

Kapitel 14.6

Konstruktion einer 3-Wege D'Appolito Box für die bisherige Position der 2-Wege Box

Die ersten Fragen sind: Sollen die Lautsprecher einen angestammten Platz einnehmen und wenn ja welchen? Welche Entfernungen zu den Zimmerwänden stellen sich ein? Welcher Gehäusetyp (Geschlossen oder Bassreflex) ist günstiger für einen linearen Frequenzgang im Zuhörplatzbereich?

Die Lautsprecher sollen nahe an der schmalen Wand stehen Dann ergibt sich für eine möglichst originalgetreue Wiedergabe eine geschlossene Box und geschlossene Kammern für die Mitteltöner.

G.Schamkrug und R.Römer schrieben im [1] zum Thema „Lautsprecher im Wohnraum“: Selbst Musiker spielen nicht gern unter Freifeldbedingungen, außer Alphornbläsern o.ä. . Musik wird vermittelt durch Raum und Luft als Zusammenhang. Das Ortungsvermögen mit einem Ohr im Raum ist besser als im Freien. Raumbedingungen können die Wiedergabe verbessern wie auch verschlechtern, oder auch beides. Am meisten ist die Basswiedergabe betroffen. In Schallwellen ändert sich Druck und Schnelle abwechselnd, Überdruck wechselt mit Unterdruck, die Bewegung der Moleküle wechselt in ihrer Richtung. Ist die Wellenlänge größer als der Raum, soll der Ton gleichmäßig nach dem Druckkammermodell wiedergegeben werden, ist sie in der gleichen Größe oder kleiner, werden Reflektionen die Wiedergabe sehr stark beeinflussen. Bei Auslöschungen von stehenden Wellen im quaderförmigen Raum hilft auch kein Equalizer, der nur die Amplitude der Welle erhöht, nicht aber die Auslöschungsbedingungen. Die Schwinggüten von Räumen (5...10) sind oft wesentlich größer als die der Tieftonlautsprecher (0.5–0.7), schwingen also länger aus.

Beim längsten Wandabstand bildet sich die tiefste Raumresonanz aus. Um eine Raumresonanz nicht anzuregen, soll der entsprechende Lautsprecher im Schnellemaximum angebracht werden, was für die unterste Frequenz nicht geht, da dann die Box in Zimmermitte steht. Selbst für die 2. Raumresonanz rückt die Box dann immer noch mehr als 1,5m von der Wand weg, was kein weiblicher Ehepartner akzeptiert. Für deutlich höhere Frequenzen lassen sich die Lautsprecher eher optimal positionieren. Übereinander angeordnete Chassis regen vertikale Raumresonanzen weniger an. Aber es ist zu beürchten, dass ein zweites Chassis gleicher Frequenz das erste verzögert anregt. Die Lautsprecherkonstruktion muss in den Wiedergaberaum integriert werden. Selbstbau hat hier große Vorteile. *Hier ermöglicht sich die Optimierung der vertikalen Position von Tieftönern und Mitteltönern. was die Aufgabe der Gehäusekonstruktion am geplanten Stellort ist.*

Bei Nachhallzeiten unter 0,2s müssen die größten Raumresonanzen nicht bedämpft werden. Nachhallzeit ist die Zeit bis der Ton bis –60dB bedämpft ist. *Laut CARA liegt die Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen der eigenen Wohnstube an der angegebene oberen Sollgrenze und bei den hohen Frequenzen an der unteren.*

Raumresonanzen sind spitze Peaks mit geringer Bandbreite. Wandreflektionen sind breitbandiger, können aber auch bis 20dB Fehler verursachen. Fußbodenreflektionen führen im Abstand von 80cm zu einer Senke bei 150Hz, während die Frequenzen unter 80Hz um +3dB angehoben werden. Wenn jetzt Rück- und Seitenwand auch noch 80cm betragen, wird der für HIFI angesetzte Toleranzbereich verlassen. *Genau das ist der Hauptmangel der links stehenden 2-Wege-Kompaktox, was aber bedingt ist, durch die vorgegebene Positionierung und die Ohrhöhe.* Der –3dB Punkt der Freifeld-Frequenzkurve sollte eine ½ Oktave über der untersten Raumresonanz liegen. Das ist nicht möglich, die unterste Raumresonanz ist wie eine Schallmauer, so etwas ähnliches ist es ja, mit einer Box mit extrem niedriger Resonanz sie durchbrechen zu wollen.

Das Gehör kann neben dem Direktschall auch den indirekten Schallanteil der Reflektionen mit dem gleichen Klangergebnis bewerten. Das Gesetz der ersten Wellenfront ist als Haas-Effekt bekannt. Nach Einfall der ersten Wellenfront werden nachfolgende Schallsignale bis 40ms lang untersucht, ob sie in Beziehung mit diesem ersten Signal (Direktschall) gebracht werden können oder ob sie neue Signale enthalten, denen wieder entsprechende Nachuntersuchungen starten. Gehören die späteren Signale allerdings zum Direktschall, wird dessen Pegel nachträglich erhöht (siehe auch Kap.2). Alle Reflektionen innerhalb einer gewissen Zeitspanne, werden zur Verbesserung von Ortbarkeit und Klangqualität herangezogen. Das heißt, eine richtige (geeignete) Verteilung von Reflektionen ist wünschenswert. Hörner oder große Membranen mit nicht ausreichenden indirekten Schallanteil mit Verzögerungszeiten von 3 bis 10ms bündeln zu sehr, was einen

Mittellautsprecher erfordert. Rundumstrahlende Lautsprecher hingegen haben einen zu großen Reflektionsanteil. Der Abstrahlwinkel sollte 160° erreichen.

In der Umgebung von 50cm sollten sich keine schallharten eckigen Gegenstände befinden. *Für die vorhandene Lautsprecheranordnung erfolgen die Seitenreflektionen bei einem Lautsprecher viel eher.*

Die Reflektionen durch die Zimmerdecke haben fast die gleiche Laufzeit wie die direkten Einwirkungen vom Lautsprecher. Räume mit höheren Decken ermöglichen eine bessere Stereoortung, da die Deckenreflektionen Energie für die Stereoortung abzugeben. Ein Diffusor an der Zimmerdecke wäre wünschenswert. Doch *welche Ehegattin würde diesen wohl zustimmen? Aber mit der geplanten D'Appolito Anordnung und der Frequenzweiche soll durch vertikale Schalldruckmessungen der Einfluss der Weiche und der Mitteltöner auf die vertikale Strahlungskeule untersucht werden, mit der Fragestellung ob eine eventuell erreichbare vertikale Einengung die Ortbarkeit verbessert werden kann.*

Das Gehör ist äußerst kompromissbereit. Nur bei Flatterechos wird es kritisch. Das Gehör kann mit solchen Störsignalen nichts anfangen, was dazu führt, dass die Identifizierung schlecht erfolgen kann.

Ein Flatterecho wurde rechts in der hinteren Zimmerecke entdeckt. Die gemessene Schalldruckresonanzüberhöhung liegt bei 270Hz. Ein Sperrkreis schwächte die Resonanz ab und ließ Frauenstimmen weniger rau klingen. Es war eine nachhaltige Erfahrung.

14.6. Geometrische Gehäusekonstruktionen

Welcher kleinstmögliche Tieftöner kann ein Optimum zwischen maximal erlaubten Gehäuseabmessungen und möglichst tiefer minimaler Grenzfrequenz bilden?

Die jetzigen BR25 auf Ständern umfassen die Abmaße: 11dm Höhe, Standfußbreite 3dm und Gehäusetiefe mit Freiraum hinten 4,3dm, was einem Bruttovolumen von 140L entspricht. Ein Mitteltöner benötigt mit einer Abstimmung zwischen Bessel und Butterworth ein Nettovolumen von etwa 10L. Bei einer D'Appolito-Anordnung sind das 20L. Bleiben 120L. Das Erlaubnismaximum ist 12,5dm Höhe, 3,3dm Breite und 5dm Tiefe mit einem Bruttovolumen von 200L. Also der Spielraum ist 120 bis 180L Brutto.

Nach ersten Simulationen ergeben sich 50 bis 100L für 8" Tieftöner mit einer -3dB Grenzfrequenz im Raum von 25Hz, für 10" Tieftöner mit 120 bis 170L sind es 20Hz. Mit einem 20er wird das erlaubte Volumen nicht ausgeschöpft. Es wird zwar eine höhere Kennempfindlichkeit erreicht aber eine geringere Tieftonbelastbarkeit, ein höherer Hub bei tiefen Frequenzen und 5Hz Tiefgang verschenkt. Für die Große Orgel und die Kontra-Instrumente und für den Raum vielleicht doch notwendig, aber das gilt es ja zu erforschen.

14.6.1. Eine Recherche zur D'Appolito Anordnung

Die D'Appolito-Anordnung von TMT über und unter dem HT ermöglicht eine Verdoppelung der abstrahlenden Fläche, was Verzerrungen um 6dB absenkt, vergleichbar mit dieser Rauschverringung bei DOLBY B.

In der Praxis, so schreibt D'Appolito, ist es äußerst schwierig, das ideale vertikale Abstrahlverhalten zu erreichen. Man kann schon zufrieden sein, über einen Bereich von 25 oder 30° optimales Verhalten zu realisieren. Aber auch bei einem größerem Abstand als der optimale von 2/3 der Wellenlänge der Trennfrequenz greift die MT-HT-MT Anordnung. Leute, die einen Tiefenversatz auf der Lautsprecherfront zum Ausgleich der Gruppenlaufzeit einsetzen, lösen Probleme, die es überhaupt nicht gibt. Die bekannten Verfahren zur Zeitkompensation funktionieren nicht richtig, da sie seitlich bereits über 30° immer mehr verschwindet. Zur Erzielung der des optimalen Rundstrahlverhaltens ist ein bewusst eingesetzter Tiefenversatz ungeeignet. Eine optimale Amplitudenlinearität ist besser als eine optimale Gruppenlaufzeit. Eine perfekte Zeitanpassung ist illusorisch.

Interessant ist aber, dass [2] über D'Appolito erzählte, dass er die Entwicklung von Linkwitz bedeutend und richtig hielt, forderte aber für ein kostspieliges Aktivsystem wesentlich höhere Schalldrücke als wie sie mit dem Linkwitz Vorschlag möglich ist. Genau wie Linkwitz hielt D'Appolito ein Tiefmitteltontchassis von 130mm (Membran-) Durchmesser für das Optimum hinsichtlich des Abstrahlverhaltens, nur dass die gewünschten Schalldrücke sich nicht realisieren ließen. Mit der herkömmlichen Anordnung, wo beide TMT direkt übereinander gesetzt wurden, führte dies zu wesentlich schlechteren Abstrahlverhalten. D'Appolito fand eine andere Lösung, nämlich die 2. Möglichkeit der Anordnung, deren Beweis er mathematisch begründet hat. Der

Mitteltöner sollte bei 2kHz, besser noch darunter, getrennt werden und bis 4kHz tadellos funktionieren, das heißt eine Trennfrequenz vom TMT zum HT soll $< 2\text{kHz}$ sein.

Ungünstig werden die Reflektionen der Schallwandkanten des Lautsprechergehäuses angesehen. In dem Buch von J. D'Appolito [3] werden auf S.158 prinzipielle Zusammenhänge des Hörabstandes zum Schallwandkantenabstandes dargelegt. Die Schalldruckänderung hinter der Kante verursacht eine neue Wellenfront, die sich in alle freien Richtungen ausbreitet. Die Phasenlage dieser Welle ist gegenüber der ursprünglichen Welle um 180° verändert. Dadurch ergibt sich in bestimmten Abständen zum Chassis Schalldruckabweichungen in Form von Verstärkungen und Abschwächungen, da die beiden Wellen miteinander interferieren.

1996 analysierte M.F.Konar [4] nochmal die Abstrahlbedingungen nach D'Appolito, insbesondere die Wechselwirkung zwischen den zwei MT, und kam zu dem Ergebnis, dass diese außerhalb der Achse vertikal zu einigen Unregelmäßigkeiten führen, die nicht prognostiziert worden waren. Nach Untersuchungen einer Anzahl von D'Appolito Systemen, obwohl dieses System relativ selten zu finden ist, stellte der Autor fest, dass viele von ihnen eine charakteristische Verfärbung im Mitteltonbereich aufwiesen. Das Linkwitz-Riley Netzwerk für die MT/HT Anordnung zeigt auf $\pm 45^\circ$ einen theoretischen Amplitudeneinbruch von -20dB bezogen auf die Achse. Die Arbeit von D'Appolito beweist, was jedem intuitiv offensichtlich erscheint, dass die symmetrische vertikale Anordnung MT/HT/MT auch eine vertikale symmetrische Abstrahlung ermöglicht. In der Treiberanordnung MT/HT/MT existiert eine Wechselwirkung unabhängig von der Weiche zwischen den beiden Niederfrequenztreibern. Eine Quelle der Verfärbungen außerhalb der Achse ist die destruktive Interferenz der beiden MT. Konar gibt eine Berechnungsformel an, wonach bei gegebener Distanz zwischen Mittelpunkt MT und dem des HT, bei gegebener Entfernung zur Chassis-Ebene und dem gegebenen Winkel dazu, die niedrigste Frequenz f_x ermittelt wird, bei dem es zum totalen Amplitudeneinbruch kommt. Bei dem Datensatz (117mm, 2m, 45°) ergibt sich 1043Hz. Über eine nicht angegebene Berechnung erhält er mit Butterworth 3.Ordnung einen Einbruch von -17dB . Hier hat der HT keinen Beitrag mehr zur Beeinflussung des Systemausgangs. Das System muss also so designed werden, dass die niedrigste Frequenz f_x durch den HT abgestrahlt werden kann. f_x muss also größer sein als die Trennfrequenz f_t der Weiche. Bei einem Datensatz von (f_t 2kHz, 2m, 45°) darf der Mittelpunktsabstand nur 61mm betragen. Wie groß wäre hier der geforderte maximale Abstand nach D'Appolito? Er wäre maximal 115mm! Also noch kein direkter Widerspruch. Die Bedingungen nach D'Appolito sind schon hart, aber 61mm physikalisch unmöglich, wenn man vom Standpunkt der Mindestgröße des MT ausgeht, einen geforderten 130mm Membrandurchmesser. Bei Einsatz eines Neodymhochtöners mit 30mm Gesamtdurchmesser kommt man mit dem abgerüsteten MT von 110mm Membrandurchmesser auf bereits 92mm. Die f_x steigt dann auf 1327Hz mit -11dB . Der Autor verglich beide Chassissysteme 117mm sowie 92mm mit den beiden Filtersystemen Butterworth 3.Ordnung und Linkwitz-Riley 4.Ordnung bei $\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$, $\pm 45^\circ$. Der Autor meint, dass es bezüglich dieser Schalleinbrüche keine Vorteile der symmetrischen MT/HT/MT Anordnungen gegenüber den klassischen HT/MT gibt. *Doch, zumindest in der doppelten Abstrahlfläche. Anhand der Ergebnisse in Kap.5 muss man jedoch sagen, dass es nicht um Mittelpunkte der TMT gehen kann, denn die Reflektionen beziehen sich ja auf die Schwingspulen der Kalottenhochtöner, dort wo die Membran zu Ende ist und nicht auf die Mittelpunkte der Kalotten. Der AL130 hat bei 90° und 2kHz nur -5dB Schalldruckabfall. Er arbeitet fast als Kugelwellenstrahler, wobei aber die gute Rundumstrahlung eher davon kommen sollte, dass er wie ein Kolben abstrahlt. Das bedeutet aber dass man vom Membranrand ausgehen muss. Bei einer TMT/HT Anordnung hat man die Interferenzen auch wie bei HT/TMT. Bei der BR25 mit Linkwitz Riley 4. Ordnung Weiche erkennt man keine Schalleinbrüche, wenn man von 3,5m Entfernung auf 0,5m heranschreitet und dann von oben auf die Box guckt. Im Gegenteil, es scheint räumlicher zu werden.*

Die Ergebnisse könnten aber auch aussagen, dass je geringer der Abstand ist, desto höher steigt die Sinnfälligkeit, ein Linkwitz-Riley-Filter zu nehmen, da diese durch die höhere Frequenz f_x besser vom HT übernommen werden kann, *siehe eben BR25*. Und so schlecht sieht es für die MT/HT/MT (3,2) auch nicht aus, wenn die Amplitudenbeiträge

der HT noch hinzu gerechnet werden, während die HT Beiträge in den HT/MT (2,2) bereits drin sein müssten.

14.6.2. Einflüsse bei einer Schallwand mit mehreren Ebenen

Es gibt eine ganze Reihe namhafter großer Hersteller, die mehrere Ebenen von Chassis bevorzugen, um die Zeitgleichheit der Impulswiedergabe zu gewährleisten. Ein Beispiel auf dem DIY Markt ist die STUDIO24 von AOS [5], wo sich der Autor aus Anlass des Tests in [6] mit den Umständen gedanklich im Internet auch auseinandersetzt, s. Abb.1. Schmalbandige Einbrüche erkennt das analoge System nicht. Auch das Ohr bekommt solche Einbrüche nicht mit, weil es sich um Reflexionserscheinungen handelt, die nur an ganz bestimmten Positionen gemessen werden können. Zum Beispiel in 1m Entfernung, wenn das Mikro genau auf Achse steht. Das "Problem" reduziert sich mit der Entfernung. Unsere Messprotokolle mit MLSSA bestätigen die Messungen der Hobby-HiFi. Die Metallkalotte zeigt die gleichen schmalbandigen Einbrüche wie der Ringradiator R 2904/7000. Die konkav gerundete Kanten der aufgedoppelten Schallwände, die wir brauchen, um den richtigen Zeitversatz zum Hochtöner zu bekommen, bilden an der Schallwand des Hochtöners einen Winkel von 90° . Aus der Formel der Schallgeschwindigkeit in Luft, kann man errechnen, dass der Abstand von 11 cm zwischen den beiden Kanten einen Effekt bei 3400 Hz verursachen. Je näher also die Kanten zur Hochtönkalotte positioniert sind, desto höher liegt die Frequenz, bei der dieser Einbruch passiert. Wir haben ein wenig experimentiert. Zuerst mit Filzstreifen. Die bringen aber nur dann einen Erfolg, wenn sie kreisförmig und doppelstöckig um die Kalotte positioniert werden. Im zweiten Versuch haben wir Pappstreifen im 45° Winkel angesetzt. Das Ergebnis: etwas besser, aber noch nicht perfekt. Im nächsten Versuch haben wir die Streifen konvex gebogen, sodass ein weicher, ohne Kanten verlaufender Übergang zur aufgedoppelten Front gegeben war. Damit war der Frequenzgang und die Sprungantwort perfekt. Die einfachste Methode, diesen messtechnischen Auslöschungseffekt zu beseitigen, sind konvex gebogene Folien. Wenn man die aufgedoppelte Schallwand zum Hochtöner hin mit einem Hohlkehlfräser konvex fräst, hätte man den gleichen Effekt. Da man das aber wieder nicht ohne Kante hinbekommt, müsste die Kontaktfläche der aufgedoppelten Schallwand zum Schallwand 2mm abgefräst sein.

Abb.1: AOS Homepage 2006



Später umgeht AOS die Problematik, indem nur die Tieftöner aus der Ebene herausgehoben werden. Dabei werden diese auf einen Ring montiert, dessen Profil genau der eingearbeiteten Folien entspricht.

Bei der mit AL130/Seas Noferro modifizierten BR25 wurden die TMT auf die Schallwand ausgesetzt, was eine Heraushebung von 3,5mm bewirkt hat. Die weitere Heraushebung des TMT AL130 wurde mit Hilfe der Frequenzweiche filtertechnisch umgesetzt, das waren 6,5mm.

In [7] argumentiert man: Psychoakustiker gehen davon aus, dass erst ein Versatz eines MT-Chassis von 30cm (DREISSIG ZENTIMETER!!) diesen um 1ms verzögert. Eine Verzögerung zwischen den Frequenzbereichen wird als unhörbar erachtet, solange sie im MT/HT-Bereich unter 2ms bleibt, im Bass ist die Grenze erst bei 10ms. Das hat meine Erfahrungen

