

Wide-Smile
Beugungsspalt-Box
mit Transmissionline-Bass
© 2024 by not0815



Prolog

Lautsprecher mit einem über alle Winkel hinweg gleichmäßigen Abstrahlverhalten können, insbesondere in Räumen mit problematischer Akustik, deutlich besser klingen als solche ohne sog. **Constant Directivity**. Hochwertige Lautsprecher werden heute immer häufiger mit Constant-Directivity-Verhalten erstellt. Eigenschaften dieser Lautsprecher:

- Auf Achse sind diese Boxen über alle Frequenzen hinweg am lautesten.
- Die seitliche Pegelabstrahlung soll möglichst gering und vor allem über alle Frequenzen hinweg gleichmäßig abfallen, so dass die seitlichen Pegelfrequenzgangverläufe nur leiser sind aber im wesentliche den selben den Verlauf wie auf Achse aufweisen.

Unter dieser Prämisse bleibt der Klangeindruck und die Klangbalance auch bei seitlicher Beschallung weitgehend konstant, es wird nur leiser. In Wohnräumen bedeutet dies außerdem, dass die Reflexionen eine ähnliche Klangfarbe haben wie der Direktschall. Dies ist insbesondere bei wenig bedämpften Hörräumen vorteilhaft.

Die aller meisten Lautsprecher-Chassis strahlen den Schall i.d.R. aber nur bis zu einer bestimmten Frequenz unter allen Winkeln eines Halbraums mit der gleichen Intensität ab. Wird die Wellenlänge des abgestrahlte Schalls jedoch kleiner als der Membrumfang eines Chassis zeigen fast alle dynamischen Lautsprecher eine stetig steigende Bündelung hin zur Achse. D.h. der Pegel auf Achse steigt kontinuierlich bis zur oberen Grenzfrequenz des Chassis an, gleichzeitig sinkt der unter Winkel abgestrahlte Schall mehr oder weniger entsprechend ab. Ab einer bestimmten Frequenz - deren Wellenlänge im Verhältnis zum Membrumfang sehr kurz ist - strahlen nahezu alle Chassis den Schall nur noch schmal wie eine Taschenlampe den engen Lichtkegel ab. Je breiter der betrachtete Abstrahlwinkel ist, desto geringer wird der seitliche Pegel in Verhältnis zur Achse. Wie und bei welcher Frequenz die Bündelung einsetzt und wie stark sie ausgeprägt ist, hängt neben der Membranfläche u.a. sehr stark vom Chassisaufbau und seiner Membranform ab. Grundsätzlich gilt: Je größer die Membranfläche eines Chassis ist desto tiefer beginnt die Bündelung. Daraus ergeben sich zahlreiche Probleme.

Für eine tiefe und dennoch starke Basswiedergabe sind bekanntlich große Membranflächen zielführend. Die Nachteile von Chassis mit großen Membranflächen sind dafür aber u.a. eine recht früh einsetzende Bündelung der Schallabstrahlung. Der geringen Schallabstrahlbreite wird nicht selten mit einer entsprechend tiefen oberen Auskoppelung des Chassis begegnet. Dieser Umstand erzwingt dann eine höhere Anzahl verschiedener Chassis in verschiedenen Wiedergabebewegen. Dies führt einerseits zu anderen weiteren Problemen und erhöht die Gesamtkosten deutlich.

Bei Mehrwege-Lautsprechern kommt es sehr häufig beim Übergang von einen zum anderen Chassis zu einem Bruch der Abstrahlcharakteristik. Hat z.B. der Tieftöner bereits seine Bündelungsfrequenz erreicht, wird durch ihn der Raum nur noch eingeschränkt unter Winkel mit Schall befüllt. Außerhalb der Achsen der Lautsprecher ist der Schall bereits deutlich leiser zu vernehmen. Übernimmt nun ein Mittel- oder Hochtöner die Beschallung, so zeigt dieser i.d.R. aufgrund seiner anderen Geometrie auch ein anderes Abstrahlverhalten. Da Mitteltöner und erst recht Hochtöner unabhängig von ihrer Bauform, egal ob nun Konusmembran- oder



Wide-Smile



Wide-Smile Paar

Kalottenbauform, deutlich kleinere Membranflächen aufweisen, beginnt bei ihnen die Bündelung auch bei deutlich höheren Frequenzen als bei Tieftönern. Ein 25-Zentimeter Tieftöner z.B. beginnt i.d.R. ab ca. 400-600 Hz die Schallabstrahlung zu bündeln. Oberhalb von 1-1,5 kHz wird unter seitlichen Winkeln von 45° und mehr nur noch sehr wenig und zudem häufig recht ungleichmäßig Schall abgestrahlt. Ein 13-Zentimeter Mitteltöner hingegen beginnt meistens erst ab ca. 1,2 bis 1,8 kHz und eine 25 Millimeter Kalotte meist erst oberhalb von ca. 4-8 kHz zu bündeln. Werden nun über eine Frequenzweiche den einzelnen Lautsprecherchassis ihre Frequenzbereiche zugewiesen, ist das Abstrahlverhalten der Box vom Abstrahlverhalten des jeweils aktiven Chassis abhängig. Bündelt bereits der Tieftöner aber strahlt der Mitteltöner bzw. Hochtöner in diesem Bereich noch weit ab, so kommt es im Übernahmebereich zwischen Tief- und Mitteltöner bzw. Hochtöner zu einem Bruch im Abstrahlverhalten. Bei Mehrwege-Boxen kann dieses Phänomen bei jedem Übergang von einen zum anderen Chassis auftreten. Dies kann dazu führen, dass die Abstrahlcharakteristik einer Box sehr stark von der Frequenz abhängig ist und über sie stark schwanken kann.

Bei konventionellen 2-Wege-Systemen, insbesondere bei Systemen mit großen Tieftönern ist das Problem besonders stark ausgeprägt. Ein 20-Zentimeter Tiefmitteltöner beginnt aufgrund seiner Geometrie je nach Membranform, -material und -typ i.d.R. zwischen 700 - 1.000 Hz die Schallabstrahlung zu bündeln. Ab ca. 1,5 kHz ist die Abstrahlung bereits recht stark in Richtung der Achse eingeschränkt. Oft liegt der Pegel unter großen Winkeln bereits -20dB und mehr unter dem Pegel auf Achse. Die häufig in 2-Wege-System als Hochtöner eingesetzten 25 Millimeter Kalottenhochtöner strahlen jedoch im Bereich ihrer unteren Einsatzfrequenz sehr breit, meist nahezu 180° gleichmäßig ab. Die Schallenergie die im Präsenzbereich abgestrahlt wird ist dann sehr viel größer als die Energie im Frequenzbereich darunter.

Dies führt nun trotz linearem Pegelfrequenzgang auf Achse dazu, dass die Gesamtschalleistung die in den Hörraum abgestrahlt wird sehr frequenzabhängig unterschiedlich ist. Der Leistungsfrequenzgang ist dann alles andere als ausgeglichen. Ein leicht ansteigender oder abfallender Leistungsfrequenzgang ist meist nicht so sehr tragisch. Wenn jedoch nach fallenden oder linearen Leistungsfrequenzgang plötzlich ein starker Schalleistungsanstieg im Raum auftritt bewirkt dies oft ein anstrengendes bis nerviges Klangbild. Wie stark die Auswirkungen sind, hängt nicht nur vom Lautsprecher, sondern auch vom Hörraum ab. Je nach Größe des Raums und dessen Nachhallzeit kann dies zu sehr unterschiedlichen klanglichen Ergebnissen führen. Gerade bei 2-Wege-System ist dieses Problem oft recht groß. Solche Boxen können auf Dauer schon mal "ins Ohr pieken", insbesondere bei höheren Lautstärken.

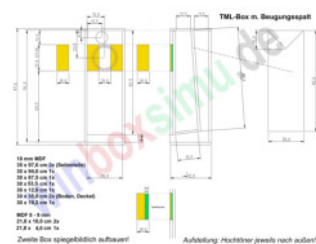
Um das Problem der **ungleichmäßigen Abstrahlung** einer Mehrwege-Gesamtbox unter Winkel in den Griff zu bekommen bieten sich mind. drei verschiedene **Lösungswege** an:

1. Chassis nur bis zum Beginn ihrer Bündelungsfrequenz betreiben

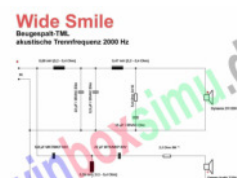
Eine Trennung der Chassis unterhalb ihrer Bündelungsfrequenz führt immer zu sehr niedrigen Trennfrequenzen mit all ihren Vor- und Nachteilen. Übernehmende Chassis mit kleinen Membranflächen können dadurch schnell an ihre mechanischen Belastungsgrenzen geraten. Dies ist bei 2-Wege-Systemen ein großes Problem. Insbesondere Hochtöner können nicht beliebig tief angekoppelt werden. Bei 25-Millimeter-Kalottenhochtöner ist eine Ankopplung unter 2 kHz nur bei wenigen Typen möglich. Beispiele für eine solche Lösung sind meine **FetteDrei**, meine **Halbpyramide** und meine **Big-Eight**. Erkauft wird die gleichmäßige breite Abstrahlung letztendlich mit einem geminderten Maximalpegel der Box. Der alternative Einsatz von 33-Millimeter-Hochtonkalotten - die leider i.d.R. erheblich teurer sind - kann zwar beim Übergang vom Tieftöner das Bündelungsproblem etwas mildern, führt aber dafür zu einer früheren Bündelung der größeren Hochtonkalotte und damit einer frühzeitigeren



Rohbau / Prototyp



Bauplan als PDF



Weiche als PDF

- Dämpfung Plan TML
- Akus. Sumpf schwere Mineralwolle (z.B. Sonorock)
- Filz 10-20 mm Stärke
- Volumenvlies 50 mm Stärke, 300-400 g/m²



Dämpfungsplan als PDF

Einschränkung der Abstrahlbreite im Hochtonbereich.

2. Maßnahmen zur Angleichung der Abstrahlcharakteristik

a. Begrenzung des Abstrahlungsfeldes des Hochtöners

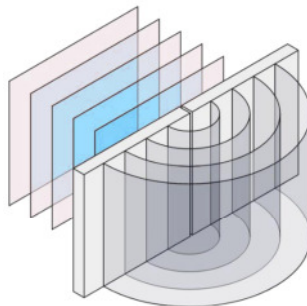
Bei dieser Methode wird die breite Abstrahlung z.B. von Kalottehochtönern an die Abstrahlbreite von Membranchassis bei höheren Frequenzen durch Schallführungselemente eingeschränkt und somit angepasst. Diese Aufgaben werden u.a. von sog. Waveguides (Wellenformer) erledigt. Beispiele für eine solche Lösung sind meine [SchlankeDrei](#) und meine [Workshopbox](#).



Waveguide für Kalotte

b. Erweiterung des Abstrahlungsfeldes des Tiefmitteltöners

Statt die Abstrahlbreite höherfrequenter Chassis zu begrenzen können zur Anpassung des Gesamtabstrahlverhaltens einer Box auch die Abstrahlbreiten von Membranlautsprechern erweitert werden. Eine Möglichkeit die Abstrahlung von Schall aufzuweiten ist der **Beugungsspalt**. Schall der durch einen (schmalen) Spalt geleitet wird, wird an den Kanten des Spaltes nach außen gebeugt solange die Wellenlänge des Schalls größer ist als die Breite des Spaltes.



Beugungsspalt

Die BBC hatte bereits in den 1960er Jahren mit Beugungsspalten in Lautsprecherboxen experimentiert, ein ausführlicher Bericht ist im BBC-Archiv zu finden, siehe [The design of studio monitoring loudspeakers ...](#) (www.bbc.co.uk/rd/publications/rdreport_1967_57).

Gute Hilfe kann ein passend dimensionierter Beugungsspalt leisten. Durch die Beugung wird die Schallabstrahlung unter Winkel lauter gleichzeitig sinkt der Pegel in Nähe der Achse. Aus diesen Grund sind m. E. Chassis mit einem gleichmäßigen Bündelungsverhalten besonders gut für die Verwendung hinten einem Beugungsspalt geeignet.

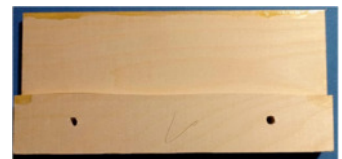
Dieses abstrahlungsausweitende Schallführungselement wird für das hiesige Boxen-Experiment genutzt.



ohne Spalt



mit Spaltblende



linke/rechte Blende
des Beugungsspalt



Innenansicht TML-
V-Übergang oben

Das Experiment *Wide-Smile*

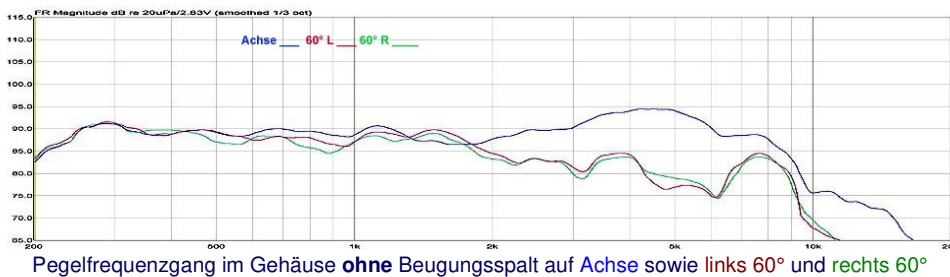
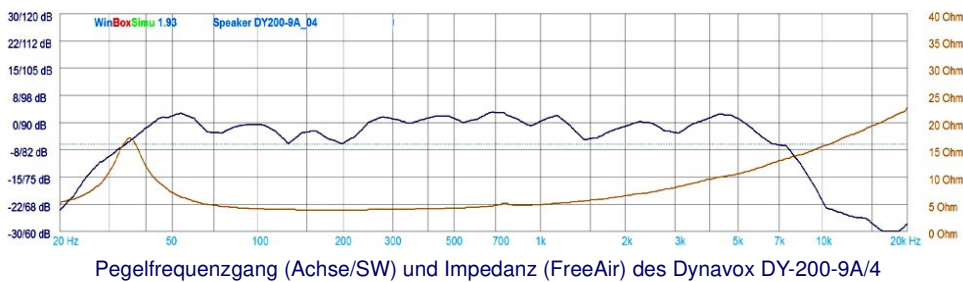
Da es sich hier um ein experimentelles Projekt handelt, wurde ein preiswertes Tieftonchassis gewählt, das **8 Zoll Dynavox DY-200-9A/4**. Dieses Chassis mit einer über 200 cm² großen Membranfläche und einem Pegelanstieg auf Achse stellte sich nach Abschluss des Projekt trotz des geringen Preises als hinreichend gut für den Tiefmitteltton diese Projekts heraus. Die Messung zeigen zwar, dass der Dynavox DY-200-9A/4 nicht gerade zu den Linearitätsmonstern der 8-Zoll Tiefmitteltönerklasse gehört, aber dennoch eine für das hier geplante Experiment durchaus ausreichende Qualität besitzt. Der sehr günstige Preis von nur ca. 13,- € das Stück erleichtert die Entscheidung nicht unerheblich.



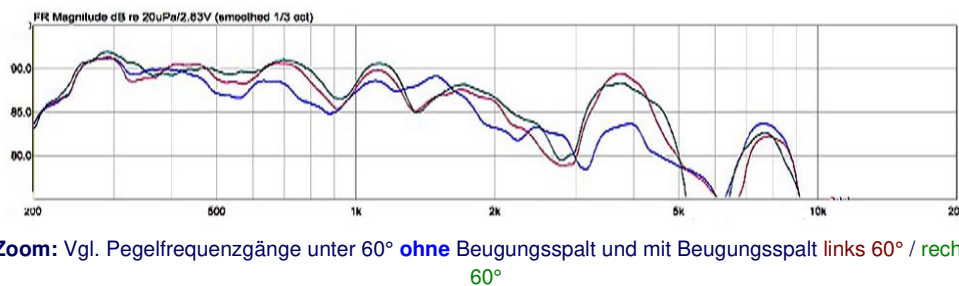
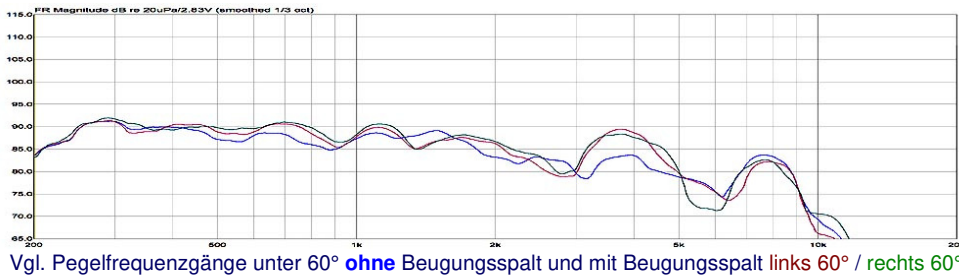
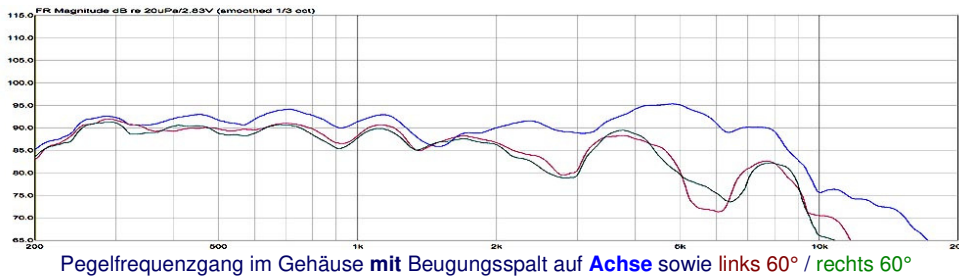
Wide-Smile Paar



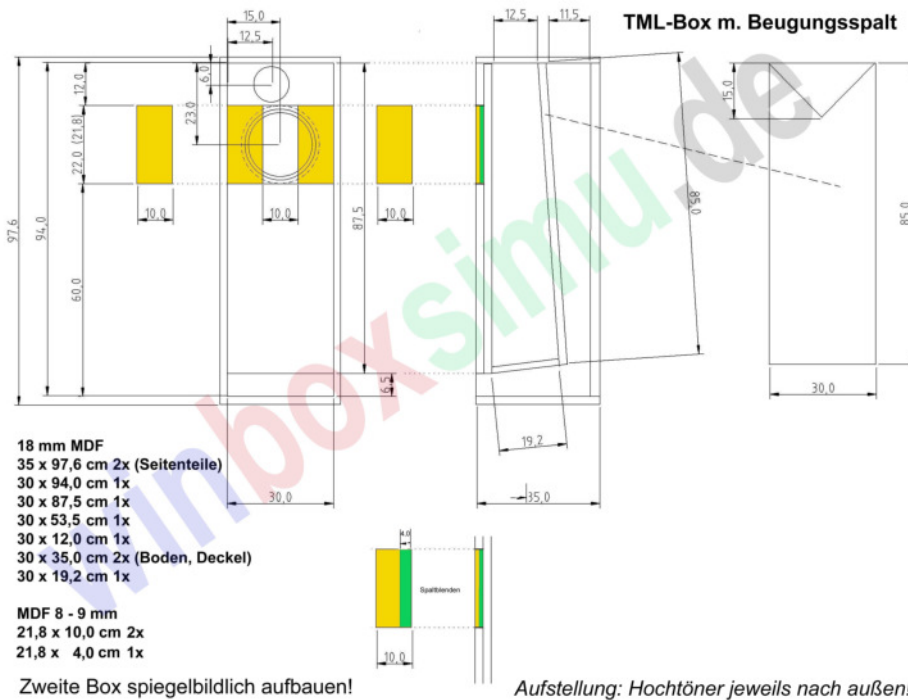
Dynavox DY-200-9A/4



Unter Einsatz eines **10 Zentimeter breiten Beugungsspalts** (siehe Gehäuseplan und Bild rechts) vor dem Tiefmitteltöner zeigt sich die Wiedergabe unter Winkel bis ca. 5 kHz deutlich lauter (ca. +4 bis +10 dB) als ohne Spalt. Die größte Wirkung des Spaltes ergibt sich im Bereich der Wellenlänge der Spaltbreite (ca. 3.400 Hz). Aber auch im Bereich von ca. 1.500 bis 2.800 Hz (der angestrebten Übernahmefrequenz) erhöht sich der Pegel unter 60° um 4-6 dB, gleichzeitig sinkt der Pegel auf Achse ein wenig und nähert sich somit dem Pegel des Hochtöners unter allen Winkeln deutlich an. Ein extremer Aufbruch des Abstrahlverhaltens im Bereich der Übernahmefrequenz wird damit vermieden.

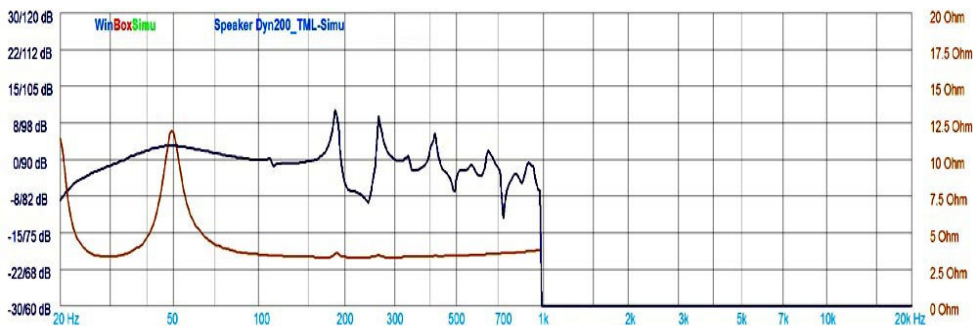


Für die **Bassgehäuseabstimmung** legen die TSP des Dynavox DY-200-9A/4 eine sehr große geschlossene Box (CB) oder ein Transmissionline-Gehäuse nahe. Für eine optimale Ausnutzung der Tieftonfähigkeit des Dynavox DY-200-9A/4 habe ich mich für ein TML-Gehäuse entschieden. Die gewählte Breite der Beugungsspalte von 10 Zentimeter führt zusammen mit dem für die TML erforderlichen Linequerschnitt zu einer recht großen Schallwandbreite. Diese Geometrie hält nicht nur die Tiefe der Box in wohnraumfreundlichen Grenzen, sondern bewirkt gleichzeitig eine kantenreflexionsarme Abstrahlung des Hochtöners. Die horizontal leicht außermittige Platzierung des Hochtöners führt zu einer weiteren Reduktion der kantenbedingten Welligkeit des Frequenzgangs.



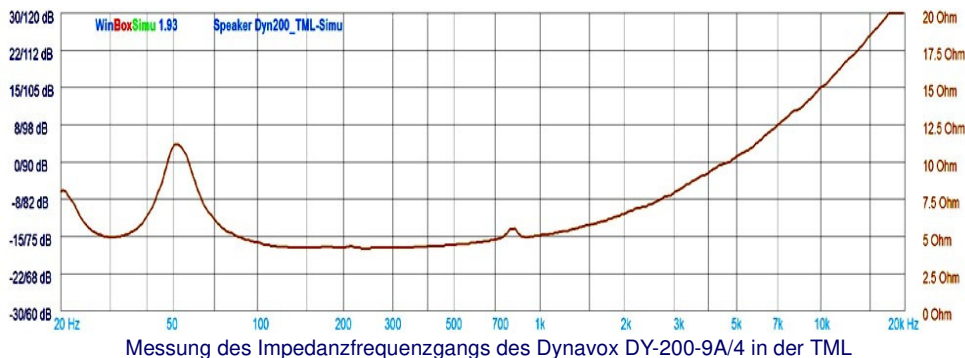
Gehäuse-Bauplan **Wide-Smile**

Die Gehäusegröße ist somit zwar etwas üppiger ausgefallen als bei vielen 2-Wege-Boxen, dafür belohnt das TML-Gehäuse mit einer sehr guten Bass- und Tiefbass- sowie einer sehr störungsarmen Hochtonwiedergabe. Die nachfolgende TML-Simulation verspricht schon eine sehr ausgedehnten Tieftonwiedergabe. Die TML-typische Welligkeit der Frequenzganges lässt sich mit geschickter Dämpfung der Line hinreichend in den Griff bekommen.



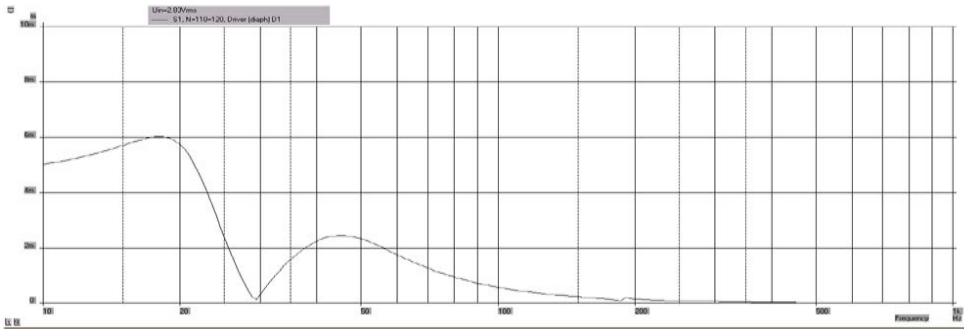
Simulation des Impedanz- u. Pegelfrequenzganges des Dynavox DY-200-9A/4 in der Beugungsspalt-TML

Die Impedanzmessung des Dynavox DY-200-9A/4 in der TML bestätigt die gute Qualität der vorstehenden TML-Simulation. Die leichte Differenz in der Güte der Resonanz ist auf eine etwas höhere Dämpfung als in der Simulation zurückzuführen.



Auch die mechanische Belastung des Dynavox DY-200-9A/4 in der TML hält sich in Grenzen, jedenfalls solange nicht sehr hohe Pegel gefordert werden. Für Home-Hifi

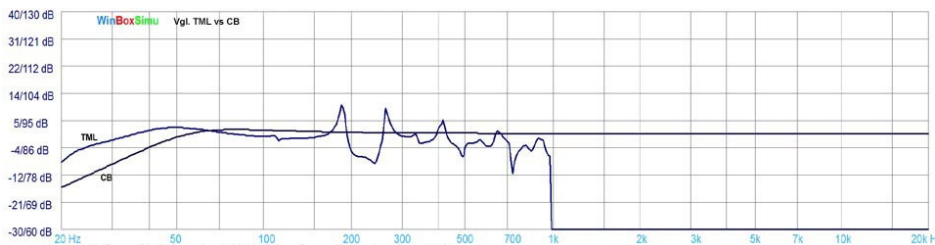
typische Pegel reicht die Belastungsgrenze m.E. jedoch völlig aus.



Simulation des Hubs in Millimeter des Dynavox DY-200-9A/4 in der Beugungspalt-TML bei 2,83V

Aufgrund des recht starken Anstiegs der Schwingspulenauslenkung unterhalb der TML-Tuningfrequenz (ca. 35 Hz) sollte die Box immer über einen Subsonic-Filter betrieben werden.

Der nachfolgende Vergleich des Dynavox DY-200-9A/4 in einer geschlossenen Box und TML zeigt den Grund meiner Entscheidung zu Gunsten der TML.



Vergleich der Simulationen von BS-TML und CB_(Qtc 0,7)

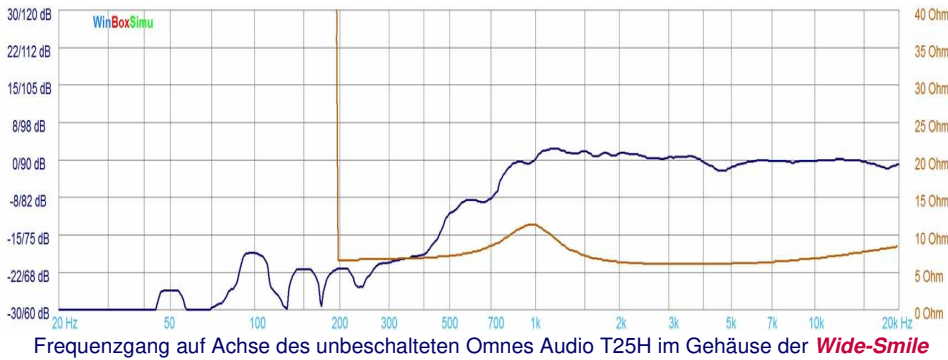
Gehäusedämpfung

Das TML-Gehäuse ist über die gesamte Länge mit ca. 60-70 Liter Polyester Volumenvlies (30-50 mm stark 300g/m²) zu **dämpfen**. Im vorderen Bereich der Line unterhalb des Tieftöner ist die Watte etwas fester zu einen sog. akustischen Sumpf zu stopfen. Im diesem unteren Bereich kann auch schwerere Mineralwolle (z.B. Sonorock) eingebettet werden. Die erforderliche Dämpfung hängt auch recht stark vom Wiedergaberaum und Aufstellungsort ab. Hier kann jeder hinsichtlich der eigenen räumlichen Verhältnisse und seines Geschmacks etwa experimentieren, grundsätzliches siehe Dämpfungsplan.

Durch die mittels Beugungspalt erheblich aufgeweitete horizontale Abstrahlbreite des Tiefmitteltöners kann nun - ohne einen groben Bruch in der räumlichen Abstrahlung in Kauf nehmen zu müssen - eine **breit abstrahlende Kalotte** direkt an den großen Tieftöner angekoppelt werden. Hier fiel die Wahl auf die trotz des recht niedrigen Preises erstaunlich gute Omnes Audio T25H.

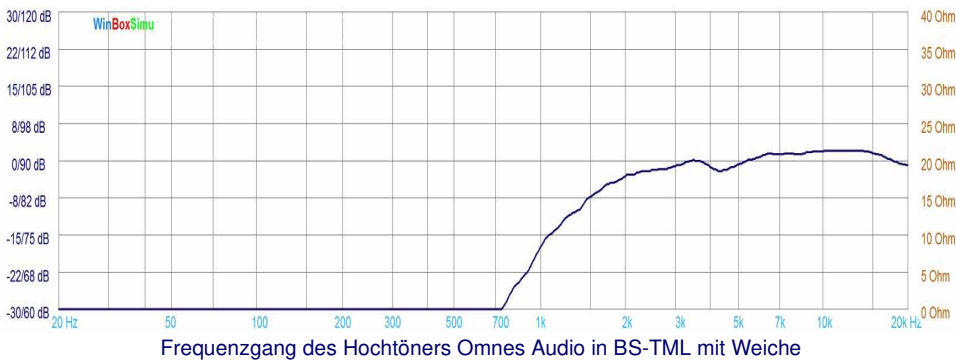
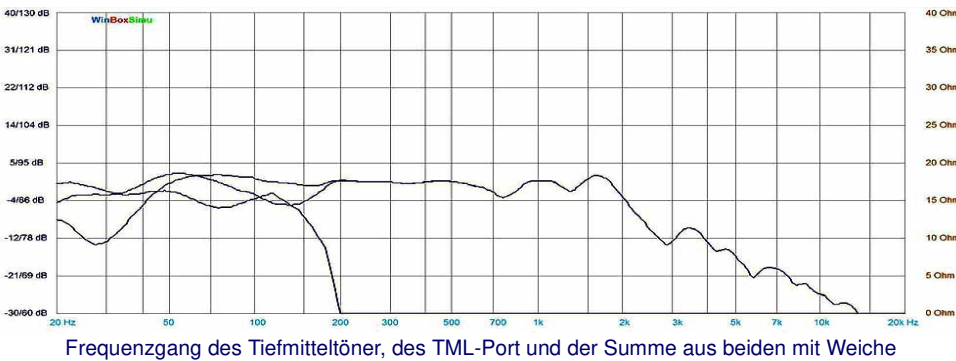


Omnes Audio T25H



Die Frequenzweiche

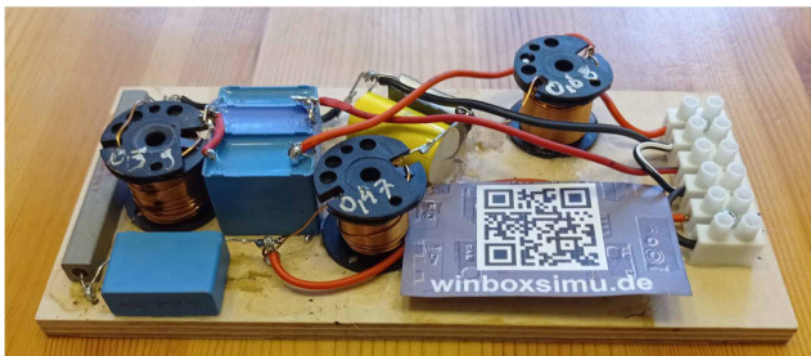
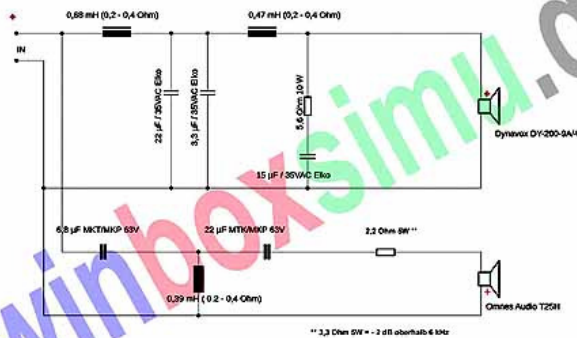
Die Frequenzgänge beider beschalteter Chassis im Gehäuse ergaben sich wie folgt.



Die Frequenzweiche ist als akustischer Filter 4. Ordnung gestaltet. Die akustische Trennfrequenz liegt bei ca. 2.000 Hz. Die **Wide-Smile** ist im Standard auf eine leicht hellere Wiedergabe (+2 dB oberhalb 6 kHz) abgestimmt. Wer eine zurückhaltendere Hochtonwiedergabe bevorzugt, kann dies durch Austausch des 2,2 Ohm Widerstandes gegen einen 3,3 Ohm 5 Watt Widerstand erreichen (siehe [Schaltplan](#)).

Wide Smile

Beugespalt-TML
akustische Trennfrequenz 2000 Hz

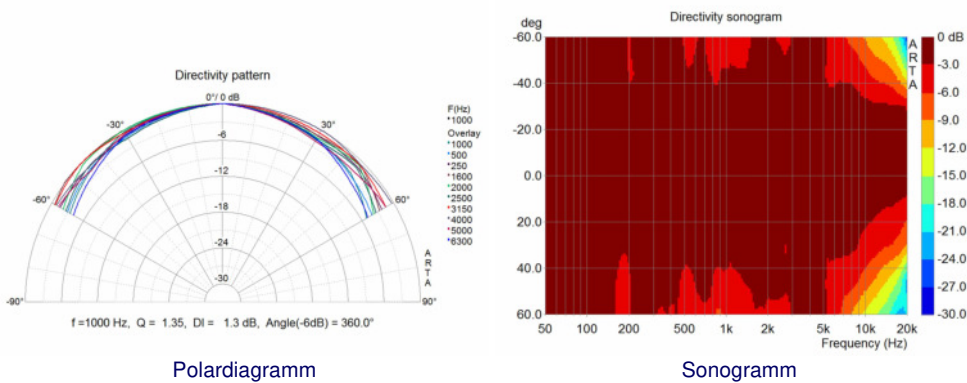
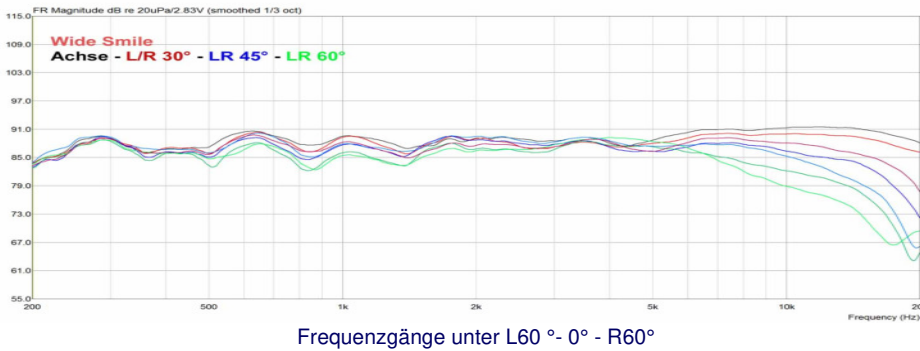


Weichenschaltplan (PDF)

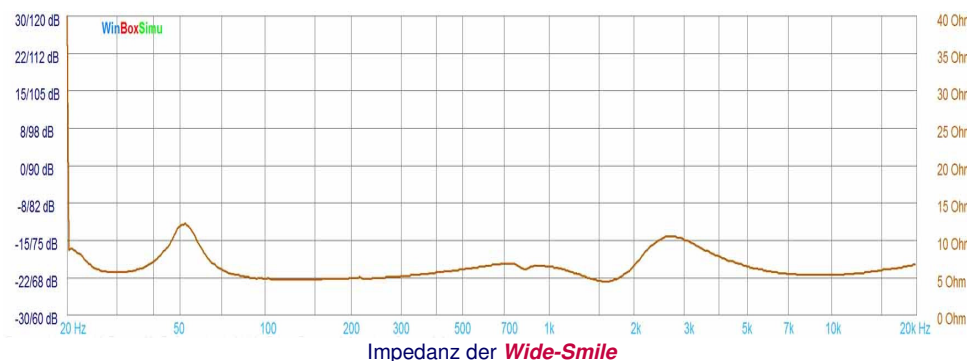
Die **Qualität der Weichenbauteile** sollte immer in einem vernünftigen Verhältnis zur Qualität und zum Preis der verwendeten Chassis liegen. Die klanglichen Auswirkungen von Kondensatoren unterschiedlicher Bauarten in Frequenzweichen werden oft erheblich überschätzt. Die klanglichen Vorzüge sehr teurer Bauteile liegen meist im Voodoo und die zum Teil extremen Mehrkosten lassen sich oft nur aus Sicht der Bauteilverkäufer rechtfertigen. Für die **Wide-Smile** können ohne klanglichen Einbußen für den Tiefmitteltonzweig durchaus preiswerte bipolare Elkos verwendet werden. Lediglich im Hochtonzweig ist es sowohl klanglich gerechtfertigt als auch preislich vernünftig MKT Kondensatoren einzusetzen. MKP Kondensatoren bringen nach meiner Meinung hier zwar keine weiteren wirklich hörbaren klanglichen Vorteile, da aber die Mehrkosten für MKP anstatt MKT Kondensatoren im Hochtonzweig aufgrund der recht kleinen Kapazitätswerte recht gering sind, kann man um auch das hifidele Gewissen zu beruhigen durchaus MKPs verwenden. Aus Gründen der Betriebssicherheit sollten alle Kondensatoren eine Spannungsfestigkeit von ca. 35 VAC oder höher aufweisen. Die Spulen der Frequenzweichen sollten keinen wesentlich höheren Verlustwiderstand als im Schaltbild angegeben aufweisen. Spulen mit geringeren Verlustwiderstand bringen jedoch auch keine klanglichen Vorteil, im Gegenteil wird bei erheblicher Unterschreitung der angegebenen Verlustwiderstände der Spulen im Bassmitteltonzweig ein leichter Verlust der Tiefbasswiedergabe und eine leichte Anhebung des Mitteltonpegels und damit eine Änderung der tonalen Balance eintreten. Abweichungen von ca. +/- 25% vom angegebenen Verlustwiderstandswert sind jedoch m.E. völlig vernachlässigbar, da kaum oder gar nicht hörbar. Bezüglich der Belastbarkeit reichen im Hochtonzweig Luftspulen mit 0,7 mm Drahtdurchmesser völlig aus. Als Drosseln im Tiefmitteltonzweig eignen sich Luftspulen mit einem Drahtdurchmesser von 1 mm aber auch Ferritkernspulen mit 0,7 mm Draht.

Fazit

Die mit diesem 2-Wege-Projekt angestrebte breite und gleichmäßige Abstrahlung über alle Winkel und auch im Bereich der Übernahme zwischen den Chassis ist trotz des recht großen Tiefmitteltöners sehr ordentlich gelungen. Selbst unter den Winkel von links 60° und recht 60° liegen die Pegeldifferenzen zur Hauptachse meist unter 2-3 dB. Die gefürchtete *Tannenbaum*-Abstrahlcharakteristik ist nicht vorhanden. Erst im Bereich des Hochtöners fallen die Frequenzgänge außerhalb der Achse signifikant ab. Ein noch breiter abstrahlender Hochtöner könnte das Ergebnis noch weiter verbessern, was hier jedoch aus Gründen des Budgets nicht möglich war.



Die **Nennimpedanz** der *Wide-Smile* beträgt 5 Ohm und ist mit einem Minimum von 4,6 Ohm sehr verstärkerfreundlich.



Klang

Wunder sollte man auch von dieser Konstruktion nicht erwarten. Aber nicht nur im Hinblick auf die recht geringen Gesamtkosten kann das klangliche Ergebnis als überaus beeindruckend bezeichnet werden. Der klangliche Eindruck ist in einem weiten räumlichen Bereich nahezu gleich, es ist kein "Kleben" im sog. Sweetspot erforderlich. Durch die Klarheit der Hochtonwiedergabe und der freien räumlichen Abbildung klingt diese Box stets entspannt und einschmeichelnd. Das Klangbild wird

auch bei langem Dauergenuss nie nervig. Hinzu kommt nicht zuletzt eine für die Kosten sehr trockene und tiefreichende Basswiedergabe, so dass das etwas größere Aussehen der Box durchaus zu verschmerzen ist.

Kosten pro Box ab ca. 130,- EUR (Stand 9/2024):

- Chassis
 - Dynavox DY-200-9A/4 ab ca. 17,- EUR
 - Omnes Audio T25H ab ca. 23,- EUR
- Frequenzweiche ab 45,- EUR
- Gehäuse (19mm Spanplatte) ab ca. 20,- EUR
- Dämmung, Dämpfung ab ca. 15,- EUR
- Kleinmaterial ab ca. 10,- EUR

Entwickler:	not0815 Sven Patelscheck	Name der Box:	Wide Smile
Copyright:	© 2024 winboxsimu.de	Typ:	2-Wege TML
Internet:	www.winboxsimu.de/Boxen23.html	Trennfrequenz:	2.000 Hz
		Besonderheit:	Beugespalt