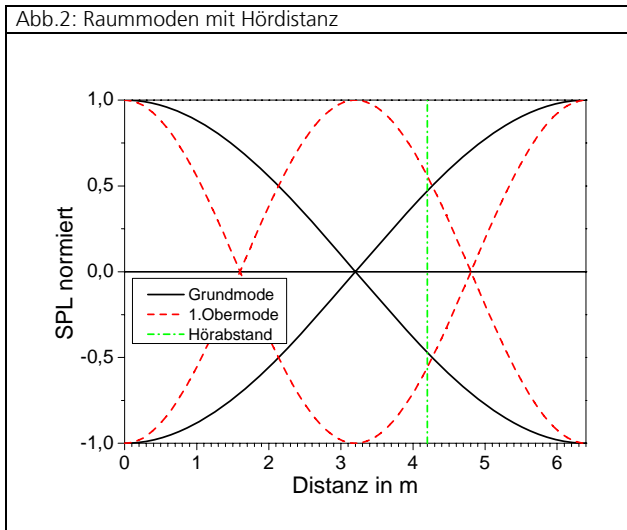
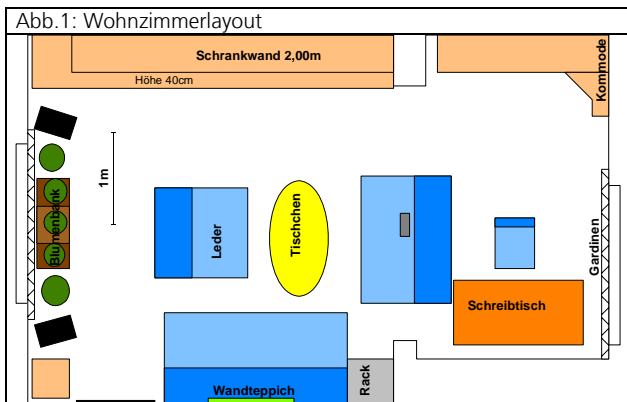


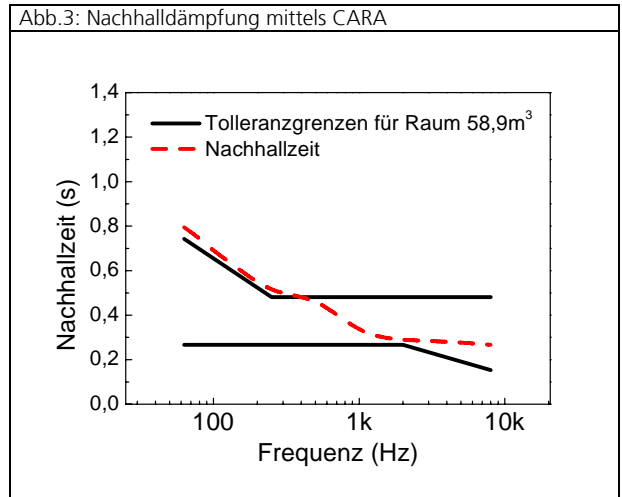
## Kapitel 4

Die experimentellen Versuchsreihen an Passivweichen verschiedener Ordnung zur Überprüfung der im Kapitel 2 geäußerten Aussagen 1998-2001

Es konnte in einer neuen Wohnung der Hörplatz bei 2/3 der Raumlänge eingerichtet werden. Das Geräterack wurde seitlich und nicht zwischen den Lautsprechern gestellt. Der Nachteil - lange Kabel, eine Herausforderung. Durch die Bedingung 2/3 der Raumlänge, die auch aus persönlicher Erfahrung die beste Tieftoncharakteristik ergab, resultierte jedoch eine asymmetrische Verteilung der Links-Rechts-Seitenreflexionen, die im Grundtonbereich 2 unterschiedliche Anhebungen verursachten. Die Streuung rechts wurde durch eine bessere Bedämpfung links durch einen flauchigen Wandteppich etwas ausgeglichen.



Zwischen die Lautsprecher wurden zur Dämpfung und Streuung der Schallwellen eine Blumenbank gestellt. Weitere Längsdämpfungen erfolgten durch Gardinen. Eine Streuung und Dämpfung der Wellen aus dem oberen Bass erfolgte durch große Lederpolstermöbel. Auf der Homepage von STEREOPLAY befand sich eine Möglichkeit mittels einem Raumakustikprogramm von CARA die Nachhalldämpfung anhand des Möbliars, sowie Teppichen und Gardinen, etc. abzuschätzen. Die Ergebnisse sind recht zufriedenstellend und in Abb.3 dargestellt.



### 4. Nicht nur Belastungsfähigere Weichenbauelemente

Abgesehen von recht individuellen und dem jeweiligen besonderen Problemkreis zugeschnittenen Lösungen zur Impedanzlinearisierung (Kap.3 Schluss), die relativ selten zur Anwendung kommen, werden im allgemeinen für durchschnittliche preiswerte Lautsprecher mit ebenfalls preiswerten Chassis die Weichen 2.Ordnung mit 12dB Trennung pro Oktave bevorzugt, mitunter sind auch Weichen mit gemischter Ordnung zu finden, wie 6/12 oder 12/18 o.ä.. Ein große Zahl von Lautsprechern mit mehreren Chassis werden in 2 1/2 Wegen ausgeführt.

Für audiophile Lautsprecher sind die Weichen 1.Ordnung mit 6dB/Oktave die erste Wahl, da sie diejenigen mit „minimaler Phase“ sein sollen und die niedrigsten Gruppenlaufzeiten aufweisen, hier werden die in 3.2. erwähnten Massnahmen zur Impedanzlinearisierung angewendet, dafür werden für diese Lautsprecher die besten und meist teuersten Chassis gewählt, die es auf dem Markt gibt. Was zeichnet diese Chassis aus? Klirrarm und schnelles Ausschwingen nicht nur im Nennbereich, besonders tiefe Wiedergabe wird möglich, hochbelastbar und optisch reizvoll.

Selten sind die Weichen 3.Ordnung, sie sollten vor allem in den D'Appolito Systemen (s. 2.) eingesetzt werden. Andere Fälle sind die, wo Chassis mit hervorragenden Eigenschaften im Nennbereich aber mit kritischen Parametern ausserhalb dieser Bereiche eingebaut werden sollen.

Obwohl namhafte und bekannte Lautsprecher-Theoretiker für Weichen höherer Ordnung gesprochen haben, insbesondere für die 4.Ordnung als passive Lösung, hat sie doch praktisch kaum eine Bedeutung erlangt, außer für diejenigen Chassis, die im Nennbereich hervorragende Eigenschaften besitzen aber auf Grund ihrer besonders harten Membranen zu wilden Membranaufbrechungen neigen, die die Klangbalance verschieben und verfärbten würden. Aber oft genug werden anstelle dieser steilen Filter Sperr- oder Saugkreise eingesetzt, wahrscheinlich nur aus purer Angst vor zu großen Phasendrehungen. Man könnte fast behaupten, dass sich hier die Theorie mit der Praxis scheidet. Fest steht jedenfalls, dass die Masse der Lautsprecher mit seinen 12dB Weichen eben wie Radio klingt. Und die audiophilen Typen sind entweder hochbelastbar oder sind sehr feinsinnig und lieben eine spezielle Musikrichtung, aber ein einzelnes klassisches Musikinstrument originalgetreu im Einschwingen und Ausschwingen wiederzugeben, können sie trotzdem nicht. Andererseits werden Weichen 4.Ordnung dagegen viel häufiger in Aktivlautsprechern eingesetzt, vor allem im Bereich der professionellen Aktivmonitoren, dort stehen andere Pämissen als Entscheidungsgrößen.

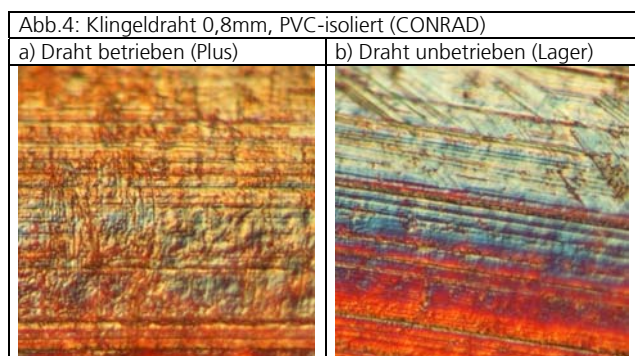
Zuerst war eine klangliche Überprüfung der neu auf den Markt gekommenen MKP Kondensatoren mit höherer Durchbruchspannung und Belastbarkeit sinnvoll, da eine Wichtung zwischen den verschiedenen Frequenzweichen dann leichter sein sollte. Ebenfalls neu auf dem Markt erschienen, waren 10W MOX Widerstände bei Intertechnik. „High-End“ Lautsprecher sind bereits damit ausgerüstet worden.

Für den schnellen Bauteilwechsel wurden Steckboards (Typ Profi C Conrad Nr.526860-11) eingesetzt. Danach wurden die Filter mit LASIP unter Berücksichtigung der elektromechanischen Parameter der Chassis der BR25 simuliert.

#### 4.1. Ein „update“ der alten Weiche

Der Stand der alten Weiche war, dass 4W MOX Widerstände, 250V DC MKP Kondensatoren und 1mm Draht-Luftspulen verwendet worden waren. Die alten Weichen wurden auseinander gelötet, die Anschlüsse vom Lot gereinigt, mit Skalpell abgezogen und die Bauteile auf den Steckboard montiert. Dabei fiel auf, dass die Oberfläche der alten mit Kunststoff-isolierten Drähte nach Abisolieren eine feine opalisierende dunklere Oberfläche hatten, während die noch vorhandenen aber unbenutzten Kabel von der gleichen Charge nach dem Abisolieren eine hellere und blankglänzende Oberflächen hatten. In Abb.4 sind die Drahtoberflächen, aufgenommen mit Mikroskop in Phasenkontrasteinstellung, dargestellt.

Die Elektromigration von Kupferleitbahnen führt unter Wirkung großer DC-Stromdichten dazu, dass sich sowohl Hillocks als auch Voids bilden, wobei der kapazitive Belag der Leitbahn ansteigt und der induktive sinkt [1]. Da Musik asymmetrische Impulse enthält, ist eine analoge Wirkung zum DC Stress möglich.



Aus Erfahrung im Kapitel 1, dass die Kondensatoren große Klangfortschritte gebracht haben, sind verschiedene 2,2µF Kondensatoren direkt vor dem Hochtöner im Vergleich zu den bisher angewendeten 250VDC Intertechnik getestet worden. Dazu wurden die Probanden in die Steckboards gesteckt und im A-B Vergleich mit der Box verglichen, die mit den Bauteilen der alten Weiche bestückt worden war. Um auch die asymmetrischen Raumeinflüsse zu minimieren wurden die Boxen 1,5m vor der Rückwand in der Zimmermitte positioniert und um eventuelle boxentypische Abnormalitäten zu berücksichtigen, wurde auch die andere Box mal mit dem neuen Probanden im Vergleich rückverglichen. Einige Typen, die Timmermanns noch getestet hatte, waren allerdings nicht mehr beschaffbar gewesen.

Der Wechsel der MKP-Bauart verursachte entweder ein klareres und durchhörbareres Klangbild mit mehr Feindynamik oder eben das Gegenteil. Erwartet wurde, dass diejenigen mit der höheren Durchbruchfestigkeit den besseren Isolator hatten und damit die geringsten Verluste mitbrachten. Auch Timmermanns äußerte ab und zu, dass sein Gefühl sei, dass die Kondensatoren mit den höchsten Durchbruchfestigkeiten am besten „klingen“.

Im direkten Vergleich, kam heraus, dass die Klangqualität mit der Durchbruchsspannung anwuchs. Für solchen Vergleiche war der CD-Spieler prädestiniert. Musikpause, Titel zurück oder ein paar Takte zurück, das ging sehr schnell. Mit Plattenspieler hätte der Vergleich doppelte Zeit mit mehr Aufmerksamkeit beansprucht, abgesehen davon, dass bekannt war, dass die Veränderung ja dort viel weniger zur Geltung kommt.

Tab.1: Übersicht Kondensatoren

Lieferant	Name	Bauart	Metal	Klang
Intertechnik	MKP 250V DC	MKP	Al	4
	MKP 400V DC Audyn	MKP	Al	3
	MKP-QS 630V DC Audyn	MKP	Al	1
WIMA	MKP 160V DC	MKP	Al	5
Hifisound	FastCap 450V DC Solen	MKP	Al	2
Intertechnik	KP-SN 250V Audyn	FKP	Sn	a.K.
Siemens	Styroflex 63V	FKS	Al	a.K.

Der von anderen hochgelobte KP-SN wird nach einer anderen Bauart hergestellt, die oft fälschlicherweise auch mit MKP bezeichnet wird, er ist aber ein FKP, weil die Polypropylenfolie (PP) nicht mit Zinn metallisiert wird, sondern sie wird zusammen mit Zinnfolie gewickelt. Hochgelobt deshalb, weil er sehr niedrige  $\tan(\delta)$  Werte und einen sehr kleinen seriellen Widerstand aufweisen soll.

Dieser Kondensator muss deshalb sehr straff gewickelt werden, weil sonst die Phasenübergänge zu lückenhaft sind und keine definierten Grenzflächen ausbilden. Die Benotung des KP-SN wurde mit a.K. bezeichnet, weil er außer Konkurrenz gestartet ist, da a) der Preis für eine Bibliothek zu hoch war, b) große Kapazitätswerte nicht verfügbar und c) die Spannungsfestigkeit im Vergleich doch recht niedrig war. Im Hörvergleich stellte sich auch ein „außer Konkurrenz“ Verhalten heraus, weil seine Auswirkungen überhaupt nicht in die MKP-Reihe passte. Er schien ein klareres Klangbild als der 630V Audyn zu haben, weil er die oberen Oktaven betonte ohne wirklich die Auflösung zu verbessern. Der Audiophile würde es mit „Überanalytik“ bezeichnen. In längeren Hörsitzungen wurde er sogar etwas lästig, so dass man den Hochtöner mehr bedämpfen musste. Der KP-SN sollte weniger auf Mikrofonie anfällig sein, aber es könnte sein, daß er selbst in sich schwingt, da man nie so dicht wickeln kann, dass alle Sn-Oberflächenatome das PP direkt kontaktieren, so wie es bei der Metallisierung erfolgt (zumindest für eine Metallgrenzfläche). Ein zweiter Grund mag sein, daß die Zinnfolie bis zum PP-Kontakt an der Luft war und dort ein „weiches“ Zinnoxid (Hydroxy-, Sn<sup>II</sup>, Sn<sup>IV</sup>) an der Oberfläche ausgebildet hat. Dieses „weiche“ Oxid hat Ähnlichkeiten mit dem des Elektrolytkondensators, weshalb man hier mit einem gewissen Klirr rechnen und den man auch hören kann. Nur bei Elektrolytkondensatoren fällt das nicht so auf, weil der Hochfrequenzverlust zu groß ist. Ein dritter Grund könnte sein, weil die Kristallinität des Zinns viel ausgeprägter ist als beim Aluminium. Bekannt ist das z.B. als „Zinneschrei“, was man beim Biegen von reinen Zinnstangen als Knistern hört. Die KP-SN brauchen länger zum „Einbrennen“ als die MKP mit Al, da schwerere Atome und auf Grund der massiveren Metallfolie sicher auch mehr Stoff zu bewegen ist. Sind die KP-SN formiert, wick die lästige Überpräsenz einem zu spitzem Klangbild. Ob die Formierung dauerhaft stabil ist, hängt von der Umgebung ab. Zinn hat ein Problem, wird es unter 13°C abgekühlt, kann es sich zu β-Zinn umwandeln, wobei es die Struktur des Siliziums ausbildet und zerbröckelt. Aus dem Grunde musste damals Napoleon in Russland aufgeben, weil die Uniformknöpfe der Soldaten aus Zinn waren und die berühmte russische Kälte hat die Knöpfe zerfallen lassen, die sogenannte „Zinnpest“ hatte sich verbreitet.

Ein zweiter Kondensator, der außer Konkurrenz lief, war der Styroflex Siemens, die größten waren 56nF-Werte. Dieser wurde zum Test einfach zu einem MKP parallel geschaltet. Eine Änderung des Hochtonepegels war laut Simulation nicht zu erwarten. Eine Prüfung des hochgelobten Kondensators aus Vorstufen war längst überfällig. Aber der Styroflex verschlechterte immer das Klangbild eine Stufe tiefer. Eigentlich nicht verwunderlich, mit nur 63V Durchbruchsspannung. Der zweite Grund könnte die FKP-Bauart sein. Die Polystyrolfolie (PS) wird nicht metallisiert sondern in gereckter Form mit Al-Folie gewickelt. Das Luftoxid von Al ist von besserer Qualität als bei Zinn. Danach wird der Kondensator getempert und die PS-Folie schrumpft wieder und schmiegt sich besser an das Al an als die PP-Folie an das Sn. Das mag auch der Grund sein, das der Styroflex wenigstens nicht „klirrt“.

Zum Schluss wurden noch die Widerstände ausgetauscht, 4W gegen 10W. Der Unterschied war geringer als zwischen 450V Solen und 630V Audyn Kondensatoren. der kleinere schien etwas besser zu sein, aber 10W waren belastbarer und handlicher.

Nach der Verlötung der neuen Weichen wurde ein schlechteres Klangbild festgestellt als es durch das Stecksystem in Erinnerung war. Aus Erfahrung war aber bekannt, dass frische Lotstellen einige Zeit brauchen um „eingespielt“ zu werden. Und tatsächlich, nach etwa 50 laut abgespielten CD's näherte sich die Qualität der des gesteckten Systems.

#### 4.2. Vergleich Verschiedener Ordnungen von Passivweichen

Zur generellen Klärung, welche Grundtypen von Weichen welchen Klangcharakter haben, wurden alle Weichen auf Steckboards (Typ Profi C Conrad Nr.526860-11) aufgebaut. Schritt für Schritt wurden dabei alle Bauelemente und deren Steckkontakte auf dem Board geprüft und nachgemessen (s. Kapitel 1). Die Spulen wurden dann

stehend angeordnet, da sie liegend eine geringere Induktivität aufwiesen. Die im Steckboard innenliegenden Klemmenzüge aus versilberten Federstahl haben Wirbelstromverluste hervorgerufen, die die Induktivität um bis zu 15% vermindert haben. Als Induktivitäten waren nur normale 1mm Luftspulen in Frage gekommen (s. Kap.1). Als Widerstände wurden 10W MOX Typen gesteckt. Als Modellbox wurde wieder das modifizierte BR25 – Gehäuse nebst den Chassis verwendet und die allgemeine Trennfrequenz wurde auf 2,2 bis 2,4kHz erhöht, um weit genug von der Resonanzfrequenz des HT zu kommen. Zur besseren Handhabung wurden die Steckboards auf die Boxen nach hinten gelegt. Die Impedanzgang des Tieftöners wurde mit einem RC-Glied und die des Hochtöners mit einem Saugkreis linearisiert, auch für die höheren Weichenordnungen, damit eine Vergleichbarkeit auf gleicher Basis aufgebaut werden konnte. Doch manchmal musste das RC-Glied in der Dimensionierung für einen linearen Frequenzgang auf Achse angepasst werden, ebenso die Dämpfung des Hochtöners.

Gestartet wurde die Weichensimulation nach den Parametern in Kapitel 3 und dann durch Probieren soweit angepasst, dass der Pegel auf Achse linearisiert war, d.h. die ungerade Filterordnung wurde mit Butterworth, die 4.Ordnung mit Linkwitz-Riley und die 2.Ordnung mit  $Q=0,5$  gestartet. Zu allen Weichen wurden die Steckpläne angefertigt, damit kein Fehler unterlaufen konnten.

#### 4.2.1. Kontrolle auf Funktionalität

Bevor es zum eigentlichen Filtervergleich kommen konnte, musste geprüft werden, ob denn gleiche Filter mit den neuen Steckboards auch den gleichen Klangeindruck hervorriefen. Dazu wurden die Filter 1.Ordnung gesteckt, das ging am schnellsten und war am übersichtlichsten. Der Klang war etwas unterschiedlich. Nach Überprüfung aller Verbindungen und Bauteile war kein Fehler mehr vorhanden. Also wurde die Lautsprecher wieder zunächst wie beim Bauelementevergleich hingestellt, wobei ca. 5cm Distanz blieb. Anschließend wurden die Boxen wechselseitig durch Drehen des Basisreglers im Monobetrieb mit verschiedenen Musikgenres (Pop...Jazz...Klassik) und der STEREO-Hörtest CD I abgehört. Beim Schieben des Basisreglers blieb die Klangabbildung homogen, nur die Quelle schien zu wandern. Es war alles in Ordnung.

#### 4.2.1. 6dB-Weiche gegen 12dB-Weiche

Während der Hochtöner in der 6dB-Weiche zum Tiefmitteltöner gleichgepolt war, wurde die 12dB-Weiche bewusst so gestaltet, dass der Hochtöner zum Tieftöner entgegengesetzt gepolt wurde, so wie das die Theorie vorschrieb.

Die erste Box mit der Weiche 1.Ordnung klang beim ersten Hinhören gegen das Filtersystem mit 12dB/Oktave deutlich angenehmer. Bei der zweiten Box schien sich das Klangbild näher zum Hörer hinzubewegen, während der Basisregler gedreht wurde und der Klang schien schriller zu sein. Es war sehr merkwürdig, da die Amplitudenlinearität innerhalb von 0,5 bis 1dB gleich war. Eine Überprüfung mit dem Equilizer hatte keinen Sinn, denn seine kleinste Änderung war + oder -2dB für ein Oktavenbereich. Die Korrektur im Differenzbereich änderte nicht den eigentümlichen Eindruck.

Mit 2 weiteren Boards wurden dann 2-kanalige Filterabhörungen möglich, leider nur nacheinander. Aber das konnte schnell geschehen, da nur die Bananas umgesteckt werden mussten. Für diese Abhörung wurden die Lautsprecher etwa 1m auseinander gestellt und in 1... 1,5m Abstand geprüft. Und hier kam so richtig der Unterschied zu Tage, obwohl etwas Zeit zwischen den Höreindrücken lag, das was dann hängen bleibt, ist der globale räumliche Abbildungseindruck. Für feine Unterschiede mussten dann Notizen gemacht werden. Während die 12er Weiche irgendwie anspringend, ja sogar etwas aggressiv wirkte, war die Klangabbildung der 6er diffuser und lag einfach mehr in der Ebene der Chassis. Das der 12er war hingegen war wieder präziser und vordergründiger. Für das Langzeithören war die 6er die bessere Wahl, für den kurzen Spassfaktor hingegen die 12er. Bezogen auf Originaltreue von akustischen Instrumenten war eine Entscheidung nicht möglich.

#### 4.2.2. 12dB-Weiche - 18dB-Weiche

Die Lautsprecher wurden wieder näher zusammengerückt und das 1. Board mit der Weiche 3.Ordnung bestückt.

Ähnliches wie unter 4.2.1. gilt auch in diesem Vergleich. Es war wieder die 12er, die unangenehmer, aggressiver und aufdringlicher

spielte, obwohl der Hochtöner der 18er auch verpolt worden ist, so wie es die Theoretiker bevorzugen, da diese Kombination leichte Vorteile gegenüber der gleichgepolten Variante besitzt. Ebenso überraschend war, dass trotz der großen und zusätzlichen Bauteile die 18er Weiche die Instrumente nicht nur noch präziser wiedergab, sondern erstmalig (gegenüber der 6er und der 12er) eine Tiefenstaffelung der Instrumente andeutete, obwohl es nur Mono war. Die 18er Weiche wäre bezüglich ihrer Abbildungsqualitäten also schon eine akzeptable Wahl, dazu klang sie zwar nicht so unspektakulär wie die 6er aber gefällig genug.

Nachteilig sind hier leider die zwei übergrossen teuren Bauteile, Kondensator und Spule, wie 47 $\mu$ F und 1,8mH, doch es sind ja eigentlich nur einmalige Anschaffungen.

#### 4.2.3. 18dB-Weiche – 24dB-Weiche

Mit dem Aufbau der 24dB-Weiche erschöpfte sich langsam der Platz auf dem Steckboard. Zum Glück tauschte sich der ganz grosse Kondensator gegen zwei etwas kleinere ein. Der Hochtöner wurde nun wieder gleichphasig mit dem Tiefmitteltöner gepolt.

Auf Anrieb fiel auf, dass die Tiefenstaffelung sprunghaft noch weiter reichte, wenn der Basisregler auf die Weiche 4.Ordnung zeigte, damit einher ging die qualitativ bessere Durchhörbarkeit. Die 24er Weiche steigerte die positiven Referenzen der 18er Weiche noch weiter, obwohl die Präzision noch weiter zunahm, wurde der Klang noch angenehmer. Aber eines aber verblüffte geradezu. Zuerst glaubte man, dass der Tiefbass zu „dünn“ wäre, der Pegelmesston stimmte jedoch. Das erste Mal konnte gehört werden, wie das lange Ausschwingen einer Fußtrommel vom Musiker aktiv bedämpft wurde. Es faszinierte, einige Einblicke in das aktive Tun des Musikers auch bei anderen Instrumenten erhören zu können.

#### 4.2.4. Unsymmetrische Weichen

Es wurden auch die in der Literatur empfohlenen und auch gebräuchlichen unsymmetrischen Weichen geprüft, wie die 6dB/12dB (Tiefpass 6dB/Oktave, 12dB/Oktave Hochpass), einschliesslich ihrer inversen Filterauslegung 12dB/6dB, als Kombination. Wiederholt wurde auch die alte 12dB/18dB Trennung, jedoch mit den genannten neuen Kondensatortyp und höherer Trennfrequenz, auch als inverse Auslegung. Desweiteren ist die Kombination 18dB/24dB kontrolliert worden. Die unsymmetrischen Weichen kamen ohne Verpolung des Hochtöners aus.

Die Hörergebnisse ließen sich entsprechend der Filterordnung einstufen, d.h. z.B. die Kombination 6dB/12dB lag zwischen der symmetrischen 6dB und 12dB, wobei ihre inverse Filterauslegung (12dB/6dB - fallende Filtersteilheit zum Hochtöner) etwas diffuser klang, was auch allgemein immer der Fall war, wenn der Hochtöner die jeweils geringere Filtersteilheit erhielt.

Die exotischen Kombinationen, wie z.B. 6dB/18dB, 6dB/24dB und 12dB/24dB sind nicht erprobt worden, da die elektrischen Phasenverläufe in der Simulation nicht recht durchschaubar waren.

#### 4.2.5. Diskussion der Ergebnisse

Die Weichen ließen sich nicht absolut theoriekonform realisieren. Die elektrischen Phasen hatten Abweichungen von bis zu 25° zur Theorie, da das Hauptaugenmerk auf einen möglichst linearen und gleichmäßigen Frequenzgang gelegt wurde. Die Klangbalance mit Rosarauschen war bei allen gleich, wenn die Lautstärke nicht das 1W-Äquivalent für 4 $\Omega$  (2V) überschritten hatte.

Abgesehen von diesen theoretischen Fehlern konnte man aber trotzdem von einem systematischen Gang bestimmter hörbarer Merkmale sprechen, wenn die Filterordnung anwächst. Es waren positive und negative Extrema hörbar und empfindbar.

Das eine Extrem war die symmetrische 12dB-Weiche, wo die elektrischen Phasen der beiden Filterzweige (fast) deckungsgleich gewesen waren, nur dass diese sich von 0° bei tiefen Tönen hin zu -180° bei den hohen Tönen kontinuierlich änderten und dass der Hochtöner verpolt war. Diese Weiche war die eindeutig schlechteste, d.h. die unangenehmste. Musik sollte dazu da sein, natürlich anregend aber auch entspannend zu wirken. Hier war aber das Klangbild so unangenehm anspringend und auch gewissermaßen anstrengend, dass man lieber schnell auf eine andere Weiche umgeschaltet hatte, gleich welchen Typs, jede andere war eine erholsame Alternative. Andererseits hatte dieses Klangbild auch etwas aufreizendes, was unter anderen Umständen sogar seine Vorzüge haben kann. Das faszinierende daran war, dass die Präsenz

scheinbar übersteigert war, was bei sehr grossen stark bedämpften Räumen von Vorteil sein kann, aber nicht für Wohnstuben, da ist der Raum eh' zu klein. Die Adaption des Hörsinns dauerte hier sehr lange bis man sich an diese Art der Musikwiedergabe gewöhnt hatte. Trotzdem ermüdete man schneller als bei den anderen Weichen. Dieser Charakterzug war so prägnant, dass die Beurteilung anderer Gesichtspunkte grosse Aufmerksamkeit erforderte. Was konnten die Ursachen sein?

Wird der Hochtöner verpolt, kommt es zu psychologischen Irritationen, da das Gehör möglicherweise gewohnt ist, den ersten Impuls als Druckinformation zu verarbeiten. Der Hörsinn vergleicht den Reiz mit der Erfahrung (s. Kapitel 2. Einführung) und gibt Alarm, weil eine potenzielle Gefahr zu spät erkannt wurde. Daher ist der Klang so unangenehm. Der Hörsinn korrigiert nach einer gewissen Zeit entsprechend seiner Erfahrung und interpoliert einen nicht gehörten ersten Impuls (so wie das Gehör zuweilen fehlenden Tiefbass ergänzt). Deshalb bekommt man den Eindruck eines anspringenden Klangbildes, denn die Gefahr sollte schon viel näher sein als sie gehört wurde. Die anderen Weichen mit verpolt Hochtöner wiesen keinen exakte Verpolung auf. Die Verpolung wurde dort durch andere Phasendifferenzen zwischen Hoch- und Tieftöner abgeschwächt, wie z.B. die Trennung mit 18dB/18dB eine Differenz von 270° hatte. Hier kann das Gehör besser adaptieren und interpolieren. Bei Weichen mit höherer Ordnung wird es nicht anders sein, nur beschränkt sich dort die Wirkung auf einen schmalen Frequenzbereich, da die Trennungsteilheit höher ist. Eventuell werden dort neue Effekte auftauchen, denn die Phasendifferenz einer symmetrischen Weiche 6.Ordnung mit 36dB Trennungsteilheit beträgt bereits +540° oder 1,5 Wellenlängen. Diese Differenz kommt dem Bereich schon recht nahe, wo die Zeitdifferenz hörbar wird (Kapitel 2; Phasen- und Laufzeitverzerrungen). Die Verpolung der Chassis wurde laut Literatur nicht so empfohlen, das war bekannt, der Grund wurde meist nicht beschrieben, und wenn doch, ist ein eigenes Nachempfinden trotz hoher Aufwände nicht bezahlbar.

Das andere Extrem war die 24dB-Weiche, wo der Hochtöner wieder zum Tiefpass gleichgepolt werden konnte und wo die elektrische Phase der Weiche eine exakte 360°, d.h. genau eine ganze Wellenlänge Differenz zuließ. Wenn, wie Schwamkrug (s.Kapitel 2) erwähnte, das Gehör im 25Hz Takt durch den Hauptimpuls getriggert wird und alle untergeordneten akustischen Ereignisse korreliert und dem Hauptereignis der Erfahrung nach zuordnet, dann kann man von einer exakten Phasensynchronität der Weiche reden und das scheint dann auch der Grund zu sein, warum das Ausschwingen verbessert schien. Die Simulation über LASIP bestätigte den hörbaren Erfolg, der elektrische Phasenfehler betrug im Übernahmebereich etwas mehr als 20°. Die Impedanz ging nirgendwo mehr unter 4Ω, damit hatte der Verstärker weniger Probleme und der Klirr sollte noch mehr verringert werden. In dem simulierten Schalldruckdiagramm sind auch Partialdiagramme für Tiefmittel- und Hochtöner zu erkennen. Der Hochtöner wird kaum besser abgetrennt als bei der korrigierten 12dB/18dB-Weiche (Kapitel 1) aber viel besser als die Originalweiche. Die 24er Weiche hatte außerdem vor allem Vorteile für den Tieftöner gebracht. Die Ursache des breitbandigen 7kHz-Peaks des Tiefmitteltöners lag in den Membranresonanzen. Beim der 12dB-Tiefpass befand sich diese Störquelle gerademal 24dB (Standardrichtlinie beim konventionellen Lautsprecherbau) unter dem Bezugspegel des Frequenzganges, beim 24dB-Tiefpass wurde diese Störung auf -55dB abgesenkt. Vielleicht der Hauptgrund für klarere Wiedergabe der 24dB-Weiche gegenüber denen der 1. und der 2.Ordnung, was sich in der verbesserten Tiefenstaffelung, bei akustischen Instrumenten und bei Beifallsszenen bemerkbar gemacht hatte. Denn theoretisch bewirken Membranresonanzen und -aufbrechungen Phasenstörungen im Wiedergabesignal, die das Klangbild diffuser erscheinen lassen sollten. Später, ab dem Jahr 2000 wurde ein weiterer Grund für das Hörerlebnis erkennbar, denn dann wurden in den Lautsprecherselbstbaumagazinen Klirrfaktoren von Kalottenhochtönern veröffentlicht. Wenn auch nicht die BR25 25mm Textilkalotten vermessen worden sind, so kamen doch allgemeingültige Verhaltensweisen heraus. Eine Oktave oberhalb der Hauptresonanz lag der harmonische Klirr unter 0,7%, meist sogar unter 0,5% für äquivalente Konstruktionen, doch unterhalb steigt der Klirr bis zur Hauptresonanz auf 1 bis 3% (-40 bis -30dB) und weiter darüberhinaus noch höher. Ein steileres Filter kann die Zunahme an Verzerrungen stärker unterdrücken. Ein steileres Filter kann auch den Hub und damit die Intermodulationen vom Hochtöner gerade bei niedrigen Frequenzen besser unterdrücken.

Nachdem im monauralen Modus die 24dB-Weiche als die beste Weiche erkannt worden ist, wurde auch die zweite Box mit einer ebensolchen Steckboard-Weiche ausgestattet. Die jeweiligen Zwischenstationen die zuvor durchexerziert worden waren, wurden nicht wiederholt, da die Kernaussage dadurch nicht verändert worden war.

Die 24er Kombi baut das Klanggeschehen ab Boxenfront beginnend präzise gestaffelt nach hinten auf, mit Ausnahme der tiefsten Bässe unter 80Hz, die erstmalig schwierig zu orten waren. Was sich zuerst in Mono angedeutet hatte, wurde jetzt frappierend räumlich. Die Abbildung wurde so präzise, dass man die 2 nebeneinander bewegenden Schlegel getrennt „sehen“ konnte. Die Instrumente einer Kammermusikgruppe blieben bei allen Tonhöhen am selben Ort. Sängerstimmen bauten sich kurz hinter der Boxenfront und sogar über den Boxen auf. Lynn Olsen [1] meint, dass die Phasendifferenz zwischen den zwei Chassis möglichst klein sein sollte, dann kommt die räumliche Abbildung dem Original am nächsten, aber verwehrte den Lesern die Realisierung einer Weiche 4.Ordnung, indem er schrieb: „(don't go beyond 18dB/octave)“, weshalb vielleicht manche preiswerten Weichensimulationsprogramme gar keine 4.Ordnung ermöglichen.

Aber die 24dB Weiche ist die einzigste, die eine *praktische* Phasendifferenz von „0°“ erlaubt. Praktisch, im Sinne der Erfahrung und im Sinne der Bemerkungen von Schwamkrug, und weil das Gehör oberhalb 1kHz mehr als 1 Schwingungsperiode braucht, um den Ton als solchen zu erkennen, weil die Tondauer im Trennbereich nur um 1/2 Periode vom HT vorgeschoben und vom Tieftöner verzögert wird, weil im charakteristischen Einschwing-Mode die Amplitude sowieso nicht konstant ist, sondern anwächst und weil der verzerrte Frequenzbereich in der Trennfrequenz sehr schmal ist, und nicht zuletzt, weil die Dämpfung der Verzerrungen wie Klirr und Intermodulation sowie von Membranresonanzen am stärksten ist.

#### 4.2.6. Aufwandsvergleiche

Auf eine Frage an einen Lautsprecherkonstrukteur, warum denn dann bisher keine 24dB Weichen realisiert worden sind, zumindest in grossen 2-Wege-Kompaktboxen, wurde über den materiellen Aufwand gestöhnt.

Schaute man sich aber hingegen eine wirklich gute „audiophile“ 2-Wege Box mit einer Weiche „minimaler Phase“ näher an, sprich eine symmetrische Weiche mit 6dB Steilheit, so mussten doch etliche Zusatzaufwendungen gemacht werden. Auf Grund der flachen Trennung von nur 6dB/Oktave musste theoretisch der Impedanzanstieg der Hauptresonanz (1,2kHz bis 500Hz) des Hochtöners unterdrückt werden und praktisch musste der sonst ungenügend abgeschwächte Resonanzklirr von einigen Prozent ausreichend bedämpft werden. Dazu sind Spuleninduktivitäten von einigen -mH erforderlich. Die Kondensatorwerte waren auch nicht klein, sie lagen im Bereich von 10µF. Je hochwertiger der Hochtöner, d.h. teurer, desto niedriger war die Resonanzfrequenz, die dann bis 500Hz hinunterging. Die Trennung bei 2kHz hätte gerademal eine Dämpfung von -12dB erreicht, die Hälfte der Standardvorgabe. Es gab bisher nur einen Hochtöner, der ohne deutlichen Klirr im Resonanzbereich und darunter gearbeitet hatte, der finanziell aufwändige Scan-Speak D2409/980000. mit beschichteter Al-Kalotte und Scheibenplug. Eine weitere Zusatzaufwendung war die noch erforderliche Impedanzlinearisierung des Tieftöners oder Tiefmitteltöners. Die Kondensatorgrößen bewegten sich auch im Bereich von 20µF. Um weitere Saugkreise oder sogar Sperrkreise zu vermeiden, kamen nur hochwertigste Tiefmitteltöner in Frage, die keinerlei Membranresonanzen aufwiesen. Aber auch diese Konustieftöner sonderten mit Sicherheit Hochfrequenzanteile ab, die andere Phasen als die Hochtöner hatten und damit die Hochtönerpräzision verschlechterten. Brachte man etwas preiswertere Membranen zur Wiedergabe, mußten die Oktavband-breiten Membranresonanzen stark durch einen Saugkreis oder Sperrkreis bedämpft werden und vorbei ist es mit der „minimalen Phase“. Leider äusserten sich die Membranresonanzen sehr oft mit einer ganzen Serie von kleinen Impedanzmaxima. Zeugnis für ein gewisses Phasenrauschen, wenn die Membran aufbricht.

Weichen 4.Ordnung kommen meist ohne RC-Glied für den Tieftöner und ohne Saugkreis für den Hochtöner aus. Der Aufwand ist gar nicht mehr so unterschiedlich.

#### 4.7. Die erforderliche Tief- oder Hochpassdämpfung

Wie bereits erwähnt, hätten die Ursachen die ungenügenden Dämpfungen der Chassis außerhalb des Nennbereichs sein können, dort wo zusätzliche Signale erzeugt worden sind, die nicht im Original vorhanden waren und die auch z.T. eine andere Phase hatten. Um die Größe der erforderlichen Dämpfung der Tieftönermembranaufbrechungen zu bestimmen, wurde der Hochtöner durch einen ohmschen Widerstand ersetzt und der Tieftöner mit verschiedenen Pegeln betrieben. Dazu wurde zu Beginn die Test-CD von Stereoplay mit den abgestuften Pegeln genutzt, später wurden Musikstücke unterschiedlich bedämpft, von 0dB beginnend und dann bis -80dB verfolgt. Die 0dB wurden mit dem Lautstärkesteller so justiert, daß dieser erfahrungsgemäß bei noch erträglicher Lautstärke steht (in „11Uhr“ Position bei CD-Wiedergabe, das entsprach ungefähr der Originaldynamik von einzelnen klassischen Instrumenten). Bis zu den bewussten -35dB waren Musik und der 315Hz Sinuston sowie der 3,5kHz Ton (Ohrempfindlichkeitsmaximum und Beginn der Aufbrechungen des Tiefmitteltöners) noch deutlich zu hören, bei -45dB vernahm man nur noch schwer den 315Hz Ton, die 3,5kHz deutlicher. Bei -55dB verschwand auch dieser im allgemeinen Umweltrauschen (30dB gemessen mit Brüel&Kjaer 4134/2235; Hörabstand 3,8m)). Konnte das überhaupt sein oder gab es hier Fehler?

Wäre dem nicht so und man bräuchte die volle CD Dynamik von idealen 96dB, dann wäre Musik von der LP vor Störungen unerträglich. Ist die LP aber „rillentief“ sauber und bringt voll ihre 55dB Dynamik, dann ist ein Hörzimmer mehr als ausreichend mit Wohlklang erfüllt. Die durchgeführte Reinigungsprozedur (Kapitel 1) führt quasi zu solch einer rillentiefen Sauberkeit und auch laut wird kein Rillenrauschen hörbar.

Im Vergleich dazu wurde die Pegelabstufung unter dem Kopfhörer untersucht. Hier schien die propagierte Welt wieder zu gelten, denn im Kopfhörer vernahm man erst Stille, als die -80dB unterschritten wurde. Eine Feinabstufung ergab weniger als -85dB. Und das obwohl zu Beginn eigentlich so laut gestellt wurde, daß man gerade noch etwas längere Zeit als ein paar Sekunden Musik hören konnte.

Wenn man Musik im Energieintegral betrachtet, besteht Musik im wesentlichen aus Pausen, so dass das Phasenrauschen durchhörbar sein könnte und nur Irritationen bewirken kann. Klirr erhöht das Energieintegral im Mittel- und Hochtonbereich und maskiert Grundtöne, da die Ohrempfindlichkeit bis 3,5kHz zunimmt. Werden harmonische Verzerrungen von passiven Bauelementen, elektronische oder Wandler, erzeugt, muss natürlich die Energie der jeweiligen Grundtöne entzogen werden, so dass diese im Pegel geringer werden, Maskierung und Pegelabzug verringern zusammen den Grundtoneindruck.

Verzerrungen, die größer als -55dB oder 0,17% sind, können gehört werden, wenn die Signallagen es gerade erlauben. Nun liegen die allermeisten Chassis bereits bei 90dB bei der doppelten bis dreifachen Verzerrungsquote. Jede zusätzliche Quelle kann identifizierbar werden. Das bedeutet allerdings, dass die genügende Dämpfung von solcherart Störsignalen für den Originaleindruck sehr wichtig ist.

#### 4.8. BR25 mit Frequenzweiche 4.Ordnung

Nachdem sich bestätigt hatte, dass eine 24dB-Weiche besser ist, zumindest für mittelpreisige Chassis, als eine aufwendige 6dB-Weiche oder auch wie gehabt 12dB/18dB mit gleichpoligem HT, wurden die Frequenzweichen 4.Ordnung richtig mit Verdrahtung aufgebaut. Diesmal waren schon 2 Euro-Al-Gehäuse von CONRAD notwendig, passend für getrennten Hoch- und den Tiefpassaufbau. Die Rückseite der Box mit 27cm x 22cm reichte dafür aber aus, nur die Boxtiefe wurde so verlängert. Um den Platz optimal auszunutzen, bei Berücksichtigung unterschiedlicher Spulenorientierungen, musste erstmalig ein extra Layout am Computer für die Bauelementeverteilung entworfen werden.

Nach Inbetriebnahme der Lautsprecher musste mal wieder erneut festgestellt werden, dass dieser Aufbau unangenehm höhenlastig war, wie das immer bei Neulötungen und neuen Bauelementen der Fall war. Die Schneidklemmtechnik der CONRAD-Steckboards hatte was für sich, nur leider etwas wackelig und für hohe Leistungen auch nicht tauglich. Die Kontakte zu den Chassis wurden abgelötet und mit Bananas versehen, die an blechgekühlte Hochleistungswiderstände angesteckt wurden. Ein „burn-in“ oder wie man noch zu sagen pflegt, eine „Voralterung“, wie das in jeder guten Halbleiterfab üblich ist, wurde vollzogen. Nur hier wurden mit möglichst hohen Strömen und Rosaruschen über 2 Stunden nicht

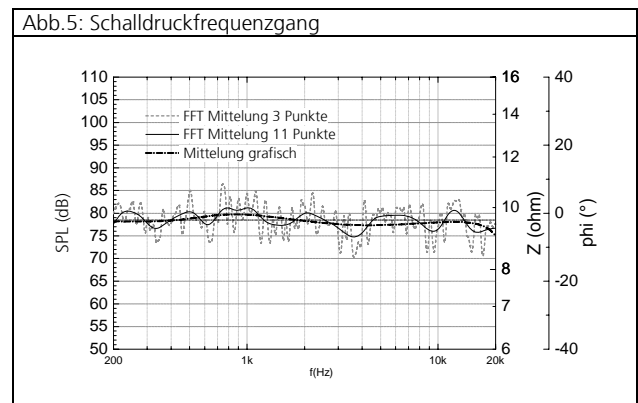
nur die Bauteile erwärmt sondern auch die Migration der Leitbahnen aktiviert. Danach war die erhoffte Klangbalance wieder realisiert und es blieb ein nur ein kleiner Rest Greltheit, der erst nach einigen Wochen (3 bis 5) verschwand.

Durch die zweite Box und die nun mögliche Stereo-Wiedergabe über die „source direct“ Wege konnte der Riesenfortschritt mit der neuen Weiche so richtig zur Geltung kommen. Der Hauptfortschritt war die gewachsene Transparenz und Belastbarkeit sowie die deutliche Verringerung von hörbaren Verzerrungen, darüberhinaus wurden die Raumresonanzen nicht mehr so auffällig angeregt, da das Tiefbassauschwingen beschleunigt wurde. Was hier im Detail passierte, war noch völlig unklar, subjektiv oder objektiv. Die BR25 konnte jetzt höher belastet werden. Die einzige Begrenzung war der maximale lineare Hub des TT von  $\pm 3\text{mm}$ , die theoretisch durch den Hub bei 20Hz von  $\pm 7\text{mm}$  bei 1W Leistung schnell überschritten wurde. Deshalb musste der Pegel immer mehr zurückgenommen werden, je jünger die Software war, die in den letzten Jahren (1997...2001) mit immer mehr Tiefstbass ausgestattet worden ist.

#### 4.9. Frequenzgangkorrektur

So lebendig und agil die neue Version war, über langes mehrstündiges Hören wirkte eine sich herausstellende gewisse Präsenzlätigkeit ermüdend. Stellte man sich zum Hören hin, also  $10^\circ$  über der Hörachse (Mitte Hochtöner/Tieftöner), war die Lätigkeit weg und vor allem der abgebildete Höraum tiefer! Jetzt wurde LASIP befragt. Es könnte die Präsenzenke um 3kHz sein, die im sich Stand herausbildet. Zum Glück war ja aus Kapitel 1 bekannt, wie das leicht zu bewerkstelligen ist. Flugs wurde die Weiche so simuliert, dass eine gewisse Absenkung von -2dB in Oktavbandbreite im gewünschten Bereich erreichbar war. Danach wurde die Weiche entsprechend umgelötet. Nach einem kurzen „Einbrennen“, nur wenige Bauelemente und Lotstellen waren neu, war ein Langzeithören ohne Ermüdung möglich. Neben dieser angenehmeren Art der Klangbalance konnte die scheinbare Räumlichkeit der Abbildung leicht verbessert werden. Dann wurde der Frequenzgang mit Mikrofon nachgemessen. Mehr war leider nicht möglich, denn die Trennfrequenz konnte nicht weiter nach oben geschoben werden, denn dann wären die Membranaufbrechungen wieder über der Hörschwelle und „man hätte den Teufel mit dem Beelzebub ausgetrieben“.

Selbst Linkwitz hatte trotz der entscheidenden 1.Wellenfront eine 3kHz Senke in seinen Frequenzgang einbaut, weil die Wandreflexionen sich nachteilig auf den Klang auswirken.



#### 4.10. Beseitigung Hochtönerreaktanz

Aber was konnte man dann noch tun? Hatte der Hochtöner noch Wiedergabeschwächen, was auch eine 24dB-Weiche nicht berücksichtigen kann?

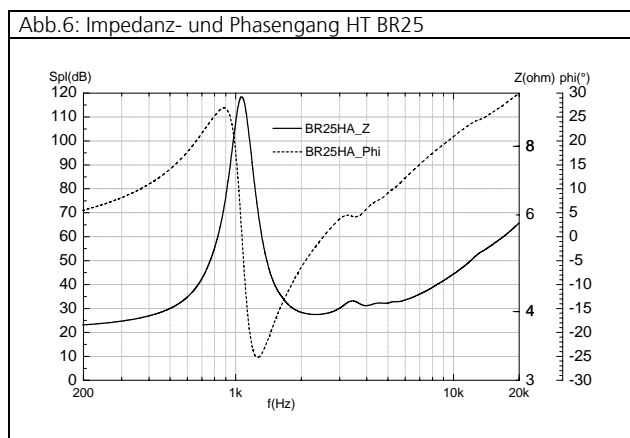
In der HiFi-Zeitschriften und in ihren „workshops“ werden oft „tuning“-Tips und Messungen von Kabeln vorgestellt. Es gibt für Boxen Aufsteckeinheiten und Kabel mit Zusatzkästchen, diese enthalten passive Bauelemente für eine Impedanzentzerrung. Aber was für Bauelemente! Damit das Kästchen schön klein bleibt, kommen natürlich nur kleine Bausteine in Frage, mindere bis mittlere Qualität.

Man könnte natürlich den Impedanzanstieg des Hochtöners noch linearisieren, ob das die Hochtonpräzision verbessert und die Lätigkeit bei der CD-Wiedergabe weiter mildert? Ein Blick auf den

Impedanzgang des Hochtöners zeigte, dass außer einer Schwingspulenreaktanz noch eine kleine breite Nebenresonanz im Hochfrequenzast bei ca. 13kHz vorhanden war. Am Phasengang waren Resonanzen oft noch besser erkennbar. Wenn man es genau nimmt, war es doch etwas komplizierter. Braucht man noch einen Saugkreis zusätzlich zum RC-Glied oder reicht dieser allein aus? Es sind alle 3 Möglichkeiten getestet worden. 2 Drähte vom Hochtöneranschluß auf der Weiche wurden auf das Steckboard gezogen und dort die Bauteile gewechselt. Interessant war, dass der Saugkreis allein nur die zu schrillen metallischen Perkussionen eben im Bereich von 10kHz bis 13kHz bedämpft hat, während das RC-Glied den gesamten Hochtonbereich einschließlich der erwähnten grellen Perkussionen von Lästigkeiten etwas befreit hat. Der Saugkreis zusätzlich zu dem RC-Glied war eigentlich kaum bemerkbar. Der Hochtonbereich schien nun einigermaßen ausgeglichen zu sein. Aber wie bereits in 4.9. angedeutet, war der Präsenzbereich eigentlich nicht ganz zufriedenstellend, denn wie sich herausstellte waren nun einige weibliche Gesangsstimmen nicht zu ihrem Vorteil verfärbt.

#### 4.11. Impedanzkorrektur Hochtönernebenresonanz

Der Impedanzgang zeigt noch eine schmale aber deutliche Nebenresonanz bei 3,4kHz. Die Simulation verlangte zwar eine kleine Spule aber einen großen Kondensator von 10µF, genau wie bei der Hauptresonanz, und das bereits bei relativ hohen 3,4kHz! Die Spule musste an die Frequenz exakt angepasst werden, weil das ja mit einem Kondensator schlecht geht. Die Nebenresonanzfrequenzen der beiden Hochtöner unterschieden sich um 200Hz. Beim Rausziehen und Wiedereinstecken des Widerstandsanschlussdrahtes am Steckboard konnte bei der Wiederholung des Gesangsabschnitts und eines Violinstückes doch ein Klangunterschied ermittelt werden. Der Eindruck ohne Saugkreis gegenüber dem mit war so, als hätte jemand etwas Präsenzrauschen unterlegt, d.h. mit Saugkreis wurde der individuelle Klangfarbencharakter klarer herausgestellt.



#### 4.12. Impedanzgangkorrektur Hochtönerhauptresonanz

Von diesem wenn auch relativ geringem Effekt ermutigt, wurde geprüft, welche Wirkung ein Saugkreis an der Hauptresonanz hinterläßt. Die Hauptresonanz lag bei 1120Hz bzw. 1060Hz und betrug nur noch 7Ω, nach der Hochtönerabsenkung. Eine Oktave tiefer als die Trennfrequenz erreichte das Filter 4.Ordnung, hier nach Linkwitz-Riley, bereits etwa 15ohm Impedanz. Nach Faustregel dürfte die dort vorhandene -24dB Bedämpfung keinen Einfluss dieser Resonanz mehr zulassen, nach den Untersuchungen in 4.7 aber doch. Und in der Tat, lag der experimentelle Unterschied in der Größenordnung der Nebenresonanz und ähnlich vom Klangverhalten gelagert. Aber in diesem Frequenzbereich wirkte sich der eingebrachte Saugkreis zusätzlich positiv auf die Tiefenstaffelung der Instrumente aus. Vor allem im nachfolgend realisierten Stereo traten Gesangsstimmen stärker aus der instrumentalen Musik heraus. Angenommen, die Hauptresonanz verursacht hier wie in ähnlich konstruierten Gewebekalotten im 1 bis 3% liegende harmonische Verzerrungen in  $k_2$  und  $k_3$ , dann führt die Bedämpfung der Resonanz zur Verringerung derselben, die ja ihre Wirkung bei 2 bis 3kHz haben. Als Folge konnte die Präsenzdämpfung wieder um 1dB zurückgenommen werden.

#### 4.13. Weitere Kondensatoren

Wieder sind neue Kondensatoren auf dem Markt gekommen. In der Tabelle sind sie aufgelistet. Intertechnik ist ab 2,2µF bei den Zinnfolienkondensatoren in der DC Spannungsfestigkeit auf 150V heruntergegangen. Die niedrigere Spannungsfestigkeit führte erfahrungsgemäß zu einer Erhöhung von einer Art Rauschhinterlegung, so als ob das Display des DTA ausgeschaltet wird während der Wiedergabe. Der Audyn plus mit 800V DC-Spannungsfestigkeit wurde in das RC-Glied eingelötet, das für die Entzerrung Hochtonreaktanz zuständig war. Das geschah in der Hoffnung, dass noch Unterschiede hörbar wären, da ein vollständiger Ersatz der Hochpass-Kondensatoren in der Summe von 12µF zu kostenintensiv gewesen wäre.

Tab.2: Weitere Kondensatoren

Lieferant	Name	Bauart	Metall	Klang
Intertechnik	MKP-QS 630V DC Audyn	MKP	Al	1
	MKP 800V DC Audyn plus	FMKP	Al	2
	KP Sn 150V Audyn		Sn	3
Hifisound	FastCap 630V DC Solen	MKP	Al	1
Mundorf	Mcap supreme 800V DC	MKP	Al	
	Mcap 400V DC	MKP	Al	3
	Mcap Zn KP 250V	FKP	SnI	

Nach 3 Wochen täglichen Betriebs konnte ein A-B-Vergleich durchgeführt werden. Überraschend war, daß die Box mit Audyn-Plus in den obersten Frequenzen viel zu spitz klang. Die Verzerrungsform erinnerte an den KP-Sn 250V von Audyn, der aber ein FKP war. Die zusätzliche Hochtonverzerrungen gingen beim „plus“ aber nicht bis in den Präsenzbereich hinein. Eine Info-Mail an Intertechnik brachte Gewißheit. Der „plus“ ist ein in Reihe geschalteter MKP/FKP/MKP für extreme Impulsfestigkeit. Das gleiche Wickeldesign wurde bereits in Elektor vorgestellt. Nun war die Ursache für die Klangmodifizierung bekannt. Der Mundorf supreme hatte den prinzipiellgleichen konstruktiven Aufbau wie der „plus“, aber anstelle der Folie eine MKP-Lage und eine andere Form in den Außenmaßen. Der Mcap Zn KP 250V war in den Maßen dem alten Audyn KP Sn mit 250VDC quasi identisch. Die Schwierigkeit liegt in der Klangbeurteilung bzw. -beschreibung. Kondensatoren verändern den Klang, oft sind sie einfach nur anders als schlechter oder besser, weil die Verzerrungen in anderen Bereichen liegen und oft das Musikmaterial entscheidet, was dem Original näher ist. Auch weitere 3 Wochen brachten keine Besserung mehr. So konnte auf den teuren Kondensator verzichtet werden. Verwunderlich war es trotzdem, dass der Klangeindruck so eindeutig war, besonders bei größerer Lautstärke, obwohl der Kondensator nur parallel zum Hochtöner lag. Das bestätigt wieder die gemachte Erfahrung, dass alle Bauteile einer Weiche, egal an welcher Position, einen deutlichen Einfluss auf den Klang haben, weil die Weiche in ihrer Ganzheit mit dem Chassi ein komplexes elektromechanisches Schwingkreis-Netzwerk bildet.

Der Austausch mit dem neuen 630V Solen brachte nach 3 Wochen Betrieb keinen Klangunterschied zum 630V Audyn. Auch die Abmaße der Kondensatoren waren identisch, wenn auch die Farbe und der Aufdruck unterschiedlich waren.

Der 400V Mcap reihte sich ein in die Reihe der MKP Spannungsfestigkeiten. Er war besser als der WIMA und der 250V Intertechnik, den es heute nicht mehr gibt, aber geringfügig schlechter als der Solen 450V. Der Unterschied zum Audyn 400V war kaum wahrzunehmen.

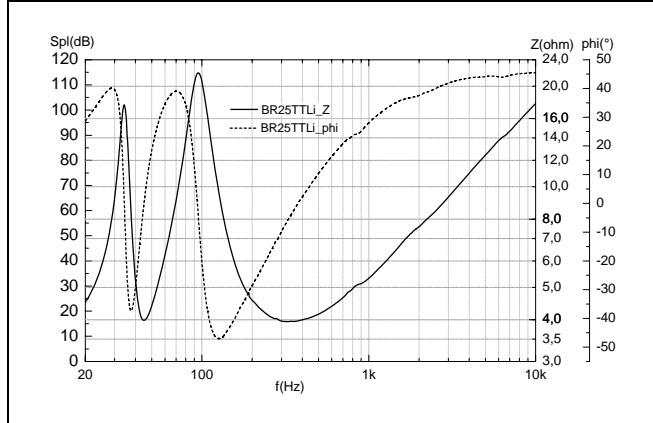
#### 4.14. Globale Resonanzbedämpfung am Tieftöner

Der Tieftöner hatte noch seine 2 Bassreflexhauptresonanzen und mehrere Nebenresonanzen. Vor allem die Helmholtzresonanz bei 850Hz des Bassreflexrohres war noch relativ stark ausgeprägt sowie die allgegenwärtige Spulenreaktanz. Hier musste ein Tieftönerparallelwiderstand genügen, der bedämpfte alle Resonanzen hörbar und messbar an der Impedanzkurve. Leider war kein Platz mehr an und in der Box um selektiv alle Resonanzen in der Impedanzkurve zu annullieren, denn die Bauelemente werden für niedrige Frequenzen sehr groß. Durch den Parallelwiderstand wurde der Wirkungsgrad um unerhebliche -1dB herabgesetzt, was aber dem Ausschwingverhalten zu Gute kam. Als Folge musste ebenfalls

die Hochtonfilterung angepasst werden, damit die Klangbalance gewahrt blieb.

Der Klang war mit guten Aufnahmen so, dass über Stunden ermüdungsfrei gehört werden konnte. Die nutzbare Dynamik wurde nur noch nach Hub des Tieftöners bei den Bässen begrenzt, weil keine unangenehmen Geräusche mehr auftraten. Eine Unachtsamkeit hätte das Ende des Tieftöners bedeutet.

Abb.7: Impedanz- und Phasengang TT in Box



Obwohl eigentlich immer auf einen nicht zu großen Hub geachtet wurde, ist es mit der Zeit den Tieftönern zum Verhängnis geworden. Der „Klirrselbstschutz“ hatte versagt und die Tieftönersicken rissen ein. Diese bestanden aus Schaumstoff. Wie für viele damals bekannten Schaumstoffsicken, tat das UV-Licht wahrscheinlich sein übriges. Neue Tiefmitteltöner waren erforderlich.

#### 4.15. Resümee

Die Klangfortschritte durch Aufbau der 24dB-Weiche waren größer als die aufwendige Gehäusedämpfung bei der BR25. Es gibt eigentlich keinen Grund eine 24dB Weiche zu vermeiden. Werden 6dB Filter umsichtig und kompromißlos entwickelt, dann werden RC-Glieder als Impedanzentzerrungen benötigt, desweiteren Resonanzsaugkreise für die Hochtönerresonanz um den Hub zu dämpfen und um den Hauptklirrfaktor zu senken, außerdem wird ein breitbandiger Saug- oder Sperrkreis für die schlimmsten Tieftönermembran-aufbrechungen benötigt, um die Präsenzdurchsichtigkeit zu steigern, ansonsten verschiebt sich durch die Aufbrechungen auch die Klangbalance, was wiederum auf Kosten der Höchsttoninformationen eine zusätzliche Absenkung des Hochtöners zu Folge hätte. Die Qualität der 18dB-Weiche war auch schon beträchtlich, aber der finanzielle Aufwand nicht viel minder, da z.B. besonders große Kondensatoren auch besonders teuer sind.

Es konnten die Aussagen der Herren Dickason und Linkwitz bezüglich der Präsenzsenske sowie Ahnert/Steffen bezüglich Ortung bestätigt werden, alle anderen Äußerungen haben ihre eigenen Ursachen und lassen sich jetzt zu einem gewissen Teil erklären.

Aber die Trennungsteilheit der Weiche 4.Ordnung reicht für bestimmte Störungen trotzdem nicht aus. Störungen müssen um das doppelte bedämpft werden als die bisher bekannte Faustregel von -24dB, d.h. mindestens -48dB, besser noch auf -55dB. Deutliche Nebenresonanzen sollten auch bedämpft werden, wenn die Kurve im Phasengang ein Plateau und damit Impedanzüberhöhungen von mehr als 0,2ohm erreicht. Darunter zählen folglich auch die Spulenreaktanzen.

Summa summarum, es gibt eine Menge Störungen in passiven Lautsprechern, die, wenn man in Richtung Original gehen will, mit mehr als 48dB bedämpfen muss.

Die Annäherung zum Original war aber noch nicht den entscheidenden Schritt vorangekommen. Klarheit, Dynamik und Ausschwingvorgänge konnten mit „Gut“ bewertet werden, aber es wurde noch die Natürlichkeit der Einschwingvorgänge sowie die natürliche „Wärme“ der gesamten Klangabbildung von CD vermisst.

[1] mündl. Mitteilung W.Mach, Gruppe Zuverlässigkeit Messtechnik ZMFT

[2] Lynn Olsen, Artikel im Internet unter [www.speakerbuilder.com](http://www.speakerbuilder.com)