

Kapitel 14

Mehr Strahlerfläche muss her und eine Hartmembran für den Hochtöner. Die Suche nach Möglichkeiten für eine linearere Tieftonwiedergabe im Wohnraum

14.1 Klärung der Ausgangssituation

14.1.1. Welches Tieftönergehäuse ist für die gegebenen Umstände am sinnvollsten?

Das alte Lautsprechersystem hat 3 grundlegende Fehler. Zum ersten ist das die mehr als oktavenbreite Schalldrucksenke im Oberbassbereich auf Grund der Bodenreflektion bis zum unteren Grundtonbereich, 100 bis 250Hz, und zum zweiten die zum Teil plötzlich nachlassende Abbildungspräzision oberhalb von 10W, was der Nichtlinearität des kleinen Tieftöners Visaton AL130 geschuldet ist. Die Ausprägung der Bodenreflektion wird dann maximal, wenn nur eine Membran den Bereich der in Frage kommenden Wellenlänge abstrahlt.

Es sind also noch Verzerrungen vorhanden, die insbesondere durch die Wohnraumakustik und durch die Lautsprechermembranen selbst verursacht werden. Weitere Verzerrungen entstehen, wo die Hübe durch die verschiedenen Töne miteinander so wechselwirken, dass neue Töne entstehen. Das sind die sogenannten Intermodulationsverzerrungen (s. Kap. 2 - 2-Wege). Der Verstärker gibt eine Spannung vor und lässt Strom fließen. Die Entstehung der Intermodulationsverzerrungen erfolgt also rein passiv. Nach [1] verursachen magnetisierbare Widerstände (Fe, Ni) ebenfalls Intermodulationsverzerrungen. Diese gibt es jedoch nun hier nicht mehr. Bleibt nur noch eins, den originalen Tönen wird Energie entnommen und damit neue Töne produziert. Die Dynamik lässt nach und die Abbildung wird weniger durchhörbarer. Genau das wird vernommen, wenn die Leistung und damit der Hub zunimmt.

Als weitere Fehlerquellen könnten die Grenzbereiche des hörbaren Bereiches angesehen werden. Das ist einmal der tieffrequente Bereich unter 40Hz und der höherfrequente Bereich oberhalb 25kHz. Während die positive Wirkung einer Wiedergabe von weniger als 40Hz so gut wie feststeht, ist der Nachweis und die Praxis über 25kHz nicht nur wegen der Mikrofonfrage als außerordentlich schwierig anzusehen. Praktisch gibt es auch kaum Töne unter 40Hz (s. Kap.13).

Es gibt keinen Trick, wo man mit nur einem Tiefmitteltöner die Schalldrucksenke der Bodenreflektion anheben kann, auch nicht durch Verstellen in Wand-entferntere Gegenden. Im vorliegenden Fall gibt es aber zusätzliche Absenkungen von 1-3dB durch die Seitenwandreflektionen, die durch ähnliche Entfernungen zu Buche schlagen. Aber wer will und überhaupt darf „diese Dinger“ jeden Tag vom „angestammten Platz“ schleppen und akustisch optimal im Wohnraum „verteilen“? Als Alternative kann nur ein Equalizer oder Digitalfilter eingesetzt werden, die aber noch mehr Bauteile in den Weg setzen. Diese können aber auch nur die verlorene Leistung ergänzen, damit den Hub erhöhen und die Intermodulation.

Als 4. Fehler kann festgestellt werden, dass immer noch nicht genug Platz für die Frequenzweiche da ist, wenn alle verfügbaren Bauteile, insbesondere großvolumige Kondensatoren, getestet und verwendet werden wollen, - obwohl schon 6 Liter angebaut worden sind.

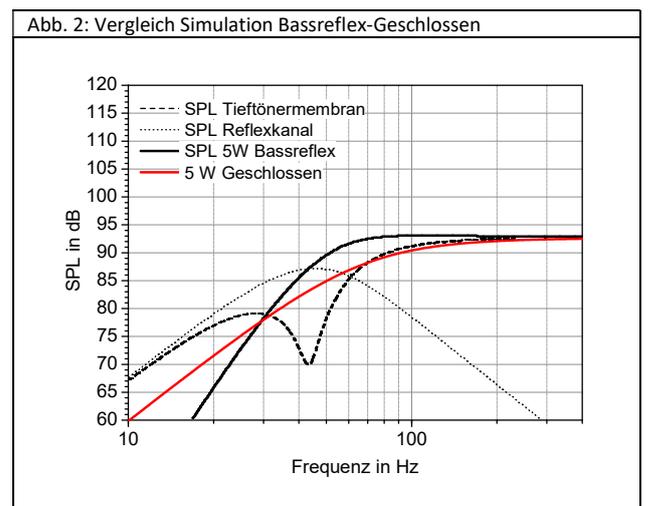
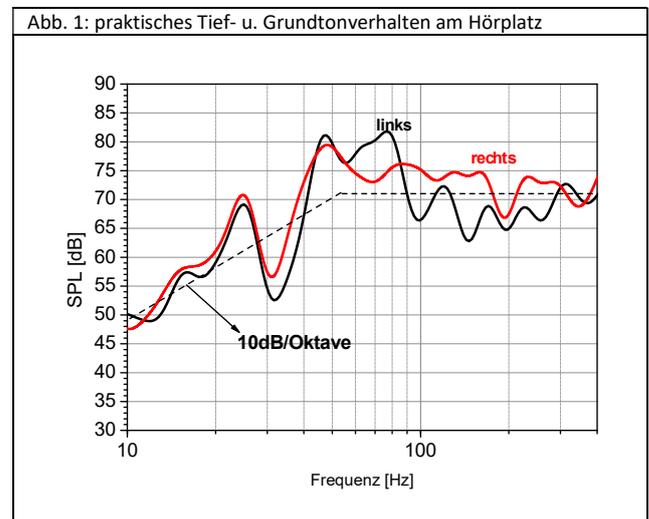
Beim Konditionieren der Anlage mit mehr als 40W über Lastwiderstände lagen einmal 4mm² Strippen über der hinteren Boxenkante und 2 bis 3 cm von der nächsten Spule entfernt. Aber diese Spule gehörte dem Hochtönerzweig an und zwar speziell dem Saugkreis zur Impedanzlinearisierung der Hauptresonanz. Über diese Spule koppelte bereits der lose Draht ein, so dass dann bei nicht angeschlossener Box bereits Musik aus dem Hochtöner kam. Und das war schon erstaunlich, denn das beweist, dass die Nähe von wenigen Zentimeter eben zu nah ist und dass Spulen viel Raum brauchen. In der käuflichen Praxis sieht das ganz anders aus.

Und das ist ein weiterer Grund, warum mehr Platz für die Weiche benötigt wird. - Und wenn schon mehr Platz für die Weiche gebraucht wird, dann kann auch der nutzlose Platzbedarf unter Box genutzt werden, und dann kann gleich eine Standbox gebaut werden.

Wenn man die Intermodulationsverzerrungen vermindern will, muss man den Tiefbass aus der Mitteltonsektion ausgliedern, um den Membranhub [2] des Mitteltoners zu verringern. Dann kann man auch diese Auftrennung dafür nutzen, dass die Senke durch zusätzliche Überlappung der beiden Lautsprecherchassis ausgeglichen wird. Dafür

sind Anfang bzw. Ende eines Chassisübertragungsbereiches am besten geeignet. Natürlich kann die Impedanz bei Bereichsüberlappung „in die Knie gehen“. Um dies zu umgehen, muss die Position des Tieftöners TT und des Mitteltoners MT so geschickt gelegt werden, dass die Bodenreflektionsauslöschung minimiert wird. Bei mehreren Chassis, die im Oberbass und Grundton arbeiten, könnten auch die unmittelbaren Reflektionsbedingungen günstigere Eigenschaften hervorbringen, da die Abstände zum Boden und zur Decke unterschiedlich sind, so dass der Überlappungsbereich nicht so viel „verstärkt“ werden muss. Eine weitere Verminderung der Intermodulationsgrade ist die Anwendung möglichst großer abstrahlender Flächen. Wie sagte ein bekannter Autor von Selbstbaumagazinen früher immer [3]? Fläche ist durch nichts zu ersetzen, es sei denn durch noch mehr Fläche.

Die oben benannte Schalldrucksenke bescherte allerdings durch die bisherige Bassreflexabstimmung eine Schalldrucküberhöhung im Bereich der 2 Raumresonanz von 48Hz (Abb.1), die mit der Bassreflexabstimmung fast übereinstimmte. Eine Bassreflexabstimmung wäre also nicht notwendig gewesen (Wandabstand der Schallfront 0,55m). Bei einer Bassreflexbox verringert sich der Schalldruck theoretisch unterhalb der Bassreflexrohrabstimmung mit 24dB/Oktave, das ist der Preis, um eine möglichst tiefgehende Schalldrucklinearität (im schalltoten bzw. reflexionsfreien Raum) hinzubekommen.



Eine geschlossene Box sollte nur einen Schalldruckabfall von 12dB/Oktave haben, hat dafür aber einen Schalldruckabfall bereits oberhalb der Gehäuseabstimmgrenze, siehe auch Abb. 2. In der Praxis der realen Wohnwelt sieht das anders aus, wie Abb. 1 bereits kund tat. Dort findet man einen durchschnittlichen Abfall von 10dB/Oktave, was durch die Seitenwandreflektionen herrührt.

Bei einem Versuch durch den Verschluss des Bassreflexrohres mit Gummistpfen aus dem Chemiehandel eine geschlossene Box zu simulieren, wurde jedoch subjektiv im Vergleich ein zu geringer Bass empfunden. Die entsprechenden Messkurven sind in Abb.3 dargestellt. Die glatteren Kurven resultieren aus einer größeren Messpunktdichte (30->40) je Oktave und aus der Tatsache vielleicht, dass der Weihnachtsbaum in der Stube verschwunden ist. Die größte Überbetonung erfolgt bei 48Hz in Bassreflex. Der Übergang zur geschlossenen Box linearisiert den Tieftonbereich für die rechte Box. Bei der Wahl eines geeigneten Tieftöners lassen sich vielleicht mit Berücksichtigung der vorhandenen Raumakustik 20Hz als untere Frequenzgrenze erreichen, da die Raumanhebung umgekehrt proportional zur Frequenz erfolgt. Ein zweiter 5" Tieftöner, wie es der AL130 ist, kann dies nicht, da der Gradient erhalten bleibt. Auch durch den Austausch mit einem 6, 7 oder 8" Tieftöner kommt man nach überschlägigen Simulationen nicht zum Ziel. Bei bekannter Raumakustik und gleichem Standort lässt sich das schnell überschauen. Auch zwei 8" Tieftöner schaffen es nicht in den Frequenzkeller, auch wenn dadurch die Box gegenüber einem 10" schmaler wird, sie erhöhen nur das nötige Volumen der Box. Erst ein 10" Tieftöner ist in der Lage mit einer Abstimmung zwischen Bessel und Butterworth diese Traumeigenschaften zu erreichen. Natürlich darf es erfahrungsgemäß keine Papier- oder Kunststoffmembran sein, aber je größer die Membran sein muss, desto relativ leichter und steifer müsste sie sein. Der Excel W26FX001 wäre gerade das Musterbeispiel mit einer AIMg-Membran, 14mm linearer Auslenkung in p-p und mit außergewöhnlich niedrigen Klirrvverzerrungen. Das erforderliche Gehäusevolumen von 70 bis 90L ist gerade noch sinnvoll und ehgattengerecht umsetzbar.

Abb. 3: Tieftonverhalten mit verschlossenem Bassreflexrohr im Vergleich zum offenen Bassreflexrohr an der rechten Box

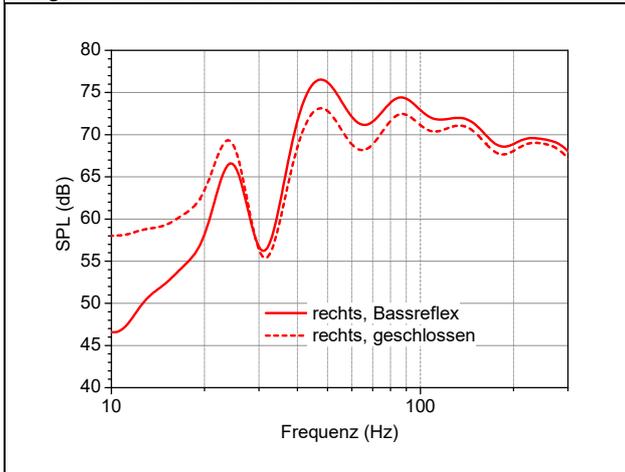
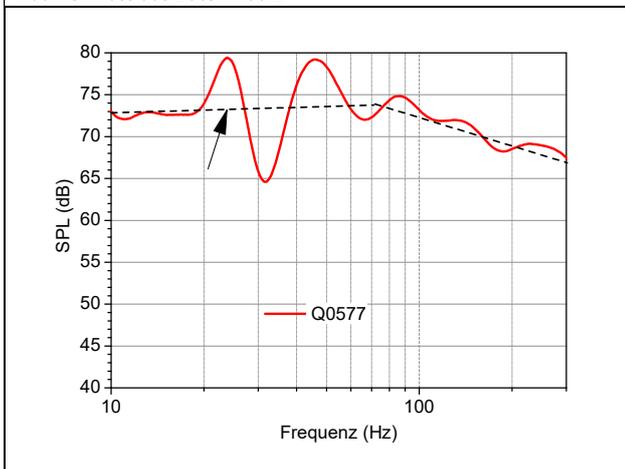


Abb. 4: Simulation Excel W26FX001 90L geschlossen mit Raumeinfluss aus Daten Abb.1



In Abb. 4 wurde eine Abschätzung in Besselabstimmung mit 90L Volumen am Excel W26FX001 durchgeführt. Dabei wurde die Standort bedingte Amplituden-Raumverzerrung mit berücksichtigt. Das gekennzeichnete Niveau des Tiefbasspegels wird bei höherer Güte in Richtung Butterworth niedriger. Im günstigsten Fall kann der Übergang zum Mitteltöner zwischen 100 und 200Hz bruchlos erfolgen. Dies gilt für die gleiche Position wie beim aktuellen AL130 Chassis.

14.1.2. Kleine Recherche aufwändigster Standboxen

Was zuerst auffällt ist, dass in den letzten Jahren die Keramikmembranen auf die vordersten Plätze der Standlautsprecher vorstießen. Neben diesen Keramikmembranen etablierte sich als „Sonderkeramik“ Diamant. Zuvor waren es die Metallmembranen, die von den allerbesten Boxen genutzt wurden und die jetzt Platz 2 der Hitliste belegen. Aus dieser Zeit stammt auch die Be-Membran. Mittlerweile gibt es auch Metall-Keramik-Verbundsysteme. Es folgen Kunststoffschäume und Fasermembranen im Laminatverbund sowie Kompositmaterialien, danach einfache Kunststoffmembranen und schließlich einfache Papiere.

Von den Schallwandlertypen sind Koaxialchassis häufig in Lautsprechern der zweitbesten Gilde anzutreffen. Koaxialchassis haben ihre Vorteile aber auch ihre Nachteile, die besonders in der Hochtonwiedergabe zu Tage kommen. So ist sein Amplitudenverlauf sehr unruhig wie bei größeren Breitbändern und durch das vorgesetzte Konusvolumen bis zur Schallwandebene wird das Ausschwingen verzögert und der Phasengang ändert sich nicht mehr monoton. Die harmonischen Verzerrungen sind höher, da der Einbau des Magnetsystems in das andere nicht nur kompliziert ist.

Die Materialien der Gehäuse und die Designs wurden immer ausgefallener und komplexer. Fest steht, dass große Metallgehäuse und Kunststoffgehäuse nicht für den Selbsterbauer zur Verfügung stehen. Des Weiteren sind komplizierte Gehäusekonstruktionen mit runden Gehäusewänden ebenfalls nicht ohne weiteres nachbaubar. Das sind die Grenzen des DIY. Für Gehäuse mit zum Beispiel Tropfenform sind große Maschinen erforderlich, die ihr Geld kosten und deren Abschreibung sich auf die Boxenkosten niederschlagen. Deshalb kann kein DIY Lautsprecher auch nur annähernd den Wert hochangesehener Schallwandler der 20.000€ Klasse erreichen. Damit scheinen alle Bemühungen aussichtslos zu sein, alle Kantenreflexionen an den Schallwänden beseitigen zu können.

Die konstruktiv wichtigen Eigenschaften sind aber annähernd erreichbar, das hat der Vergleich der eigenen kompakten 2-Wege Bassreflexbox mit den auf Messen vorgestellten gleichen Typen gebracht. Das hängt damit zusammen, dass kein Hersteller die Königsmaterialien in die Kleinen investiert, die „Königsklasse“ ist den Standlautsprechern vorbehalten. Dafür kann der Selbsterbauer beste Frequenzweichenbauteile eher einbauen als gestandene Firmen, wo der Rotstift rigoros eingesetzt wird. Aber es sind auch die meisten der High-End Chassis für den Privatmann käuflich, so inzwischen auch die Be-Inverskalotte von Focal.

Allgemein kann aber gesagt werden: Je höher die Wertungseinstufung der Standlautsprecher erfolgt, desto mehr Abstrahlfläche bzw. desto höher ist die Chassiszahl und damit auch der Wirkungsgrad.

Ein Beispiel für hocheingestufte Standlautsprecher ist die ISOPHON ARABBA, ebenfalls mit THIEL-Wandlern (1", 7", 3 x 8" Keramik) ausgestattet. Das ARABBA Gehäuse besteht aus 2 Lagen geschlitztem MDF mit Quarzsandfüllung und einer Aluminiumoberschicht. Der ISOPHON Lautsprecher zeigt Filtersteilheiten von mehr als 48dB/Oktave, was durch Einbau von Saugkreisen in die Zweige der Filter 4.Ordnung erreicht worden sein soll. Der 18dB Hochpass der BR25 Originalweiche hatte auch einen parallel integrierten Saugkreis, den die LASIP Simulation aber als Ausschwingverzögerung dargestellt hat. Durch diesen komplexen Aufbau ist es nicht verwunderlich, wenn STEREOPLAY an der ISOPHON Box eine recht komplexe Sprungantwort misst. Der optionale Diamanthochtöner wird auch mit einem Gitter sicher geschützt, ebenso der sonst genutzte Keramikhohtöner. Alle anderen Chassis bis zum TT nutzen Keramikmembranen, die aber alle ebenso vergittert sind. Die Nachfolge Tofana investiert nochmal zusätzlich in ein steiferes und gekrümmtes Gehäuse. Als Filterelemente werden sowohl Metall/Ölpapierkondensatoren von Jensen als auch die edleren Supreme Kondensatoren und E-Trafokernspulen von Mundorf verwendet. Andere Bauelemente sind Drahtluftspulen, einfache MKP's und Zementwiderstände, die auf großflächige kupferkaschierte Platinen aufgelötet werden.

Die 3-Wege BOWERS & WILKINS 801D besitzt einen 1“ Diamanthochtöner, eine 6“ Kevlar (Polyimidfaser) MT und ROHACELL (Hartschaumstoff) 15“ TT. Diamantmembranen sind sehr spröde. Die Trennfrequenz MT/HT liegt bei 4kHz. Damit dürfte der MT ganz schön bündeln. B&W stellen ihre Diamanthochtöner selbst her. Sie entkoppeln den Hochtöner vollständig von der Schallwand des Mitteltöners und Tieftöners. Aber empfehlen nachdrücklich in ihrer Bedienungsanleitung die nur magnetisch anhaftende Schutzabdeckung in Form eines feinen Netzes nicht von Hochtöner zu entfernen. Die Gehäuse des MT und HT sind tropfenförmig, um die Gehäuseresonanzen völlig zu unterbinden und den rückwärtigen Schall zu annullieren, das Gehäuse des HT ist aus Metall. Das Gehäuse des Tieftöners ist innen mit einer Matrix aus Querplatten und Trennwänden mit Löchern versehen, ähnlich den Spanten eines Schiffskörpers, die Stärke ist 38mm. Als Kondensatoren werden MUNDORF Supreme und MUNDORF Supreme Silver/Gold z.B. 10µF (160€/Stück) verwendet, was eine Spitze des Marketing darstellt. Als Widerstände werden Folientypen mit Al-Heatsink genutzt und als Spulen normale Drahtspulen, vielleicht mit Backlack, und welche mit Metallkernbefestigung. Den Besucher ihrer Homepage lassen sie teilhaben an ihren Entwicklungsprozessen. In ihrem White Papers beschreiben sie die Simulation von Aluminium und Diamant Kalotte. Aluminium war jahrelang ihr Favorit für Hochtöner und in der NAUTILUS eingesetzt. Die Simulation zeigt die Membranresonanz von Al bei 30kHz, von Diamant bei 70kHz Abb. 12). So B&W selbst: (Entwicklung800D_WhitePaper.pdf) „Deshalb haben wir beträchtliche Anstrengungen unternommen, die Unterschiede zwischen Diamant und Aluminium durch das Beaufschlagen mit einem Multitonnsignal von 20-40 kHz und die Messung der entstehenden Intermodulationsverzerrungen zu ermitteln. Unglücklicherweise ließen sich ohne das Anlegen übertriebener Leistungen kaum Unterschiede feststellen.“

B&W ist bei Tieftönern den Weg zur Hartschaummembran über ein Papier/Kevlar-Verbund gegangen, weil Aluminium eine zu geringe Dämpfung hat und weil die Fertigung zu fehlerhaft war. Die ROHACELL Membran wird sehr dick ausgeführt damit die Schalldurchlässigkeit ausreichend verringert werden konnte. Der Hochtöner wurde bewusst nicht verpolt eingesetzt, lieber wurden Zunahmen an Verzerrungen der Phase und der Gruppenlaufzeit in Kauf genommen, was auch am Amplitudengang sichtbar wird. Die endgültige Zeitkorrektur wurde mit Hilfe des Versatzes des HT vorgenommen. Der Schalldruckpegel des Diamant-HT sinkt oberhalb 20kHz mit -8dB/Oktave, der des Al steigt aber an bis zur Resonanz 30kHz. Die THD+N Kurven beider HT sind ab 3kHz bis 21kHz in etwa gleich, 0.3% bis 0.6%. Unter der Voraussetzung, dass durch die Weiche die niedrigen Frequenzen des HT unter 16kHz abgeschwächt werden, entsteht der Amplitudenast des Hochtöners der fertigen Box. Interessant ist, dass dann der Klirr von 3kHz an hochgeht, von 0.1% auf 0.5% bei 20kHz, und dann wieder absinkt, während ihre der Alkalotte weiter ansteigt. Da die Trennfrequenz MT/HT bei 4kHz liegt, kann der Klirranstieg eindeutig der Kombination HT+Weiche angelastet werden, während der Mitteltöner viel niedrigere Verzerrungen aufweist. Bei 40kHz ist die Hochtondämpfung -10dB in der Standardmessung (1m), da bleiben dann in normaler Hörentfernung im Wohnraum sehr wenig übrig. Bei der Nachfolgerin 2011 800D wird von Stereoplay eine Absenkung von nur noch -5dB für 40kHz gemessen. Außerdem wurden die Antriebe der Tief- u. Grundtöner symmetriert, was die Verzerrungen vor allem im Bassbereich stark senkte.

FOCAL hat es endlich wahrgemacht und in ihrer GRANDE UTOPIA EM zumindest für den Basstöner den verzerrungsträchtigen Permanentmagnet abgeschafft und gegen ein elektromotrisches Prinzip ausgetauscht, ansonsten ist das Bassabteil dasjenige mit den meisten Verzerrungen. Der Be-Hochtöner wurde modifiziert und die Resonanzfrequenz konnte von 1280Hz auf 528Hz herabgesetzt werden. So wurden die Voraussetzungen geschaffen, um i) die Verzerrungen abzusenken und ii) die Bandbreite bis 2kHz nach unten auszudehnen. Allerdings wie in den Amplitudenmesskurven von vorher und nachher zu sehen ist, war der Preis eine Verschlechterung der Hocht nonlinearität über 12kHz. Be ist zwar nicht ganz so spröde wie Diamant aber von den Membranmetallen belegt es hier den Spitzenplatz. Dennoch ist ein Schutzgitter nicht unbedingt notwendig. In den Filtern finden sich nur MKP's und Trafoblechkerne in den Drahtspulen.

MAGICO legt sehr viel Materialaufwand auf ein steifes Gehäuse. Auf ihrer Homepage [8] vergleichen sie bezüglich des Gehäuseauschwingens einfacher Gehäuse aus MDF, Phenolharz und Al mit ihrer Versteifung der Magico Q5 mit komplexen inneren Al-Verstreibungen. Q5 ist wirklich das einzige was in diesem Vergleich überhaupt keine und singuläre

Verzögerungen zulässt. Die Messzeit betrug 90ms, wo MDF noch an vielen Stellen geschwungen hat. Die minimale Schwingzeit für Q5 betrug aber immer noch ca. 10ms, um Größenordnungen mehr als das gut gefilterte Mittel- und Hochttonchassis tun. Als Filterelemente werden Mundorf Silver/Gold/Oil MKP's und Bandspulen mit, und sich an, Messingschrauben zur Befestigung sowie spezielle Metalldünnfilmwiderstände mit Metallkühlkörpern von 2ppm/°C verwendet. Die Verdrahtung der Chassis erfolgte mit verdilltem Cu-Lackdraht. Magico M5 nutzt Scan-Speak Gewebe-Ringstrahler als Hochtöner, die Q5 hat einen Be-Hochtöner ohne spezielles Schutzgitter. Die anderen Membranmaterialien sind geflochtene „Carbon Nanotubes“. Die Schwingspulen fungieren im Unterhang. Kompakte Kurzschlussverschaltungen verkapseln Schwingspulenbereiche und reduzieren so Verzerrungen und Intermodulationen.

In der TAD Reference One wird dann schon ein MT/HT-Koaxialsystem genutzt, wo beide Membranen aus Be sind. Das Koaxialsystem ist aber durch ein feines Gitter geschützt, dass so nicht einfach entfernbar ist. Das Koaxialsystem reicht von 250Hz bis 100kHz(!). Die Basswiedergabe erfolgt über ein Dreifachlaminat, wo ein Polyacrylschaum mit Aramidfasern verklebt ist.

In der 5-Wege DYNAUDIO COSEQUENCE ULTIMATE Edition findet man nur die „kleinen“ Solen MKP's mit 250VDC und simple Zementwiderstände, aber auch Bandspulen mit Metallschraubenbefestigung und Dünnfilmwiderstände auf Keramik. Die Schallführungen der typischen Dynaudio-Gewebekalotten vom Mittelton bis Superhochtton wurden optimiert. Der über Compund geführte Bass hat allerdings nicht die kürzesten Ausschwingvorgänge.

Die TANNOY KINGDOM ROYAL hat einen mit Keramik überzogenen Mg Super-Hochtöner, der bis 61kHz gehen soll, aber von Stereoplay 2011/1 werden nur bis 25kHz gemessen. Der Grundton bis Hochtton 17kHz wird durch ein Koaxialsystem mit 12“ Papier und 3“ Al(legiert)-Kalotte übertragen, getrennt bei 700Hz. Frequenzweiche und 3“ Kalotte wurden kryogenisch mit flüssigen N₂ -192°C abgekühlt und so „entspannt“. Als Kondensatoren wurden auch SCR und Claritycap MR mit verwendet. Als Widerstände wurden Dickfilmtypen mit extra großen Metallkühlkörpern genutzt. Die Spulen haben Trafokernblechkerne.

In der AUDIO PHYSIC CARDEAS wurden Gehäusewände mit einem mittigen Luftspalt genutzt. 3,5-Wege nur mit Keramik beschichteten Al-Membranen. Die Chassis wurden vom Gehäuse entkoppelt. Die Körbe mit den Membranen wurden über eine Seilaufhängung an äußere Körbe, die am Gehäuse sitzen, akustisch entkoppelt. Eine Neuerung in der Frequenzweichenverschaltung war der auf mechanische Resonanzen minimierte Kondensator, vermutlich wieder der Claritycap MR nach dem Hochtöner auf der Masseseite. Der Hochtöner hatte eine Konusausformung. Diese symmetrische Anordnung wurde auch mit den Spulen vorgenommen. Der Hochttonpegel steigt ab 20kHz um +10dB an, vermutlich eine Resonanz, danach aber sinkt er nur um -5dB ab, und das durchgehend bis 40kHz! Bei 90dB wurde eine lokale Klirrspitze von 1,3% bei 300Hz gemessen, vielleicht eine Korbbresonanz, wo mal die Schrauben nachgezogen werden sollten.

KEF hat sein Mittel-/Hochtton-Koaxialsystem weiterentwickelt. Das Koax hat zwar den Vorteil des Vermeidens eines Pegellochs seitlich der axialen Abstrahlung und einer besseren abgestuften Bündelung, nur ist der Hochtöner zum Mitteltöner zu ihrem Nachteil invers gepolt, so dass als erstes ein Zugimpuls kommt. Er arbeitet mit 6dB-Filtern. Die Sicke des MT wurde gezackt. Der Hochtöner wächst mit dem Mitteltöner in der Serie an. Der 25er resoniert bei 40kHz bis +10dB und der 38er bei 28kHz. Dass diese Resonanz so weit nach oben geschoben werden konnte liegt an seiner speziellen Form [9], die eine Einheit von elliptischer und sphärischer Form darstellt, die natürlich patentiert wurde. Es entstand ein zweischaliger Aufbau. Eine interessante Maßnahme ist der „Tangerine Waveguide“, der schützt und die Hochttonabstrahlung besser aus dem Mitteltonkonus herausführt und optimaler an die Luft ankoppelt, wobei aber die Reflektion minimiert wird. Zur Vermeidung des Aufbrechens des MT-Konus wurde zwischen Konus und Spulenträger ein Dämpfungstreifen aufgebracht. Weitere Verzerrungen wurden durch Schwingspulen aus Al anstatt Cu erreicht, da eine größere Schwingspulenlänge bei gleichem Gewicht möglich ist.

Die Boxen mit Koaxialsystemen zählen nicht zu den allerbesten Wiedergabesystemen laut Ranglisten in den Testzeitschriften. Nicht nur KEF, auch andere Systeme arbeiten mit invertierter Polung zwischen HT und MT. Wenn es denn notwendig ist, z.B. wegen der fixen räumlichen

Anordnung, dann ist es vielleicht günstiger, wenn nur der MT invertiert wird, aber das wird von der Ankopplung zum Tieftöner abhängen. Auffällig für die anerkannt besten Boxen ist die größere Anzahl an Wegen, Chassis und Abstrahlungsfläche. Der Hauptgrund wird die Vermeidung von Intermodulation sein, die die Proportionalität Leistung zur Klarheit einschränkt. Deshalb wird auch mehr Aufwand in ein möglichst schalltotes Gehäuse gesteckt.

Die mit Abstand am meisten verwendete Gehäusebauart ist die Bassreflexabstimmung. Wenn diese Boxen aber dann den Hörraum zum Dröhnen anregen und eine Stellungsänderung keinen Erfolg zeitigt oder aus sonstigen Gründen nicht möglich ist, wird empfohlen die Bassreflexöffnung mit bereitgestelltem Material zu verschließen. Im vorliegenden Fall scheint auch eine geschlossene Box sinnvoller zu sein.

14.1.3. Grundüberlegungen, vorbereitende Hörtests und Messungen

Maximal stehen für die neue Box 10cm mehr in Breite und Höhe zum bisherigen Konstrukt auf Ständern zur Verfügung. Damit ergeben sich maximal verfügbares Innenvolumen von 2.5dm x 3.5dm x 11dm = 96L Netto, damit wird dann das theoretische Volumen unter der Kompaktbox endlich mal genutzt. Dazu kann in die Tiefe der Gehäuserahmen nochmal um 15cm verlängert werden, so dass dann endgültig genügend Platz für alle Eventualitäten der Weiche da ist. Das Volumen reicht dann auch für einen typischen 10" Tieftöner.

Ein seitlicher Einbau des Tieftöners kommt nicht in Frage, da bei beabsichtigter Trennfrequenz von 160...120Hz die die hörbaren -55dB bis über den Grundtonbereich hinaus zur Seite abgestrahlt werden. Nach [4] sind die Signaltöne um 400Hz recht gut ortbar (vergl. Kap.9 - 2-Wege). Wenn die Wellenlänge den Membranumfang erreicht, beginnt die Membran zu bündeln und das erfolgt beim 10" Tieftöner schon ab 450Hz. Diese Frequenz wird dann überschritten, bevor die Dämpfung ausreichend hoch ist. Selbst eine Trennung von 24dB/Oktave ist dann zu klein.

Wenn zwei Mitteltöner verwendet werden, sinken die Verzerrungen auf die Hälfte, d.h. auf -6dB, das hat sich in den Messungen der Zeitschriften gezeigt. Es muss geprüft werden, ob ein System nach D'Appolito mit 2 Mitteltönern vorteilhaft ist und wenn ja, welche Töner dafür geeignet sind. Als Hochtöner sollte diesmal einer mit einer Hartmembran getestet werden, um zu prüfen, ob die mangelnde Hochtonauflösung der bisher genutzten Gewebemembran geschuldet ist.

Mit den vorhandenen 2-Wege-Bassreflexboxen kann eine reine Mitteltonereinheit simuliert werden, indem der Bassreflexkanal verschlossen wird. Mit 2 großen Gummistopfen war es möglich schnell und gut bedämpft die Rohre zu verschließen und wieder zu öffnen. Bei Simulation dieser 2 Boxen wird der Hub kurz oberhalb und bei der Reflexfrequenz mit der geschlossenen Box größer aber der Schalldruckeindruck geringer, unterhalb der Reflexabstimmung jedoch wird der Pegel höher und der Hub geringer! Die Impulswiedergabe ist mit Bassreflex um eine 2. Schwingkurve (Rückschwingung) auf die doppelte Zeit verzögert. Eine Verkürzung der Ausschwingzeit der Membran sollte die Durchhörbarkeit von komplexen Musikstücken steigern, da die einzelnen Partialerschwingungen besser voneinander getrennt werden.

Der Tieftonpegel beim Hören mit verstopften Rohren schien schwächer geworden sein. Ursache war sicherlich die Tatsache, dass i) mehr Tieftonpegel oberhalb 45Hz in der Musik vorhanden war und ii) die Signale unter 30Hz naturgemäß immer schlechter hörbar wurden. Aber der Bass selbst wurde ein wenig präziser. Am meisten hat die Mitteltonwiedergabe an Verzerrungen verloren. Besonders Frauenstimmen gewannen an Klarheit und Natürlichkeit. Das Niveau der Mitteltonwiedergabe war schon unvergleichlich hoch, aber dass es noch besser ging, war so richtig nicht vorstellbar gewesen. Nun wurde verständlich, warum damals die Mittenwiedergabe bei der Focal 1027 Be besser als die eigenen Boxen war (damals noch ohne die selbstgebaute unmagnetischen Eigenbauwiderstände), insbesondere bei Elektrogitarren. Dabei wurde die Focal auch nur mit einem Marantz PM82 betrieben.

Das Ausschwingverhalten solcher Mitteltöner kann sich je nach Behausung schon deutlich ändern. In Hobbyhifi wurden über die Jahre öfter mal der Visaton AL130 unter verschiedenen Bedingungen gemessen und in den Wasserfalldiagrammen dargestellt (Abb. 5-7).

Allein die Verringerung des rückseitigen Volumens vom der „unendlichen Schallwand“ mit 1m³ auf ein 16cm breites Testgehäuse

verringert das Ausschwingen im Mittenbereich bis zum Grundtonbereich signifikant. Beim Vergleich der Abb. 5 mit Abb. 7 wird nochmal sichtbar, dass obwohl der AL130 bei Abb. 7 in einer schwingungstoten Betonbox steckte, dass Ausschwingen mit Bassreflex gegenüber dem geschlossenen Prinzip verzögert wird. Und mehr noch, bei vergleichbarem Rückvolumen ist zwar der Mitten-Präsenzbereich sauberer, aber dafür reicht die Verzögerung bis in die Mitten hinein. Die Periodendauer für eine Welle bei 1kHz dauert 1ms, für 500Hz 2ms und für 250Hz folglich 4ms. In dieser Beziehung ist das Verhalten der Mitten mit 1m³ Rückvolumen recht ausgewogen. An der Bassreflexbox werden schon mindestens 2 Schwingungsperioden gebraucht. Um so erstaunlicher sind die Ergebnisse an der Testbox, wo weniger als 1 Periode benötigt wird. Damit wird anschaulich, welche Bedeutung ein gut angepasstes geschlossenes Gehäuse für das Ausschwingverhalten hat. Analog gilt dies natürlich auch für den Tieftöner, der bis über den Grundtonbereich hinaus Schall abgibt.

Abb. 5: geschlossenes 16cm breites Testgehäuse aus [5]

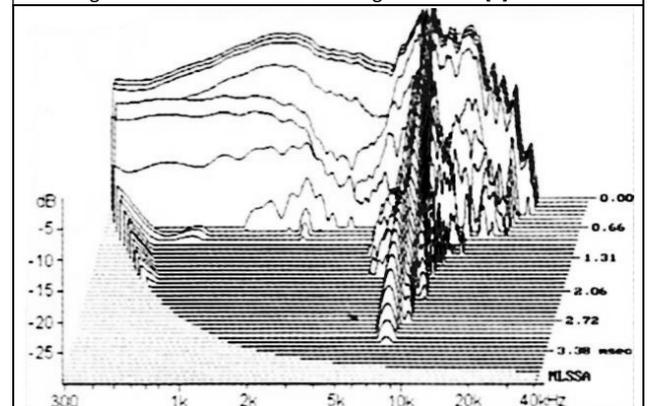


Abb.6: „unendliche Schallwand“ (geschlossen 1m³) aus [6]

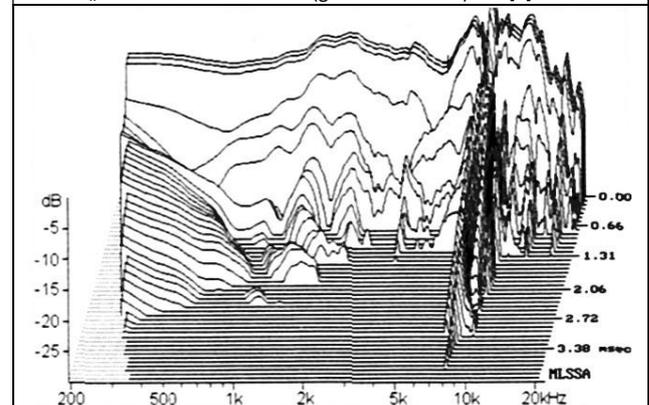
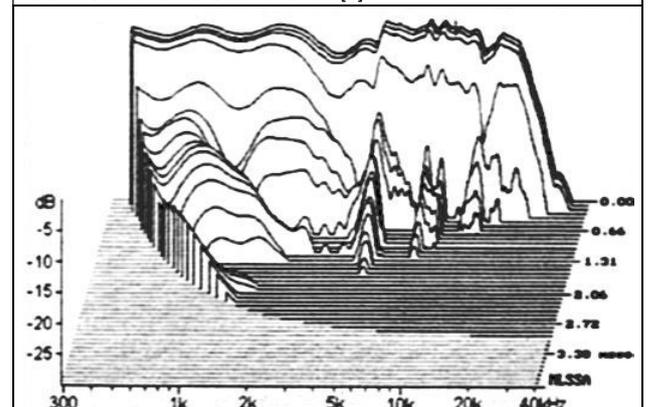


Abb.7: Betonbox mit Bassreflex aus [7]



Auf der High-End Messe in München und früher auf den Stereoplay-Vorstellungen der Funkausstellungen in Berlin konnten die Spitzenboxen auch mit selbst mitgebrachtem Musikmaterial gehört werden. Leider wurde das nicht so gern gesehen und es kostete manchmal viel Überredungskunst, dass es dennoch möglich wurde, aber manchmal auch nicht. Die Gründe waren einfach: Man wolle doch nicht das Publikum durch „schlechte Tonträgerqualität verscheuchen“. Eigentlich wollte man aber als Kunde seine mit bestimmten Erinnerungen verbundenen und zum Teil seltenen Musikaufnahmen auf „besseren Boxen“ nur besser hören. So blieben eben einige Boxen außen vor und kamen nicht in die engere Wahl für den Kunden. Trotzdem konnte allgemein vermerkt werden, dass die Vorführer sehr wohl die Kunst verstanden die jeweils besonders guten Eigenschaften durch speziell ausgewählte Musikpassagen so eindrucksvoll zur Geltung zu bringen, dass, wenn dann auf die eigene Musik umgeschaltet wurde, man ziemlich ernüchtert wurde.

So war auch die Vorführung der FOCAL UTOPIA auf der IFA mit dem ersten Be-Hochtöner nicht gerade spektakulär gewesen. Es fehlten die Höhen trotz Be-Hochtöner, der bis weit über 40kHz gehen sollte. Der mittlere Bereich war eingedickt und etwas diffus. Nur der Bass war opulent eindrucksvoll aber auch leider nicht gerade konturiert. Die Isophon Arabba mit Diamanthochtöner mit Röhren als Verstärker in München war zwar etwas klarer aber in der Tiefenstaffelung nicht zufriedenstellend. Bei beiden Lautsprechern konnte man von natürlichen Einschwingvorgängen der Musikinstrumente nicht sprechen. Von einem Diamanthochtöner mit perfekten Chassisdaten war einfach eine höhere Auflösung erwartet worden, aber auch hier konnte keine Brillanzkontur vernommen werden. Der Vorführer meinte zwar, dass er den Altmeister Eric Clapton so noch nicht gehört hätte, er hätte jetzt mehr Einzelheiten vernehmen können, aber das lag bestimmt nur an den, für ihn neuen, schwarzen Einfärbung der übergebenen CD „unplugged“. Auflösung und Einschwingen, Durchhörbarkeit und Höhenpräzision konnte die eigene Kompaktbox mit AL130 und Seas NoFerro12 bei vergleichbaren Lautstärken viel originalgetreuer darbieten. Damit steht fest, dass die Kombination aller positiven Einflussgrößen trotz professioneller großindustrieller Gehäuseproduktion und theoretisch richtigen Diamanthochtönern noch ein Quäntchen besser sein könne, vorausgesetzt die Zielstellung des Industrieproduktes war die gleiche.

Nachdem nun zumindest bei den vorgeführten Passivboxen klar geworden ist, dass eine Beurteilung der Chassis über diese Boxen selbst nicht möglich ist, wird eine messtechnische Erörterung der zur Verfügung stehenden Daten im Zusammenhang mit den verschiedenen Verzerrungen und anderer Eigenschaften unumgänglich. Dabei bilden erfahrungsgemäß Frequenzgangfehler am Hörplatz verbunden mit Klirverzerrungen und Einschwingfehlern die Haupteinflussgrößen, Intermodulationsverzerrungen sind von 3. Ordnung und betreffen im wesentlichen Situationen, in denen die Musik laut gestellt wird bzw. wenn sehr viele Musikinstrumente gleicher Lautstärke gleichzeitig wiedergegeben werden sollen, z.B. Orchesteraufnahmen. Einflussgrößen wie Ausschwingverhalten sind 2. Ordnung und oft abhängig von persönlichen Vorlieben oder Gewohnheiten. Im Kapitel 2 Literaturrecherche war ausgesagt worden: Nach Einfall der ersten Wellenfront werden nachfolgende Schallsignale vom Gehör 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 [10]. Das bedeutet, dass das verzögerte Ausschwingverhalten eines Frequenzbereiches durch Chassis oder Gehäuse diesen Bereich lauter erscheinen lassen kann. Bei gleichem Maximalpegel im gleichen Frequenzbereich wirkt Bassreflex lauter als eine geschlossene Box und Compound lauter als Bassreflex. Im Präsenzbereich ist es erfahrungsgemäß ähnlich. Ein vorgesetztes Horn wirkt eindringlicher und scheinbar dynamischer. Aber alle Ausschwingverzögerungen verfälschen klassische Orchestermusik. Auch vor Membranen angebrachte Gegenstände wirken mehr oder weniger als Reflektoren irgendwelcher Art und verzögern das Ausschwingen. Das beginnt bei kleinen Streukörpern und endet bei Schutzgittern.

In der Abb. 8b ist das originale Metallschutzgitter der BR25 zu sehen. Es entspricht der Lochdichte vieler mit Gitter abgedeckten Hochtöner. Zur Gitterreduzierung wurde einmal jeder 2. Querdraht herausgenommen, zu sehen in Abb. 8a. Die Schalldruckmessung der 3 verschiedenen

Abdeckungen wird in Abb. 9 dargestellt. Durch das Gitter wird der Schalldruck frequenzselektiv verstärkt oder abgeschwächt. Bei Verkürzung des Hörabstandes von 4,0m auf weniger werden diese Überhöhungen noch stärker.

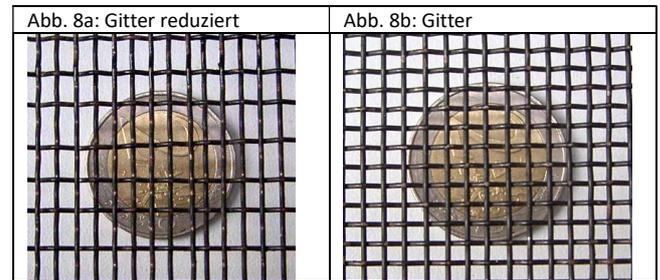
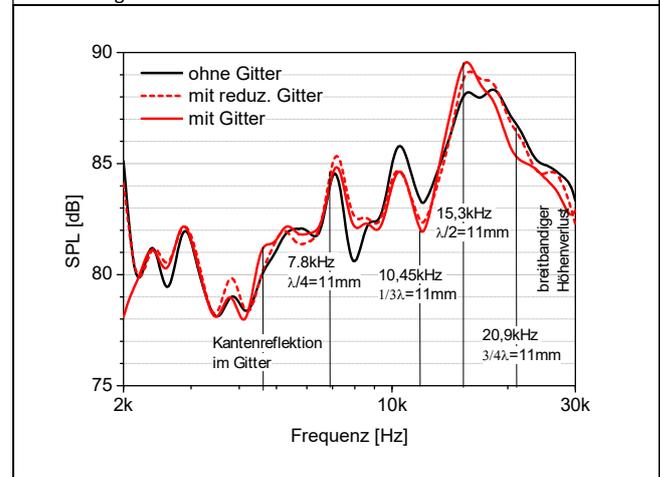


Abb. 9: Schalldruckmessung bei verschiedenen Abdeckungen in 2,5m Entfernung.



In Tab. 1 wurde die rechnerisch ermittelte Differenz des Schalldrucks bei den jeweiligen Frequenzen aufgelistet.

Tab. 1: Schalldruckdifferenzen bei verschiedenen Abdeckungen

f (kHz)	7,8	10,45	15,3	20,9
dSPL (dB)	1,5	-1,1	+1,2	-1,4
λ	1/4	1/3	1/2	3/4

Die Bandbreiten betragen jeweils etwa 1/8 Oktave. Diese Änderungen sind noch gut hörbar. Die Differenzen liegen bei bestimmten Wellenlängen, die mit notiert wurden. Da das Gitter in einem Abstand von 11mm zur Hochtönermembran fixiert ist, wurden die den Frequenzen entsprechenden Wellenlängenverhältnisse zu den 11mm mit angegeben. Zu erkennen sind die Wellenlängen-spezifischen Schalldruckmaxima und Minima. Insbesondere die Verstärkung bei 15,3kHz mit $\lambda/2$ kennzeichnet eine verstärkende Resonanz durch Reflektion am Gitter. Die entsprechende Auslöschung erfolgt bei 20,9kHz. Selbst die seitliche Reflektion am hervorstehenden Gitter ist erkennbar. Gitterreflektionen sind daher kleine Flatterechos, speichern Energie und verzögern das Ausschwingen. Interessant ist, dass das Gitter breitbandig die Höhen ab 17kHz abschwächt. Ebenfalls ist bemerkenswert, dass auch die reduzierte Gittervariante eine Zwischenstellung einnimmt. Die vielen Reflektionen bewirken diffusere Abbildung und geringere Dynamik, außerdem wird eine hellere Klangfarbe wahrgenommen, der vermutlich durch den Wegfall der Brillanzkontur verursacht wird. Ausschlaggebend für die deutliche Hörbarkeit von Gitterüberdeckungen über den Membranen sind die Transientenänderungen der ersten Einschwingimpulse.

Jegliches Tiefersetzen (hinter die Frontebene) von Kalotten bewirkt ähnliches, wie in vielen Koaxialchassis. Auch die Magnetostaten, Elektrostaten, Air-Motion Transformer und Bändchenhochtöner zeigen wegen der Stege vor der Membran und des stufenförmigen Tieferlegens

der Membranen in den allermeisten Fällen der Sprungantworten irgendwelche Ausschwingverzögerungen. Dieser Zusammenhang wurde aus den Messungen von Testzeitschriften erkannt.

Gesucht werden also relativ freistehende Kalotten ohne Ferrofluid, einfache offene Mitteltonkonusse und einzelne Tieftonkonusse, die möglichst hochhohmig sind, damit wie bei Spitzenboxen häufig üblich, die Kreuzungsimpedanzen nicht zu niedrig werden und die möglichst wenig elektrisch leitfähige Schwingspulen träger haben. Dafür müssen die Membranen berührungstabil sein, ein möglichst breitbandiges und möglichst verzerrungsarmes Verhalten zeigen. So betrachtet scheinen die viel gepriesenen High-End Chassis manchmal gar nicht so gut zu sein. So bemerkte [11]: „anscheinend reflektiert das Schutzgitter des Tieftöners den Schall des Hochtöners, was zu Interferenzen und letztlich zu Unregelmäßigkeiten im Frequenzgang führt.“ Beide Gitter müssen vertikal fluchten. Der Autor benötigte fast 1 Jahr, um eine Standbox mit 20er Thiel Keramik und inverser Keramik Kalotte mit 2“ Membrandurchmesser zu entwickeln.

Es ist zu befürchten, dass diese Reflektionsnachteile die Vorzüge der Keramik, Diamant und Beryllium teilweise zunichte machen, oder anders gesagt: High-Tech Hochtöner verschlimmbessern die Lage.

Eigentlich können Membranen nicht vom Chassiskörper isoliert betrachtet werden. Die Verzerrungsarmut muss auch durch die Sicke, Schwingspulen träger, Schwingspulenlänge/Magnetspalthöhe, Magnetfeldhomogenität im Spalt und seiner Umgebung, Magnetfeldstärke, Schwingspuleninduktivität, Membranrückvolumen und deren Bedämpfung, und nicht zuletzt durch das Wärmeabführungsvermögen gewährleistet werden.

Was ist denn nun dran an den Keramikmembranen, den Diamant- und Berylliummembranen und ihren Chassis? Was macht sie so besonders gut, sind sie es hauptsächlich, die die Spitzenboxen als solche einstufen?

14.1.4. Verzerrungsarme Membranen

14.1.4.1. Parameter der Membranmaterialien

Sollen Membranen gleichmäßig bewegt werden, muss natürlich die Schallgeschwindigkeit in der Membran viel höher sein als die der Luft, sonst kommt es bereits zu Oberwellen in der Membran selbst. Die Schallgeschwindigkeit wird in der Regel für Longitudinalwellen angegeben, es gibt auch die Transversalwellenausbreitung, die sich in der Größe von der Longitudinalrichtung häufig unterscheidet. Die Wärmeleitfähigkeit spielt im Rahmen der Schwingspulenerwärmung eine Rolle. Die Dichte des Materials geht in die Beschleunigungsfähigkeit der Membran ein. Die Poissonzahl μ (Querkontraktionszahl, engl. Poisson's ratio) ist das Verhältnis Querkontraktion zur Längendehnung bei Einwirken einer Zugkraft. Bei einer Poissonzahl kleiner als 0,5 nimmt bei Zugbelastung das Volumen zu, bei Druckbelastung ab. Kork hat z.B. 0,00 und Gummi 0,5. Das Elastizitätsmodul E wird in GPa. gemessen. Das Elastizitätsmodul steht über dem Torsionsmodul (auch Schermodul) im Zusammenhang mit der Poissonzahl. Eine weitere Materialkonstante ist die Zugfestigkeit σ (tensile strength) in MPa gemessen. Be und $C_{Diamant}$ bilden je für sich eine gesonderte Membranklasse. Al, Mg und Ti sind eine weitere Klasse, eine vierte Klasse sind die Metalloxidkeramiken. Die Materialdaten sind mittlere Größen, die aus einer großen Anzahl von Nachschlagewerken und Publikationen entnommen worden sind, wobei nur Werte registriert wurden, die von Materialien bester Reinheit, Strukturhomogenität und der thermodynamisch stabilsten Modifikation gemessen worden waren. Eine ähnliche Zusammenstellung wurde in [11] publiziert, wobei noch eine viel größere Anzahl von Materialien gelistet worden ist. Einige Werteangaben weichen allerdings von hier ab, da unterschiedliche kristallographische Strukturen nicht explizit genannt wurden. Anstelle des elektrischen Widerstandes wurden für die elektrischen Nichtleiter das Bandgap E_G angegeben.

Die realen Membranresonanzen der folgenden Metallmembranhochtöner unterscheiden sich jedoch trotz ähnlicher Schallgeschwindigkeiten und Materialzusammensetzungen voneinander, da die mechanischen Eigenschaften der Sicken, Kleber und Schwingspulen träger nebst Schwingspulenausführungen und nicht zuletzt die konkreten Membranformen mit eingehen, wie z.B. beim KEF. KEF baut eine aufwändige Doppelmembran. Eine mit sphärischer Kuppel und darunter eine mit elliptischer Kuppel, nicht ohne Erfolg.

Tab. 2: Schallgeschwindigkeit c_{long} , Wärmeleitfähigkeit λ , Dichte ρ , Zugfestigkeit σ , spez. elektrischer Widerstand ζ , Bandgap E_G

	c_{long}	λ	ρ	σ	ζ
Metall	m/s	W/mK	g/cm ³	MPa	$\mu\Omega m$
Be	12890	190	1.848	240	0,0380
Mg	4602	160	1.738	160	0,0445
Al	5100	235	2.700	166	0,0265
Ti	4140	22	4.507	800	0,4200
					E_G
Keramik					eV
C_{Diam}	18350	2000	3.515	1200	5,48
BeO	10840	330	3.01	152	10,60
MgO	9150	50	3.581	205	7,80
Al ₂ O ₃	11040	33	3.984	280	8,90

Transversalwellen: $c_{trans} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$

$$c_{trans} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}}$$

Longitudinalwellen: $c_{long} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{(1-\mu)}{(1-\mu)(1-2\mu)}}$

Tab. 3: Poissonzahl, Elastizitätsmodul E, Schermodul G, Dichte ρ , Schallgeschwindigkeit c_{trans}

	Poisson	E	G	ρ	c_{trans}
	Zahl	GPa	GPa	g/cm ³	m/s
Be	0.07	300	130	1.848	8400
Mg	0.29	42	17	1.738	3127
Al	0.35	70	26	2.7	3103
Ti	0.32	116	44	4.507	3124
C_{Diam}	0.31	1000	553	3.515	12542
BeO	0.26	372	141	3.01	6844
MgO	0.17	310	131	3.581	6048
Al ₂ O ₃	0.25	395	156	3.984	6257

Tab. 4: reale Membranresonanzen einiger HT

			c_{long}		fM1	Literatur
	mm		m/s		kHz	
Audax	25	Ti	4140	TW025A20	26.3	[13]
Excel	25	Mg	4602	T29MF001	27.0	[12]
Moca	25	Mg	4602	TW025HE01	21.5	[16]
Excel	25	AlMg	4850	T29AF001	27.0	[13]
Seas	22	AlMg	4850	22TAF/G	30.0	[12]
Seas	25	AlMg	4850	27TBC/G	26.0	[15]
KEF	25	Al	5100	UniQ	40.0	[14]

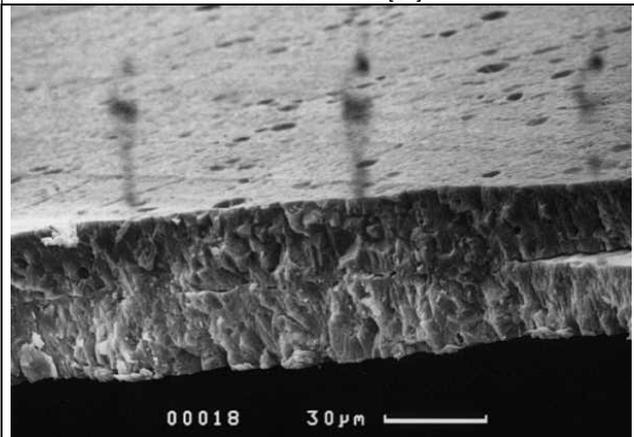
Die Keramikmembran (Metalloxide, hauptsächlich Al₂O₃) ist sehr hart und sehr steif, sie erfüllt am besten die theoretischen Bedingungen des idealen Kolbenstrahlers. Ihre innere Dämpfung bewirkt, dass die Membranresonanzen sich lange nicht so stark entfalten können wie die der Metallmembranen. Da in [17] beim GHP-Monitor mit dem AlMg-Hochtöner Excel T29AF001 gleich 2 mal darauf hingewiesen wird, dass die Beseitigung der Membranresonanz bei 27kHz mit weichtechnischen Mitteln für den Klang vorteilhaft ist, obwohl es außerhalb des Hörbereichs liegt, scheint die Vermeidung von solchen Resonanzen ein wichtiger Punkt zu sein. Die Entschärfung der Resonanz, so [17], nimmt dem Klang eine gewisse „Rauheit“. Wer mit mechanischen Resonanzen Erfahrung hat, kennt auch den Effekt der „Aufschaukelung“. Obwohl die Anregungsfrequenz relativ weit weg ist von der Resonanzfrequenz, kommt es vor, dass Energie in diesen Bereich „hineingesaugt“ wird. Vermutlich beginnt der Bereich des „Hineinsaugens“ mit dem Start des Impedanzwachstums in der

Umgebung der Resonanz. Intermodulationsprodukte der Membran können zusätzlich zum „Aufschaukeln“ beitragen.

14.1.4.2. Verzerrungsarme der Hochtöner

Der bekannteste Hersteller der Keramikmembran ist THIEL. Auf seiner Webseite [18] hatte er die fertigen Keramikhöner vorgestellt. Alle Chassis haben zum Schutz ein Metalllochblech vor der Membran, weil die Zerbrechlichkeit eine ernsthafte Risikogröße ist. Sie kann bei Berührung zerspringen, z.B. wenn bei schwingender Membran diese mit dem Finger, oder noch schlimmer mit dem Fingernagel berührt wird. Geringste Strukturdefekte können sich zu einem Haarriss aufweiten, die dann augenblicklich zum Zerplatzen führen. Die Keramik hat eine Saphirgitterstruktur, sie wird auf elektrochemischen Weg aus Al-Folien hergestellt. Oxidation auf elektrochemischen Wege führt nicht zu einer dichten Kristallstruktur, da die oxidierenden Ionen durch die Membran wandern müssen und die Reaktionsprodukte wieder zurück, siehe Abb.10. Deshalb weisen Keramikmembranen eine gewisse Porösität auf, wie unter anderem auf dem Foto zu erkennen ist. Die Porösität liegt beim Verfahren der elektrochemischen Oxidation von Al bei mindestens 5 bis 10%. Zu sehen ist auch, dass die elektrolytische Oxidation von beiden Seiten der Alufolie erfolgt. Die Porösität verschlechtert die Poissonzahl und verringert die Schallgeschwindigkeit, sowie das Elastizitätsmodul (5% -30%) und die Zugfestigkeit, was wiederum die Resonanzfrequenzen herabsetzt. Hierin wird die große Zerbrechlichkeit begründet. Einen Vorteil haben die Poren jedoch, sie erhöhen die innere Dämpfung, was auch experimentell bestätigt wird.

Abb. 10: Keramikmembran REM-Bruch aus [18]



In [19] ist der Keramik-Hochtöner mit konkaver Kalotte der 25mm Klasse, der THIEL C² 12 (später C25-6-012) vermessen worden. Der Frequenzgang wird oberhalb 10kHz zunehmend bis 40kHz mit bis zu ±3dB immer welliger. Daraufhin sah man in der Tat auch am Wasserfalldiagramm, dass Membranresonanzen, insbesondere die Hauptresonanz bei 37kHz, sehr schnell ausschwingen. Die Membranfläche beträgt 5,7cm², was einem effektiven Durchmesser von 27mm entspricht. Der Schwingspuldurchmesser beträgt jedoch nur 16,4mm. Allerdings ist der Luftspalt mit Ferrofluid gefüllt.

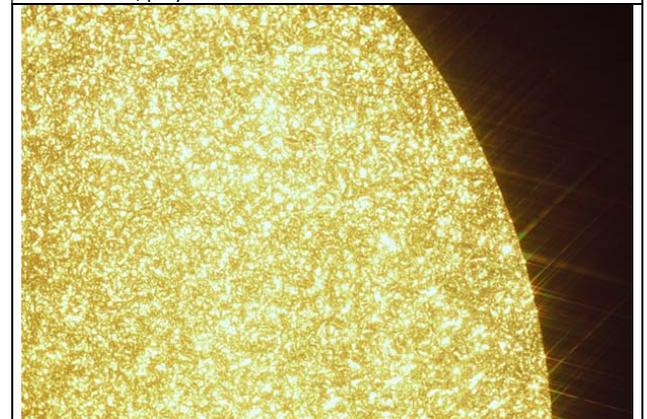
Fred Wu [61] kritisiert die Sparmaßnahme von zu kleinen Schwingspulen. Dann würden diese Konstruktionen an excessiven Membranresonanzen leiden. Was im Wasserfalldiagramm nicht so deutlich wird, kann durch das Klirrdiagramm vermutet werden. k₂ kommt breitbandig zwischen 2,1 und 6kHz nicht unter 1%! Die Impulsantwort offenbart scheinbar ein verzögertes Ausschwingen. Der Schwingspulenträger ist Al und die lineare Auslenkung ±0,6mm. Die Porösität der Keramikmembranen macht sich durch die überraschende Durchlässigkeit von rückwärtigen Schall bemerkbar, wie [2] angibt. In der Tab. 5 ist eine Übersicht zu Vor- und Nachteilen von Keramikmembranen im Vergleich zu Metallmembranen dargestellt. Dabei wird die Verwendung von Abdeckgittern nicht beachtet. Metallmembranresonanzen gehen oft mit Impedanzmaxima einher und können mit Sugkreisen hoher Güte aber mit Widerständen gerade noch beseitigt werden.

Tab.5: Vorteile und Nachteile der Membranen

	Keramik	Metall
Rückschall	stark, aber nur bei Tieftönern	kein
Zerbrechlichkeit	Gitterschutz notwendig	keine
innere Reflektionen	stark	keine
Membranresonanz	mäßig – gering	stark, noch beseitigbar
Wirbelstromdämpfung	keine	stark
Wirbelstromverzerrungen	kaum	ja, je nach elektr. Leitfähigkeit

Zu der anderen Klasse der Hartmembranen gehört der Diamant. Der Diamant an sich hat die absolut besten mechanischen und wärmetechnischen Eigenschaften. Die Diamantmembran für die Lautsprecher wurden über Plasma-CVD Prozesse schichtenweise erzeugt. Dadurch wird sie polykristallin und erhält eine gewisse wenn auch kleine Porösität, wie es bei THIEL sichtbar wird (Abb. 11). THIEL's Membran ist konkav und seine Schwingspule ist wieder kleiner als der Membrandurchmesser. Thiel schrieb auch ein Report zur Entwicklung seines Diamanthochtöners. Simuliert wurde für den idealen Kolbenstrahler mit definierter Kalottendurchbiegung die Schalldruckabhängigkeit. Bei größerer Durchbiegung verlagerte sich die Membranresonanz zu höheren Frequenzen, gleichzeitig wurde Schalldruckkonstanz zu höheren Frequenzen schlechter. Der SPL hatte bei 5-6kHz ein Maximum und sank bis 20kHz auf -3dB ab, bis 40kHz auf -5dB. Praktisch maß diese SPL-Überhöhung +4dB gegenüber 2kHz und 18kHz. Solche Nichtlinearitäten sind nicht so einfach mit einer analogen Frequenzweiche auszugleichen, zumal wie bekannt, die Hochtöndämpfung des realen Wohnraumes dazu kommt. Dagegen blieb die THD unter 0,1% (-60dB), nur bei der halben Membranresonanzfrequenz 37kHz überstieg sie 0,2%.

Abb.11: Thiel, polykristalline Diamantmembran



So wie THIEL versteckt auch der andere Hersteller B&W seinen Hochtöner hinter einem Schutzgitter. Die B&W Diamantkalotte wird aber konvex eingesetzt. B&W beschrieb 2006 im Internet sehr ausführlich seine Forschungen zum Diamanthochtöner im Vergleich zu seinem früheren Al-Hochtöner. Im akustischen Messdiagramm des SPL (Abb. 12) zeigen beide einen ähnlichen nichtlinearen Frequenzgang wie der vom Thiel Diamanthochtöner: Eine breitbandige Überhöhung bei 4kHz bis 7kHz. Aber der SPL-Abfall vom Diamanthochtöner oberhalb 20kHz ist deutlich stärker, während der des Al von 3kHz bis 40kHz besser linear verlaufen kann, da eine Schaltungskorrektur machbar ist. Die THD waren vom Al-Hochtöner praktisch nur unwesentlich höher als der vom Diamanten. Die THD des Diamanten betrug im wichtigen Präsenzbereich immerhin bis zu 0,4%. Dazu kommt, dass B&W selbst einschätzte, dass die Fertigungstoleranzen größer waren. In Abb. 14 wurde die akustische Phase abgebildet. Der Al-Hochtöner offenbart wegen der niedrigeren Membranresonanzfrequenz ein vorzeitiges akustisches Phasenrauschen, das aber erst oberhalb der Membranresonanz von 30kHz einsetzt. Ob das das Gehör mitbekommt, ist nicht bekannt. Da die DVD-Audio praktisch „gestorben“ ist, bleibt

noch die SACD, die direkt bis in diese Bereiche übertragen kann, real mach das aber nicht. Nun zeigt aber gerade das Übertragungsverfahren der SACD (siehe Kapitel 9) erhöhtes Rauschen im Ultraschallbereich, was mit der Frequenz sogar anwächst. Da sich die SACD hauptsächlich in der Klassik etabliert, kommt es auf die Musikinstrumente an. Selbst die Obertonreiche Trompete (s. Kap.9) kommt dann in die gleiche Schallpegelgrößenordnung. Zusammen mit den Fehlern der Mikrofone und Aufnahmetechnik mit dem System SACD ist die Phase oberhalb 30kHz bereits stark fehlerbehaftet.

Abb.12: SPL Frequenzgang B&W Al (blau), Diamant (rot) [21]

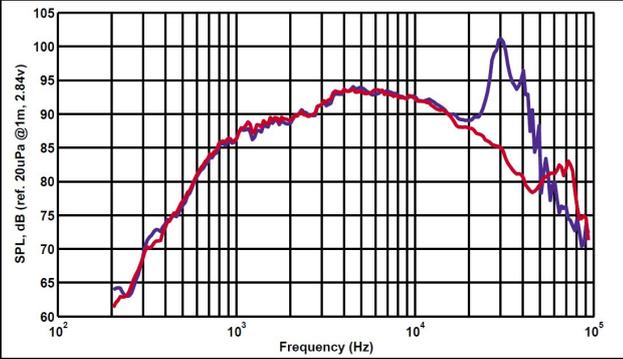


Abb.13: THD B&W Al (blau), Diamant (rot) [21]

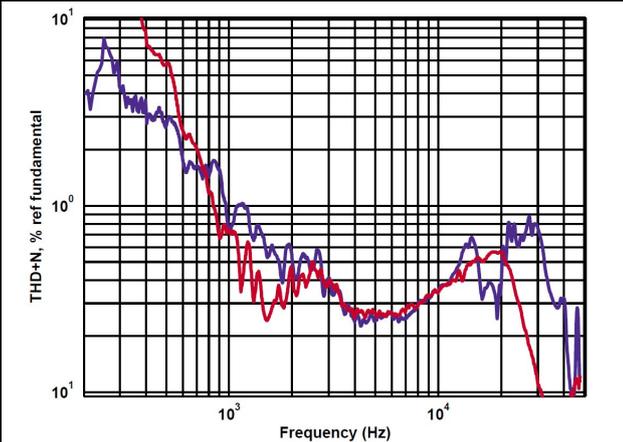
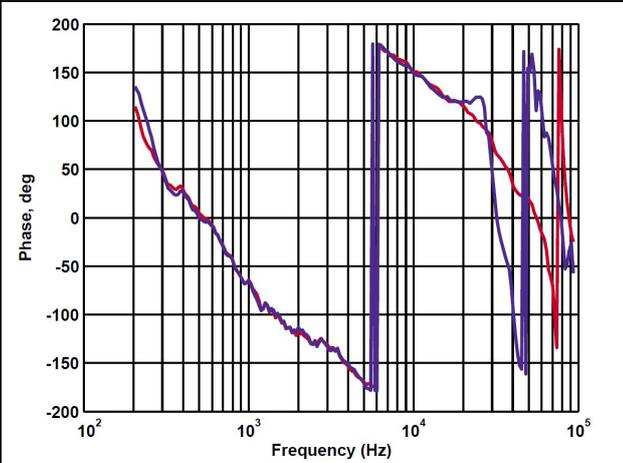


Abb.14: akustische Phase B&W Al (blau), Diamant (rot) [21]



B&W verbesserte bis 2010 den Antrieb des Diamanthochtöners. Die Änderung kann man auch am Frequenzgang sehen (Abb. 15, Messungen in [22,23]). Der stärkere Antrieb erhöhte zwar die Wiedergabe bei 40kHz aber die Linearität im Superhochtonbereich wurde schlechter, die Betonung wurde auf Brillanz gelegt, was sicher mit eine Rolle bei

Beurteilung spielt. Die Verbesserung im Klirr konnte mit den Messungen nicht nachvollzogen werden, da dieser unter der -50dB Linie war. Überraschend ist schon, dass der Hochtonfrequenzgang des Diamanten nach Abb.12 bis 14 weit weg vom Ideal ist.

Man könnte meinen, dass die Messung in [22,23] dort mit Fehlern verbunden ist. Deshalb wurden nochmal Messungen der Boxen Arabba und Silver Flame in [24] mit dem des Keramikhohtöners in [25] verglichen. Aber, wie in Abb. 16 zu erkennen ist, ist i) Verwandtschaft der Keramikhohtöner, trotz Modifizierung z.B. in der Silver Flame, gut zu erkennen und ii) die Frequenzgangmessung bis 40kHz bei Stereoplay scheint vertrauenswürdig zu sein.

Der Diamanthochtöner bzw. seine Beschaltung zeigt also Nachlässigkeiten. Amplitudenschwankungen im 3dB-Bereich sind gut als Verfärbungen zu erhören. Der stärkere Antrieb hat den Ultraschallbereich angehoben, und wie es aussieht, ist kurz oberhalb der 40kHz die Resonanzfrequenz zu tieferen Frequenzen abgerutscht. Der Keramikhohtöner Thiel C²12 hat aber hohe Verzerrungen. Aber auch der andere Keramikhohtöner von Thiel C²44 (C50-8-044) ist keine bessere Wahl. Der Frequenzgang reicht nur bis 20kHz und 2(!) k_s Klirrspitzen bei 5 und 7kHz.

Abb. 15: Vergleich Frequenzgang alte und neue B&W 800 D

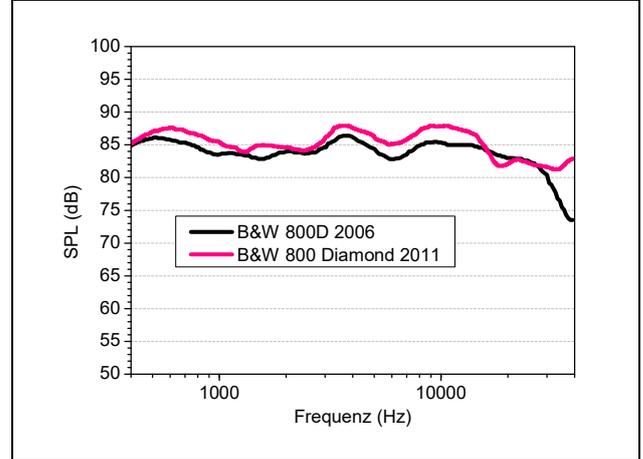
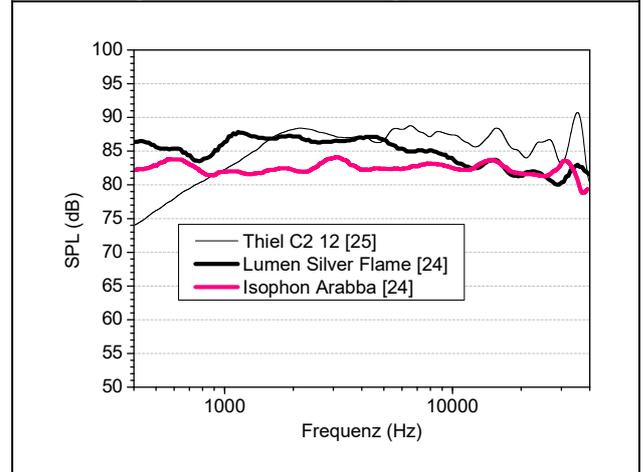


Abb. 16: Vergleich der Keramikhohtöner gleicher Bauart.



Sei es wie es sei, ob das Phasenrauschen oberhalb 30kHz die Ursache dafür ist, dass der Diamant besser klingen soll als der Al-Hochtöner und/oder die Unterschiede im Schalldruckverlauf kann z. Z. nicht geklärt werden, weil der Diamant im Moment nicht für den DIY erschließbar ist, und wenn doch, wird es der Preis das verhindern. So wie es beim Beryllium Hochtöner Utopia TBe von Focal bis vor einiger Zeit war. Außer dem Diamanthochtöner, der nun nur noch Vorteile in Form von sehr niedrigen Klirr mit <0,2% bei 90dB hat, galt Beryllium als das Material der 2. Wahl, weil es der ideal steifen Kolbenmembran dem

Diamant am nächsten kam. In [26] wird ein aktuelles Review zu dem auf dem Markt befindlichen reinen und zusammengesetzten Be-Hochtöneren durchgeführt. Nach Yamaha, Pioneer mit TAD, JMLab/Focal ist auch Scan speak mit einer reinen Be-Membran eingestiegen. Focal ist wohl der bekannteste Vertreter der Be-Anwender. In seinen Prospekten malte Focal ein wunderschönes Amplituden-Frequenz-Spektrum, Abb. 18. Betrachtet man die Schalldruckmessungen von [27-30], so kann dieses Ideal nicht bestätigt werden.

In [31] wurde der alte Focal Hochtöner umfassend vermessen. Bei Annahme einer gewissen Serienstreuung im Amplitudengang sind jetzt die Hochfrequenzgänge der alten Boxen [27,28] verständlich. Diese und vor allem die gesteigerte Welligkeit der neueren Boxen [29,39] ist sehr ernüchternd und mit deutlichen Wiedergabeverfärbungen verbunden. Ferner induziert die Erhöhung der Welligkeit die Annahme, dass das der Preis für die geringeren Verzerrungen ist. Also doch eine Verschlimmbesserung? Der alte hatte breitbandig einen THD von ca. 0,6% bei 90dB [31].

Damit wurde der Höreindruck von damals auf der IFA verstanden. In Abb. 19 ist der Impedanz-, THD- (aus $k_2+k_3+k_5$) und der Frequenzgang dargestellt. In [31] war vor dem 9kHz SPL-Abfall im Wasserfalldiagramm Ausschwingverzögerungen zu erkennen, was darauf hindeutet, dass dort eine Reihe von Resonanzen auftreten, die i) die Verzerrungen bewirken und ii) den theoretischen Schalldruckabfall vereiteln. Nun wird die Optimierung mit dem IAL2 durch Vergößerung des Rückvolumens verständlich.

Abb. 17: Vergleich Impedanz-, THD- und Frequenzgang Focal Utopia TBe aus den Daten von [25]

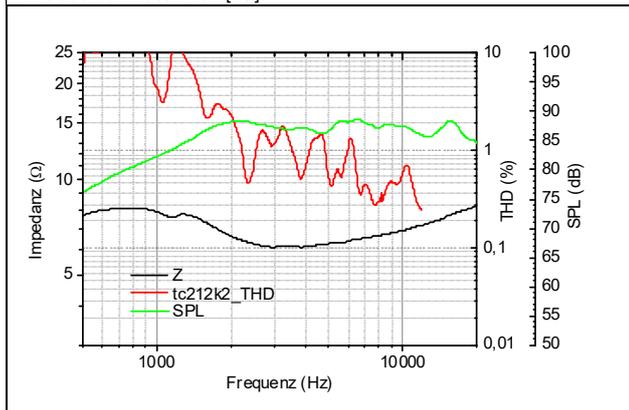
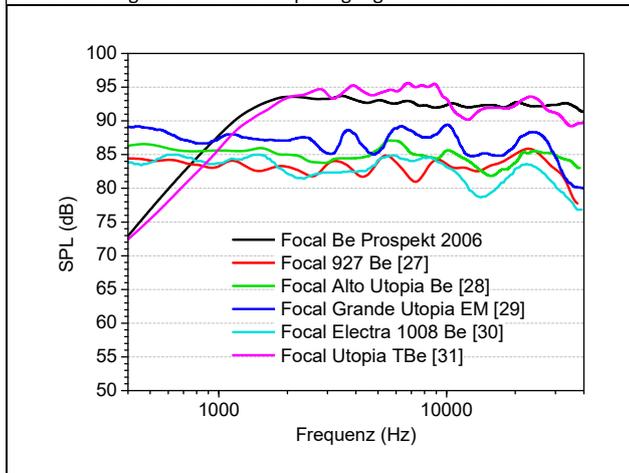


Abb. 18: Vergleich der Hochfrequenzgänge mit Be-Hochtöner

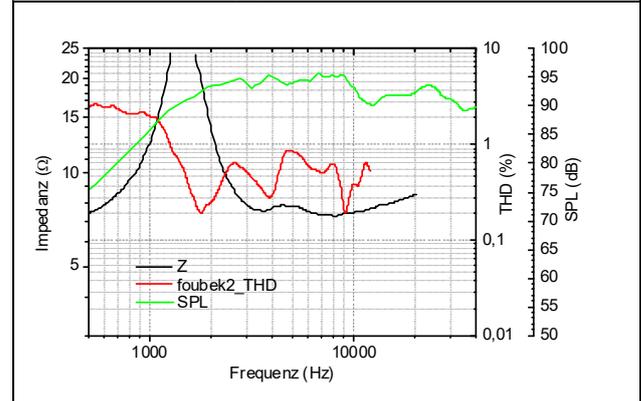


Während der Focal konkav gestaltet ist, wird der Beryllium Hochtöner von Revel konvex ausgeformt. Bei einer strahlungseffektiven Fläche von 7,5cm² hat der Focal nur einen Schwingspuldurchmesser von 20mm. Die große Abweichung der 30° Abstrahlung des Focal TBe ist der konkaven Membran geschuldet, die bündelt stärker. Auch bei den Focal

Lautsprechern wird ein, zwar abnehmbares, Schutzgitter vor dem Hochtöner installiert und auch empfohlen. Der Revel hat nur 2 Stäbe vor der konvexen Membran. G.Schwamkrug schrieb bereits 1989 in [32], dass konkave und konvexe Kalotten sich nicht nur im Abstrahlverhalten unterscheiden, sondern auch ebenso im Rundstrahlverhalten. Die konvexe Kalotte hat ein besseres Rundstrahlverhalten, allerdings auf Kosten des Pegels auf Achse.

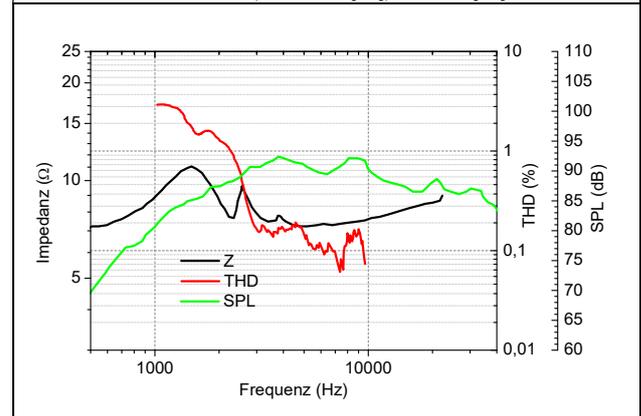
Von der Revel Ultima 2 Serie ist kein einziges Messdiagramm zu finden, außer dass die angegebene obere Frequenzgrenze bei 45kHz liegt. Dieser Wert entspricht dem Focal Be-Hochtöner.

Abb. 19: Vergleich Impedanz-, THD- und Frequenzgang Focal Utopia TBe aus den Daten von [31]



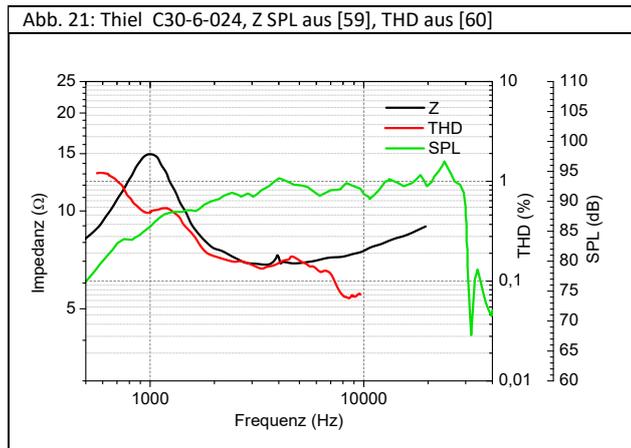
Was gibt es für Hartmembranhochtöner ohne Ferrofluid für den Selbstbauer heute? In [59] wurden ein Diamant- (BD25-6-034) und ein neuer Keramikhochtöner von Thiel [60] getestet. Beide haben leider fest integrierte Schutzlochgitter. Veröffentlicht wurden neben Schalldruck- und Impedanzdiagramme für 85 und 95dB sowie ein Wasserfalldiagramm. Während der k_3 -Gang im Test und beim Hersteller ähnlich aussehen und sich gut in den Schalldruckpegelgang 85-90-95dB einordnen, sind die Werte vom k_2 -Gang beim Hersteller schlechter. Dominant ist also der weniger beliebte k_3 . Für 90dB ist k_3 nur oberhalb 2,5kHz akzeptabel.

Abb. 20: Thiel BD25-6-034, Z SPL aus [59], THD aus [60]



Die Diamantmembran resoniert wegen der hohen Schallgeschwindigkeit innerhalb der Membran oberhalb von 40kHz, deshalb gibt es wie bei der B&W einen Hochtönerabfall. Die Schallgeschwindigkeit der Keramik ist wegen ihrer Porosität deutlich geringer, weshalb die Membranresonanz tiefer liegt und so den Schalldruckverlauf bis zur Resonanz linearisieren kann. Beide Membranen sind im Gegensatz zu denen der B&W Inverskalotten. Deshalb bricht der Schalldruck der Keramikkalotte oberhalb der Resonanz zusammen, ähnlich der Titanmembran von Focal, wobei letztere aber knapp oberhalb 20kHz ihren Schalldruck verliert. Der Grund: Titan hat eine noch niedrigere Schallgeschwindigkeit. Die

Verzerrungen im wichtigsten Übertragungsbereich sind beim Diamant auch nicht geringer.



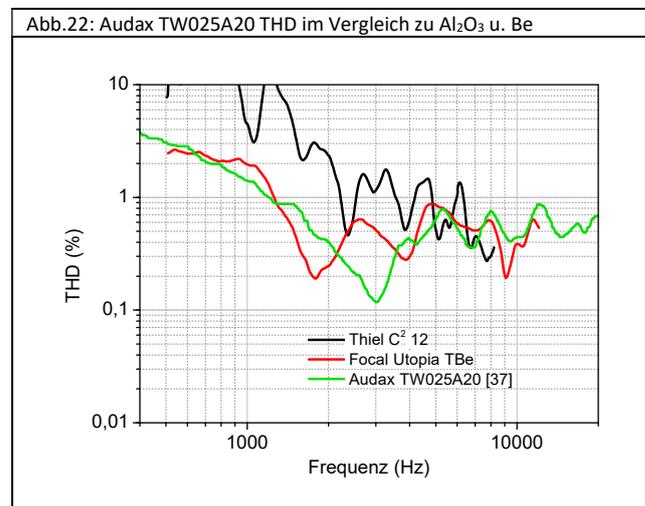
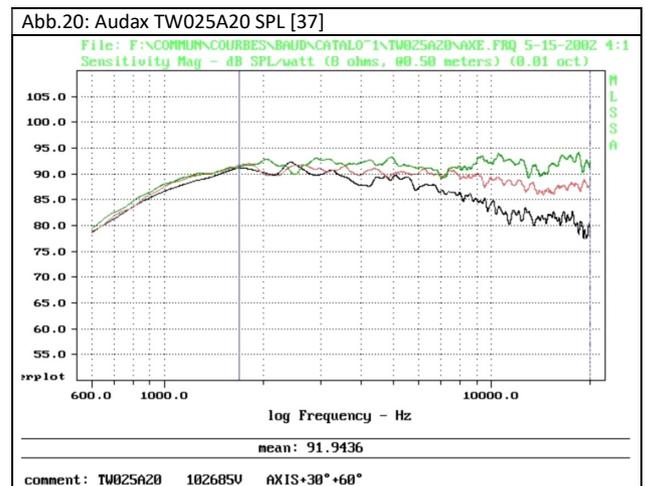
Ziel ist es eine Hartmembran-Alternative zur bisher genutzten breitbandigem 19mm Seidenkalotte SEAS NoFerro 12 ohne integrierter Abdeckung zu finden, die die gleichen niedrigen Verzerrungen hat und praktischerweise noch nicht im Hochpreissektor zu finden ist, da erforscht werden soll, ob die Hartmembran prinzipiell in der Lage ist, die Hochtonauflösung weiter zu verbessern. Die ist nämlich noch vom Original etwas zu weit weg. Vielleicht liegt es aber auch prinzipiell am Aufzeichnungs- und Wiedergabesystem. Gesucht ist ein Hochtöner mit ca. 25mm Durchmesser der Membran für eine möglichst tiefe Ankopplung an den Mitteltöner, der ja ab 2kHz schon merklich bündelt. Erfahrungsgemäß gibt es keinen 10er Mitteltöner, der ein ähnlich niedriges Verzerrungsniveau wie die besten 13er aufweisen, außer der Excel W12CY001, der dem Visaton AL130 gleichwertig ist aber nur 2/3 der Membranfläche hat und damit einen größeren Intermodulationsgrad. Vielleicht ein Chassis für eine 4-Wege Box. Der gesuchte Hochtöner sollte minimalen Klirrr und eine maximale obere Grenzfrequenz haben, dabei sollte die Linearität des Schalldruckes keine übertriebenen Abweichungen haben. Schalldruckschwankungen von einigen dB sind oberhalb der Trennfrequenz nur schwer korrigierbar, wenn sie mehr als einfache Absenkungen oder Überhöhungen aufweisen. Stufen, kurze Resonanzenbrüche mit daneben liegenden Überhöhungen zählen zu den Missbildungen.

Die Spitzenhochtöner Be, C_D wie zuvor besprochen haben alle kein Ferrofluid im Luftspalt. Ferrofluide altern durch den Luftsauerstoff, die Langzeitstabilität ist also nicht gut gesichert, zumal die Aufheizung durch die Schwingspule den Prozess beschleunigt. Viele der interessanten Hartmembran-Hochtöner von Seas und Excel zeigen heute eine Abdeckung vor der Membran und sind mit Ferrofluid ausgerüstet, zwei Gründe die zum vorläufigen zurückstellen dieser Kandidaten führen, für den Fall, dass anderweitig nichts brauchbares gefunden wird. Andere Hersteller von Kalotten-Hochtönern zeigen mehr Klirrr oder gehen im Frequenzgang nicht so hoch bzw. haben Schalldruckschwankungen. Sehr teure Bändchenhochtöner (> 300€) haben zwar die gewünschten Frequenzgänge und Klirrdiagramme, sind aber von der Ausdehnung her nicht für D'Appolito Anordnungen geeignet, was ebenfalls Untersuchungsziel der neuen Box ist. Ein weiterer deutlicher Nachteil ist das verzögerte Ausschwingen.

Ein aussichtreicher Kandidat wäre ohne dem Amplitudenschlenker bei 15kHz der 25mm Ti-Kalotten-Hochtöner von Audax TW025A16 gewesen. Der Test erfolgte in [33] und [34]. Hier war das Klirrdiagramm 8 Monate später mit einem neuen Grafikstyle signifikant schlechter, lag es daran, dass das Messequipment wechselte? Erkennbar war, dass zunächst anscheinend mit diskreten Frequenzen gemessen worden ist und später die Frequenzen durchgestimmt worden sind. Der Übergang erfolgte in [35]. Alle anderen Diagramme, Amplitudenfrequenzgang, Impulsantwort, Wasserfalldiagramm waren nämlich identisch. Neu hinzugekommen ist lediglich die spannungsabhängige Klirrmessung. Die Klirrmessung in [36] nutzte wieder eine 3. Methode, von Anfang 2000 an gleich im linearen Ordinatenmaßstab, jedoch mit ähnlichen Ergebnissen

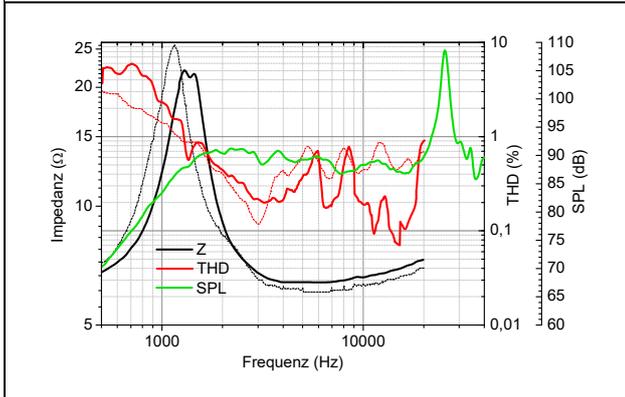
wie zu Beginn in [33]. Wegen der Frequenzgangstufe von -5dB beim Übergang von 13kHz auf 16kHz kam dieser Hochtöner nicht in die enge Wahl.

Der Nachfolger des TW025A16 ist der TW025A20 diesmal mit ganz freistehender Ti-Kalotte und Neodym-Magnet. Die freier stehende Kalotte sollte ein besseres Rundstrahlverhalten haben. Die ersten Messungen wurden bei [37] als Datenblatt gefunden. Der Frequenzgang zeigt in 0,5m Entfernung keine Schalldruckstufe. Die Linearität war sehr gut. Leider war der Frequenzgang nur bis maximal 20kHz sichtbar (Abb. 22). Das Rundstrahlverhalten war ausgezeichnet. Der Impedanzgang zeigte eine saubere Hauptresonanz bei 1152Hz und eine Nebenresonanz bei der doppelten Frequenz. Nach dem damaligen Stand der Technik o.k, aber heute wäre eine tiefere Resonanz angebracht. In Abb. 22 ist der Vergleich in THD zu den oben besprochenen Keramik- und Be-Hochtöner dargestellt. Damit erschien der TW025A20 erst einmal akzeptabel.



Erst 2008 kam ein aktueller Test in [38]. Der Frequenzgang zeigt hier jedoch einen leichten Abfall zu den Höhen hin. Der Messabstand betrug hier 1m, der von [37] nur 0,5m. Die Verzerrungen verlaufen nicht so breitbandig sondern nur mit scharfen Spitzen. Die THD-Spitze bei 8.5kHz wird durch k₃ bestimmt. Sie korreliert mit der Resonanzspitze bei 26kHz. Diese Membranresonanz bewirkt auch in k₅ einen Spitzenpegel, der durch die THD-Spitze in 5-6kHz definiert ist. Die Resonanz bedingte k₂ fällt hier klein aus, bevor k₂ in Richtung Resonanz anwächst. Viel später wird in [39] bei der Bewertung des Excel T29MF001 Magnum notiert, dass die Frequenzweichen-Schalldruckentzerrung der Membranresonanz dazu führte, dass die mit der Resonanz korrelierte k₃ gleichzeitig mit verschwand. Die Impedanzspitze ist wieder aufgespalten, was im Vergleich zum [27] eine Serienstreuung nachweist.

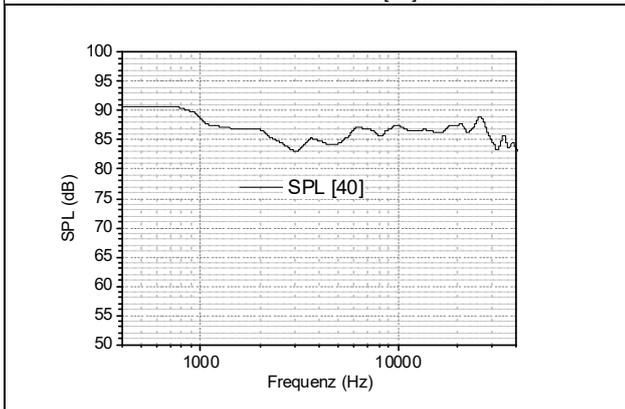
Abb. 23: Vergleich Impedanz-, THD- und Frequenzgang Audax TW025A20 aus den Daten von [38] im Vergleich [37] - - -



Nun wäre zu erwarten, dass hier beim Audax TW025A20 alle Klirrspitzen mit einer prinzipiell gleichen Entzerrung, einem Sperrkreis, auch verschwinden. Damit dürfte der THD 90dB unter 0,2% zu bringen sein. Darüber hinaus kann der Schalldruck-Frequenzgang bis mindestens 40kHz begnadigt werden. Das wäre als insgesamt besser zu beurteilen als die vorher gezeigten Diamant-, Keramik- und Be-Hochtöner. Dass Timmermanns in HobbyHifi an anderer Stelle früher die Dämpfung der Membranresonanz von Metallhochtönern mittels Saugkreis klanglich als weniger rau empfand, obwohl die Resonanz oberhalb der Hörgrenze liegt, wäre jetzt nun viel besser zu verstehen.

In [40] wurden private Messungen des TW025A20 veröffentlicht. Die SPL-Werte gleichen den Messungen von [38]. Dort wurde die Membranresonanz allerdings mit einem Saugkreis (1Ω, 62μH, 112nF) annihiliert. Als Ergebnis wurde ein linearer Frequenzgang bis 40kHz sichtbar. In [41] spricht man sogar von einer Bandbreite bis 60kHz. Nun wird, wie von de B&W Messungen bekannt ist, oberhalb der Membranresonanz der Schalldruck durch ein Phasenrauschen überlagert sein. Interessant ist die bewusst eingebaute Präsenzenke im Amplitudengang in [40].

Abb. 24: Schalldruckverlauf einer Box aus [40] mit TW025A20



Im Web wurden auch Modifikationen des TW025A20 gefunden, bereits in Frankreich, dem Mutterland des Audax, den TW025A20Mg und den TW025HE01, beide mit Mg-Membran. Die Angaben des letzteren Mg-Hochtöners mit erweiterten Rückvolumen sind sehr interessant. Die Hauptresonanz F_s liegt mit 16Ω bei nur 800Hz und es gibt eine Nebenresonanz mit 7,6Ω bei 1,9kHz bei einem R_e von 6,2Ω. Die maximale lineare Auslenkbarkeit X_{lin} ist $\pm 1,2$ mm. Die Schwingspule Al/Cu befindet sich auf einem Kaptonträger. Damit hat dieser Hochtöner eine Sonderstellung. Wirbelstromverzerrungen sind damit minimiert. Allgemein wird eine Magnesiummembran mit speziellen Beschichtungen vor der Oxidation an Luft geschützt. Vermutlich hier auch. Die 3 letzten Merkmale führen insbesondere zu einem extrem niedrigem Klirr. Moca-Audio gibt sogar den THD Wert bei 8V Betriebsspannung, was einem Pegel von 100dB bei 1m entspricht, an.

Ein weiterer Kandidat für den Hochtöner ist die SEAS Kalotte TAF/W. Allerdings zeigt sich hier ein kompliziertes Klirrverhalten. Die Impedanzkurve ist frei von Nebenresonanzen. Nicht optimal verläuft der Frequenzgang, wenn man berücksichtigt, dass mit der Entfernung noch eine zusätzliche Hochtonabsenkung erfolgen wird. Im Prinzip korreliert auch hier die Klirrspitze mit der Membranresonanz, aber wie! k_2 verläuft gegenphasig zur Auslöschung und k_3 in Phase zur Membranresonanz. k_2 bei knapp über 10kHz ist nicht korrigierbar. Das würde eine interessante Klangabbildung ergeben. Auch er hat Ferrofluid im Luftspalt, wie alle anderen Seas mit ca. 25mm Schwingspule auch.

Abb. 25: Vergleich Impedanz-, THD- und Frequenzgang SEAS TAF/W aus den Daten von [42]

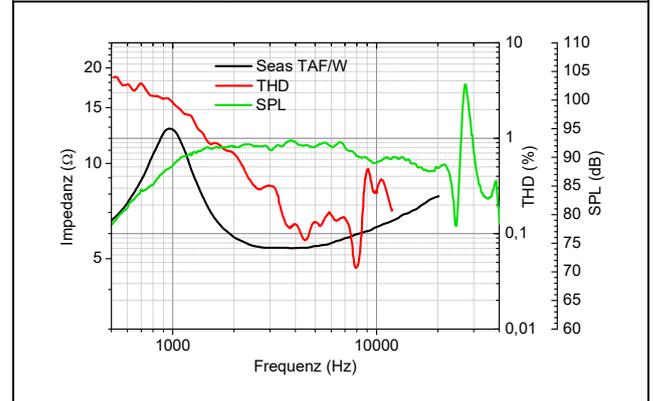
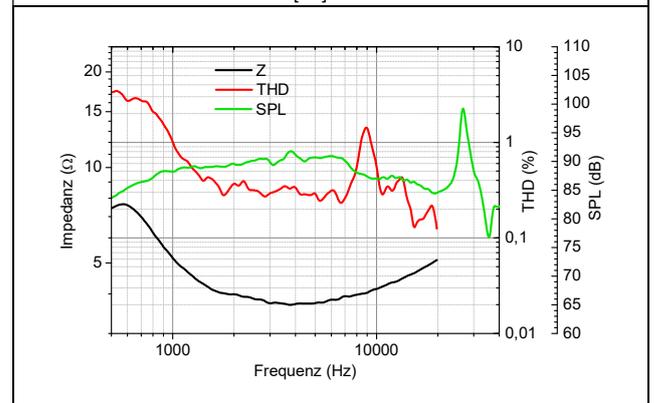


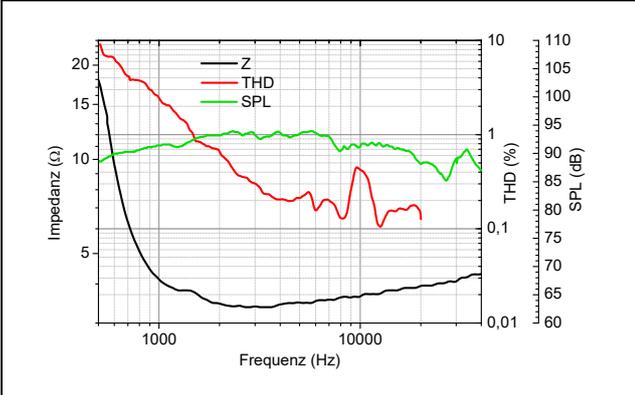
Abb. 26: Vergleich Impedanz-, THD- und Frequenzgang Excel T29MF001 aus den Daten von [38]



Auch von Excel wurde ein Hartmembranhochtöner ohne Abdeckgitter getestet, der T29MF001 Magnum. Allerdings wurde niederviskoses Ferrofluid eingesetzt. Es gibt keinen Hartmembranhochtöner von Excel ohne Ferrofluid. Der Excel hat zwar keine Auslöschung und nur einen k_3 Peak, der mit der Membranresonanz zusammenhängt, der also beseitigbar ist, aber dafür ein höheres allgemeines Klirrniveau, das tiefer reicht. Dieser Hochtöner hat eine sehr niedrige Impedanz. Der Frequenzgang bietet eine abfallende Stufe und einen Abfall noch weiter oben. Dank des ersteren [43] ist kein linearer Frequenzgang auf Achse erhaltbar war. Darüber hinaus müsste dort ein Bypass die Höhen speziell anheben. Dadurch sinkt der Wirkungsgrad.

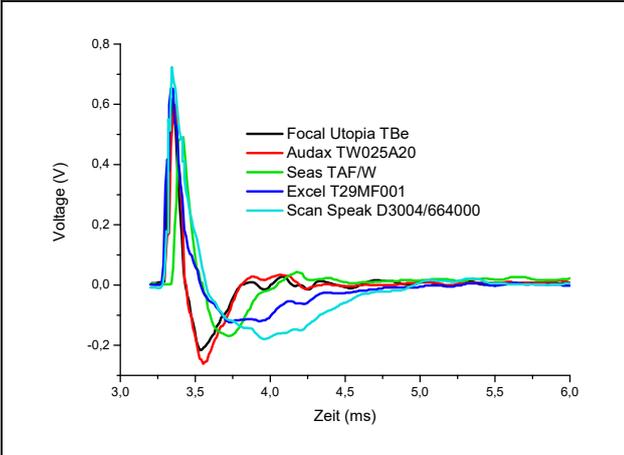
2010 emittierte Scan Speak, Abb.27, auch einen Hochtöner mit Be-Membran zu einem ähnlichen Preis wie dem Focal Utopia TBe. Die Membran wurde aber konvex ausgeformt. Leider hat auch er ein Abdeckgitter und eine niedrige Impedanz. In der Impedanzkennlinie ist eine kleine Nebenresonanz erkennbar. Das Klirrverhalten ist fast völlig durch k_2 geprägt. Die Spitze bei 10kHz korreliert nicht mit einer Membranresonanz. Ein Saug- oder Sperrkreis würde nur den Schalldruck einkerben.

Abb. 27: Vergleich Impedanz-, THD- und Frequenzgang Scan Speak D3004-664000 aus den Daten von [43]



In Abb. 28 wurden die Impulsantworten aus den entsprechenden Literaturquellen übereinandergelegt, damit sie verglichen werden können. Der Thiel Keramikhochtöner war vor längerer Zeit vermessen worden, so dass zwischendurch die Messbedingungen geändert worden sind und die Kurven auch nicht annähernd vergleichbar sind. Dem Focal Utopia TBe am ähnlichsten ist der Audax TW025A20, allerdings sieht es so aus, als ob er ein wenig überschwingt. Normalerweise werden Hochtöner mit Widerständen bedämpft, so dass das Überschwingen reduziert wird. Überraschend ist, dass der Scan Speak von allen am langsamsten ausschwingt. Sicherlich ist hier das Abdeckgitter nicht ganz unschuldig.

Abb. 28: Impulsantworten von getesteten Hochtönern



Tab. 6: Vergleich der Gesamtgüten

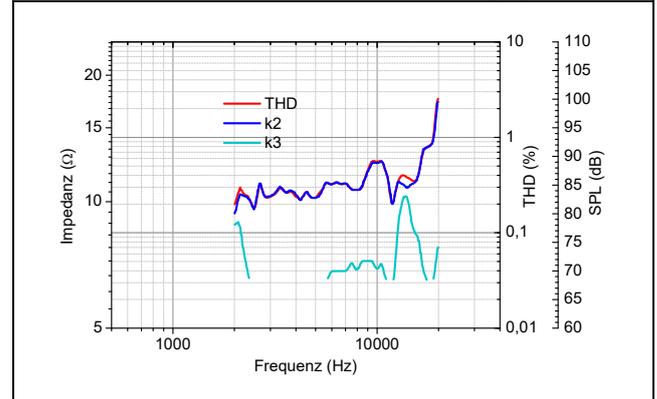
Hochtöner	Qts	
Focal Utopia TBe	0,73	[31]
Audax TW025A20	0,86	[38]
	0,94	Kap.14.2
Seas TAF/W	0,80	[42]
Seas Excel T29MF001	0,49	[38]
Scan Speak D3004/664000	0,98	[43]
Moca TW025HE01	0,73	Kap.14.2

Interessant ist der Vergleich der Gesamtgüten Q_{ts} der Hochtöner in Tab. 6. Er gibt einen Einblick in die Philosophie der Entwickler. Bemerkenswert ist die Güte 0,5 des Seas Excel T29MF001 und die Güte 1,0 des Scan Speak D3004/664000. Obwohl letzterer eine Güte von 1,0 hat, schwingt er sehr langsam aus. Das impliziert natürlich, dass er sonst noch viel langsamer wäre. Eine konventionell optimale Güte von 0,71 nach Butterworth haben nur der Moca TW025HE01 und der Focal Utopia TBe.

Nun schien der Audax TW025A20 der aussichtsreichste Kandidat zu sein. Alle Störungen lassen sich durch die Bedämpfung der Membranresonanz und eine sowieso immer stattfindende globale Bedämpfung beseitigen.

Im Folgenden wurde recherchiert, ob es jetzt noch bessere Nachfolger gibt. In [44] wurde ein vielversprechender Typ gefunden. Dieser hatte den gleichen Antrieb wie der TW025A20 aber ein vergrößertes Rückvolumen, wodurch die Resonanzfrequenz tiefer gelegt wurde. Die Beschreibung durch das Datenblatt versprach viele gute Parameter. Bei höherer Impedanz lag das Klirrdiagramm zwischen dem Excel und dem Scan Speak, jedenfalls auf den ersten Blick, und der Frequenzgang ließ erst mal bis 20kHz nicht nach wie beim Scan Speak und dem Excel, außerdem hatte er nur ein Schutzgitterstab, völlig vernachlässigbar! Da k_2 bereits diesen Wert THD voll für sich beansprucht, sind weitere Oberwellen nicht zu befürchten (s. Abb. 28).

Abb.29: Datenblatt TW025AHE01, 0.5m 8V THD k_2 k_3 [44]



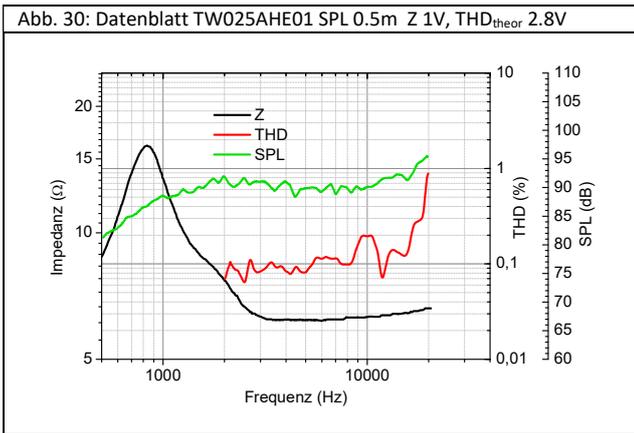
Die k_3 Verzerrungen spielen nur eine untergeordnete Rolle. Die leicht ansteigenden k_2 oberhalb 8kHz verändern kaum noch die Klangfarbe. Das k_2 Maximum bei 10kHz korreliert mit der Membranresonanz, die vom Kurvenverlauf vermutlich bei 20kHz liegt. Die starke Zunahme der k_2 ab 16kHz korreliert mit dem Audax TW025A20. Der Vorteil des TW025HE01 liegt darin, dass k_3 scheinbar völlig fehlt. k_3 liegt allerdings von der Frequenz her viel höher, anstelle 8.5kHz bei 14kHz. Allerdings deutet k_3 mit 14kHz auf eine 2.Membranresonanz von ca. 42kHz hin.

So wie beim TW025A20 wie auch beim T29AF001 sinkt der SPL oberhalb der ersten Membranresonanz nicht unter den 10kHz Pegel bis 40kHz. Die Existenz einer 2.Membranresonanz scheint die Fortführung des Schallpegels axial zu bestätigen. Eine Anfrage an [44] bestätigte diese Annahmen. Es besteht daher die ernsthafte Hoffnung, einen Schalldruckpegel bis 50kHz axial zu erhalten. Wenn der zu hohe Schalldruckpegel der ersten Membranresonanz durch Filter bedämpft wird, sollte das hörbar sein (s. v.) obwohl die Frequenzen im Ultraschallbereich liegen. Also sollte damit auch der k_2 Peak bei 10kHz bedämpft werden. In den vorhergehenden Kapiteln wurde bei der Bedämpfung der Nebenresonanzen des Hochtöners auch eine Verbesserung der Klangreinheit vernommen.

Auf den 2. Blick wurde offenbar, dass die Klirrmessungen bei 8V und nicht wie üblich bei 2.8V aufgenommen worden sind. Damit sinkt THD um -9,1dB, wenn ein lineares Klirransteigen angenommen wird. Laut Messungen in Klang+Ton mit unterschiedlichen Pegeln 85dB und 95dB steigen aber die k_2 bei Pegelerhöhung überproportional an. Wenn also einfach proportional runtergerechnet wird, dann ist die erhaltene Kurve der „wurst case“ Fall, s. Abb. 30.

Die niedrigen Verzerrungen des TW025AHE01 werden durch (i) einen wirbelstromfreien Kapton-Schwingpulenträger, (ii) durch mit Cu belegten Polkern und (iii) eine reflektionsarme großvolumige bedämpfte Rückkammer erhalten. Die relativ niedrige Membranresonanzfrequenz stellt sich durch die Kalottenform ein.

Der Kapton-Schwingpulenträger leitet aber die Wärme schlecht ab. Um wahrscheinlich zu demonstrieren, dass der Klirr trotzdem niedrig ist, wurde bei 8V gemessen. Leider ist eine Impuls-Antwort zum Vergleich nicht vorhanden.



Laut Messungen der gewünschten Parameter und den Konstruktionsdaten in Tab. 7 kommen nur die TW025-Typen als Hochtöner zum Test in Frage.

Tab. 7: Daten geeigneter Hochtöner

	Thiel	Focal	Excel	Seas	Audax	Moca
	C25-6-12	Tbe	T29MF001	29TAF/W	TW025A20	TW025HE01
Membran	Al ₂ O ₃	Be	Mg	AlMg	Ti	Mg
Re (Ω)	6,2	6	3,5	4,7	5,5	6,2
fs (Hz)	740	1470	500	950	1137	800
Mms (g)	0,23		0,35	0,39		
∅ (mm)	16,4	20	26	26	25	25
Träger	Al	Al	Al	Al	Al	Kapton
Ferrofluid	high visc	-	low visc	ja	-	-
Sd (cm ²)	6	4,9	8	8	5	
max.Power	120	200	100	100	100	120
X _{max} (mm)	±0,6		±0,7	±0,25		±1,2

14.1.4.3. Verzerrungsarme 5“ Tiefmitteltöner

Die Wunschparameter für einen Mitteltöner waren in erster Linie minimale harmonische Verzerrungen und eine angenehme Wiedergabe der Töne, ein möglichst linearer Frequenzgang bis zu den höchsten Frequenzen, damit die Membranresonanzüberhöhung gut filterbar ist. Es soll auch im unteren Frequenzbereich möglichst tief ankoppelbar sein, einmal hubmäßig und zum anderen eine tiefe Resonanz fs haben, damit ihre Wirkung in der Trennung gering bleibt.

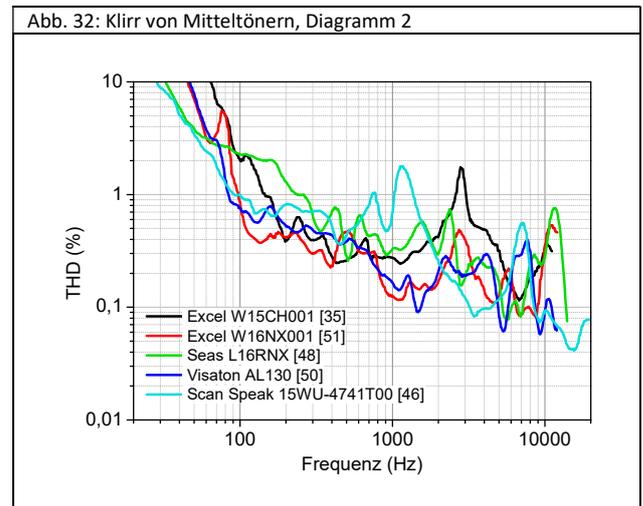
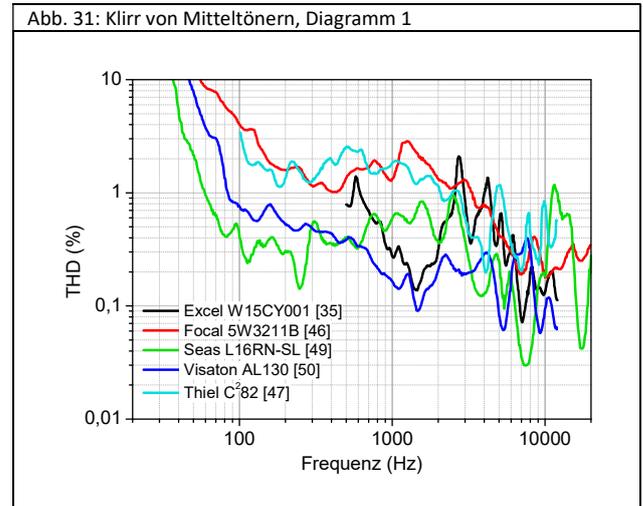
Da stellt sich nun ernsthaft die Frage, ob die Keramikmembranen für den Mittel- und Tiefton tatsächlich noch viel besser als die besten Metallmembranen sind, so dass sie sich auch eine Abdeckung in Form eines Lochgitters leisten können. Der größte Keramiktreiber ist aber nur eine 8“ Membran von THIEL. In HobbyHiFi wie in Klang und Ton wurden Keramiktreiber von THIEL getestet. Der W22 FX001 von Excel hat zum Vergleich keine Abdeckung. Die Membranresonanz liegt beim Excel um die 5kHz mit 105dB, die des Thiel bei 3kHz mit 97dB. Das Mitteltonauschwingen erfolgt beim Excel doppelt so schnell. In der Webseite von THIEL sind auch Klirrvverzerrungen ausgewiesen, die liegen ebenfalls doppelt so hoch, wie die vom Excel in [45]. Auch von den üblichen Tieftonparametern gibt es keine Argumente, weshalb der THIEL besser sein sollte. Aber diese Auswahlmöglichkeit hat keine praktische Bedeutung, da kein 8“er eingebaut werden soll.

Die Wahl für Keramikmembranen ist also für die Hoch- und Tieftonwiedergabe bisher nicht besser. Wie sieht es mit den Mitteltontreibern aus?

Da bietet THIEL eine ganze Reihe an, aber alle sind mit Metalllochgittern abgedeckt. Vergleichbare Flächen zum bisher genutzten Visaton AL130 sind die C²79-6, C²82-6, letzterer mit 4Ω und 8Ω. Die 82er wurde in [46,47] vermessen und der Klirr ist Faktor 3 höher als der vom AL130. Auch die Klirrdiagramme auf der Homepage von Thiel sehen nicht besser aus, siehe auch Abb. 31. Die THD-Frequenzgänge wurden wegen der farblichen Übersichtlichkeit auf 2 Diagramme aufgeteilt, nur der Thiel wurde mit dem Scan Speak agetauscht und Excel 16 mit dem Focal.

Der Visaton AL130 wird immer noch als Maßstab genommen, da er bei den früheren Sinus-Testdurchläufen mit Abstand am besten überzeugt hatte. Beginnend von 300Hz waren mit fortschreitender Frequenzerhöhung die Töne immer klarer, sauberer, angenehmer (wärmer?) geworden und das ging so weiter bis 3000Hz erreicht waren.

Diese Hörergebnisse wurden 1 Jahr später durch die Klirrmessungen von Timmermanns voll bestätigt. Seitdem wird genau auf derartige Messungen geschaut, um so mehr da es jetzt um eben diesen Mitteltonfrequenzbereich geht.



Als am Höchstwertigsten werden die Konuschassis außer von Thiel noch von Excel, Eton, Focal, Görlich, Peerless, Seas und vor allem von Scan Speak eingeschätzt. Die Begeisterung für den letzteren Hersteller kann so für die kleinen Konusgrößen mit speziellen Papiermembranen nicht nachvollzogen werden, weil fast immer Klirrhöhen im Mitteltonbereich auftauchen, genau dort wo auch die Impedanzkurven kleine Maxima haben. Da wird auch bei der letzten Entwicklung [46] mit rückschalloptimierten Neodym-Magnet, Unterhangspule, Ti-Spulenträger keine Ausnahme gesehen. Der Klang des 15WU/4741T00 wird durch k₃ mit 0,5% geprägt und die Klirrspitze wird durch k₂ mit 1,5% (-36dB) bei 1,1kHz gebildet. Die Membranresonanz kommt zwar bereits bei 6,5kHz ist aber bedämpft.

Die Sandwichmembran des Focal ist aus Hartschaumträger und mehreren Glasfasergewebelagen sehr aufwändig konstruiert, so dass eine Resonanz nur ansatzweise im Wasserfalldiagramm [46] erkennbar war. Die Wirkung des Phase Plug, dessen Einführung woanders zu einer besseren Mittenübertragung geführt hatte, reicht hier nicht aus, auch der Schwingspulenträger aus Kapton bringt vergleichsweise wenig. Der Excel W16NX001 zeigt mit seiner Mg-Membran zwar im 200Hz Bereich etwas weniger Klirr aber dafür mehr im 2kHz Bereich und hat bei 80Hz ein lokales Klirrmaximum [17]. Der Excel hat zwar nur einen Al-Spulenträger aber dafür massive Cu-Ringe am Polkern und einen massiven Cu-Phase Plug. Durch seine Metallmembran wird wieder eine Membranresonanz mit +10dB Überhöhung wirksam. Sie kommt aber

bereits bei 5,8kHz. Der alte Excel W15CY001 und der neue W15CH001 mit dem raumsparenden Neodymmagneten haben zu hohe Verzerrungen im Präsenzbereich [35,48].

Der neue SEAS L16RNX zeigt hingegen mehr Klirr im Mittenbereich und weniger im Bassbereich als der Excel [48]. Die Metallmembranresonanz zeigt sich schon bei 4,9kHz und bringt aber eine Überhöhung von +15dB. Als Klirrspitze wird sie zwar nicht abgebildet, dafür ist sie mit ihrer extrem langen Ausschwingzeit nicht zu überhören.

Der Visaton AL130 bringt eine ausgezeichnete Leistung. Die Membranresonanz hat zwar auch eine Überhöhung von +12dB aber sie liegt erst bei 8kHz. Vom Klirr her wird er nur im Bereich < 300Hz vom Seas L16RN-SL geschlagen [50], der ist aber bei mehr als 800Hz absolut nicht akzeptabel. Der AL130 hat einen Impedanzkontrollring und einen Kapton-Schwingspulenenträger. Der führt aber im Betrieb bei höheren Leistungen doch zu Impedanzverwerfungen wie in Kap.9, Abb.13 zu sehen ist. Nach einer f_s Drift zu niedrigeren Frequenzen wandert die f_s bei noch höheren Leistungen wieder zu höheren Frequenzen bis die Hauptresonanz bei 20V Spannung an der HP4284A „abkippt“. Der Peak wird dann völlig unsymmetrisch. Vielleicht eine Folge der Überhitzung?

Sowohl bei Hochtönern als auch bei Mitteltönern wie bei Tieftönern, ist die heute bevorzugte Wahl von Keramik (Metalloxid) wohl doch eher eine Modeerscheinung, klanglich wie messtechnisch sind sie keine Klasse besser als Metallmembranen, nur die Theorie bürgt für die Keramikmembran. Ein Argument für Keramik kann das Einsparen von ein paar kleinen Filterbauelementen sein, da die Membranresonanzen entschärft sind. Es gibt aber noch ein Argument für Metallmembranen: Chassis-Konstrukteure haben oberhalb und unterhalb der Schwingspule 2 geschlossene Kupferringe angebracht, der Innenwiderstand dieser ist sehr niedrig, wodurch eine hohe Gegeninduktion erzeugt wird, die Gegeninduktion bremst die Membranbewegung und dämpft das Ausschwingen. Die Wirkung der Ringe setzt bereits in einiger Entfernung vom Luftspalt ein. Die Metallmembranen wirken doch wie ein flacher elektrisch leitfähiger Ring, der dann ebenfalls das Ausschwingen beschleunigen sollte.

Die einzige ernsthafte Alternative zum AL130 ist der W16NX001. Der Kostenaufwand ist aber dann 3 mal so hoch. Wird dann der AL130 2 mal verwendet, als D'Appolito Konstruktion, dann halbiert der Klirr für den AL 130 oder die Leistung kann vervierfacht werden.

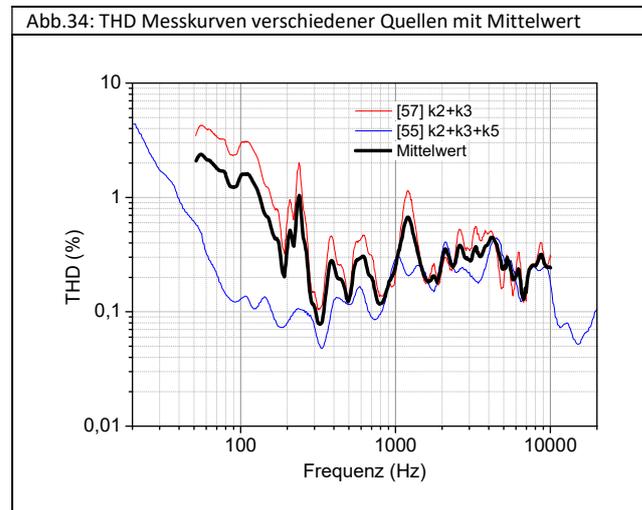
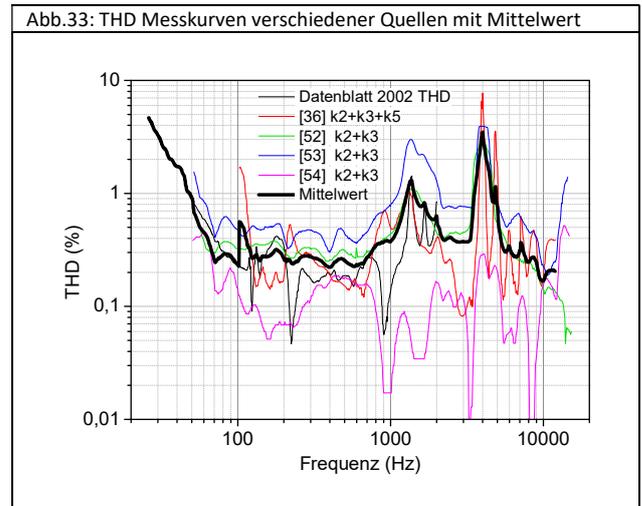
1.4.4. Verzerrungsarme 10" Tieftöner

In den Datenblättern von Seas Excel wurden vor 2005 noch Messkurven der harmonischen Verzerrungen (k_2 , k_3 und THD) publiziert, so wie eine vom Tieftöner Excel W26FX001, die in Abb. 33 dargestellt ist. Zur Vergleichbarkeit wurde die THD von 96dB auf 90dB dB-linear runterextrapoliert. Der W26FX001 hatte Excel-typisch einen massiven Cu-Phase-Plug, 2 Cu-Ringe am Magnetpol und eine Membran aus einer AlMg Legierung. Er wurde in K+T mehrmals von 2003 bis 2005 gemessen und in HobbyHiFi nur 2003. Alle THD Kurven wurden aus den Summen von k_2 bis k_5 , soweit vorhanden, gewonnen. In den 2 Diagrammen, wo k_5 auftaucht, erhöht die k_5 die Summe aus k_2 und k_3 nicht sichtbar. Die Kurven aus den verschiedenen Messungen unterscheiden sich zum Teil nicht unerheblich, dennoch ist ein typischer Gang interpretierbar, der durch die Mittelung aller Kurven graphisch gut zum Ausdruck kommt. Der hohe Klirr in [36] bei 100 bis 130Hz liegt an der Messbereichsgrenze und ist vielleicht nicht so wörtlich zu nehmen.

Ansonsten ergibt sich dann in Anbetracht der hohen Konstruktionsaufwände zur Verringerung der Verzerrungen ein recht sinnvoller THD-Pegel im Nutzbereich <700Hz von etwa 0,3% bei 90dB SPL. Dass es solche Unterschiede gibt, liegt bestimmt auch an der Fertigungstoleranz, d.h. Fertigungsschwankungen, wenn z.B. die Schwingspule und Aufhängung nicht exakt rund und symmetrisch ist.

2011 kam ein Test von [55] heraus, wo überraschend ein noch besserer 10" Tieftöner mit Metallmembran als es der W26FX001 bezüglich Tieftonverzerrungen ist, erkennbar wurde, das war der Scan Speak 26W/4867T00. K+T hatte diesen aber bereits 2006 im Test, aber ihre neuen Klirrdiagramme waren völlig unübersichtlich und kaum auswertbar [57]. Nach erneuter Prüfung schienen die Werte deutlich schlechter zu sein. Nun wurden mit größerem Aufwand die Daten digitalisiert und mit denen aus [55] in ein Diagramm zusammengestellt. Zur Vergleichbarkeit wurde auch hier der Mittelwert gebildet, siehe Abb.34. Nun sah die THD-Kurve nicht mehr so überragend aus. Die Fertigungsstreuung scheint ganz schön groß zu sein. Im Frequenzbereich

unter 300Hz, gerade die wo es hier ankam, war die Vertrauenswürdigkeit so nicht mehr gegeben. Zu hoffen ist natürlich, dass die Messequipments der beiden Datenquellen, Clio und DAAS nicht so unterschiedlich werten.



Obwohl der 26W/4867T00 eine Metallmembran hatte, waren die Membranresonanzen nur wenig ausgeprägt. Sie wurden offensichtlich gut bedämpft. Dies resultierte sicherlich aus der optimierten Geometrie der Al-Membran, die noch zusätzlich eloxiert worden ist, d.h. oberflächlich wurde elektrolytisch eine Al_2O_3 Keramik erzeugt. Dies führt zu einer Art Laminat Keramik/Metall/Keramik. Die elektrolytisch erzeugte Keramik ist (s. Thiel) porös und wirkt so bedämpfend. Der Zusatz des schwarzen „Farbstoffs“ tut sicherlich noch ein übriges. Die Möglichkeit, extrem niedrigen Verzerrungen zu erreichen, wurden vermutlich durch computeroptimierte Platzierung der Kurzschlussringe (Impedanzringe), durch die spezielle Polkernkappe und durch die Unterhangspule, die ein symmetrischeres Magnetfeld an die Spule anordnet, erreicht.

Leider wurde überall nur der 4Ω Typ getestet. Aus diesen und aus den oben genannten Gründen der Fertigungsreproduzierbarkeit blieb der Excel immer noch der Wahlkandidat.

Die Thiele-Small-Parameters des Autors aus [55,36] weisen meist ein viel höheres Vas und kleinere f_s aus als die Hersteller oder andere Testmagazine auflisten. Das liegt wahrscheinlich an den unterschiedlichen Konditionierungsbedingungen (auch „Einpumpen“ genannt) dieser Tieftöner.

Es könnte noch einen möglichen Zusammenhang geben, wenn man sich die Klirrdiagramme und die Tabellen anschaut, und zwar zwischen dem ermittelten Vas und dem THD. Je größer das Vas ist desto geringer ist THD. Ein größeres Vas wird gemessen, nachdem die Konditionierung

durch geführt wurde. Je stärker Sicke und Zentrierspinne schwingungsmechanisch gedehnt wurde, desto größer wird Vas. Das Material verliert an Elastizität und die Eigenresonanzgüte wird kleiner und scheint die Membran besser zu dämpfen.

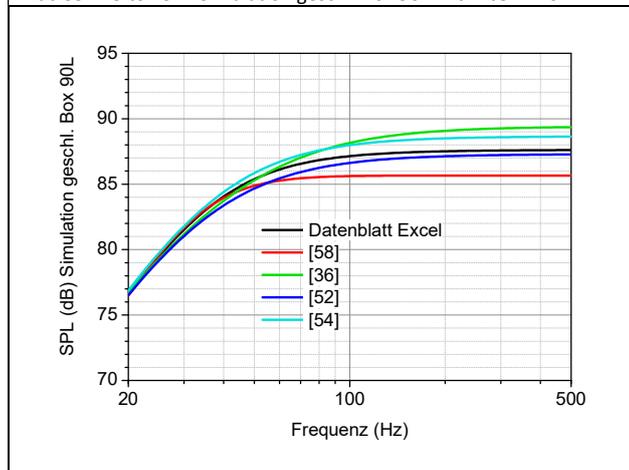
Tab. 8: Vergleich der TSP u.a. Parameter Scan-Speak 26W/4867T00

	[55]	[56]	[57]
Re (Ω)	3,6	3,7	3,74
Le (mH)	0,24	0,25	0,26
Fs (Hz)	16	18	19
Qms	4,9	5,8	4,71
Qes	0,26	0,31	0,35
Qts	0,33	0,29	0,32
Sd (cm ²)	340		343
Vas (L)	329	220	149
Cms (mm/N)	2,0	1,53	0,90
Mms (g)	47	51	79,78
Rms (kg/s)	1,0	0,99	1,99

Tab. 9: Vergleich der TSP u.a. Parameter Excel W26FX001

	[15]	[36]	[52,53]	[58]	[54]
Re (Ω)	6,3	6,1	5,94	5,94	5,94
Le (mH)	1,43	0,32	0,32	0,32	0,33
Fs (Hz)	20	18	19	21	19,1
Qms	2,34	2,1	2,34	2,42	2,06
Qes	0,41	0,35	0,38	0,41	0,33
Qts	0,35	0,30	0,32	0,35	0,28
Sd (cm ²)	330	340	346	346	350
Vas (L)	162	217	149	123	196
Cms (mm/N)	1,1	1,3	0,88	0,73	1,14
Mms (g)	56,3	62	79,1	80,6	61,0
Rms (kg/s)	3,21	3,3	4,40	4,72	3,86

Abb.35: Tiefton SPL-Simulation geschl. Box 90L mit Excel W26...



Für die eigene Planung scheint ein möglichst hohes Vas des Excel günstig für den Amplitudengang zu sein, da wie in Abb.35 zu sehen ist, der Anstieg zum Oberbass hin größer wird als es mit den von EXCEL eigenen Parametern gelingt, denn die akustische Raumsimulation addiert genügend Tiefbass hinzu. So lässt sich Klirrverhalten und Schalldruckbedarf gut vereinbaren.

14.1.5. Zusammenfassung

Als Hochtöner werden der Audax TW025A20 und seine Variante der Moca TW025HE01 eingesetzt und mittels individueller Filter verglichen. Ergänzt werden diese mit jeweils 2 Visaton AL130 und einem Excel W26FX001. Der Audax dient erst mal auf Grund seiner geringen Fertigungsschwankungen als Überprüfung des Mikrofons, ob es noch weiter gedreht ist und als Alternative, falls der Moca entgegen seiner Versprechungen nicht irgendwelche Probleme hervorbringt, da er nicht von einer großen Fertigungslinie stammt.

Abb.36: Fotos Audax TW025A20



Abb.37: Abmaße Audax TW025A20

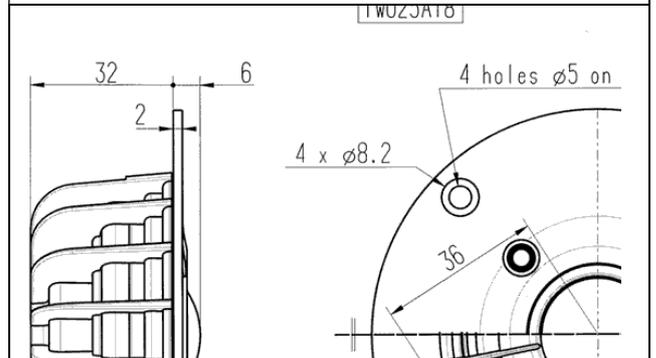


Abb.38: Fotos TW025HE01 mit zusätzlichem Rückvolumen



Abb.39: Abmaße TW25HE01 (wie TW25A20 + Rückvolumen)

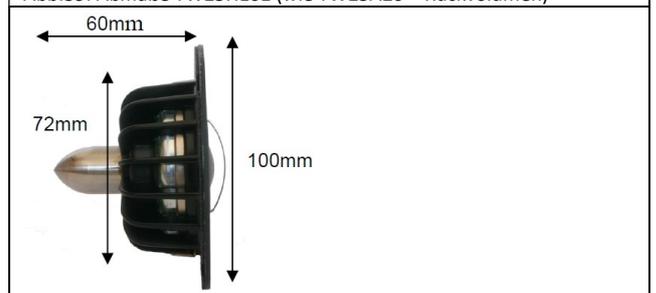


Abb.40: Fotos AL130



Bei optimaler Konstruktion sollten sich Verzerrungen von unter 0,3% THD ergeben und ein linearer Schalldruck-Frequenzgang von 20Hz bis 40kHz sollte realisierbar sein.

Abb. 41: Abmaße AL130

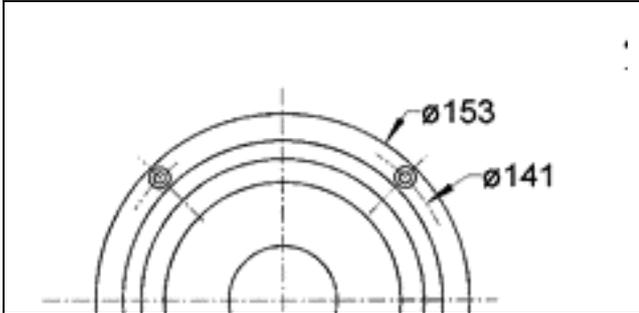
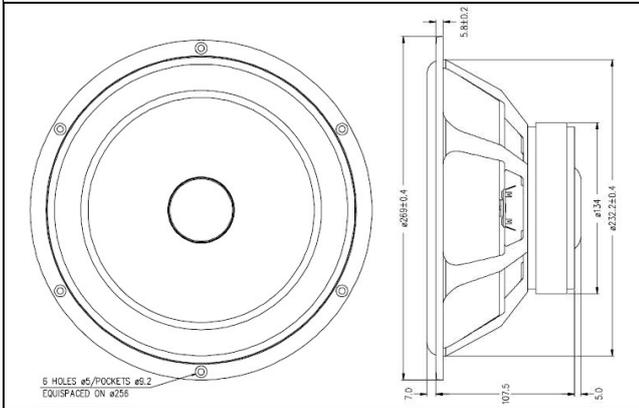


Abb.42: Fotos Excel W26FX001



Abb.43: Abmaße Excel W26FX001



Frauenstimmen klangen farbig aber mit wenig Wärme und persönlichem Charakter. Die räumliche Darstellung war eher flach. Bei höheren Lautstärken fing die Box merklich an zu schreien. Das war das ganze Gegenteil zur Focal. Die Fläche des Mitteltönnerrings um den Hochtöner war ungewöhnlich klein, so dass das Verhalten nicht mehr wunderte. Der Hubspielraum des Hochtöners war auch ziemlich begrenzt, der Abstand zum Streukörper war kaum zu sehen.

Bezogen auf die Zeitschriften-Ovationen war die Magico Q5 enttäuschend. Sie behielt zwar die Contenance bis zu den großen Lautstärken und zeigte davon unabhängig immer den Klangcharakter. Präzision, Klarheit und räumliche Tiefe wurden aber schmerzlich vermisst. Die großartigen technologischen Entwicklungen, wie sie propagiert worden waren, waren in keiner Weise erlebbar. War die Wahl der Quellen- und Verstärkergeräte schlecht gelungen? Das war aber nicht feststellbar.

Deutlich klarer und präziser spielte die Backes and Müller BM35. Leider neigten die Vorführer von BM dazu etwas zu tricksen. Kleinere Lautsprecher wurden leiser vom Laptop gespielt, die größeren mit dem Zylinderwellenstrahler wurden nur direkt vom CD-Spieler bedient, und je größer die Box wurde, desto lauter wurde sie vorgeführt bis ..., ja bis es nicht mehr angenehm war. Das eigene Gehör klorrte vermutlich lauter.

Einen besonderen Charakter offenbarten alle Lautsprecher mit Keramikchassis, ob sie von Isophon waren, oder von Tidal, oder von ..., es gab jedenfalls eine ganze Reihe. Vorwiegend wurde Klassik gespielt und mit der Zeit immer lauter werdend offenbarten sie alle den gleichen Charakter, knarzig-knatternd bis schnalzig. Eine halblaute Erklärung an einem mitgereisten Bekannten während der recht lauten Vorstellung, dass nun die verzögerten Ausschwingvorgänge durch die Reflektionen am Gitter vor den Membranen sehr deutlich hörbar sind, machte einen Vorführer, der etwas wegstand und zu Boden schaute, hellhörig. Er kam spontan heran und bemerkte, dass es leider nicht möglich sei die Gitter zu entfernen, da das Risiko durch Unachtsamkeiten, wie bereits eine leichte Fingerberührung der schwingenden Membran, die Membranen zum Zerplatzen zu bringen, einfach zu groß ist. Damit wurde klar, dass nicht nur die eigenen Ansichten bestätigt wurden, sondern auch, dass diese Reflektionen bei höheren Lautstärken zu deutlichen Verzerrungen führen. Die meisten der Hörer bemerkten das nicht, da die bewusste Wahl der großen klassischen Saiteninstrumente als Musikinterpreten wie auch größeren Bläser diese Art der Entstellung verschleierte, weil es natürlich wirkte, wenn die Saiten eine große tiefbassträchtige Überkontur bekamen. Es war so wie bei den Frauenstimmen, die durch eine k_3 Verzerrung mehr Erotik bekamen, nur dass hier niemals hätten Frauenstimmen gespielt werden können, da sie rau geworden wären. Erstmals bot sich die Gelegenheit die ganz großen altbekannten Hornlautsprecher mit ihren riesigen farbigen Trichtern zu hören, da der Stand wenig besucht war. Als die Lautstärke über die Zimmerlautstärke answoll, wurde langsam immer mehr klar, welche Bedeutung die Bezeichnung trötig hatte, eine Form von flackernden Ausschwingvorgängen.

- Aber allen gemeinsam war, dass die Einschwingvorgänge der akustischen Instrumente bestenfalls nur verstümmelt ankamen. Ausschwingvorgänge gelangen gut an Lautsprechern ohne Körper vor der Membran und wenn sie nur wenig Hornvorsatzformen aufwiesen.

p.s.

Bestätigung durch die High-End München 2011

2011 wurde noch einmal die Highend in München besucht. Gehört wurden nicht nur die Spitzenboxen von Focal, KEF, Isophon, B&M, Magico, Naim, Burmester. Die neue Grande Utopia von Focal brachte einen unspektakulären aber nahezu verzerrungsfreien Bass mit natürlicher Kontur. Damit wurde die Theorie des neuen Magnet-freien Treibers bestätigt. Die Geschlossenheit der Vorstellung erfolgte bis zum Präsenzbereich gut, darüber hinaus jedoch waren Höhen kaum da. Der Raum war sehr groß, noch größer als damals auf der IFA und der kleine Be-Hochtöner, der gleiche wie er in der 2-Wege Box spielte, wirkte völlig verloren, auch angesichts der riesigen Flächen für den Bass und Mittelton, - und das obwohl der HT nicht abgedeckt war. Der Vortrag der neuen KEF wurde mit einer wissenschaftlichen Erörterung der letzten Erungenschaften eingeleitet. Verschiedene Musikstücke wurden recht naturgetreu wiedergegeben, andere jedoch waren recht diffus.

Literaturverweise

- [1] www.audio-consequent.de
- [2] kirschner-hifi@tiefbasswiedergabe.de
- [3] Bernd Timmermanns (früher K+T, nun Hobbyhifi)
- [4] Jens Blauert, Räumliches Hören, S.Hirzel Verl.,Stuttgart, 1974
- [5] HobbyHifi 1999-6
- [6] HobbyHifi 2007-5
- [7] HobbyHifi 2000-4
- [8] www.magico.net
- [9] KEF tweeter.pdf aus www.kef.com/de
- [10] G.Schwamkrug, Lautsprecher Dichtung und Wahrheit, Elektor Verlag 1986
- [11] Hobbyhifi 2002, Heft 1, ab S.12
- [12] Hobbyhifi 2006, Heft 3
- [13] Hobbyhifi 2008, Heft 3
- [14] Stereoplay 2011/1
- [15] www.seas.no
- [16] www.moca-audio.com
- [17] HobbyHifi 2008, Heft 2
- [18] www.accuton.com
- [19] HobbyHifi 2002, Heft 4, S.63
- [20] Stereoplay 2006, Heft 11
- [21] 800_Development_Paper.pdf
- [22] Stereoplay 2006, Heft 1
- [23] Stereoplay 2011, Heft 1
- [24] Stereoplay 2006, Heft 11
- [25] HobbyHifi 2002, Heft 4
- [26] Stewe Mowry, "Truth_beryllium_diaphragms.doc"
- [27] Stereoplay 2004, Heft 10
- [28] Stereoplay 2003, Heft 5
- [29] Stereoplay 2009, Heft 6
- [30] Stereoplay 2011, Heft 1
- [31] HobbyHifi 2007, Heft 3
- [32] G.Schamkrug, „Lautsprecherboxen Aufbau-Umbau-Nachbau“ [Elektor Verlag GmbH, Aachen 1989],
- [33] HobbyHifi 2001, Heft 1
- [34] HobbyHifi 2001, Heft 5
- [35] HobbyHifi 2001, Heft 2
- [36] HobbyHifi 2003, Heft 1
- [37] www.madisound.com
- [38] HobbyHifi 2008, Heft 3
- [39] HobbyHifi 2011, Heft 2, S.38
- [40] <http://www.diyaudio.gr/oldnimmel.htm>
- [41] http://www.seawave.co.kr/eng/sub_02_03.htm
- [42] HobbyHifi 2006, Heft 3
- [43] HobbyHifi 2010, Heft 3
- [44] www.moca-audio.com
- [45] HobbyHifi 2003, Heft 5
- [46] HobbyHifi 2005, Heft 1
- [47] HobbyHifi 2003, Heft 4
- [48] HobbyHifi 2009, Heft 3
- [49] HobbyHifi 2008, Heft 4
- [50] HobbyHifi 2008, Heft 2
- [51] HobbyHifi 2008, Heft 8
- [52] Klang+Ton 2003, Heft 6
- [53] Klang+Ton 2004, Heft 4
- [54] Klang+Ton 2005, Heft 3
- [55] HobbyHifi 2011, Heft 2
- [56] www.scan-speak.dk
- [57] Klang+Ton 2006, Heft 6
- [58] Klang+Ton 2002, Heft 5
- [59] Klang+Ton 2012 Heft 2
- [60] www.accuton.de
- [61] www.Usheraudiousa.com