distanz von der Schallquelle positiv bemerkbar, ebenso wie der konstant Verlauf der akustischen Leistung. Beides führt dazu das mit weniger Systemen eine gleichmäßigere Schallverteilung im Raum erzielt werden kann.

Die akustischen Qualitäten von DML-Panel Lautsprechern als Hintergrundbeschallungssystem schließen diese keineswegs von anderen Anwendungsgebieten aus. Im Gegenteil, auch für den Einsatz in Ansagesysteme auf Bahnhöfen und Flughäfen erscheint die DML-Technologie geeignet. Aufgrund der breiten Abstrahlung, speziell bei hohen Frequenzen, kann eine gute Sprachverständlichkeit in einem weiteren Bereich sichergestellt werden, als dies mit

konventionellen Systemen der Fall ist. Neben der gleichmäßigen Abstrahlcharakteristik kann in diesem Zusammenhang auch die dipolare Charakteristik eines DML-Panel Lautsprechers ausgenutzt werden um unerwünschte, lange Reflektionswege zu kontrollieren bzw. zu unterdrücken. Nichtsdestotrotz sind weitere Untersuchungen über den Einsatz von DML-Panels in stark reflektierender Umfeld nötig, da das Erzielen einer gleichmäßigen Schallverteilung durch Verwendung des reflektierten Schallfeldes eine deutlich Abweichung von traditionellen Beschallungstechniken in Räumen dieser Art darstellt.

Auch in Heimkino-Installationen ergeben sich verschiedene Möglichkeiten für den Einsatz von DML-Panels. Die geringe Bautiefe von DML-Panels erlaubt es Effektlautsprecher im hinteren Bereich plan an der Wand zu montieren. Darüber hinaus erfüllen sie perfekt die Forderung nach einem diffusen Schallfeld im hinteren Effektkanal. Die sehr gleichmäßige Schallverteilung im Raum erweitert den nutzbaren Hörbereich. In Projektor basierten Installationen ist es möglich ein großes DML-Panel sowohl als Leinwand als auch als Center-Lautsprecher zu verwenden. Vorteil dieser Methode ist, daß Dialogstimmen im Bild selbst lokalisiert werden - dort, wo auch die zugehörigen Personen abgebildet werden.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Abhandlung wurde eine neue Lautsprechertechnologie und ihre akustischen Eigenschaften vorgestellt. Es wurden Messungen zu den wichtigsten akustischen Kenngrößen, wie Impulsantwort, Frequenzgang, Abstrahlcharakteristik und Verzerrungen diskutiert. Darüberhinaus wurde der Einfluß von benachbarten Begrenzungsflächen untersucht.

Die präsentierten Messungen haben gezeigt, daß das von einem DML-Panel erzeugte Schallfeld sich deutlich von dem eines konventionellen Lautsprechers unterscheidet. Die akustischen Eigenschaften dieser werden hauptsächlich durch die nahezu diffusen Eigenschaften des erzeugten Schallfeldes bestimmt.

Ein sorgfältig entworfenes DML-Panel weist einen ausgeglichenen sehr breitbandigen Frequenzgang auf. Verzerrungen liegen auf oder unter dem Niveau vergleichbarer Konuslautsprecher. Das Abstrahlverhalten erweist sich als in großem Maße

frequenzunabhängig und weit ausgedehnt. Die Ergebnisse zeigen ebenfalls, daß der destruktive Einfluß benachbarter Begrenzungsflächen sich deutlich reduziert. Verfärbungen, wie sie durch frühe Reflektionen entstehen können, werden so wirkungsvoll reduziert.

Diese neue Klasse von Lautsprechern gibt dem Anwender kreatives Potential für bekannte Probleme neue Lösungsansätze zu erarbeiten. Es ist Aufgabe zukünftiger Arbeiten solche Ansätze aufzuzeigen.

Der Autor dankt allen Kollegen bei NXT für die zahlreichen Ergebnisse ihrer Forschungsarbeiten und Untersuchungen, sowie die anregenden Diskussionen.