

Magnetostaten

ein technologischer Durchbruch bei Lautsprechern

Einführung zu Magnetostaten mit Blickrichtung auf die zeitgemäße Beschallung



Magnetostatische Schallwandler werden seit Jahrzehnten in Lautsprechern eingesetzt. Heute sind einige unterschiedliche Konstruktionen von einer Handvoll von Herstellern verfügbar.

Dieser Wandlertyp wird von manchen Herstellern auch als "Planar Dynamic", "Ribbon", "Isophase", oder "Leaf Driver" bezeichnet, weil die Schallabstrahlung zumeist durch eine flache und hauchdünne Membran erfolgt, die bis zu 3/100 mm dünn ist. Die Herstellung hochwertiger Magnetostaten ist relativ kostspielig, die Produktion kommerziell relevante Stückzahlen schwierig. Zudem werden sie eher den Kategorien exotisch oder unkonventionell zugeordnet.

Hochwertigere Ausführungen dieses Bauprinzips werden wegen ihrer unerreichten klanglichen Präzision und Transparenz, ihrer sehr geringen Verzerrungen und der unglaublichen Auflösung, auch subtiler klanglicher Details und harmonischer Strukturen gerühmt.

Während der 80er und der frühen 90er Jahre wurden Magnetostaten nur in sehr wenigen, besonders anspruchsvollen Heimlautsprechern eingesetzt. Der Kalottenhochtöner dominierte den Hi-Fi Markt. Das war wohl einerseits auf die damals hohen Kosten eines guten Magnetostaten und vielleicht auch auf die eher mäßige Qualität der noch jungen, nicht ausgereiften CD in den 80ern zurückzuführen.

Die damaligen technischen Möglichkeiten erzwangen eine Abtastrate von 44 kHz bei den Digitalwandlern, womit das Spektrum bei Aufnahme und Wiedergabe kaum über 20 kHz reichte. Spezifische Verzerrungen der frühen CDs ließen den Kalottenhochtöner als vorteilhaft erscheinen. Ein Hochtöner mit Gewebekalotte aus stark dämpfendem, elastischem Verbundmaterial vergibt sehr viele Fehler bzw. Schwachstellen früher CD-Aufnahmen. In ihrem Hochtton-Frequenzgang fallen sie nach oben hin sanft ab und verdecken lästige Details der Aufnahmen. Die subtilen Details des Klangspektrums gehen dabei aber verloren.

Audiophile Besitzer hochwertiger Hi-Fi Anlagen wussten jedoch die Qualität hoch auflösender Lautsprecher mit Planarmembranen von Herstellern wie Quad ESL, Magnepan, Apogee, Martin Logan, Genesis, oder Infinity zu schätzen, die entweder dynamisch, oder elektrostatisch betrieben wurden.

Das Ende der 90er Jahre brachte eine neue Ära der Audio Reproduktion mit schnellen Fortschritten bei hoch auflösenden Digitalformaten wie Pacific Microsonics (PMI), High Definition Compatible Digital (HDCD), Super Audio CD (SACD) und DVD-Audio zur Tonaufzeichnung, zur Nachbearbeitung, Speicherung und Wiedergabe. Sowohl Profis, als auch Hi-Fi Freunde kamen in den Genuss einer Tonqualität, die jenseits jeder Erwartung lag.

Fast alle Audiokomponenten am Markt sind heute in der Lage, Tonsignale mit geringsten Verzerrungen und einer Bandbreite von bis zu 48 kHz wiederzugeben und manche noch darüber hinaus - als Folge einer Abtastrate von 96 kHz und entsprechender Anti-Aliasingfilter. Der Dynamikumfang übertrifft mittlerweile alle Limits früherer Aufnahme- und Wiedergabegeräte.

Die Qualität fast aller heutigen Hi-Fi Anlagen übertrifft auch jene der Aufnahmegeräte der Tonstudios aus der Zeit vor zehn, oder fünfzehn Jahren, aber der Lautsprecher ist das einzige Glied der Wiedergabekette, welches weitgehend unverändert blieb. Kalottenhochtöner mit Gewebemembrane mögen eine gute Lösung in den 60ern, oder 70ern gewesen sein, als billige Transistorverstärker den Markt dominierten, später ergänzt durch die ersten CD Player von eher fragwürdiger Qualität.

Während die Entwickler der Consumer Industrie konsequent an klanglichen Verbesserungen arbeiteten, hatten die meisten Hersteller im professionellen Bereich viele Jahre lang nur einen Tunnelblick. Sie hängen heute noch an 70 Jahre alten Technologien und scheinen die Zeichen der Zeit nicht zu erkennen. Druckkammertreiber mit Hörnern mögen der einzig mögliche Kompromiss zwischen Tonqualität und hohem Schalldruck in den 30ern und 40ern gewesen sein, als die Verstärker noch leistungsschwach waren und auch noch später, als hohe Leistung noch teuer war. Heute sind diese Begrenzungen überwunden und damit ist der Kompressionstreiber samt seinen erheblichen Verzerrungen nicht mehr zeitgemäß. Die Zeiten haben sich geändert. Sowohl Hi-Fi Hörer, als auch Profis wurden anspruchsvoller und verlangen bessere und präzisere Lautsprecher mit hoher klanglicher Auflösung und Klarheit bis über 20 kHz hinaus.

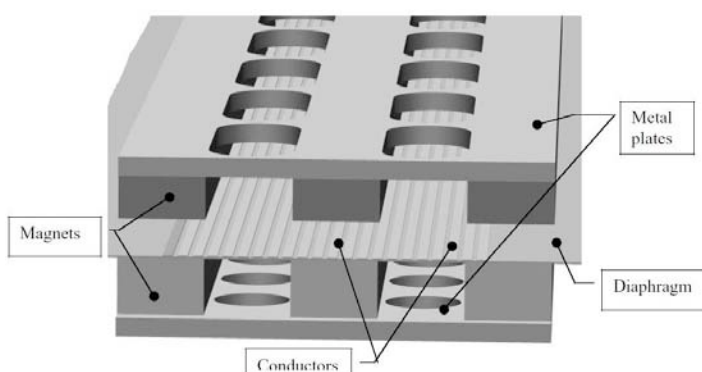
Auch HDTV (hoch auflösendes Fernsehen) steigert die Nachfrage nach ebenso hoch auflösendem Ton. Dieses revolutionäre TV-Format liefert phantastische Bilder, samt exzellentem Mehrkanalton und stellt hohe Anforderungen an die Wiedergabequalität. Tatsächlich haben sich die Standards und die Erwartungen an die Tonqualität geändert.

Früher ging man davon aus, dass das menschliche Ohr nur Töne im Bereich von 20 Hz – 20 kHz hören kann. Diese Annahme geht auf die frühen Audio Pioniere Fletcher und Munson aus den 20er Jahren zurück und wurde kaum jemals hinterfragt. Andererseits gilt es als erwiesen, dass das charakteristische Klangbild vieler Musikinstrumente auf Harmonische und auf Obertöne zurückzuführen ist, die weit über diesen Bereich hinausreichen.

Spektralanalysen zeigen, dass sowohl Instrumente, als auch die menschliche Sprache Obertöne enthalten, die deutlich über 20 kHz liegen und mit einigem Energiegehalt sogar bis zu 40 kHz reichen, bei Triangeln und Becken sogar bis zu 100 kHz. Forschungen zeigen auch, dass Menschen auf Ultraschallfrequenzen bis zu 60 kHz reagieren. Zu ähnlichen Erkenntnissen gelangten mehrere Publikationen der letzten Jahre. Erst seit wenigen Jahren sind wir in der Lage, dieses Thema genauer zu analysieren, denn erst jetzt sind wir auch technisch in der Lage, das volle Spektrum von Musikinstrumenten und natürlichen Klängen wiederzugeben. Und das lässt uns besser verstehen, warum Wandler mit erweitertem Hochtonbereich und besserer Auflösung das Klangbild viel genauer wiedergeben.

Der Aufbau eines Magnetostaten

In letzter Zeit wurden neue Materialien zu wesentlich günstigeren Kosten verfügbar, die es ermöglichen, Magnetostaten höchster Qualität preiswert zu produzieren. **Bild 1** zeigt schematisch den zentralen Aufbau dieser Wandler und ihrer Antriebsstruktur.



Die Membran besteht aus einer aufgespannten Folie (z.B. Kapton von Dupont), auf die in einem chemischen Verfahren Aluminiumleiter aufgebracht sind, die als Schwingspule dienen. Folie und Leiter sind hauchdünn, jeweils 12–17 Mikrometer und auf einem sehr steifen und stabilen Rahmen aufgespannt, der aus mehreren Lagen Fiberglas und Kupfer aufgebaut ist.

Es erfordert eigene Techniken, das faltenfrei und mit definierter, vollflächig gleichförmiger Spannung zu bewerkstelligen. Diese Membran ist präzise zwischen zwei Reihen (vorne und hinten) von sehr großen Magneten angeordnet, die ihrerseits an massiven Platten aus karbonarmem Stahl befestigt sind. Die Magnete beider Seiten sind jeweils in Gehäuse aus Aluminiumdruckguss eingebettet.

So entsteht ein sehr starkes und symmetrisches Magnetfeld, ausgerichtet in der Ebene der Membran. Wenn nun eine Tonspannung durch die Leiter fließt, schwingt die ganze Membran und strahlt den Schall durch die Öffnungen in der Magnetstruktur ab.

Das Design des Magnetsystems eines Magnetostaten kann, abhängig von seiner Qualität und den Baukosten, unterschiedlich sein. Bei älteren Modellen wurden weniger starke Keramik Magnete verwendet, was eine geringere Empfindlichkeit (Wirkungsgrad) und daher auch geringere Maximalpegel bewirkte. Erst in jüngster Zeit wurden Hochleistungsmagnete aus seltenen Erden – Neodym (NdFeB) günstiger und können seitdem zur Produktion herangezogen werden. Diese Magnetstrukturen werden mittels FEA (finite element analysis) CAD Software entwickelt. Sie sind kosteneffizient und erlauben sehr hohen magnetischen Fluss, emittieren ein sehr geringes magnetisches Streufeld und können daher in unmittelbarer Umgebung von Bildschirmen und anderen A/V Installationen betrieben werden.

Ältere, oder billig aufgebaute Magnetostaten versagen oft bei höheren Lautstärkepegeln, was zumeist auf die Verwendung von Mylar Membranen von Dupont zurückzuführen ist. Mylar ist schon länger am Markt und erlaubt nur bescheidene Arbeitstemperaturen von höchstens 120 - 130 Grad, weshalb die Wandler bei höheren Leistungsanforderungen gerne durchbrennen. Einige neuere Wandler verwenden Kaladex PEN film (Polyethylen Naphthalat) von Dupont als Membranmaterial. Kaladex ist temperaturbeständig bis 170°C und daher für die meisten Audioanwendungen geeignet. Die ebenfalls von DuPont hergestellte Kapton Folie (Polyimid) ist das hochwertigste und dauerhafteste Dielektrikum und temperaturbeständig bis 400°C.

In die Konstruktion moderner magnetostatischer Wandler flossen viele innovative Detaillösungen ein, wie spezielle Techniken zur besseren Hitzeableitung von der Membrane, womit eine sehr hohe Belastbarkeit erreicht wird. Sie sind frei von Vibrationen und Resonanzen, weil solide Aluminiumkonstruktionen und spezielle Membran Aufhängungen akustisch träge Strukturen bilden. Beim Einbau dieser Wandler bedarf es spezieller Techniken zur effektiven Bedämpfung der rückseitig abgestrahlten Schallenergie, die anderenfalls reflektiert und durch die Membrane hindurch abgestrahlt werden würde.

Mit Blickrichtung auf zeitgenössische Beschallungsanlagen stellen moderne Magnetostaten einen technologischen Durchbruch dar. Sie sind zwar geradezu minimalistisch einfach aufgebaut, aber viele geniale technische Lösungen zeichnet eben gerade ihre Einfachheit aus.

Warum Magnetostaten klanglich jeder anderen Technologie bei Hochtönern überlegen sind

Zum Vergleich mit anderen Bauarten von Hochtönern wurden 2 unterschiedliche Typen ausgewählt. Zum einen ein State of the Art **Kalottenhochtöner** mit Kompositmembrane aus Metall und Keramik eines bekannten europäischen Herstellers, im Vergleich mit einem **5" Magnetostaten** eines US amerikanischen Herstellers und zum anderen einer der besten **Kompressionstreiber** am Markt, ausgestattet mit 4 Zoll Titanmembrane, hochkant gewickelter Schwingspule aus Flachdraht (CCAW) und Neodym Magnet, angesetzt an ein kurzes 40°x90° Horn, im Vergleich mit einem **6" Magnetostaten**.

Im Folgenden werden die signifikantesten Unterschiede dargestellt.

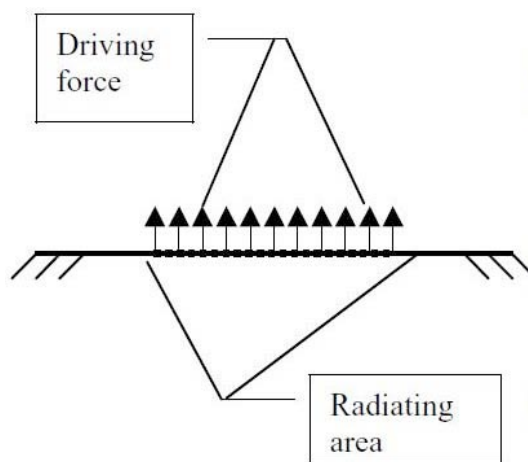


Bild 2. Magnetostat (planar ribbon driver)

Die Antriebskraft wirkt unmittelbar auf die Membrane

– die direkte und minimalistische Form der Kraftübertragung zwecks Schallwandlung – frei von Resonanzen, akustischer Filterung und von Übertragungsverlusten, oder Zeitverzögerung.

Die Antriebskraft wird gleichförmig über die ganze Abstrahlfläche der Membrane verteilt

– ideale Bedingungen zur Schallabstrahlung, - keine Resonanzen durch Aufbrechen, keine Zeitverzögerung (Delay), keine Auslöschungen (Interferenzen) und vor allem kein Nachschwingen.

Die Masse der Membrane liegt in einer ähnlichen Größenordnung wie jene des umgebenden Luftvolumens

und das sind ideale Ankopplungsbedingungen zur Übertragung der Schallenergie an die umgebende Luft, für eine effektive und verlustfreie Bedämpfung, präzises Impulsverhalten, hohe Empfindlichkeit und eine Bandbreite hinauf bis 40kHz.

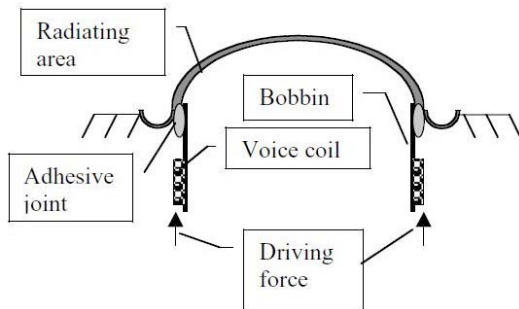
Rein Ohm'scher Widerstand, frei von induktiven Komponenten

– eine ideale und gutmütige Last für den Verstärker und für Frequenzweichen. Es gibt keine Resonanzen im Übergangsbereich, keine Phasenverschiebungen, keine exzessiven Gruppenlaufzeiten und keine Verluste im Hochtonbereich.

Ebene Abstrahlfläche

– ideal zur Schallabstrahlung, die sich dadurch nicht mit der Frequenz ändert. Als Resultat entstehen eine ebene und kohärente Wellenfront, aber keine Auslöschungen durch Interferenzen, keine Wellen-Auslöschungen, kein zeitlicher Versatz (Delay) und keine Resonanzen durch mechanische Hindernisse, oder Hohlräume.

Der Kalottenhochtöner



Die Antriebskraft wirkt indirekt auf die Membrane, sie wird in der Schwingspule erzeugt, über Kleber auf ihren Träger übertragen und gelangt erst über eine weitere Klebung auf die Membrane. Dadurch entstehen Verzerrungen durch Resonanzen, es erfolgt eine mechanische Filterung, es entstehen eine zeitliche Verzögerung und Übertragungsverluste.

Bild 3. Kalottenhochtöner

Die Antriebskraft wird weiter auf die kreisförmige Verbindung von Schwingspulenträger und Membrane übertragen – diese bricht auf (verwindet sich), wodurch Resonanzen und Partialschwingungen entstehen und wieder zeitliche Verzögerungen und Auslöschungen.

Die bewegte Masse ist 50-100 mal größer, als jene der Membrane eines Magnetostaten – was eine schlechte Impulsantwort, schlechten Wirkungsgrad und eine eingeschränkte Bandbreite hin zu höheren Frequenzen, zur Folge hat.

Eine komplexe Impedanz mit großen induktiven Anteilen (Spule) und deutlichen Resonanzen – eine komplexe Last für Verstärker und Frequenzweichen, mit der Folge von Resonanzen im Übergangsbereich, Phasenverschiebungen, exzessiven Gruppenlaufzeiten und nennenswerten Verlusten im oberen Hochtönenbereich.

Eine gewölbte Abstrahlfläche mit frequenzabhängiger Schwingungsstruktur – in der Folge eine unebene und inkohärente Wellenfront, eine ungleichförmige Schallverteilung, Auslöschungen, Verzögerungen (Delays) und Resonanzen, bedingt durch Hindernisse, oder Hohlräume (bei invertiertem Dom).

Der Kompressionstreiber

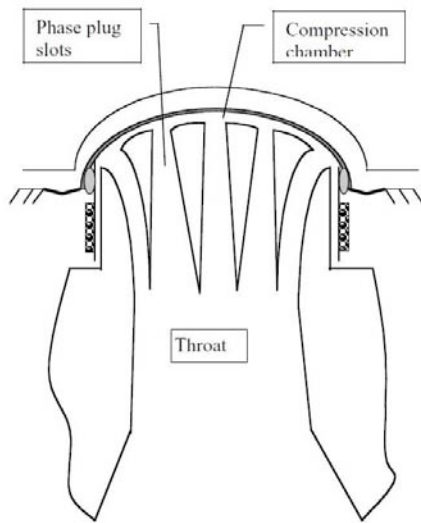


Bild 4. Kompressionstreiber

Alle Probleme des Kalottenhochtöners hat der **Kompressionstreiber** auch, dazu kommen weitere ernste Schwächen:

Eine große Metallmembrane generiert unkontrollierte Aufbrech – Modi (Teilschwingungen) beginnend bei relativ tiefen Frequenzen, die sich über die obere Hälfte des Frequenzbereiches erstrecken.

Sehr eingeschränkter Frequenzbereich (max. 16 kHz) als Folge der großen bewegten Masse, der Resonanzen durch Aufbrechen und der Übertragungsverluste im Hornhals.

Sehr ernste nicht lineare Verzerrungen bei hohem SPL, zurückzuführen auf die Kompression der Luft, Verwirbelungen und nicht lineare Ausbreitung in der Kompressionskammer und am Hornhals (klingt schrill), die schnell zur Ermüdung des Gehörs führen.

Deutliche Klangverfärbungen, zurückzuführen auf Verzerrungen der Wellenfront und der spektralen Balance.

Aus diesen graphischen Darstellungen geht klar hervor, dass der Magnetostat ein viel präziserer Schallwandler ist, als der Kalottenhochtöner, oder der Kompressionstreiber. Er strahlt den Schall direkt ab ohne Hindernisse, oder Resonanzen und mit minimalen Verzerrungen. Ein Kalottenhochtöner hat viel mehr Verzerrungspotenzial und ein Kompressionstreiber noch mehr, insbesondere wenn es um hohe abstrahlende Pegel geht.

Vergleichende Messungen

Gute Tests und Messungen liefern objektive Vergleichsmaßstäbe, die auch mit den Erfahrungen aus Hörvergleichen korrelieren und erklären die überragenden Qualitäten der magnetostatischen Schallwandler. Diese Tests belegen auch die Richtigkeit der technischen Prognosen des vorhergehenden Kapitels und die folgenden Protokolle illustrieren sie.

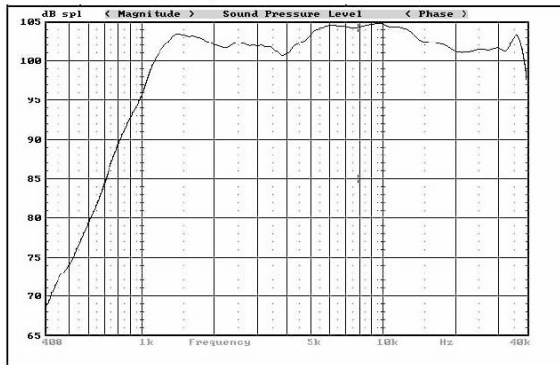


Bild 5

zeigt den **Frequenzgang eines 6" Magnetostaten**, gemessen bei 1W / 1m.

Hier ist zu sehen, dass er mit seiner Empfindlichkeit von 103 dB / 1 W / 1m einen Frequenzgang, hinauf bis 40 kHz hat.

Die Fähigkeit, Töne über 20 kHz wiederzugeben, lässt ihn nicht nur die spektrale Balance einer Aufnahme genau wiedergeben, sondern versetzt ihn darüber hinaus in die Lage, auch feine Details der temporären Signalstruktur wiederzugeben.

Es ist Tatsache, dass der Frequenzgang zwar wichtige Informationen enthält, aber alleine nicht in der Lage ist, Nuancen und Unterschiede der klanglichen Struktur vollständig zu beschreiben.

Aber die wesentlichsten klanglichen Unterschiede finden sich nicht im erweiterten und auch nicht im so schön linearen Frequenzgang des Magnetostaten begründet. Vielmehr finden sich diese im Vergleich der **Wasserfalldiagramme**, wo die gewaltigen Unterschiede im Betrag der **nachschwingenden Energie** aufzeigt werden. Hier zeigt die CDS des 5" Magnetostaten ein sofortiges Abklingen des Impulses, während die Kalotte mehr als 2,5 msec. lang nachschwingt und zwar über den größten Teil ihres Frequenzspektrums.

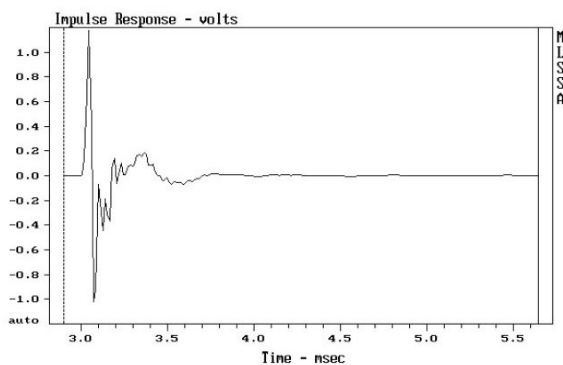


Bild 6 zeigt die **Impulsantwort eines 5" Magnetostaten**.

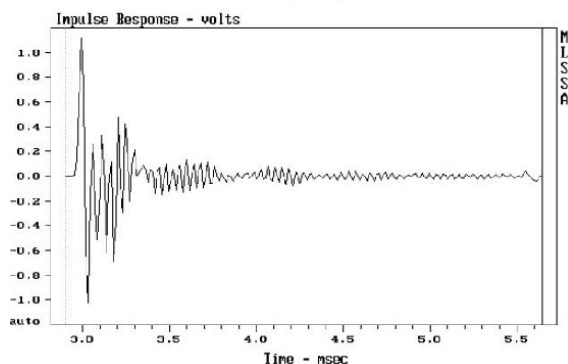


Bild 7 zeigt zum Vergleich die **Impulsantwort** eines hochwertigen **Kalottenhoctöners** mit Komposit Membrane Metall / Keramik eines renommierten europäischen Herstellers.

Es wird offensichtlich, dass die Impulsantwort des 5" Magnetostaten sehr sauber ist und kaum zeitversetzte Energie enthält (Nachschwingen) und dass dies die Ursache für seine exzellente klangliche Auflösung ist. Im Gegensatz dazu zeigt der Kalottenhochtöner reichlich fluktuierende Energie unmittelbar nach dem Erstimpuls (3,1 - 3,4msec.). Darüber hinaus bewirken starke Resonanzen der mechanischen Struktur substantielles Nachschwingen und ein langsames Abklingen der Energie nach der Anregung durch das Speisesignal (3,4 - 5,5msec.).

Eine sehr aussagekräftige Messung zur Beschreibung des spektralen Verhaltens eines Schallwandlers über die Zeit, ist das **kumulative Abklingspektrum (Cumulative Decay Spectrum, CDS)**, auch Wasserfall-Diagramm genannt, welches aus dieser Impulsantwort abgeleitet wird.

Die **CDS** korreliert sehr gut mit dem subjektiven Gehörempfinden und zeigt ein noch umfassenderes Bild dieser Situation. **Bild 8** zeigt die **CDS des 5" Magnetostaten** und **Bild 9** jene des **Kalottenhochtöners** bei identem Meßaufbau und identer Nachberechnung.

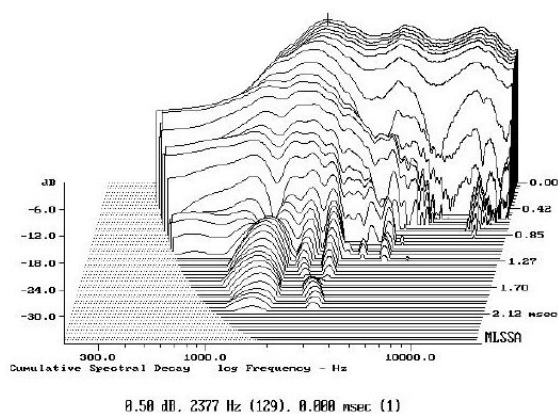


Bild 8. Abklingspektrum des 5" Magnetostaten

Die wichtigsten Daten des 5" Magnetostaten:
 Wirkungsgrad 101 dB / 1W / 1m,
 Übertragungsbereich 1,8 kHz - 40 kHz,
 Belastbarkeit 50W RMS,
 Impedanz 8 Ohm, rein resistiv.

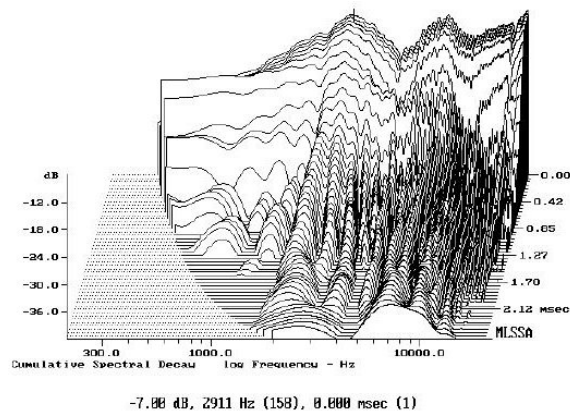
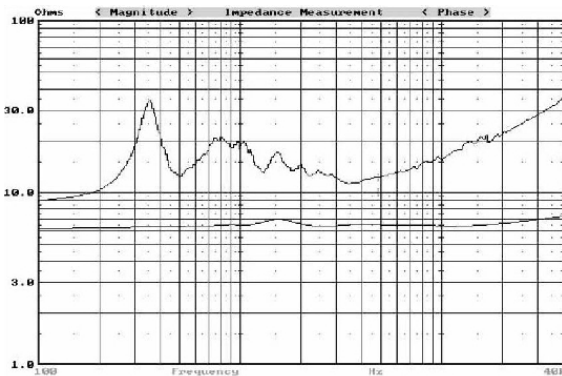


Bild 9. Abklingspektrum des Kalottenhochtöners

Die wichtigsten Daten des Kalottenhochtöners:
 Wirkungsgrad 93 dB / 1W / 1m,
 Übertragungsbereich 2 kHz-22 kHz,
 Belastbarkeit 20W RMS.

Ein klarer Hinweis darauf, dass die Kalotte Signalstrukturen nicht vergleichbar gut wiedergeben kann, wie der Magnetostat. Beim Hören äußert sich das in klanglichen Verfärbungen, mangelhafter Transparenz und der Maskierung subtiler, leiserer Details im Timbre von Stimmen und Instrumenten.

Interessante Erkenntnisse liefern auch die Vergleichsmessungen des **6" Magnetostaten** und des State of the Art **Kompressionstreibers**.



Die wichtigsten Daten des **6" Magnetostaten**:
 Wirkungsgrad 103 dB / 1W / 1m ohne Horn,
 Übertragungsbereich 1 kHz - 40 kHz,
 Belastbarkeit 70W RMS,
 Impedanz 8 Ohm, rein resistiv.

Betrachten wir zunächst die Impedanzverläufe in **Bild 10**.

Der **6" Magnetostat** zeigt eine recht gerade Linie, ähnlich einem Ohm'schen Widerstand (untere Kurve), der **Kompressionstreiber** aber zeigt enorme Fluktuationen (obere Kurve), die aus strukturellen und akustischen Resonanzen und Reflexionen innerhalb des ganzen Schallwandlers stammen.

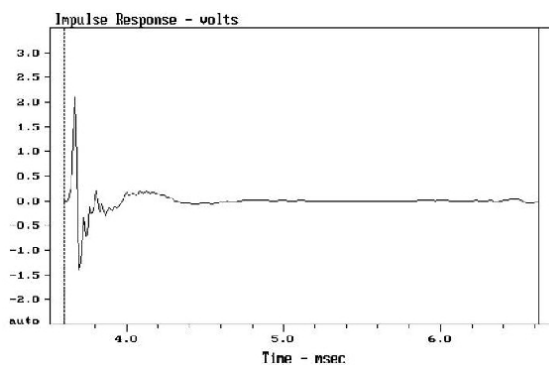


Bild 11. Impulsantwort des **6" Magnetostaten**

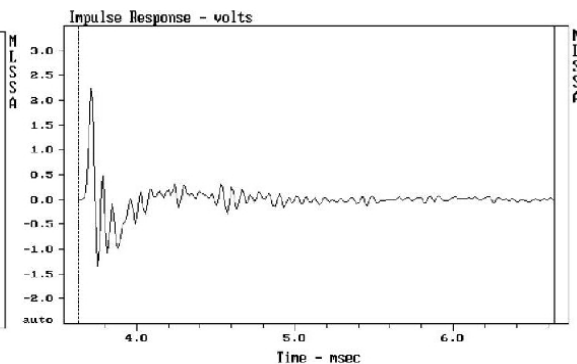


Bild 12. Impulsantwort des **Kompressionstreibers**

Die **Bilder 11** und **12** zeigen die **Impulsantworten** der beiden Wandler und ähneln sehr dem Vergleich des 5" Magnetostaten mit der Kalotte. Wie erwartet, zeigt der **Kompressionstreiber** signifikante Impulsstörungen, denn er schwingt recht lange nach, während der **6" Magnetostat** eine saubere Impulsantwort zeigt und schnell vollständig abklingt. Wenn man sich die **CDS Ableitungen** aus den **Impulsantworten** der beiden Wandler ansieht, wird der Unterschied noch besser verständlich.

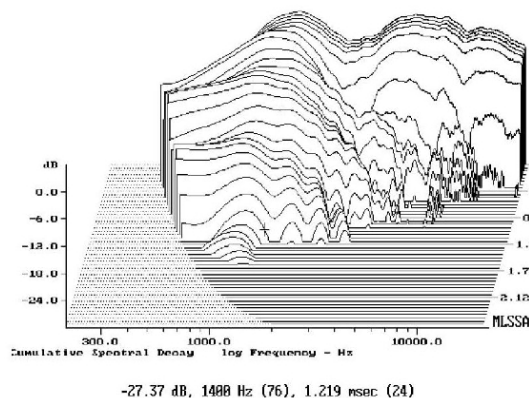


Bild 13. CDS des 6" Magnetostaten

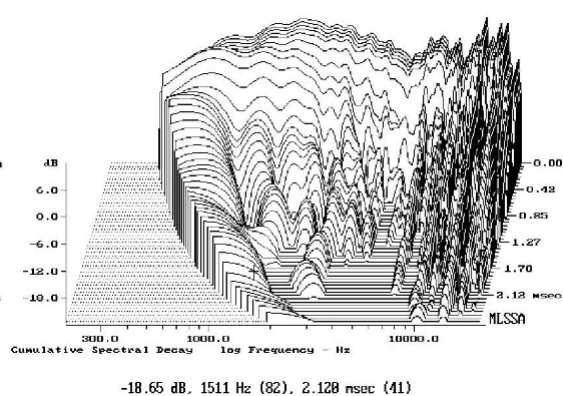


Bild 14. CDS des Kompressionstreibers

Der Magnetostat klingt schnell und sauber ab, im Wesentlichen innerhalb 1 msec. Aber der Kompressionstreiber zeigt recht viele verzögerte Resonanzen und gespeicherte Energie, verteilt über den ganzen Frequenzbereich, die erst nach 2,5 msec. auf Pegel - relativ zum Eingangssignal, von unter -30dB, abklingen.

Erwähnenswert ist auch, dass der Kompressionstreiber sehr große Kontaminationen oberhalb 7 kHz aufweist. Die Erklärung dazu wird sein, dass die große 4" Membrane eine ganze Serie von Resonanz – Aufbrüchen erfährt, die als eine Serie von Graten und Furchen oberhalb 7 kHz aufscheinen. Wenn wir berücksichtigen, dass der Dynamikumfang dieser Darstellung nur 30dB umfasst, wird schnell klar, welchen Einfluss diese verzögerte Energie auf die klangliche Qualität hat.

30dB ist nur ein kleiner Teil des tatsächlichen Dynamikumfangs von natürlichen Instrumenten, wie ein Klavier, ein Schlagzeug, Triangel, oder Becken, etc. Wenn eine Aufnahme nicht gerade heftig komprimiert ist, verschmiert und maskiert der Kompressionstreiber alle Signalanteile mit kleineren Pegeln bei schnellen und dynamischen Musikpassagen. Er kann dem Signal nicht schnell genug folgen, um dem Original des musikalischen Klangbildes zu entsprechen.

Diese relativ lang andauernden hochfrequenten Resonanzen dürften die Ursache dafür sein, warum Kompressionstreiber schrill und verfärbt klingen und viele Instrumente mit dichter Obertonstruktur nicht sauber wiedergeben können.

Die zeitverzögerten Energieanteile im Bereich 1-4 kHz werden zum bekannten schreienden und halligen Klangbild der Kompressionstreiber beitragen, wie sie in den verfärbten Details bei der Wiedergabe von Stimmen und Holzblasinstrumenten besonders deutlich hörbar sind. Dazu kommen definitiv jene Verzerrungen der Wellenform, die im Hornhals und in der Kompressionskammer entstehen.

Nicht lineare Verzerrungen (Klirrgrad) sind ein bekanntes Parameter und werden allgemein mit der Tonqualität in Verbindung gebracht und daher berücksichtigt. Viele Studien befassen sich mit der Hörbarkeit des Klirrgrades und seinem Einfluss auf die subjektiv empfundene Klangqualität. Das Thema ist recht umstritten, aber eines ist klar. Der Klirrgrad kann keinen adäquaten Aufschluss bezüglich der Tonqualität liefern. In der Praxis ergeben die Werte für die 2. und die 3. Harmonische und des gesamten Klirrgrads (THD – Total Harmonic Distortion) kein umfassendes Bild bezüglich der Unlinearitäten von Lautsprechern.

Es zeigt sich immer deutlicher, dass nur komplexe Testsignale, wie Multiton, oder multifrequentes Rauschen, brauchbare Resultate liefern können. Bei diesen Tests werden die linearen Signalanteile separiert und alle nichtlinearen Anteile, oder spektrale Kontaminationen extrahiert. Diese nichtlinearen Verzerrungen entstehen, wenn das Testobjekt **komplexen Testsignalen** ausgesetzt wird, die einem **tatsächlichen Musiksignal** entsprechen.

Es ist bekannt, dass uns Messungen der harmonischen Verzerrungen (Klirrgradmessungen), oder Messungen der Intermodulation zweier Töne (Intermodulationsverzerrungen) kein aufschlussreiches Bild bezüglich der Tonqualität des Probanden liefern. Wenn man einen nicht linearen Probanden (Treiber, oder Lautsprecher) mit einem komplexen Signal speist, zeigt sein Ausgangssignal Kontaminationen mit endlosen Kombinationen von Intermodulationsverzerrungen höherer Ordnung, die von Standard Messgeräten nicht erfasst werden. Man kann davon ausgehen, dass sich diese komplexen Intermodulationsprodukte höherer Ordnung viel bössartiger und schädlicher auswirken, als die üblicherweise gemessenen Verzerrungen.

Für aussagekräftige Vergleichsmessungen des 6" Magnetostaten und des Kompressionstreibers verwenden wir den MLSSA Analysator. **Inkohärenz** beschreibt jenen Anteil des Ausgangssignals, der nicht linear zum Eingangssignal bezogen ist. Diese Messungen wurden im Nahfeld vorgenommen, um Geräusche, oder Reflexionen aus der Testumgebung möglichst weit zu unterdrücken und zeigen primär Intermodulationsverzerrungen des Wandlers, als Reaktion auf das komplexe pseudo-zufällige (pseudorandom) MLS Signal am Eingang.

Die folgenden Bilder zeigen die Inkohärenz Verzerrung des 6" Magneto-
staten und des Kompressionstreibers. Diese Messungen wurden bei
moderaten Pegeln (SPL 110dB / 1m) vorgenommen, um die Schalldruck-
Limits des Messmikrofons nicht zu überschreiten (Nahfeldmessung).

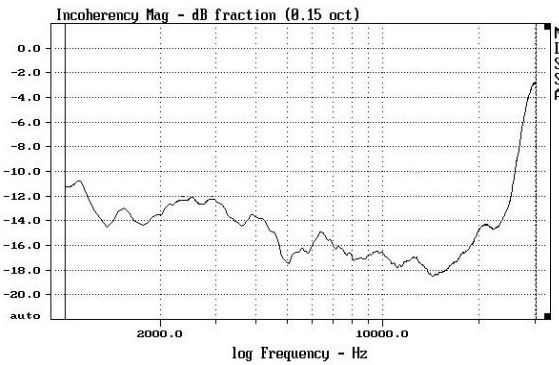


Bild 15. Inkohärenz Verzerrung des
6" Magnetostaten

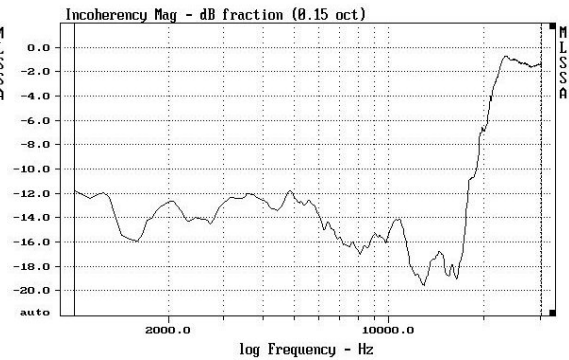


Bild 16. Inkohärenz Verzerrung des
Kompressionstreibers

Der Vergleich zeigt, dass sich die beiden Wandler im Bereich von 1 – 3 kHz
vergleichbar verhalten. Über 3 kHz hat der 6" Magnetostat geringere
Verzerrungen.

Das letzte, aber das **aussagekräftigste Resultat** zeigt die Ableitung zur **CDS
Darstellung (Wasserfall)** dieser Inkohärenzmessung.

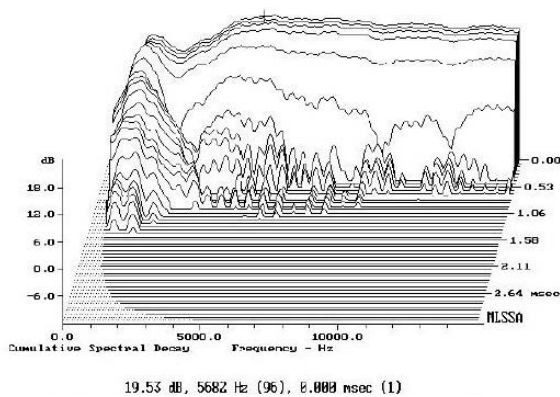


Bild 17. Inkohärenz Verzerrung des
6" Magnetostaten als CDS

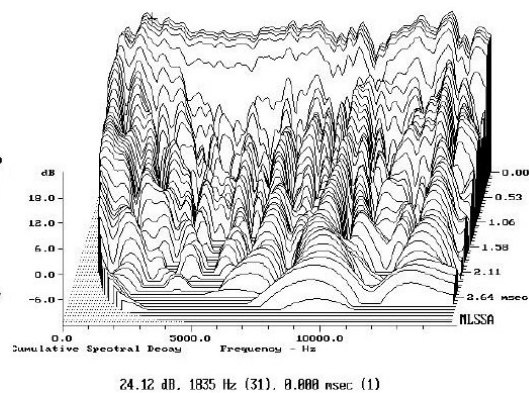


Bild 18. Inkohärenz Verzerrung des
Kompressionstreibers als CDS

Wie zu erwarten, erhalten wir bei **dynamischer Anregung** ungleich mehr Informationen, als bei statischer. Diese bemerkenswerten Erkenntnisse wurden erst möglich, als so leistungsfähige Messinstrumente, wie der MLSSA Analysator verfügbar wurden. Die **Bilder 17** und **18** zeigen die **Inkohärenz CDS** des 6" Magnetostaten und des Kompressionstreibers. Die Conclusio ist klar. Unser Ohr integriert alle Signale, die in die Zeitspanne der ersten Millisekunden fallen. Daher empfinden wir diese Energie in ihrer Gesamtheit als ein Signal. Wenn wir jetzt die Inkohärenzmessung des 6" Magnetostaten betrachten wird klar, warum er so transparent, unverwischt, natürlich und offen klingt. Anders der Kompressionstreiber, der **enorme Mengen gespeicherter Energie** zeigt, die sich längere Zeit als Verzerrungen über den ganzen Frequenzbereich niederschlagen. Besonders deutlich zeigen sie sich oberhalb 6-7 kHz, sie werden durch heftiges Aufbrechen der Membrane und durch Reflexionen und Unlinearitäten im Hornhals und in der Kompressionskammer verursacht.

Conclusio

Es ist klar, dass statische Messsignale (Sinus) keine umfassenden Informationen bezüglich des dynamischen Verhaltens von Schallwandlern (Lautsprechern, aber auch Mikrofonen) liefern. Wandler sind mechanische Feder / Masse Systeme, die in der betrieblichen Praxis mit komplexen Signalen (Sprache, Musik) beaufschlagt werden.

Brauchbare Informationen liefern hier nur **Messungen mit komplexen Signalen**, die eher jenen entsprechen, wie sie in natürlichen Signalen (Sprache, Musik) vorkommen. Nach Ableitung der Resultate zu anschaulichen Graphiken (CDS) wird eine starke **Korrelation mit dem subjektiven Hörempfinden** erkannt und die außerordentliche Wertigkeit magnetostatischer Wandler, im Vergleich zu Kompressionstreibern, oder Kalottenhochtönern belegt.

Darüber hinaus belegen eine Serie tiefergehender, objektiver Messungen, dass dieses Konstruktionsprinzip allen heute üblichen, weit überlegen ist, wenn es um die Reproduktion mittlerer und hoher Frequenzen geht.

Das Konzept planarer Wandler ist an sich nicht neu, doch wurden erst in den letzten Jahren jene Materialien und Techniken verfügbar, die zu den bisher unbekanntem Qualitäten führen.

Magnetostaten können bei praktisch allen anspruchsvollen Anwendungen im Consumer- und im professionellen Bereich eingesetzt werden. Ihre Abstrahlwinkel werden grundsätzlich bestimmt durch das Verhältnis der Länge (vertikaler A.), bzw. Breite (horizontaler A.) ihrer Membrane, zur Wellenlänge des abgestrahlten Signals. Nominell sind das typisch etwa 120° horizontal bei 5cm breiten Membranen und etwa 30° vertikal bei 5" – 6" Membranen, wie sie für leistungsfähige Höchtöner verwendet werden. Sehr große Magnetostaten mit 50", oder 75" langen Membranen strahlen etwa 5° vertikal ab und können den ganzen Frequenzbereich der Stimmen übertragen, was sie für kritische Vokalanwendungen prädestiniert.

Grundsätzlich können sie aber auch mit verschiedenen Wave Guides und Hörnern eingesetzt werden, womit die Abstrahlcharakteristik in Grenzen beeinflusst und der maximale Schalldruck erhöht werden kann. Dabei ist hervorzuheben, dass diese Hörner weder über Kompressionskammern, noch über Phase Plugs verfügen, wie jene bei Kompressionstreibern. Sie schränken daher weder den Hochtonbereich ein, noch zeigen sie die Verzerrungen üblicher Hörner. Andererseits ist offensichtlich, dass für Anwendungen, bei denen große vertikale Abstrahlwinkel gefordert sind, weiterhin auf "punktförmige" Schallquellen zurückgegriffen werden muss.

Magnetostaten haben vertikal erstreckte, rechteckige, flache Membranen. Sie eignen sich ideal zur Anwendung in linienförmigen Schallquellen, denn sie strahlen bauartbedingt eine durchgehend **kohärente** Zylinderwelle ab und sind wegen der perfekten Kopplung benachbarter Boxen die ideale Wahl beim Aufbau von Line Arrays, bzw. **Linien**. Auch in größeren Kombinationen stellen sie eine **echte Linien - Quelle** dar, im Gegensatz zu Kompressionshöchtönern, wo eine gute akustische Kopplung der Lautsprecher untereinander, ein sehr unbefriedigend gelöstes Problem ist.

Trotz erheblicher Anstrengungen, sowohl der Marketing Abteilungen, als auch der Entwicklungsabteilungen der Lautsprecher Hersteller, kann dieses Problem mit konventionellen Kompressionstreibern **grundsätzlich** nicht wirklich gelöst werden. Dabei wird einfach die Tatsache ignoriert, dass die Zeit gekommen ist, eine 70 Jahre alte, im Wesentlichen unveränderte Technologie aufzugeben und dem Fortschritt Platz zu machen – zumindest dort, wo Qualität gefragt ist.

Immer noch versuchen die Hersteller von Line Arrays mit sehr fragwürdigen Resultaten, eine sphärische Welle, in eine zylindrische zu verbiegen, womit die ohnehin schon bescheidene Tonqualität eines Kompressionstreibers nur noch weiter reduziert wird. Insbesondere bei Line Arrays, oder technisch präziser gesagt bei **Linien**, können **Magnetostaten** das volle Potential ihrer Konstruktion beweisen.