

Kapitel 14.4

Entwicklung eines Gehäuses für eine 3-Wege D'Appolito

14.4 Die Obergrenze der Abmaße

Die Bruttogröße soll in der Höhe 1,25m, in der Breite 30cm und in der Tiefe 50cm möglichst nicht überschreiten, ±4% seien zugelassen. Das Bruttovolumen beträgt dann 187,5L. Der Platz für die Weiche sollte als Rückwandzone maximal 10cm tief sein, bleiben 40cm für Bassvolumentiefe. Nun soll untersucht werden, ob es möglich ist, trotzdem noch sowohl für den Tieftmitteltöner als auch für den Tieftöner ein Qtc von 0,577 (Bessel) erreichbar ist, da immer noch nicht bekannt ist, bei welcher Frequenz die Trennung erfolgen muss, um den Schalldruckabfall im Oberbassbereich, 100...200Hz, durch die Boden- und Seitenwandreflektion zu minimieren.

14.4.1. Das innere Mitteltongehäuse

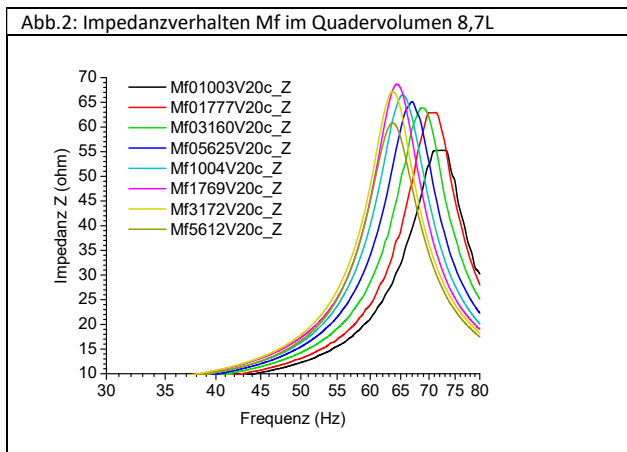
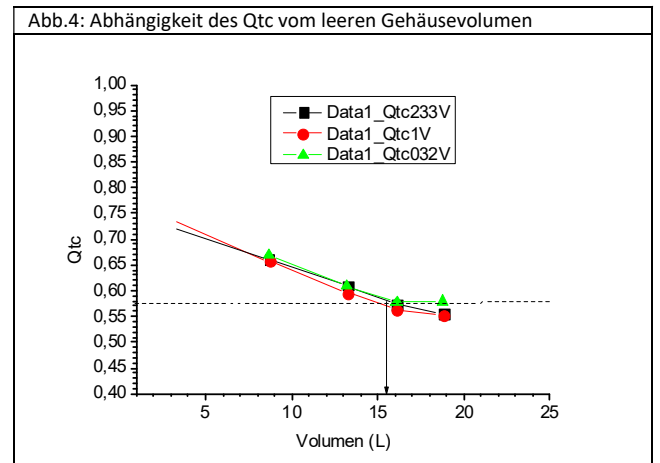
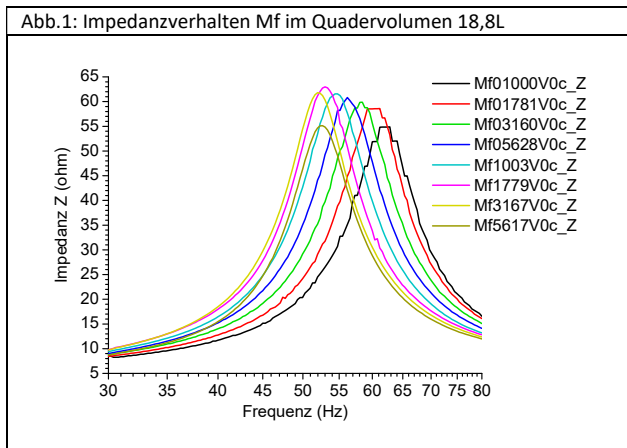
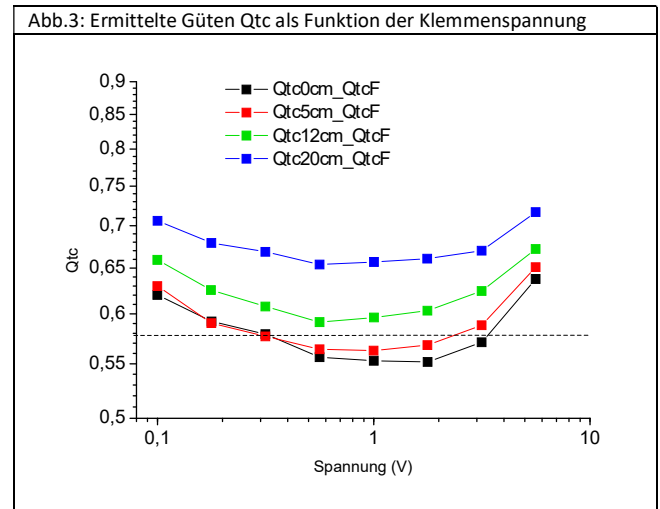
14.4.1.1. Messungen in einem variablen geschlossenen Testgehäuse

Das Freifeldverhalten ist nun bekannt. Da aber Lautsprecher nicht als Dipole eingesetzt werden sollen, weil so die Tieftonverzerrungen größer sind, sollte nun das Verhalten im geschlossenen Gehäuse charakterisiert werden. Genau wie beim Tieftöner soll erioert werden, welches Volumen in der Mitteltonerkammer eingesetzt werden muss. Die schlimmen Befürchtungen aus Abb.33 des Kap.3 bewahrheiten sich nicht ganz. In einem Quader-förmigen Volumen ohne Dämpfungsmaterial ändern sich die fs, wie in Abb.1 dargestellt, nicht mehr so stark, und vor allem scheint die eingeschlossene Luftfeder die höhere Leistung zu stabilisieren. Der Grund ist, dass der Hub im Gehäuse geringer ist. Eine Verbesserung der Belastbarkeit gibt es aber in einem kleineren Volumen nicht, wie Abb.2 ausweist. Eine Höherverlagerung der fs ist ungünstig, weil sie dann die Frequenzweichtrennung Tieftönertöner/Mitteltoner erschwert. Ansonsten ist die Lage fs uninteressant, da der Mitteltoner erst ab 200Hz richtig loslegen soll. Dort ist der Hub viel geringer.

Bei welchem Volumen wird nun die Bessel-Abstimmung mit Qtc 0,577 erreicht? In Abb.3 erkennt man, dass die Güte Qtc leider von der Klemmenspannung abhängt und man muss sich entscheiden, in welchen Spannungsbereich man vorwiegend hören will. Das Quadervolumen hat die Abmaße 1,77dm Breite und 2,77dm Höhe. Die Länge ist in der Grafiklegende enthalten: 39cm-0cm, -5cm, In Tab.1 sind Volumina zugeordnet. Das geschieht dadurch, dass beim Tieftmitteltönergehäuse eine Rückplatte in das Gehäuse stufenweise eingeschoben wird, so wie es beim Tieftöner vorhin ausgewiesen worden war.

Tab1: Volumeneinstellung

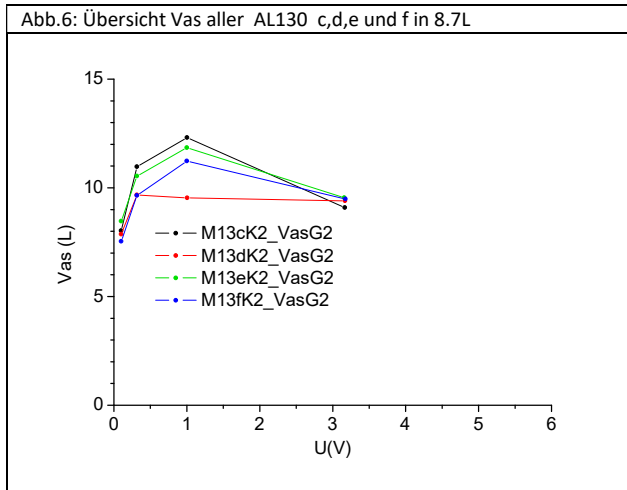
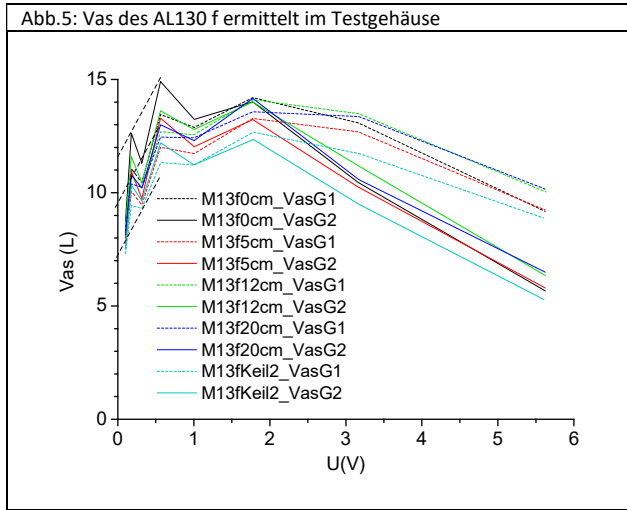
Längenkürzung	Volumen
0cm	18,8L
5cm	16,1L
12cm	13,2L
20cm	8,7L



Das gewünschte Gehäusevolumen Vb für den Mitteltoner als Tieftöner mit Besselabstimmung ergibt sich nach Abb.4 zu 15,5L.

Mittels Gleichung (1,4 - Kap. 3) lassen sich die Vas in Abhängigkeit der Betriebsspannung und des Gehäusevolumens ermitteln. In Abb.5 wird diese Abhängigkeit dargestellt, dabei ist die Funktionsbezeichnung _VasG1 die Messung für die Gleichung (1) und _VasG2 für die Gleichung (4). Das schnellere Absinken der Funktionen nach Gleichung (4) ist durch die Erhöhung der elektrischen Einbaugüte Qec begründet, da diese bei hohen Strömen sehr schnell ansteigt. Gemäß den Wünschen von Thiele und Small mit möglichst kleinen Signalpegeln wurden <10L unabhängig vom Gehäusevolumen berechnet, damit ist es deutlich kleiner als alle Angaben in der recherchierten Literatur. In Abb.6 wurden die Vas aller 4 AL130 im 8.7L Testgehäuse zusammengestellt. Die Vas-Angebe des Herstellers wird nur bei 1V Klemmenspannung erreicht.

Seas Excel und Visaton sind bereits 2 Hersteller, die bei 1V messen und nicht wie die Theorie vorgibt bei möglichst geringer Signalspannung. 1V_{eff} sind auch nicht die 2.83V, die sonst als Standard gelten.



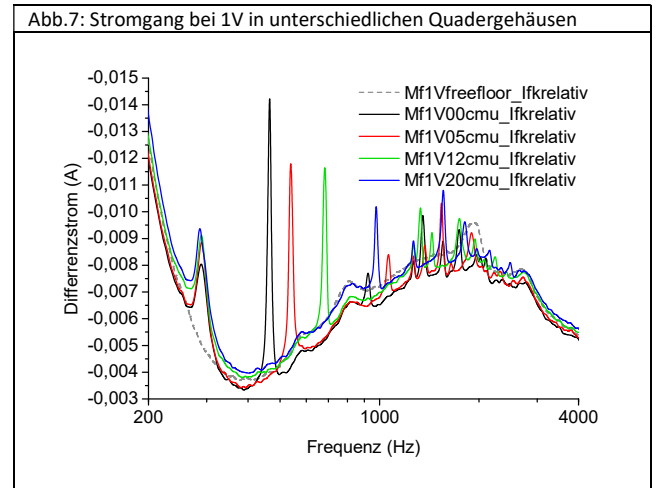
14.4.1.2. Impedanzgangsaussagen nach Strommessungen in den Mitten Allgemein zeigen Impedanzspitzen in den elektrischen Chassismessungen Resonanzen an, wobei ihre lokale Überhöhung ihre Intensität anzeigt. Resonanzen sind Frequenzbereiche, die fast immer eine Erhöhung der Verzerrungen in eben diesen Bereichen bewirken. Diese Verzerrungen können sowohl Klirrerhöhungen wie auch Ausschwingverzögerungen sein. Die Fortsetzung der Strommessungen aus dem Tieftonenbereich bis in den Hochtonbereich sollte solche Stellen sichtbar machen.

Normale Impedanzmessungen zeigen eine geringe Auflösung, wo hörtechnisch gut wahrnehmbare Störungen nur durch verhältnismäßig kleine Peaks dargestellt werden. Deshalb wurde der Impedanzanstieg mit einer Gerade subtrahiert, um nur die Änderung erkennbar machen zu können. Da bei konstanter Klemmspannung gemessen wurde, genügt die Strommesskurve als Aussage für den Impedanzgang.

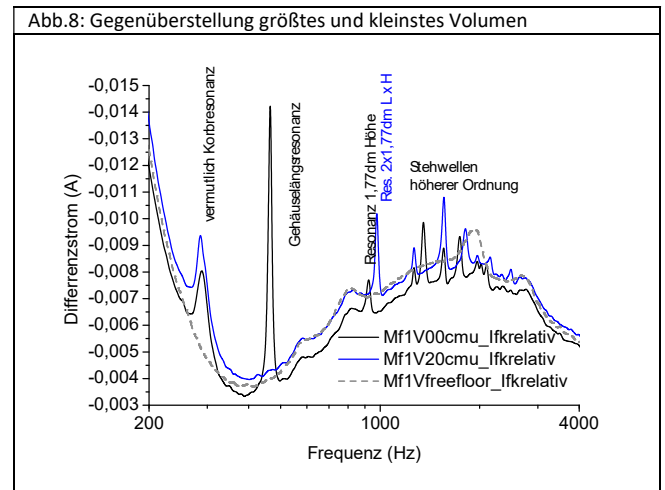
Tab.2: Zuordnung der Impedanzspitzen zur halben Wellenlänge bei den entsprechenden Gehäuseinnemaßen

Volumen	Länge	Weite	Höhe	f1	Wellenlänge
L	dm	dm	dm	Hz	$\lambda/2$
18,79	3,77	2,77	1,77	464	3,7
16,08	3,27	2,77	1,77	538	3,2
13,23	2,57	2,77	1,77	676	2,5
8,7	1,77	2,77	1,77	971	1,8

In Abb.7 werden die Strommessungen in den unterschiedlich langen Quadergehäusen dargestellt, dabei wurde die Ordinate invertiert, um die Analogie zur Impedanz herzustellen.. Die Verkürzung der Gehäusetiefe in Längsrichtung kann genutzt werden, um die Reflektionen den Richtungen zuordnen zu können. Die größte Längsausdehnung verursacht die größte neu hinzugekommene Impedanzspitze gegenüber der Freifeldimpedanz, eine sehr große Resonanz.



Die größten Störimpedanzspitzen werden durch die Wandreflektion der längsten Gehäuseausdehnung verursacht. Eine Veranschaulichung wird in Abb.8 aufgezeigt. Unabhängig von der Quaderausdehnung erschien im Vergleich zur Freiluftmessung ohne Gehäuse eine feste Störspitze um 300Hz. Die Wellenlänge von 300Hz beträgt 11,5dm=1,15m. Bereits bei der alten BR25 gab es eine intensive, hörbare Korbesoanz des Tiefmitteltöners im Grundtonbeich zwischen 250 und 350Hz. Vermutlich handelt es sich hier um eine ähnliche Erscheinung. Die große Ansammlung von kleineren Störspitzen oberhalb 1000Hz lassen sich durch Reflektionen und Stehwellen höherer Ordnung erklären.



14.4.1.3. Das geschlossene Keilgehäuse

Nun ist das gewünschte Volumen für das geschlossene Mitteltongehäuse bekannt. Das optimale Mitteltongehäuse hinsichtlich minimaler Stehwellen ist innen entweder eine Kugelform oder noch besser eine Tropfenform, wo das Chassis am dicken Ende angebracht wird, so wie es bei B&W in der Nautilus realisiert wurde. Beide Gehäuse sind sehr aufwändig bzw. passen aus den weiter unten genannten Gründen schlecht in die einfache Gehäuseform übersichtlicher Wohnstuben. Eine

Vereinfachung der Tropfenform wäre eine Pyramide, eine noch weitere Vereinfachung wäre die Keilform.

In [1-6] konnte man eine gewisse Evolution solcher Mitteltönergehäuse verfolgen. Als erstes wurde aus theoretischen Gründen ein Keil mit einem Öffnungswinkel von 26° konstruiert und das Gehäuse mit Schafwolle bedämpt. Einige Jahre später wurde ein asymmetrischer Keil angewendet, wo das Keildreieck einen rechten Winkel hatte und die Auskleidung mit Damping10 und Polyesterwatte (Dämpfungswatte) erfolgte. Der Öffnungswinkel betrug 31°. Im folgendem wurde wieder ein gleichschenkliges Dreieck aber mit 40° Öffnungswinkel angewendet. Die Dämpfung wurde diesmal zuerst mit Bondum800 ausgekleidet und mit Polyesterwatte überdeckt. In den darauffolgenden Versuchen wurde das Prinzip des gleichschenkligen Dreiecks mit symmetrischen Einbau des Mitteltöners zu dem Schenkeln weiter fortgesetzt, in Tab.3 gibt es eine Übersicht.

Tab.3: Gestaltung MT-Gehäuse in zeitlicher Reihenfolge

Keil	Öffnungswinkel	Bedämpfung	MT	Quelle
symmetr.	26°	Schafwolle	AL130M	[1]
asymmetr.	31°	Damping10 / Polyesterwatte	ScanSpeak 15M4531k	[2]
symmetr.	40°	Bondum800 / Polyesterwatte	Eton4202 C825Hex	[3]
symmetr.	30°	Bondum800 / Polyesterwatte	SeasMCA 12RC	[4]
symmetr.	40°	Schafwolle	Ti100	[5]
symmetr.	34°	Bondum800	Ti100	[6]

Es kann folgende Interpretation getroffen werden. Der ideale Aufbau mit dreieckigem Querschnitt schien am Anfang nicht die erhoffte Klangpräzision zu haben: „nur Musik“. Viele Jahre wurden von dem Autor nur quaderförmige MT-Gehäuse gebaut. Dann wurde ein neuer Versuch mit dem asymmetrischen Querschnitt und einen etwas größeren Öffnungswinkel unternommen. Er schien jedoch nur einen teilweisen Fortschritt mit der 2-stufigen Bedämpfung (dichteres Material an der Wand) gebracht zu haben, denn danach wurde wieder das symmetrische Konzept eingeführt, aber die 2-Stufen Dämmung wurde beibehalten, wenn auch ein moderneres Equivalent zum Damping10 eingeführt wurde. Der Öffnungswinkel wurde noch weiter erhöht. Das war aber wahrscheinlich „zuviel des Guten“. Der alte Öffnungswinkel von 30° wurde wieder eingesetzt, aber die 2-Stufen Dämmung blieb die gleiche. Für den erneuten Einsatz einer Metallmembran wurde nochmal der Öffnungswinkel wieder auf 40° erhöht und die Bedämpfung nur mit Schafwolle vorgenommen, die fast den gesamten Innenraum einnahm. In der Weiterentwicklung wurde der Öffnungswinkel vermutlich auf die „goldene Mitte“ zurückgenommen und die Innenwände nur mit dem dichteren Bondum800 ausgekleidet, anstelle der lockeren Schafwolle. Ab [15] wurden Querstege als Stabilisatoren auf den schrägen Seitenwände geklebt, damit diese relativ großen Flächen nicht zum Schwingen kommen.

Bei einem vorgegebenen Tiefen- und Breitenmaß, die Box sollte nicht so ausladende Maße haben, halbiert sich das Volumen, wenn die Seitenflächen des Quadergehäuses hinten zusammengeklappt werden, so dass ein keilförmiges Prisma entsteht. Das Quadergehäusevolumen berechnet sich aus der rechteckigen Grundfläche A_R mal der Höhe h , die Grundfläche aus Breite b mal Länge l .

$$V_{Qu} = A_R \cdot h = b \cdot l \cdot h$$

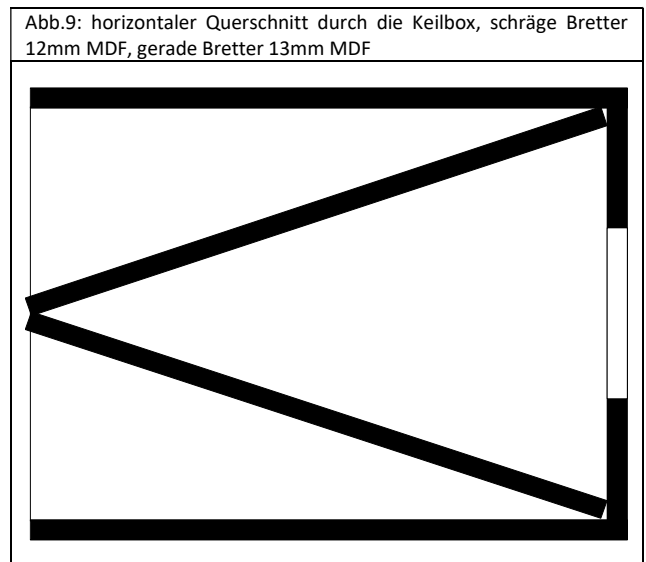
Die Grundfläche des Keilgehäuses ist ein gleichschenkliges Dreieck und seine Fläche entspricht der Breite b mal der halben Länge. Zur Erhaltung des Volumens muss die Höhe verdoppelt werden. Dies kann schwierig werden, wenn der Mitteltöner wegen symmetrischen Anordnung zur Mitteltonkammer und zum Hochtöner eingebaut werden muss.

$$V_K = A_D \cdot h = b \cdot \frac{l}{2} \cdot h$$

Bei der aufwändigeren Pyramide, wo die anderen beiden Seitenflächen auch noch zusammengeklappt sind, zu einer Spitze, ist das Volumen V_P nur noch ein Drittel. Die Basisfläche der Pyramide muss nochmal um 50% vergrößert werden. Der Winkel wird größer, wenn die Pyramide in der Länge fixiert ist.

$$V_P = b \cdot \frac{l}{3} \cdot h$$

Bei den vorgegebenen maximalen Außenmaßen der gesuchten Box soll die Tiefe ohne Frequenzweichenkammer 40cm nicht überschreiten. Zum Test der Wirkung des Keilgehäuses wurden entsprechend 2 Innenwände 12mm MDF eingeklebt. In der Berührungskante wurde mit Schleifpapier die Innenkante abgeschliffen, so dass eine flächige Überdeckung entstand.



Tab.4: Abmaße innen des Keilgehäuses

Volumen	Länge	max. Weite	Höhe	Winkel
dm³	dm	dm	dm	°
8,7	3,87	2,53	1,77	36,4

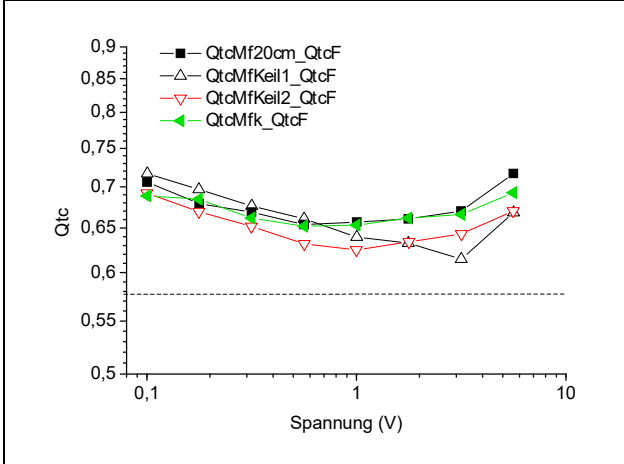
Das Volumen des Keilgehäuses ist numerisch gleich dem Quadergehäuse mit 8,7L, wo die Rückwand 20cm in das Gehäuse hineingeschoben worden, fixiert und abgedichtet worden ist. Die Theorie zur Qtc Bildung macht in der Gehäuseform keinen Unterschied. Historisch sind in der Literatur keine Bemerkungen gefunden worden. In den [1-6] sind ebenfalls keine speziellen Andeutungen gemacht worden. Nun musste es überprüft werden.

Die erste Kurve im Keilgehäuse ~Keil1_QtcF zeigte im Niedrigleistungsbereich höhere Güten, im hohen Leistungsbereich deutlich kleinere, außer unter der höchsten Spannung 5,623V_{eff}. Es wurden bei höheren Spannungen zeitgleich Luftströmungen hinten um den Keil bemerkt. Offenbar war die Verklebung ober- und unterhalb der Seitenbretter sowie vorn in Nähe der Chassis nicht hundertprozentig gelungen. Daraufhin wurden die Stellen mit dauerplastischer Abdichtmasse abgekittet.

Die Messung wurde wiederholt und es entstand ~Keil2_QtcF. Dann wurde bemerkt, dass durch die enormen mechanischen Schwingungskräfte, vor allem durch 5,6V, die Keilverklebung undicht geworden ist. Nun wurden auf jeder Seite 3 Edelstahlschrauben eingedreht und paarweise mit einem einem Cu-Lackdraht 1mm

zusammengezurr. Durch Verdrillung wurde Dichtung perfektioniert, zusätzlich wurde die Abdichtmasse aufgeknetet. Dazu mussten die Finger angefeuchtet werden, da die Klebkraft so groß war, dass bei der Entfernung der Finger von der Masse die Masse teilweise wieder vom Gehäuse gelockert wurde. Die erneute Messwiederholung erbrachte Messkurve ~k_QtcF. Sie ist quasi deckungsgleich mit der Messkurve im volumengleichen Quadergehäuse. **Damit wurde bestätigt, dass Qtc unabhängig von der Volumenform ist.**

Abb.10: Vergleich der Leistungsabhängigkeit des Qtc von der Gehäuseform und Dichtigkeit des Keilgehäuses

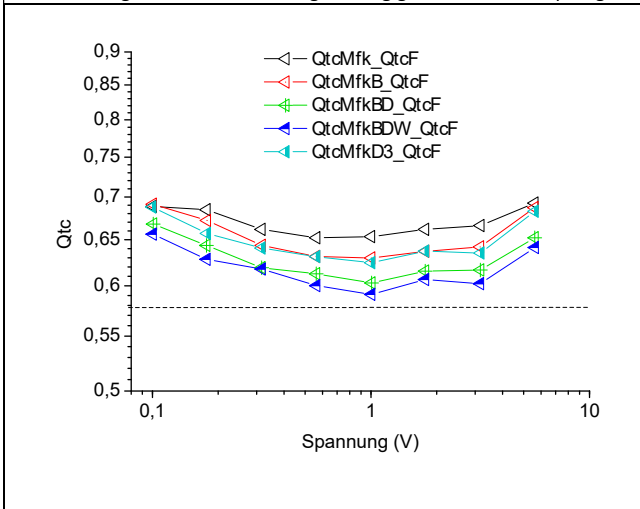


Nun konnten die Auswirkungen der Dämpfungsmaterialien getestet werden. In Tab.5 sind die Bezeichnungen aufgeschlüsselt. Es wurden nur die Seitenwände bedeckt, da die Höhe des Gehäuses keine größeren Aufbauten auf dem Boden und unter der Gehäusedecke zuließen. Außerdem war das reversible Anbringen der Dämpfung unter der Decke schwierig. Als Dämmwatte wurde MDM-2 von Monacor eingesetzt.

Tab.5: Bezeichnungen der Dämpfungsmaterialien

D	QtcMfk_QtcF	Phasenübergänge
0	QtcMfk_QtcF	MDF/
1	QtcMfkB_QtcF	MDF/Bondum800/
2	QtcMfkBD_QtcF	MDF/Bondum800/Dämpfungswatte/
3	QtcMfkBDW_QtcF	MDF/Bondum800/Dämpfungswatte/Schafwolle
4	QtcMfkD3_QtcF	MDF/Damping30

Abb.11: Vergleich der Qtc-Leistungsabhängigkeit von der Dämpfung



Beim Aufbau der Dämpfung B bis BDW wurde vom Prinzip ausgegangen, dass das Material zur Wand hin immer dichter bzw. unnachgiebiger

wird, modellmäßig genau so wie die Keilkörper an den Wänden von schalltoten Räumen. In [5] wird das Prinzip progressive Dämpfung genannt. Erstaunlich war, dass Damping30 mit seiner Schichtstärke von 26...30mm von der Tieftondämpfung her genau so effektiv wie Bondum800 mit 20mm Dicke ist.

Als erste Näherung könnte auch Bawotumex genommen werden, die erfahrungsgemäß schon ganz gut als Dämmung wirkt. Bawotumex besteht aus 4mm Bitumenschwerfolie, auf die ein 1cm dicker filziger Belag aufgeklebt wurde. Bawotumex selbst kann wegen seiner mit Klebstoff beschichteten Rückseite direkt auf die Wände gebracht werden. Das Keilgehäuse wurde neu aufgebaut und die schrägen Bretter mit Bawotumex unter Last über Nacht fixiert. Wie jedoch Abb.12 zeigt, dämpft der Filz auf dem Bitumen kaum, das Bitumen selbst zieht jedoch dem Volumen Raum ab, was Qtc ärgerlicherweise deutlich erhöht. Hätten die Wände mitgeschwungen, wäre Qtc kleiner geworden. Neben dem Bondum fand sich noch eine Lücke für je 1 Streifen Schafwolle. Auf das Bondum passte jedoch keine Dämpfungswatte mehr, nur noch eine Lage Schafwolle, dann war das Gehäuse schon voll. Bawotumex stellt also keine Alternative dar, wenn man Qtc senken will.

Tab.19: Bezeichnungen der Dämpfungsmaterialien für Abb.12

D	QtcMfk_QtcF	Phasenübergänge
1	QtcMfkBT_QtcF	MDF/Bawotumex
2	QtcMfkBTBW_QtcF	MDF/Bawotumex/Bondum800 +2x7cm breite Streifen Schafwolle
3	QtcMfkBTBWW_QtcF	MDF/Bawotumex/Bondum800 +2x7cm breite Streifen Schafwolle/Schafwolle

Abb.12: Vergleich der Qtc-Leistungsabhängigkeit von der Dämpfung mit Bawotumex-Unterlage

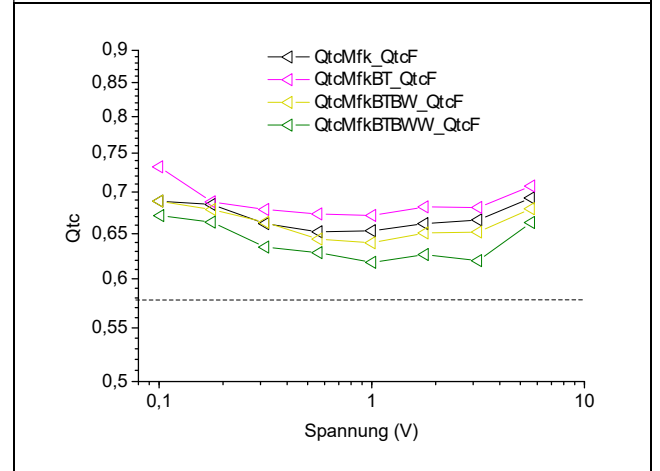
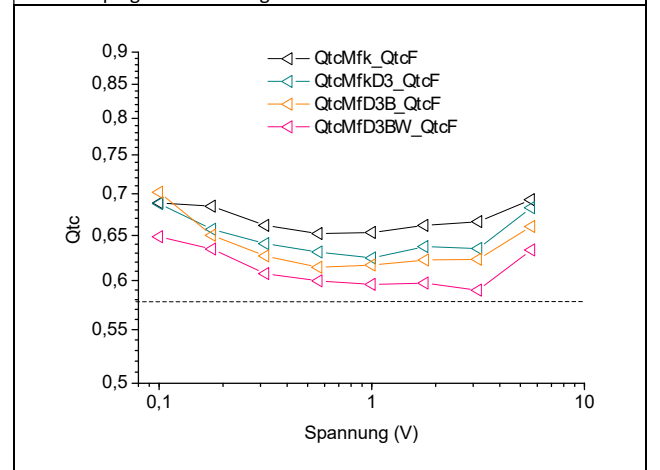
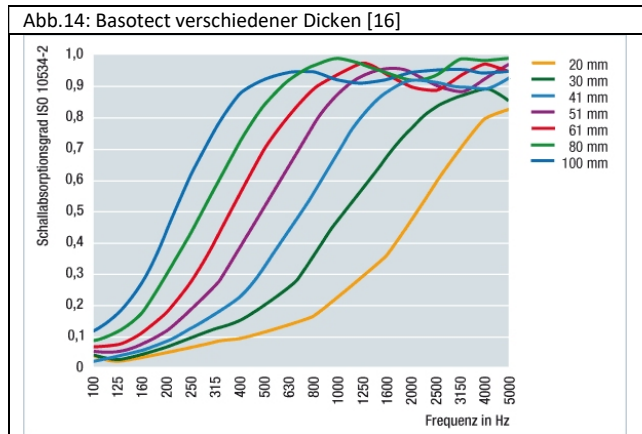


Abb.13: Vergleich der Qtc-Leistungsabhängigkeit von der Dämpfung mit Damping30 als Unterlage



Das Gehäuse kann auch ausgehend vom **Damping30 „progressiv“** gefüllt werden. Das Ergebnis in der 3.Ausbaustufe ist sogar leicht besser als in Abb.11, weil breitbandiger wirkend.

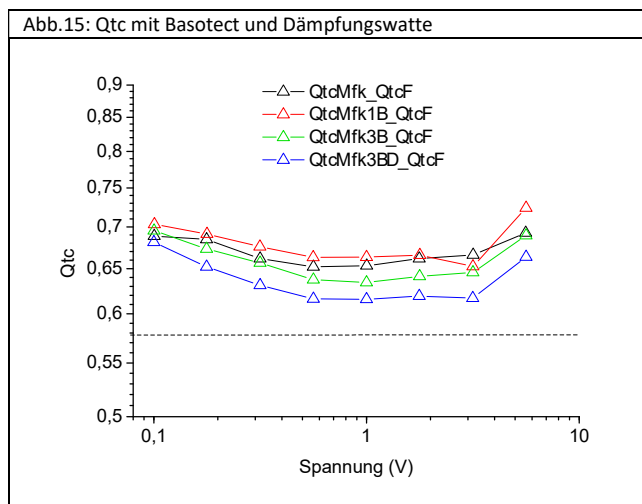
Abgesehen von den konventionellen Dämpfungsmaterialien gibt es auch modernere Schallabsorptionsmaterialien, wie z.B. Basotect. Basotect wird in 50cm x 100cm großen Platten mit verschiedener Stärke, 1cm, 3cm, 5cm und 10cm geliefert [17]. Die Platten können mit einseitiger Klebeschicht bestellt werden. Basotect ist ein offenzelliger Schaumstoff aus Melaminharz [16], der sich bequem mit dem Teppichmesser schneiden lässt, sogar schräg, d.h in Winkeln. Letzteres ist für das Gehäuse mit dem 3-eckigen Querschnitt außerordentlich hilfreich. In Abb.14 ist die Absorption in Abhängigkeit von der Plattendicke dokumentiert. Die Schallabsorption unter 100Hz sollte für 1cm 0,01 und für 3cm 0,03 unterschreiten.



Doch welchen Zusammenhang gibt es zwischen dem Schallabsorptionsgrad und der Tieftondämpfung? Nach der Grafik Abb.14 wäre zu erwarten, dass keine Tieftondämpfung erfolgt aber eine Mitteltondämpfung. Polyesterwatte hat ähnliche Kurven, wie bereits in [18] dargestellt wurde. Die Messung in [19] hat ergeben, dass die Durchgangsdämmung vernachlässigbar, die Mittenbedämpfung aber ausreichend. Oben hatte sich aber gezeigt, dass eine Gehäusebedämpfung im Tieftonbereich mit der gleichen Polyesterwatte aber sehr gut nachweisbar ist. Das war der Ausgangspunkt dieses weiteren Tests mit Basotect.

Tab.20: Bezeichnungen der Dämpfungsmaterialien für Abb.15

D		Phasenübergänge
2	Qtcmfk1B_QtcF	MDF/Basotect 1cm
3	Qtcmfk3B_QtcF	MDF/Basotect 3cm
4	Qtcmfk3BD_QtcF	MDF/Basotect 3cm /Dämpfungswatte



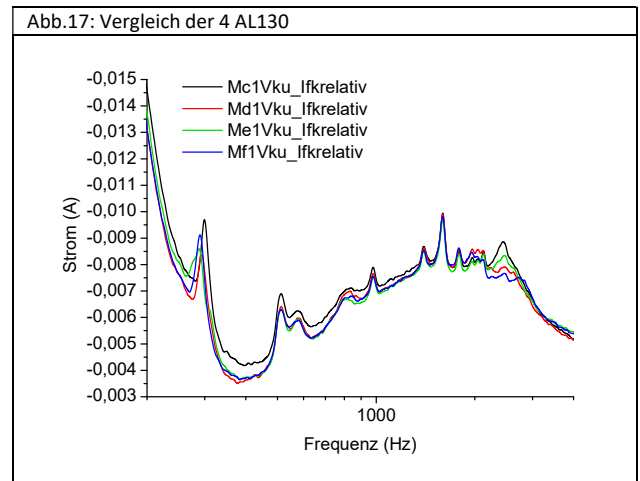
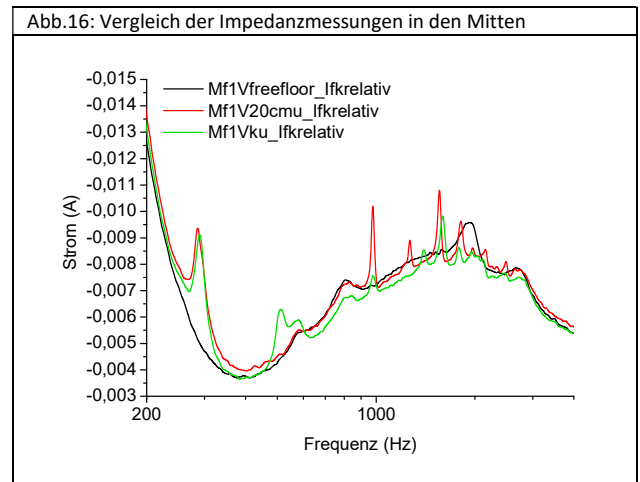
Ähnlich wie beim Bawotumex führt die 1cm Basotectplatte zu einer scheinbaren Raumminderung. Der Kleber ist auch ganz anders als bei der 3cm und 5cm Platte. Offensichtlich beeinflusst der Kleber das Schallabsorptionsverhalten. Vielleicht ein Grund, warum der Hersteller in seiner Grafik (Abb.14) die Messkurve für 10mm nicht offenlegt. Für die dickere 3cm Platte ist eine ähnliche Wirkung wie für Polyesterwatte (Dämpfungswatte) nachweisbar. Die 5cm Platte war i) nicht einbringbar und ii) war nicht genügend Platz zwischen dem Chassis und der Seitenwand.

14.4.1.4. Strommessungen im Mittenbereich Keilgehäuse

Die Hoffnung auf eine nahezu störfreie Impedanzkennlinie im Keilgehäuse bei den Mitten wurde nicht erfüllt. Die Impedanzspitzen in Abb.16 sind zwar gegenüber dem Quadergehäuse deutlich geschwächt, aber dafür tauchen im Grundtonbereich 2 neue Peaks auf. Berechnet man die halben Wellenlängen (Tab.6) für die Reflektionen aus, sind die Wellenlängen kleiner als die längsten Abmaße, mit einer Ausnahme für die einzig verbliebene Parallelwandausführung mit 1,77dm Höhe. Die Schrägen verschieben die Reflektionsresonanzen in höherfrequente Bereiche. Ein Hinweis für den Wirkungsbereich der Wellenwechselwirkung.

Tab.6: Zuordnung der Impedanzspitzen zur halben Wellenlänge bei den entsprechenden Gehäuseinnemaßen

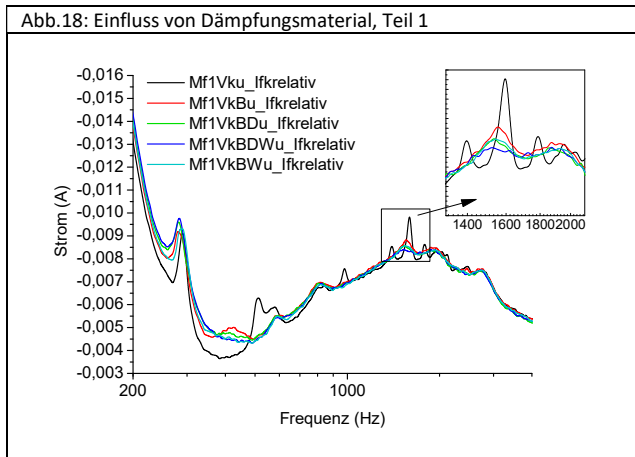
Volumen	Länge	Weite	Höhe	f1	Wellenlänge
L	dm	dm	dm	Hz	$\lambda/2$
8,7 □	1,77	2,77	1,77	971	1,8
8,7 Keil				511	3,37
				580	2,97
				974	1,77
				1593	1,08



In der Abb.17 wird ein Stromgangvergleich der vier AL130 vorgenommen. Es sind einige systematische Detailunterschiede erkennbar und zwar im Bereich 1,9 bis 2,5kHz. Gerade die Impedanzspitze bei 2.4kHz korreliert mit einer k_2 -Spitze in [7], die stark mit der Lautstärke anwächst. In [8] gibt es diese nicht. Nun wird dieser Effekt verstanden. Es sind einfach unliebsame Serienstreuungen.

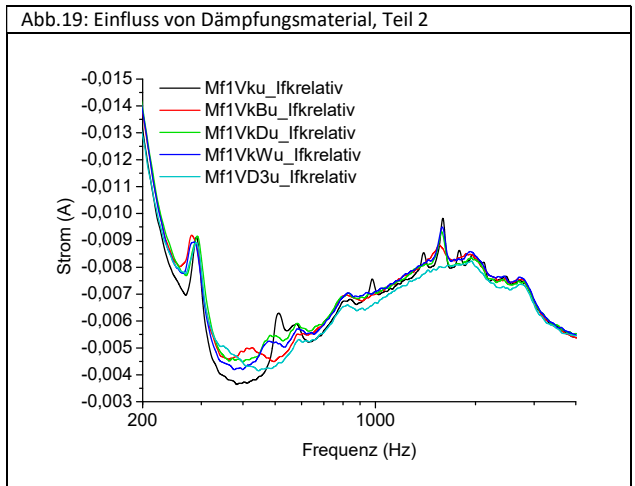
Wie wirkt eine „progressive“ Dämpfung im Mitteltonbereich? Abb.18 gibt Antwort. Bereits das Bondum an den Seitenwänden reicht, um die wichtigsten Resonanzen aus Tab.6 ausreichend zu bedämpfen, nur die Resonanz bei 1600Hz wird erst durch den weiteren Aufbau der Dämpfung beseitigt. Resonanzen schwingen länger aus. Ein längeres Ausschwingen wirkt als Betonung, hier wäre eine formantartige Betonung mit Näselerkennung als Resultat zu hören. Es ist also wichtig, die Dämpfung wirklich bis zum Ende auszuführen. Isophon plädiert für ein stark bedämpftes Gehäuse für Mitteltöner [9]. Der Nachteil dieser starken Dämpfung ist seine gleichzeitige Wirkung als Wärmedämmung, was die Erhitzung der Schwingspule verstärkt und Qtc anhebt. Da ist die Metallmembran wieder von Vorteil. Keramik leitet die Wärme schon um die Hälfte schlechter ab, Diamant wäre am besten. Besser wäre eine höhere Wärmeableitung als Kapton im Schwingspulenträger wie Metall mit hohem Widerstand und hoher Wärmeableitung.

Abb.18: Einfluss von Dämpfungsmaterial, Teil 1



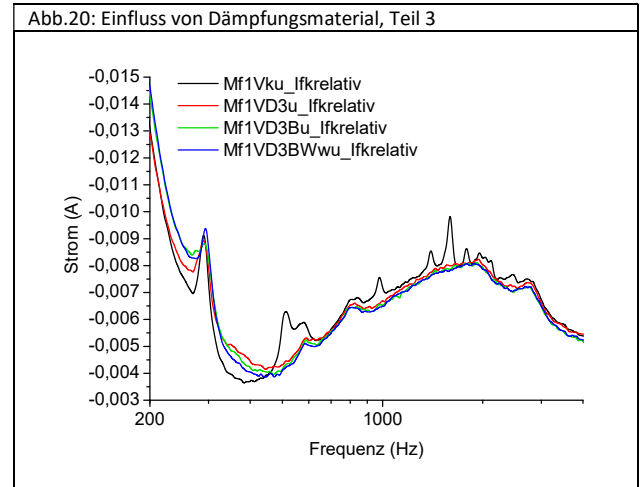
In Abb.19 werden die Dämpfungsmaterialien einzeln gegenübergestellt. Hier wird plötzlich klar, dass das hochdichte Bondum 800 selbst im Grundtonbereich eine Reflektion verursacht, absorbiert aber die Längsresonanz. Dämpfungswatte und Schafwolle tun das nur zum Teil. Nur Damping30 ist in der Lage alles gleichmäßig abzdämpfen, jedoch wird der Bereich um 350Hz etwas unterstützt, was wahrscheinlich durch die doch relativ dichte Oberfläche des Damping bewirkt werden könnte.

Abb.19: Einfluss von Dämpfungsmaterial, Teil 2



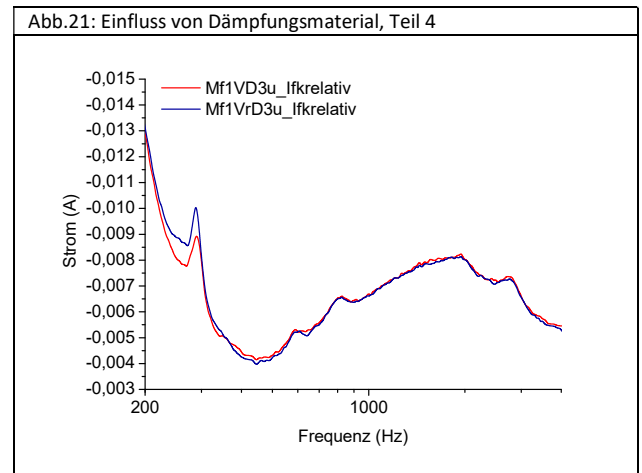
Letzte Hypothese wird durch den Dämpfungsaufbau auf Damping 30 in Abb.20 bestätigt. Das Aufsetzen von immer lockeren Material senkt die Anhebung wieder.

Abb.20: Einfluss von Dämpfungsmaterial, Teil 3



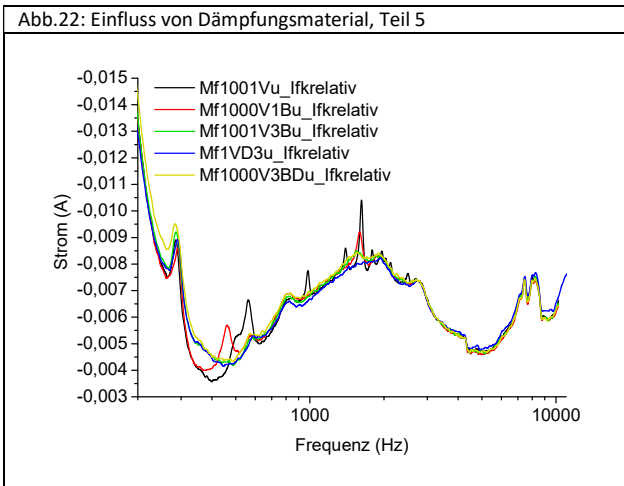
Nun kann erklärt werden, dass die Benutzung verschiedener Dämpfungsmaterialien allein durch ihre unterschiedlich dichten Oberflächen sinnvoll ist. Bisher konnte die Mitteltonkammer nicht überdämpft werden, weder im Bass noch in den Mitten. Natürlich stellt sich endlich die Frage wie sich denn die Impedanzkurve ändert, wenn denn nun Boden und Decke auch noch mit Damping 30 ausgestattet wird. Das wird in Abb.21 gezeigt. Überraschenderweise ändert sich die Kurve nicht. Die Seitendämpfung reicht soweit, dass sich keine vertikale Stehwelle ausbildet.

Abb.21: Einfluss von Dämpfungsmaterial, Teil 4



In Abb.22 wurde endlich Basotect im Mitteltondämpfungsverhalten untersucht. Die 3cm Platte ist dem 2cm Bondum800 in etwa gleich, die 1cm ähnelt eher der 2cm Schafwolllage.

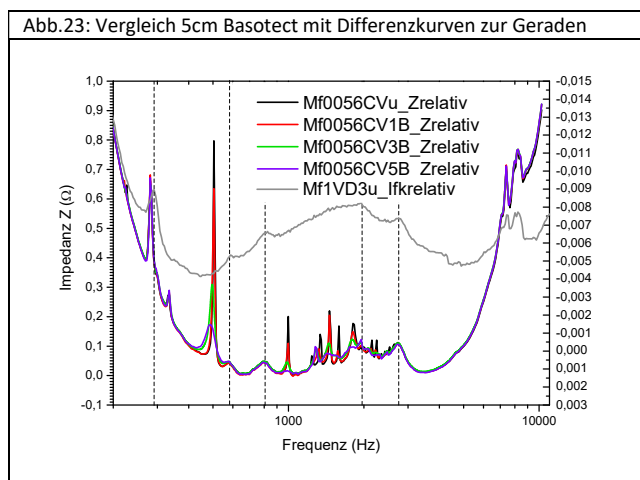
Ein progressiver Dämpfungsaufbau auf nach hinten spitz zulaufenden Seitenwänden mit Damping30 dämpft Raumresonanzen soweit, dass keine vertikalen Stehwellenentstehen.



In Abb.22 wurde endlich Basotect im Mitteltondämpfungsverhalten untersucht. Die 3cm Platte ist dem 2cm Bondum800 in etwa gleich, die 1cm ähnelt eher der 2cm Schafwolllage.

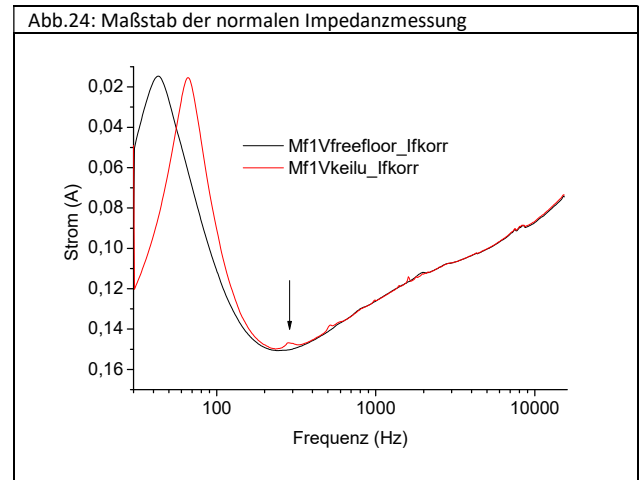
Ein progressiver Dämpfungsaufbau auf nach hinten spitz zulaufenden Seitenwänden mit Damping30 unter Bondum800 dämpft Raumresonanzen mit Mitteltonergehäuse soweit, dass überhaupt keine Stehwellen entstehen. Decken- und Bodenplatte könnten mit gut Wärmeleitenden Material ausgestattet werden.

Bei der Nutzung der einfacheren Quadervolumen im Gehäuse ist es möglich auch dickere Basotect Matten einzubauen, wie z.B. auch 5cm [20]. Kann dickeres Basotect auf der Rückplatte [20] die restlichen Störspitzen beseitigen? Dazu wurde wieder das Quadergehäuse aufgebaut und die Rückplatte auf -38mm in den Quader hineingeschoben (Besselabstimmung Q_{tc} 0,577). Ab 1000Hz sollte Basotect 5cm einen Absorptionskoeffizienten von ca. 1 haben. In Abb.23 wurde der Aufbau von 0 bis 5cm Basotect im Quadergehäuse (gemessen mit Hioki bei 56mV CV-Mode) mit dem Damping30 im Keilgehäuse (gemessen mit PM80 mit 1V Konstanzspannung, Fluke189 Strombereich 10A) verglichen. Das Quadergehäuse mit 5cm Basotect (violette Kurve) auf der Rückwand absorbiert zunehmend besser als die dünneren Platten, erreicht aber nicht die Qualität des Damping30 auf den Seitenwänden des Keilgehäuses. (Die Äquivalenz der beiden Messmethoden wird in 14.4.1.5.1. nachgewiesen.)



14.4.1.5. Das Problem Korbresonanz des befestigten Mitteltoners
Bei der Durchführung eines Frequenzsweeps von 100Hz bis 4000Hz, der beabsichtigten Übertragungsbandbreite des Tiefmitteltoners erscheint ein zusätzlich verzerrtes Signal zum Sinuston im Bereich um 300Hz. Alle typischen Konustöner zeigen beim Einbau einen solchen Effekt, der zur Verfärbung der Klangwiedergabe führt. Diese Verfärbung ist deutlich hörbar und sehr störend. In der Musikwiedergabe fällt dies nicht so sehr auf, aber verfälscht den Klang am stärksten bei klassischer Musik. Fehlt

die Korbresonanz, wird die Wiedergabe deutlich klarer. In Abb.24 ist die Kurve einer normalen Impedanzmessung als Stromwert dargestellt. Der kleine Buckel, der mit einem Pfeil gekennzeichnet wurde, ist diese Korbresonanz. Die meisten Herstellerangaben, manche Testzeitschriften und Internetabbildungen zeigen viel schlechtere Auflösungen.



Trotz seines doch recht bedeutenden Klangeinflusses wird er in der Literatur, bei den Herstellern oder im Internet kaum benannt, geschweige denn erörtert oder gar Vermeidungshilfen gegeben. Die noch umfassendste Behandlung wird in [10] dargestellt, aber die eigentlichen Ursachen und Funktionsprinzipien sind dort auch nicht beschrieben. Es wird auf ein einfaches Masse-Feder-Resonanzprinzip abstrahiert. Zumindest werden nachvollziehbare Hilfsmittel vorgestellt, die den Effekt vermeiden sollen. Der messtechnische Nachweis, um wieviel er denn bedämpft worden ist, wird leider nicht erbracht. Am allerhäufigsten wird der Effekt noch in den Diskussionsforen diskutiert. Bevor alle genannte Möglichkeiten diskutiert werden, sollen erstmal noch messtechnisch die Auswirkungen der eigenen Maßnahmen zur Verringerung der Korbresonanzen im Teil1 Kapitel 9 nachvollzogen werden. In Tab.7 sind die Funktionsbezeichnungen nach Maßnahme aufgeschlüsselt und dann in Abb.25 dargestellt.

Tab.7: Alte Maßnahmen gegen die Korbresonanz aufgeschlüsselt

Funktion	Maßnahme
Mf1V0cm~	
~offenu	Quadergehäuse hinten geöffnet
~ofomu	Abdichtmasse vom Korb auf der Front entfernt
~ofknu	Einbringung von Knetmasse an die Hohlräume hinter der Korbfront
~ofkBu	Aufschrauben des Korbes auf einen 2mm Ring aus Bitumenschwerfolie
~ofkbf	der Magnet wurde mit der Hand festgehalten
~ofkBB	4mm Bitumenschwerfolie von hinten an die Schallfront angeklebt.

Zuerst ist das Entfernen der Dichtmasse außen am Korbrand und von den Schrauböffnungen messtechnisch nachweisbar, der Gang ist sogar sinnvoll. Eine leichte Erhöhung der Resonanzspitze war erwartet worden. Zu sehen ist auch, dass bei der Verringerung der Resonanzspitze sich der Vorast senkt. Das Einbringen der Knetmasse hatte zur Dämpfung beigetragen. Der Bitumenring verbreiterte die scharfe Resonanz und senkt die Frequenz. Sonst ist sein Einfluss marginal.

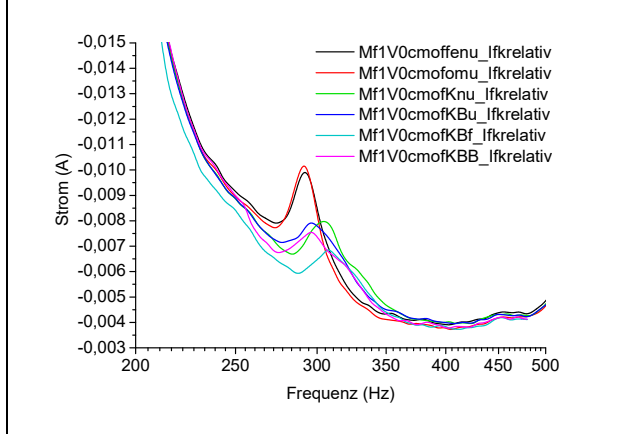
Folgende Möglichkeiten zur Vermeidung der Korbresonanz wurden im Internet erörtert, -eigene Überlegungen werden mit ergänzt:

1. Die Befestigung des Magneten im Gehäuse und die elastische Auflage des Korbrandes auf der Schallwand [10,11].

i) Geschlossenes Gehäuse: Man soll im Gehäuse die Befestigungsvorrichtung installieren und von außen mit langen Schrauben das Chassis festklemmen und zwischen Schallwand und Korb eine Dichtung anbringen, die völlig elastisch ist. - Elastische Dichtungen

sind in der Funktion meist nicht langzeitstabil. Außerdem sind Dopplerverzerrungen durch die Reaktion auf den Impuls zu erwarten. Eine Abdichtung der Schraubenzugänge ist auch notwendig. Blicke noch die Verklebung, die aber ein Chassiswechsel erschwert, zumal elastische, haltbare Kleber schwer entfernbar und schwer neu wiederverklebbar sind, wie das bei Siliconen bekannt ist. Nicht zuletzt muss die störende Reflektion des Stützsystms berücksichtigt werden.

Abb.25: Impedanzauswirkungen nach verschiedenen Maßnahmen



ii) Offenes Gehäuse bis Schallwand: Erfahrungsgemäß erhöhen sich nicht nur die harmonischen Verzerrungen, auch die Ausschwingvorgänge verzögern sich. - Die Befestigungen am Magneten sind aber frei zugänglich und unproblematisch in der Größenauslegung.

iii) Abstützen des Magneten an einer inneren Verstreblplatte des Gehäuses - realisiert nur einen Teil der Bedämpfung.

2. Einspannen des Chassis in 2 Moosgummidichtungen, vorn und hinten, vorn Einspannen durch aufschraubbaren Metallring [14] - Je stärker festgespannt, desto stärker ist die Kopplung an das Gehäuse. Der Magnet müsste gestützt werden, da sonst die Anpressung unsymmetrisch ist.

2a. Versteifung des Systems Magnet/Korb:

i) Korbstege durch Metallstreben zusätzlich versteifen und die Streben bis an den Magneten führen und dort ankleben [11].

ii) Verspachteln (Aluspachtel) zwischen Magneten und Korb [12]

2b. Dämpfung des Systems Magnet/Korb

i) In den Spalt Magnet/Korb Garn einwickeln und verkleben [12]

ii) Knetmasse o.ä. außen um den Korb und um den Magneten [13]

iii) i) In den Spalt Mortite drücken [15]

iv) Teile mit Klebeband bedecken [16]

3. Erhöhung der Masse:

i) Anbringen eines zusätzlichen Magneten [11] - Dies verändert die Thiele-Small-Parameter.

ii) 500g Knetmasse außen um den Korb und um den Magneten [13]

4. Versteifung des Gehäuses

i) Keilförmige Verstreblungen zwischen der Frontplatte und den Seitenwänden jeweils an den Positionen der Schrauben

5. Optimierung Kopplung Lautsprecherchassis zum Gehäuse

i) Verstreblungsring am Schallloch

Aus den kleinen Experimenten oben ist erkennbar, dass es schwierig sein wird, diese Korbresonanz vollständig zu unterdrücken. Vielleicht gelingt es weitgehend, wenn alle beschriebenen Maßnahmen, zumindest teilweise umgesetzt werden. Denn es gibt durch das kleine Keilgehäuse mit dem kleinen Ausschnitt für den Mitteltöner konstruktive Hindernisse nach Fertigstellung des Gehäuses.

14.4.1.5.1. Nachweis der Äquivalenz der Strommessungen mit Fluke und der Impedanzmessungen mit Hioki

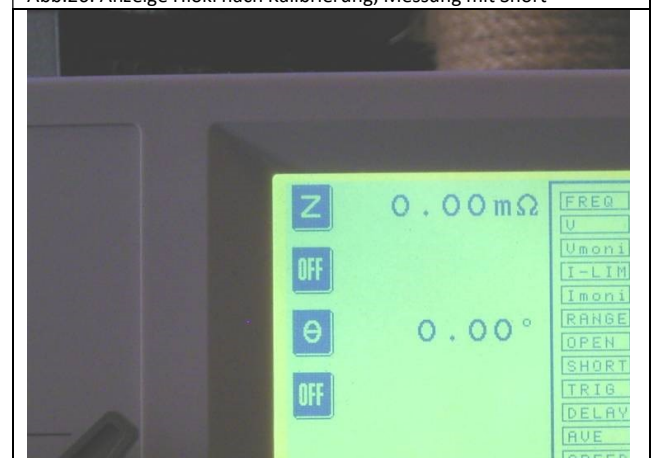
Es kann im Haus nicht immer mit hohem Pegel gemessen werden, da dies für alle Personen als unangenehm empfunden wird. Es stellt sich die Frage, kann die Optimierung auch bei niedrigerem Pegel fortgesetzt werden? Die Strommessung mit dem Fluke durch den sehr niedrigen Innenwiderstand von 40mΩ versagt in der Genauigkeit bei niedrigen

Pegeln. Hier kann die RCL-Messbrücke Hioki von Nutzen sein, da sie auf kleine Signale getrimmt wurde. Das Hioki lässt sich nach Reset und Messung mit Speed slow exakt kalibrieren, besser noch als die alte HP4284.

Deshalb sollen i) beide bei vergleichbaren Pegeln gleich vermessen werden und ii) geschaut werden, ob eine weitere Absenkung des Pegels die Impedanzhöhe der Korbresonanz erhalten bleiben.

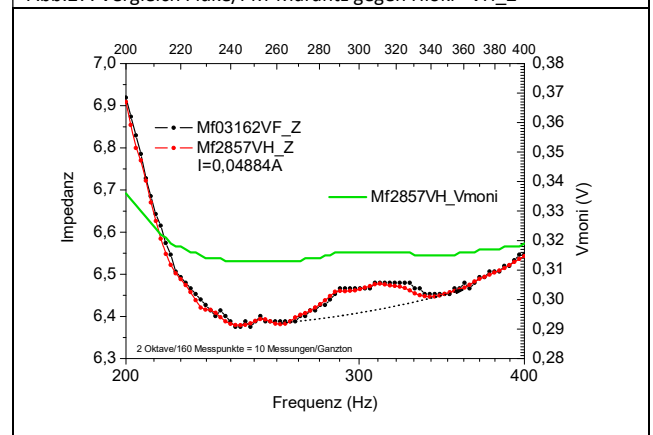
i) Es wurde das Messprogramm am Hioki so ergänzt, dass die Monitorstrommesswerte und die -spannungsmesswerte ausgelesen werden, die ohne weiteres bisher nicht zugänglich waren. An der HP4284 war das überhaupt nicht möglich gewesen. Im interessanten Frequenzbereich von 200 bis 400Hz bleibt die Monitorspannung nahezu konstant (~VH_Vmoni, Ab.27), deshalb konnte der Hioki im Normal-Messmode verwendet werden. Bei gleicher Klemmenspannung am Mf wird der 2.Impedanzpeak ein klein wenig zu höheren Frequenzen verschoben. Aber nur dieser. Warum? Die höchste Normalstellspannung des Hioki liegt bei 5V und die real anliegende an den 6,4Ω ist dann nur noch 0,525V. Der Messvergleich zeigt eine ausreichende Äquivalenz, um die Untersuchung zur Minimierung der Korbresonanz zu gestatten.

Abb.26: Anzeige Hioki nach Kalibrierung, Messung mit Short



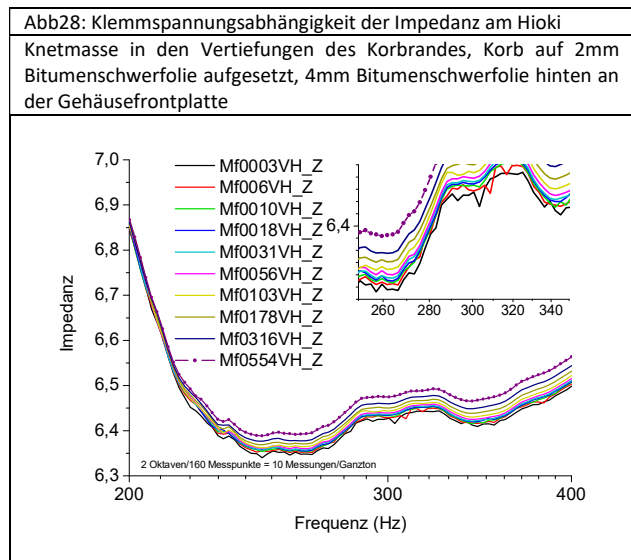
Ergänzend an der Stelle muss folgendes erwähnt werden: Schnippt man mit den Fingernägeln an den Al-Druckgusskorb, ist ein heller Ton zu hören. Ist dies ein Anzeichen von einer höherfrequenten Resonanz?

Abb.27: Vergleich Fluke/PM-Marantz gegen Hioki ~VH_Z

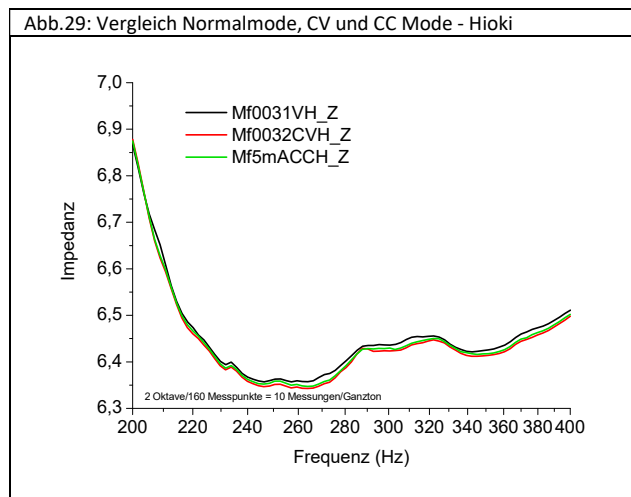


Es wird immer wieder beobachtet, dass nach dem Zurückgehen auf kleinere Spannungen das Z-Niveau ein anderes ist. Höchstwahrscheinlich ist dies die Wirkung der Schwingspulenaufheizung. Um das Gleichgewicht schneller zu erreichen, ist ein kleinerer Strom besser. Doch ab welcher Klemmenspannung ist die Messwertbildung ausreichend gering verrauscht und ab wann beginnt die Z-Kurve einen Offset zu zeigen? Dazu wurde die Klemmenspannungsabhängigkeit in Abb.28 aufgezeichnet. Die entsprechende Klemmenspannung wurde in

der Legende der Grafik mit ~ kodiert: Mf~VH_Z. Im Inset der Grafik ist zu erkennen, dass mit der Magenta-Kurve 0,056V die Impedanz sich erhöht hat. Der korrespondierende Strom bei 300Hz ist 8,7mA. Die Forderung von D'Appolito (s.Kapitel 3) wird jetzt verständlich. Was aber noch wichtig ist, dass ersichtlich wird, dass die Kurvenform nicht von der Klemmspannung bzw. Strom bis 85,5mA abhängt. Daher wird eine Analyse unter milden Bedingungen möglich sein.



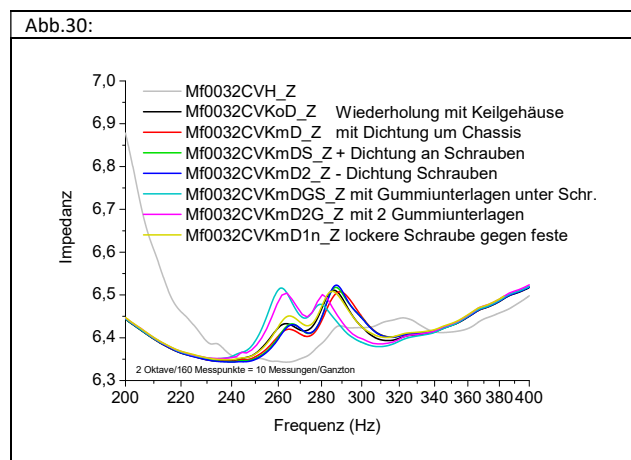
Nun soll geprüft werden, ob die Annahme, dass der Normalmessmode V auf Grund der nahezu konstanten Impedanz in Relation zur Konstanzspannungsmessung CV wirklich keine Rolle spielt. In Abb.29 wird gezeigt dass die unterschiedlichen Messmodi ähnliche Ergebnisse liefern (CC - Konstantstrommode).



14.4.1.5.2. Untersuchungen zu den detaillierten Einflüssen

Für die Untersuchungen wurde wieder das Keilgehäuse zusammengebaut. In Abb.30 wurde die CV-Mode Kurve aus dem offenen, liegenden Quadergehäuse grau hinterlegt. Auffällig ist, dass durch die Wegnahme der Knetmasse aus dem Korbrand, der Entfernung der Bitumenschwerfolien 2mm und 4mm die Korbresonanzen sich verlagerten und erwartungsgemäß wieder größer wurden. Es erschienen 2 definierte Peaks. Warum? Die dauerplastische Abdichtmasse als Dichtung um den Korb bringt eine leichte Verbesserung, die gleiche Dichtung an den Schrauben jedoch nicht. Die Wiederholungsmessung macht deutlich, wie groß die Schwankungsbreite ist. Die Schwarze bis blaue Kurven sind also als gleichwertig zu betrachten. Wenn die Kopplung des Korbes (Chassis) durch eine Gummiunterlegscheibe unter den 4 Schrauben verringert wird, erhöht

sich überraschenderweise die Intensität der Korbresonanz und die Frequenz verlagert sich weiter. Werden 2 Gummiunterlagen angewendet ändert sich nichts mehr. Es wurde beobachtet, dass sich eine Schraube lockerte. Diese wurde durch eine etwas größere ersetzt, so dass alle Schrauben wieder fest saßen.

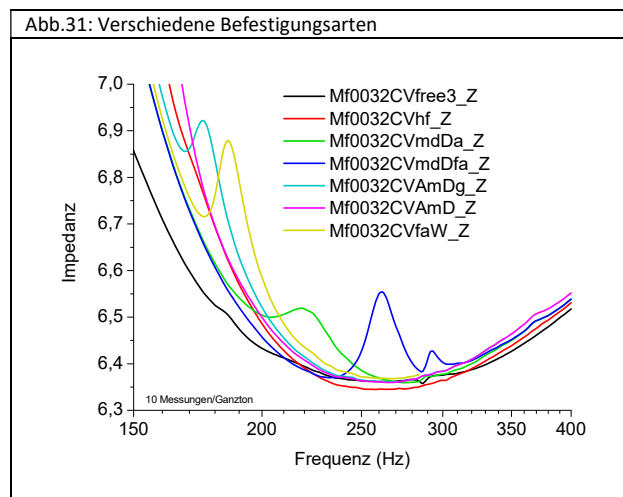


14.4.1.5.3. Beim Einbauen beobachtet und gemessen

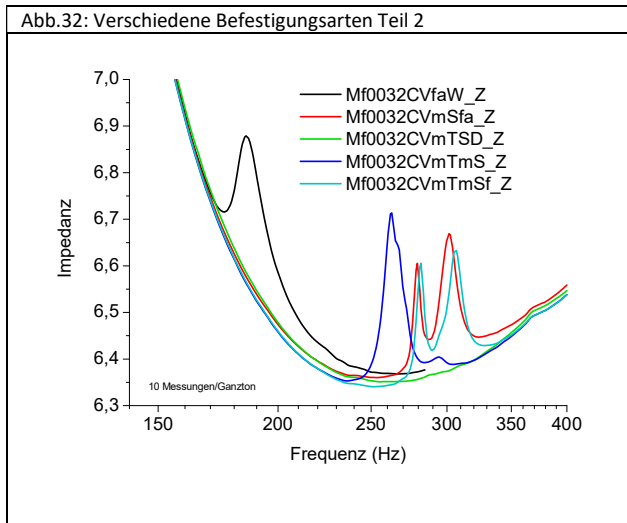
Nun, es ist bekannt, dass ein an der Freiluft gemessenes Chassis keine Korbresonanz anzeigt, die Impedanzkurve ist glatt. Davon ausgehend soll die Impedanzkurve beim Einbauen schrittweise beobachtet werden.

Tab.7: Legende aus Abb.31 und 32

Name MF0032~_Z	Bedeutung
free3	Freiluftmessung auf dem Gehäuse
hf	1cm über Schallwandöffnung auf 3 Knetmassequadern unter dem Korbrand
mdDa	Korbrand mit dauerplast. Abdichtmasse auf Öffnung 5mm hoch aufgeklebt
mdDfa	anschließend fest aufgedrückt, Masse hinter der Korbrandvertiefungen
AmDg	dazu ringsum Abdichtmasse
AmD	in Schallöffnung auf Abstand mit 3 1mm Drähten
faW	die Masse wurde vollständig entfernt, der Korb lag frei auf der Öffnung
mSfa	mit Schrauben fest angezogen
mTSD	mit Trittschalldämmung = 2mm Polystyrolfolie
mTmS	+ Schrauben befestigt
mTmSf	Schrauben fest angezogen, die Folie zusammengepresst



Der kleine Peak in der Freiluftmessung über 180Hz resultiert aus der Wechselwirkung des Chassis mit dem Gehäuse, der Kopplung des Magneten über kleine Knetquader in das Gehäusebrett.



Die Trittschalldämmung (Abb.32) zwischen dem eingehängten Korb und der Schallwand ist als einziges Medium in der Lage eine vollständige Entkopplung zu vollbringen. - *Es ist noch einmal die Bestätigung für die wirksame Entkopplung der Schallplatte vom Plattenspieler im Teil 1 Kapitel 11-* Die Annahme, dass die dauerplastische Abdichtmasse, die auch etwas elastisch ist, den Korb wirksam genug entkoppelt, ähnlich der vorgeschlagenen Silikonverklebung, ist falsch. Die dauerplastische Abdichtmasse ist auch ähnlich wie die Silikonverklebung ähnlich elastisch, beim Auseinanderziehen nach dem Zerreißen wie Gummi schnippsst sie zurück. Ihre Resonanz-Intensität ist vergleichbar mit der Knetmassedämpfung unter dem Korbrand in Abb.25 (grau).

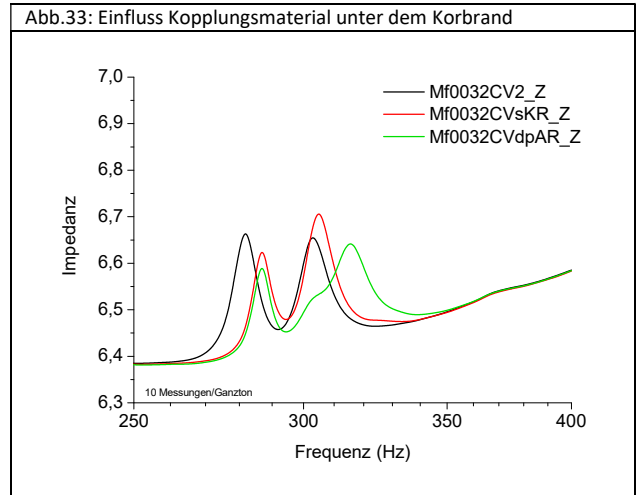
Liegt der Lautsprecherkorb 2mm Trittschallfolie versenkt in dem Gehäuseloch, das für den Lautsprecher vorgesehen ist, ist keine Korbresonanz vorhanden! Sobald der Korb an das Gehäuse hart angekoppelt wird, entsteht die Korbresonanz. Je stärker die Kopplung des Korbes mit dem Gehäuse ist, wird aus dem Einfachpeak ein Doppelpeak. Der niederfrequentere Peak kommt vom Chassis und der höherfrequente vom Gehäuse, insbesondere von der Schallwandfront.

14.4.1.5.4. *Bedämpfung des Korbes und Magneten Dreieckgehäuse*

Da im vorderen Abschnitt herausgekommen ist, dass die Intensität der Kopplung des Korbes mit dem Gehäuse in die Impedanzkurve eingeht, ist es notwendig eine konstante Schraubenanzugskraft zu realisieren, die Zufälligkeit der Handeinstellungen ist nicht genug. Dazu wurde ein SKILL Akkuschrauber in Stufe 1 verwendet. Die Ratsche kommt, wenn die entsprechende Kraft eingestellt ist. Für die Untersuchungen wurden neue Löcher mit kleineren Durchmesser vorgebohrt, damit die Schrauben definiert fixiert werden können.

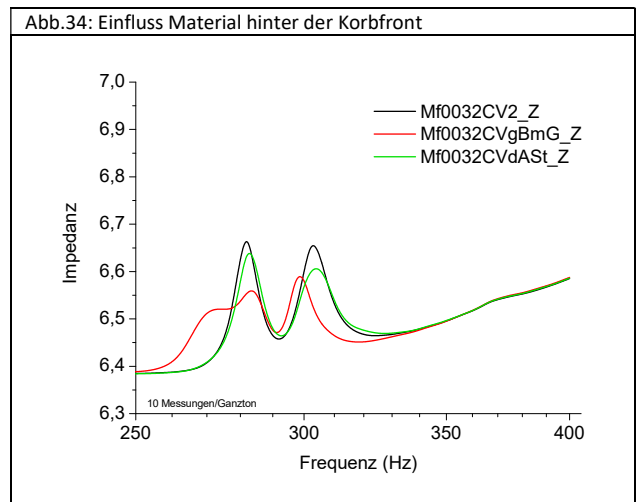
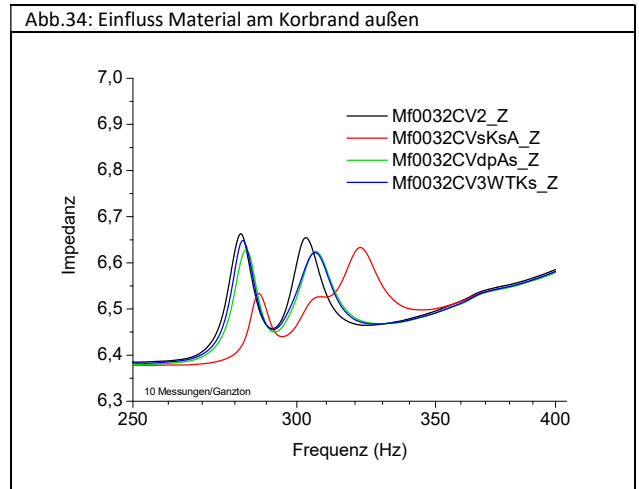
Tab.8: Legenden der Abb.33-34

MF0032CV~_Z	Bedeutung
2	Korb direkt auf Keilgehäuse aufgeschraubt
sKR	Knetmasse unter dem Korbrand
dpAR	dauerpl. Abdichtmasse unter dem Korbrand
sKsA	Korb direkt auf Keilgehäuse aufgeschraubt, 6mm Knetzylinder ringsum angedrückt
dpAs	Korb direkt auf Keilgehäuse aufgeschraubt, 6mm Abdichtmasse ringsum angedrückt
3WTKs	3 Wicklungen Textilklebeband außen
gBmG	gewellte Bleimanschette um den Magneten mit Gummiband straff fixiert
dASt	Abdichtmasse auf die Korbstege geklebt



Die Legenden der Messkurven sind wieder in einer Tabelle (8) niedergelegt. In Abb.33 wird erkennbar, dass die Ausfüllung des Hohlraumes unter dem Korbrand zum einen zu höheren Resonanzfrequenzen führt, Peaks werden z.T. breiter und zum anderen bleibt die Peakfläche jedoch gleich. Die Störenergie bleibt also konstant. Was aber eine Rolle spielen kann, ist aber dass die Verzerrungen eines kleineren Peaks unter die Hörgrenze sinken kann.

Ganz anders wirkt die Knetmasse außen am Korbrand als Dämmmaterial wie in Abb.34 herauskommt. Abdichtmasse und Textilklebeband zeigen kaum eine Wirkung. Die Knetmasse ist steifer als die Abdichtmasse, die dafür mehr dämpft und unter dem Korbrand besser angewendet wird.



Um die Gewichtshypothese zu prüfen, wurde eine gewellte (λ 8mm) Bleimanschette (Bleifolienstärke d 2mm) um den Magneten gewickelt und keine Abdichtmasse, damit die thermische Leitfähigkeit gewahrt bleibt. Das Gewicht verringert wie vermutet die Resonanzfrequenz, leider nicht so weit, wie es für den Mitteltöner erforderlich wäre, um unter die Bandbegrenzung zu kommen. Die Peakfläche bleibt wieder gleich, nur die Peakhöhen werden geringer. Der Einfluss der Abdichtmasse bleibt wie erwartet gering, verkleinert aber den 2. Peak.

Summa summarum scheint sich tatsächlich anzudeuten, dass nur in der Summe aller sinnvollen und optimalen Möglichkeiten die Korbresonanzen bedämpft werden können. Das, was am Anfang intuitiv angewendet worden ist, hat zu den niedrigsten Peaks geführt: Knetmasse in den Vertiefungen des Korbrandes, Korb auf 2mm Bitumenschwerfolie aufgesetzt, 4mm Bitumenschwerfolie hinten an der Gehäusefrontplatte.

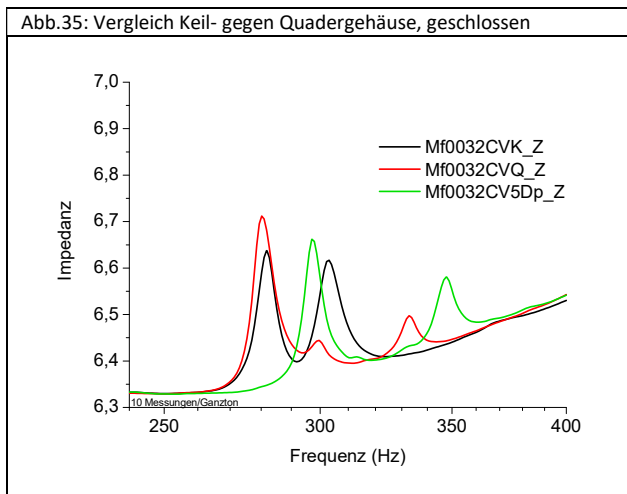
14.4.1.5.5. Bedämpfung Korbrand und Schallfront Quadergehäuse

Nun wurde das Keilgehäuse aufgegeben und wieder das Quadergehäuse eingerichtet, um den Einfluss des Gehäuses auf die Korbresonanzeffekte zu prüfen. Die Rückwand wurde um -38mm versenkt. Die Gegenüberstellung ist in Abb.35 zu sehen.

Um das Verhalten aus Teil 1 Kapitel 1 kennenzulernen, wo der originale Tiefmitteltöner der BR25 seitlich mit Knetmasse zu einem Drittel bedämpft wurde, wurde eine 5mm MDF Platte auf die Schallwand aufgeklebt, so dass wie damals 3mm frei blieben. Der Einfluss dieser Gehäusemodifikation des Quaders ist in Abb.35 dargestellt. Die Unterschiede sind verblüffend. Fest steht jedenfalls, dass die Versteifung des Quaders durch die Ergänzung mit der Frontplatte wieder zur Frequenzerhöhung geführt hat, was eigentlich von Nachteil für einen Mitteltönerbereich ist, beim Tieftöner wäre es von Vorteil, da der Bereich zunehmend ausgefiltert werden kann. Von Vorteil für den Mitteltöner ist, dass die Hauptpeakhöhe etwas abgenommen hat. Eine Pattstellung.

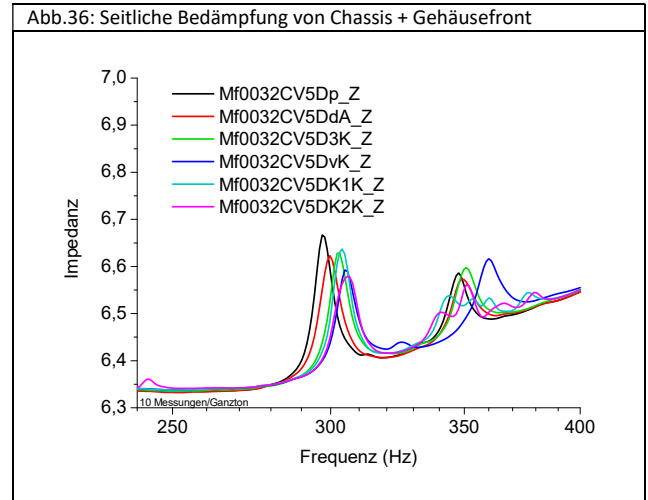
Tab.9: Legenden der Abb.35-36

Mf0032CV~_Z	Bedeutung
K	Korb direkt auf Keilgehäuse aufgeschraubt
Q	Korb direkt auf Quadergehäuse aufgeschraubt
5Dp	5mm MDF frontal aufgeklebt (Ponal class.)
5DdA	dauerplast. Abdichtmasse im Spalt
5d3K	1/3 Spaltlänge mit Knetmasse gefüllt
5DvK	Spalt vollständig mit Knetmasse
5DK1K	+ 1 Zwinge seitlich an Front
5DK2K	2 Zwingen seitlich an Front geschraubt



In Abb.36 wird gezeigt, dass dauerplastische Abdichtmasse oder Knete den ersten Peak bedämpft, Knete noch besser als die Abdichtmasse. Durch Anbringen von Schraubzwingen seitlich an der Frontplatte wird nun bewiesen, dass der 2. Peak auf der höheren Frequenz von der Holzschallwandfront herrührt - also eine Schallwandresonanz darstellt,

während die Bedämpfung des 1. Peaks im wesentlichen durch die plastischen Massen direkt am Chassisrand erfolgt.



Der Begriff der Korbresonanz ist nur die halbe Wahrheit. Die Schwingungen des Korbes werden durch eine feste mechanische Kopplung in die Schallwand eingetragen. Die Schwingungen des Korbrandes werden durch die mechanische Kopplungsvorrichtung wie z.B. Schrauben reflektiert und die Überlagerung der Reflektionen führt zur sogenannten Korbresonanz. Nach der Einkopplung der Schwingungen in die Schallwand werden deren Schwingungen gleichfalls durch die mechanische Kopplungsvorrichtung reflektiert, was zur Schallwandresonanz führt. Beide Resonanzen müssen gezielt bedämpft werden.

Nun kann die Bedämpfung der Korbresonanz als höchster Peak weiter vorangetrieben werden. In 14.4.1.5. wurde 2mm Bitumenschwerfolie unter die Chassisfront geklebt. Der hörbare Erfolg war nicht so groß wie er noch von der BR25-Modifikation [19] bekannt war, der messtechnische Erfolg genauso wenig. Beim Auseinanderschrauben danach wurde jedoch bemerkt, dass aus der 2mm Bitumenplatte eine Flüssigkeit ausgetreten ist und die Platte mehrfach gesprungen war. Die Folie war überhaupt nicht mehr plastisch, sondern spröde! In [19] wurde 4mm Bitumen genommen. Nun wurde diese Folie neu beschafft. Die Plastizität war viel stärker, was erstaunlich ist. Nun ist das die 2.Parallellität. Die dünne Basotectplatte war ja auch anders als die dickeren.

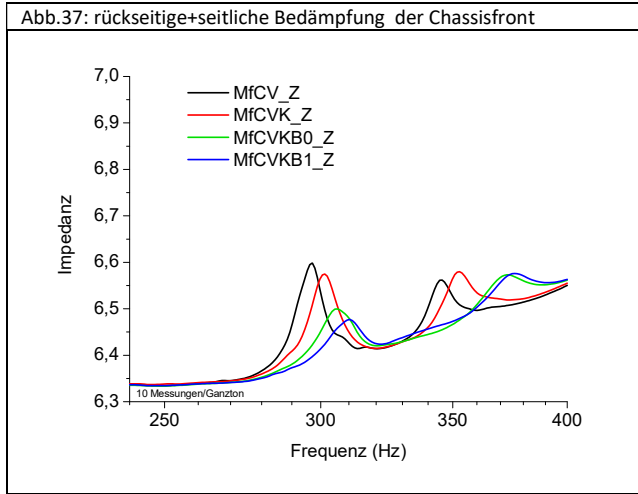
Bitumenschwerfolie ist nicht langzeitstabil, sie wird spröde und eine Flüssigkeit tritt aus.

Beim Ansetzen des neuen Versuches drehte wieder eine Schraube durch. Das Chassis wurde um -10° verdreht und die Schraubung wieder erneuert. Die Ausgangsmessung wurde daher wiederholt, MfCV_Z. Die Knetmasse im Spalt verringerte wieder den ersten Peak. Das Aufschrauben der Chassisfront auf die 4mm Bitumenfolie senkte den ersten Peak weiter, aber auch den zweiten. Natürlich wurde hier die Schallfront mitbedämpft, während die Knetmasse nur seitlich viel schwächer die Holzschallfront bedämpfte.

Die Entfernung der Klebeschuttfolie von dem Bitumen und die innige Verklebung des Bitumens mit der Schallfront und mit dem Chassis senkte den ersten Peak noch weiter. Klanglich und messtechnisch war die alte Methode, die rein intuitiv entstanden war, wahrscheinlich doch die optimale, aber nun war es bewiesen. Eine weitere Bedämpfung der Schallwand mit 4mm Bitumen auf der Rückseite wird weitere Verbesserungen bringen. Die Stabilisierung der Gehäusefront durch weitere noch zu untersuchende Maßnahmen sollte die Störresonanzen weiter verringern. Diese Resonanzen sind so hörbar: Zu dem klaren Sweepersignal kommt frequenzabhängig ein zusätzliches vibrierendes multitonales Signal dazu, das bei Impulsanregung länger anhält als in der Frequenznachbarschaft.

Tab.10: Legenden der Abb.37

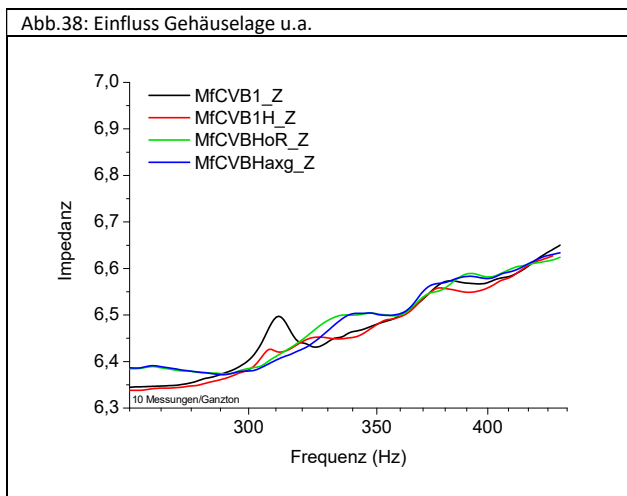
MfCV~_Z	Bedeutung
	Korb direkt auf Quadergehäuse aufgeschraubt
K	Knetmasse im Spalt
B0	4mm Bitumen mit Klebeschutz untergelegt
B1	Bitumenfolie angeklebt



Bisher stand das Gehäuse aufrecht, das Chassis oben, anstatt wie gewöhnlich an einer Seite, weil noch keine Verschraubung gewollt war. In Abb.38 (Legenden in Tab.11) wird demonstriert, dass die Chassislage waagrecht oder normal senkrecht einen Einfluss auf den Impedanzgang hat.

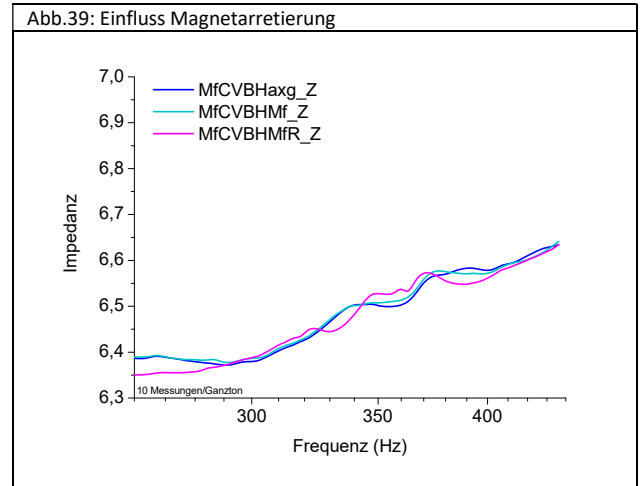
Tab.11: Legenden der Abb.38 und 39

Legende	Bedeutung
MfCV ~B1_Z	Korb direkt auf Quadergehäuse aufgeschraubt Bitumenfolie angeklebt
~B1H_Z	Gehäuse horizontal auf breite Seite umgelegt
~BHoR_Z	Rückwand abgenommen
~BHaxg_Z	Gehäuse axial gedreht, Chassisanschlüsse jetzt oben
~BHMf_Z	ein Vierer-Stapel Legosteine und ein Streifen 4mm Bitumen wurden unter den Magneten geklemt
~BHMfR_Z	Rückwand wieder eingesetzt



Der Korbresonanzpeak ist in normaler seitlicher Lage deutlich kleiner. Und wenn die Anschlüsse des Chassis dann noch oben sind, d.h.

Membran „hängt an den Schwingspulenzuführungen“, ist der Korbresonanzpeak schmaler. Es ist damit, wie Abb.38 zeigt, eine leichte Verbesserung zu erkennen. Das war in den Jahren zuvor hypothetisch vermutet worden und deshalb wurden die Chassis so eingesetzt. Keine weitere Verbesserung wird erhalten, wenn der Magnet arretiert wird. Damit wird die Angabe im Internet hier nicht bestätigt



Die Rückwand wurde anschließend wieder eingebracht, abgedichtet und ebenfalls wie vorher arretiert. Zu beobachten war dann, dass der Impedanzgang sich zwar verändert hat, das Energieintegral aber gleich blieb. Diese minimale Welligkeit wird in weniger hochauflösten Messungen übersehen.

In den nächsten Versuchen wieder das Gehäuse aufrecht gestellt, damit Änderungen auffälliger gemessen werden können. Die Arretierung des Magneten wurde wieder entfernt. In der Praxis ist ein Chassiseinbau in ein fertiges Gehäuse mit Magnetbefestigung zumindest für den Mitteltöner außerordentlich schwierig zu praktizieren, zum Glück konnte kein Nutzen gefunden werden.

14.4.1.5.5. Tests mit reproduzierbarer Aufschraubkraft Quadergehäuse - Dämmung und Bedämpfung Schallfront

Die Gehäusewände sind Platten, die dem Koinzidenzeffekt unterliegen. Dazu schrieb [21]: „Auf der Platte bilden sich Biegewellen aus, die sich entlang der Oberfläche mit einer bestimmten, vom Elastizitätsmodul der Plattendicke und der Dichte des Plattenmaterials abhängigen, Geschwindigkeit ausbreiten. Wenn die Wellenlänge des Anregungsmusters der einfallenden Luftschallwelle auf der Platte mit der Wellenlänge der Biegewelle übereinstimmt, bricht die Schalldämmung zusammen. Dieses Zusammenfallen wird Koinzidenz genannt. Koinzidenz ist jeweils exakt für eine Frequenz und Einfallrichtung gegeben. Im diffusen Schallfeld eines Raumes ist der Koinzidenzeinbruch verschmiert.“

Es gibt also Schallfeldbedingungen, wo die beabsichtigte Dämmung unliebsam geschwächt wird. Gegenmaßnahmen sind im Trockenbau eine Einbringung eines porigen Absorptionsmaterials zwischen 2 Platten. Nun damit wäre die Stabilität von Gehäusewänden nicht so gut.

Außer den Biegewelleneffekt der Platten, wo Resonanzen eine Rolle spielen, gibt es noch den Durchtrittschall, der direkt hörbar ist und als „hohler Kistenklang“ bezeichnet wird. Der Durchtrittschall kann umso besser gedämmt werden, je dicker die Platten sind oder je dichter das Plattenmaterial ist. In beiden Fällen steigt das Gehäusegewicht bei Holz oder Kunststein stark an. Aluminium würde eine Ausnahme bilden, aber der Aufwand im DIY ist nicht zu stemmen.

Für die Impulsabstrahlung von der Membran ist eine hohe Masse von Vorteil, aber für eine ausreichende Dämmung wäre die Masse dann doch zu unhandlich.

Der Schallwellenwiderstand erfolgt umso ungehinderter, je weniger sich die akustischen Widerstände der beiden beteiligten Materialien unterscheiden. „Will man also z.B. den Schallübergang von einem festen

Körper zu einem anderen festen Körper verhindern, so muss man eine Zwischenschicht mit kleinem R_w , also beispielsweise eine Luftschicht oder Kork, Gummi u.ä. verwenden.“ [22, R_w -Schallwellenwiderstand]. Mit anderen Worten, der Schall, der von innen durch die erste Platte dringt, sollte eine Totalreflektion nach innen erleiden, wo sie anschließend bedämpft werden muss. **Wenn die Zwischenschicht Kork anwendet wird, können die Platten mit einem geeigneten Kleber großflächig verbunden werden. Kork scheint formstabiler als viele andere poröse Materialien und selbst schon gut dämpfend zu sein. Als innere Platte ist MDF geeignet und als äußere Birkenmultiplex BMP für die Gestaltung durch Lackierung.**

In der Regel sind akustische Impedanz und Schallgeschwindigkeit zueinander umgekehrt proportional. In diesem Fall ist die Veranschaulichung durch die Schallgeschwindigkeiten in der Plattenfolge möglich.

Tab.12: Schallgeschwindigkeiten in m/s

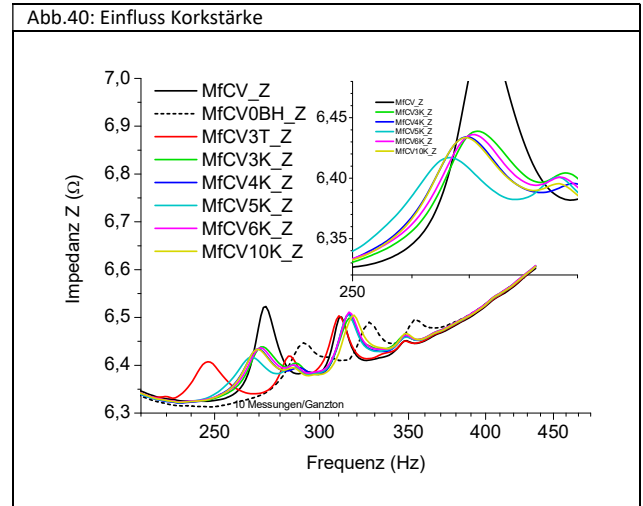
Material	MDF	Kork	BMP
Ausbreitungsrichtung	isotrop	isotrop	anisotrop
Schallgeschwindigkeit	2500	350...520	5150 ↘ 2000

Kork hat eine geringe Dichte und würde kaum etwas zum Gewicht beitragen. Damit würde eine gewisse Mobilität des Möbelstücks Box gewahrt bleiben. Kork hat z.B. ein Stoßstellendämmmaß, was relativ hoch und nur wenig abhängig von der Frequenz ist: 63Hz 22dB, 1kHz 30dB, was viele poröse Materialien so nicht zeigen [23].

Zur Schalldämmung von Kork gibt es zahlreiche Literaturquellen, von seiner dämpfenden Wirkung jedoch nicht. Deshalb macht sich ein Test erforderlich, wo die Dämpfende Wirkung im Verbund mit der BMP-Platte auf der Schallfront auf die Schwingspulenimpedanz nachgewiesen wird. Wenn schon Kork dann stellt sich die Frage, welche Stärke ist optimal? Zu dünner Kork sollte schon ziemlich hart wirken, da er schnell bricht, sehr dicker Kork ist vielleicht schon wieder zu elastisch. In der Tab.13 wurde ausgehend von einer zusätzlichen Platte auf die Schallwand (12mm BMP) die getesteten Korkstärken gelistet und als Legende für die Messgrafik Abb.40 ausgewiesen. Zur besseren Messbarkeit wurde zunächst keine Bitumenfolie und keine Knetmasse verwendet. Die schwarze Kurve zeigt die bekannte Kurve mit der gestapelten 12mm+5mm MDF (verklebt) Frontplatte. In der gestrichelten Kurve wird die Wirkung der zusätzlichen BMP-Platte dargestellt, die am Rand durch 6 Schrauben mit Kraftstufe 1 aufgeschraubt wurde. Die rote Kurve demonstriert die Trittschallfolie aus geschlossenporigen Polystyrolschaum als Zwischenschicht mit minimalen R_w . Eine Klebehaftung wäre damit kaum erreichbar. Der verlagerte 1.Peak in der grünen Linie zeigt eine engere Kopplung durch Kork an. Die dämpfende Wirkung ist in allen 3 Fällen bisher gleich. Die Dämpfung durch die BMP-Platte wird kaum durch den Kork verschlechtert. Den Rest sollte die Verklebung wieder wettmachen. Die Cyan-Linie der 5mm Korkmessung ist etwas besser als die anderen Stärken.

Tab.13: Legenden der Abb.40

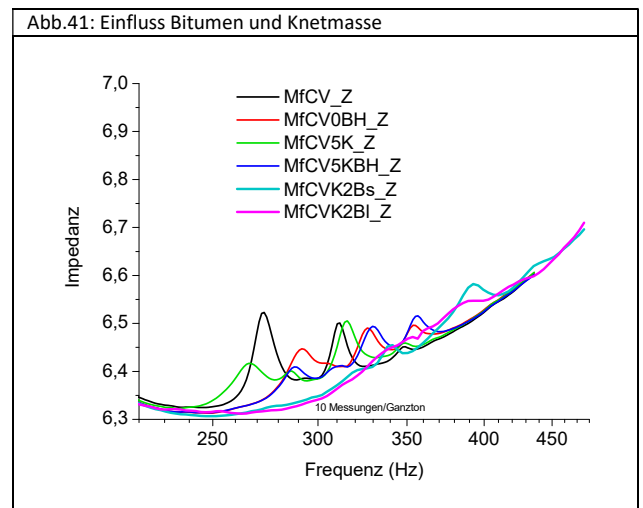
MfCV~_Z	Bedeutung
MfCV~_Z	Korb direkt auf Quadergehäuse aufgeschraubt
OBH	0mm Abstand zu 12mm BMP
3T	3mm Trittschalldämmung (Polystyrolschaum)
3K	3mm Kork
4K	4mm Kork
5K	5mm Kork
6K	6mm Kork
10K	10mm Kork zwischen BMP und MDF



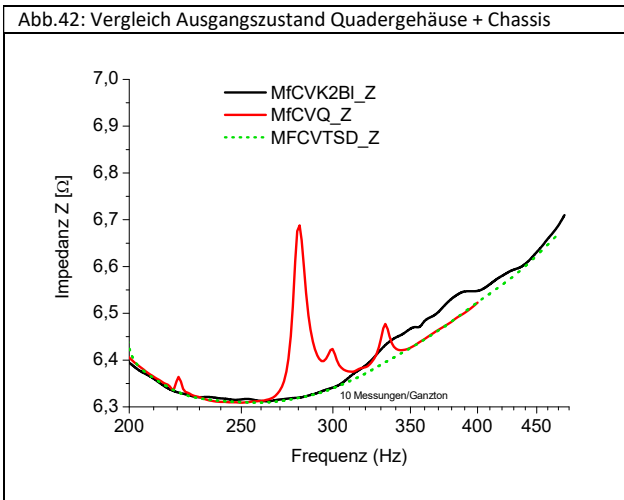
Im folgendem wurde ausgehend vom optimalen 5mm Kork die 4mm Bitumenschwerfolie zur Dämpfung von hinten an die Schallwand geklebt. Diese Annahme wird durch die Messung bestätigt. Zum Schluss wird die gleiche Korbanpassung an die Schallfront wie in [19] ausgeführt. In Abb.41 sind dann nur noch 2 sehr kleine Peaks und nur noch ein mittelgroßer Peak ermittelbar. Wird das Gehäuse wieder umgelegt, die Anschlüsse des Mitteltöners MT sind dann wieder oben und der MT strahlt zur Seite, ändert sich der Impedanzgang im resonanten Bereich völlig. Der letzte mittelgroße Peak flacht sich ab und vereinigt sich mit den anderen.

Tab.14: Legenden der Abb.41

MfCV~_Z	Bedeutung
OBH	0mm Abstand zu 12mm BMP
5K	5mm Kork
5KBH	+ 4mm Bitumen hinten an Schallwand
K2Bs	4mm Bitumen + Knete unter Korbrand
K2BI	Gehäuse hingelegt, MT jetzt seitlich



Zum Schluss sollen noch einmal in Abb.42 die Impedanzkennlinien vom Gehäuseausgangszustand ohne Maßnahmen mit dem Abschlusszustand nach Optimierung der Maßnahmen gegen die „Korbresonanz“ verglichen werden. Als Referenzlinie dient die kopplungsfreie Trittschallfolie MfCVTSD_Z.



Damit steht fest, die intuitive Befestigung in [19] ist durch eine systematische Untersuchung als überraschend optimal bewiesen worden. Die Peaks werden nochmals abgeschwächt, wenn das Mitteltonergehäuse wieder in die normale horizontale Lage gebracht wird. Damit ist nun klar, dass das modifizierte AL130 Anordnung auf das BR25 Gehäuse fast optimal. Es fehlte nur noch die Bitumenhinterklebung der Schallfront. Die Arretierung des Mitteltonchassis an das Gehäuse führt aber zu einer Verlagerung der Störungsbande in den höherfrequenten Bereich. Ob dieser durch die optimale Befüllung weiter bedämpft werden kann, muss erst noch zeigen.

Das Problem der ganzen Dämmung und Dämpfung ist die immer schlechtere Wärmeleitfähigkeit, wenn Dämmung und Dämpfung maximiert wird. Hier sind gute wärmeleitfähige Materialien gefragt: Einzige Wärmesenken bilden dann nur die Lautsprechermembranen selbst. Außerordentlich von Vorteil sind dann Metallmembranen und weniger gut die Keramikmembranen.

Der verwendete Kork als Rollenware hatte je nach Stärke eine andere Morphologie in der Korngröße und der Kornanordnung. Der größte Morphologie-Sprung war zwischen 5mm und 6mm Stärke.

Die optimale Konstruktion des Mitteltonergehäuses besteht in 2 Schichtenfolgen: i) Das U-Profil des Mitteltonerrandes wird mit Knetmasse gefüllt und auf 4mm Bitumenschwerfolie aufgesetzt und angeschraubt, eventuell wird Knetmasse zwischen Mitteltonerkante und Schallwandkante eingedrückt. ii) In der Umgebung des Mitteltoners wird hinten an die Schallwand 4mm Bitumen geklebt, vorn wird 5mm Kork und 12mm Multiplex aufgeklebt.

14.4.2. Die Korbresonanz des befestigten Tieftöners

Im vorhergehenden Kapitel musste eingesehen werden, dass die „Korbresonanz“-Energie des Mitteltoners mit erträglichen Aufwand nur maximal 1/3 wirklich in Wärme umgesetzt werden kann, der Rest bleibt als Schwingungsenergie erhalten. Die verbleibenden Resonanzen nach der „Optimierung“ waren aber so breit „verschmiert“, dass die Hoffnung besteht, die Störung bleibt unter der Hörbarkeitsgrenze normaler Abhörbedingungen.

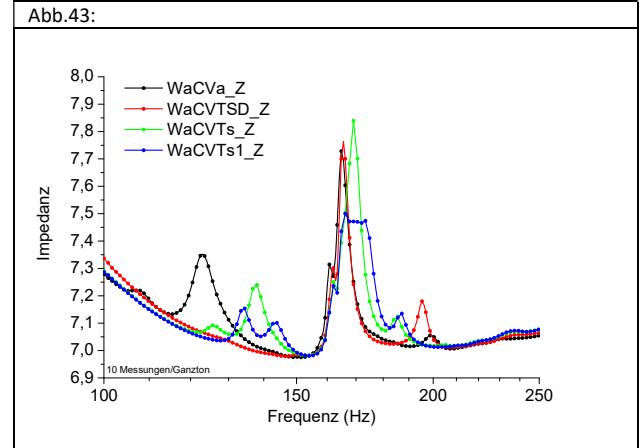
Wie verhält sich der Tieftöner? Wo befinden die Frequenzen der Korbresonanzen und die der Schallfront. Wie groß sind diese?

In Tab.15 sind die Versuche zur Ermittlung kurz beschrieben. Die Befestigung des Tieftöners TT erfolgte in unterschiedlichen Stärken, d.h. in Stufen an der Akkusrauberratsche.

Aus den Erfahrungen zu den Experimenten mit dem Mitteltoner, wo die Hohlraumresonanzfrequenz weit oberhalb des Messbereiches lag, wird hier die Korbresonanz bei 123Hz bis 150Hz unterhalb der Hohlraumresonanz abgebildet. Wieder ist durch Verstärkung der Ankopplung die Peakaufspaltung zu erkennen.

Tab.15: Legenden der Abb.43

	Bedeutung
WaCVa_Z	Gehäuse waagrecht TT oben aufgelegt
WaCVTSD_Z	TT auf Trittschalldämmung gelegt
WaCVTs_Z	TT festgeschraubt St < 1
WaCVTs1_Z	TT festgeschraubt St1 bei 4 von 6 Schrauben



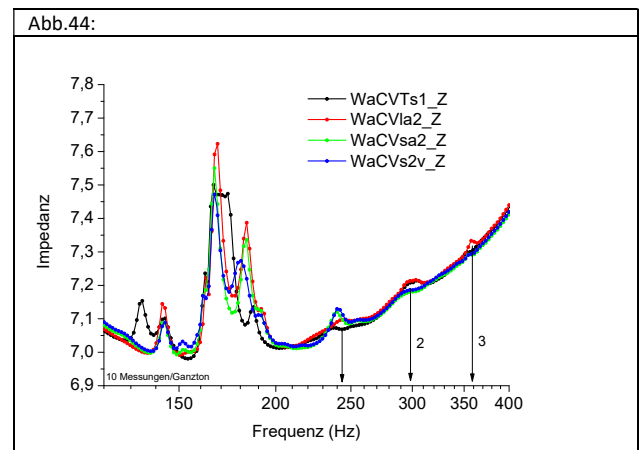
14.4.2.1. Die Gehäusestehwellenresoanz des Tieftöners

Die Längsresonanz des Gehäusevolumens sollte durch die Berechnung von $344\text{m/s} / (2 \cdot 0,975\text{m})$ bei 176Hz zu finden sein. Durch die Dämpfung des MDF-Platten erscheint die Längsdimension größer. Die Ursache des oberen Peaks ist noch unbekannt.

Durch die festere Ankopplung mit 6 Schrauben auf Stufe 2 erhöht sich die Korbresonanz von 134Hz auf 143Hz, der Schallwandpeak verschiebt sich zu höheren Frequenzen wird aber kleiner, da der Tieftöner TT-Durchmesser fast die gesamte Schallwandbreite einnimmt. Dann wird das Gehäuse senkrecht aufgestellt. Der TT befindet sich jetzt unten, er ist asymmetrisch in Längsrichtung aufgesetzt, 0,705m von der Deckenplatte entfernt. Es ist zu vermerken, dass wie beim Mitteltoner sich die Korbresonanz verringert. Aber es erhöht sich der 2.Oberpeak bei 243Hz, nicht zuletzt auch auf Kosten der „Oberwellenpeaks“ 2 und 3 in Abb.44. Die Entfernung des TT zur Deckenplatte war 0,705m, was eine Stehwelle von 243Hz entwickeln könnte, und genau das wird wahrscheinlich hier abgebildet! Was für den Mitteltoner von Nachteil war, gereicht hier zum Vorteil, wie bereits oben vermutet, da der TT ab 160Hz ausgefiltert werden soll.

Tab.15: Legenden der Abb.44

WaCV~_Z	Bedeutung
WaCVla2	6 Schrauben fest Stufe 2
WaCVsa2	Quadergehäuse aufgestellt, TT unten, Gehäuse auf 7Büchern
WaCVs2v	Spalt Schwingspule jetzt oben



Bei beiden TTn sitzt der Schwingspulenhalbs asymmetrisch zum Phaseplug, sieht wie eine Serienstreuung aus. Vernünftigerweise sollte der größere Spalt oben sein, dann könnte die Schwerkraft eine Symmetrierung bewirken. Deshalb wurde TT um 180° gedreht und nochmals vermessen, Unterschied von Grün nach Blau. Die Gehäuselängsresonanzpeaks werden dann auch schwächer.

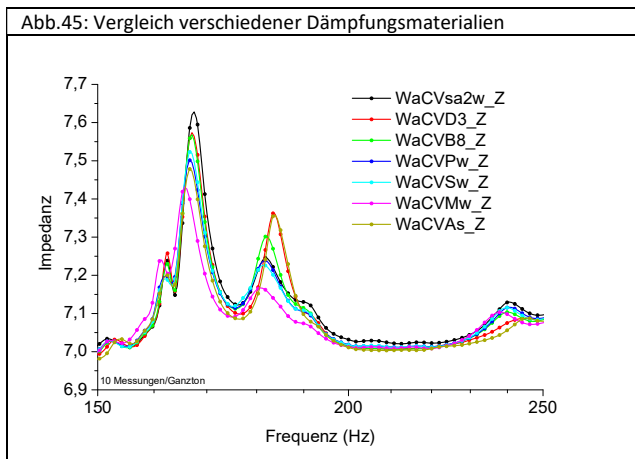
14.4.2.1.1. Die Gehäusestehtwellenresoananz des Tieftöners

Nach einigen Wochen wurde die vorletzte Messung wiederholt, um Änderungen besser erkennen zu können. Diesmal sollte der Einfluss von Dämpfungsmaterialien im Tieftonabteil untersucht werden. In Tab.16 sind die einzelnen Maßnahmen in den Messfile-Legenden erläutert. Es wurde nur am Gehäuseboden das Material gewechselt. Damping30, so erfolgreich im Mitteltongehäuse, so unbefriedigend im Tieftongehäuse. Die Hauptstehwelle wird zwar bedämpft, aber die zweite wird vergrößert. Nachdem Damping30 durch Bondum800 ersetzt wurde, sank der 2.Peak etwas ab. Eine deutliche Verringerung beider Anteile kam durch Polyesterwatte, eine nicht zusammengepressten Bondum800 Variante. Die Schafwolle unterschied sich von der Watte nur unwesentlich. Einen abermaligen deutlichen Fortschritt in der Dämpfung der Längswellen konnte durch den Einsatz von Mineralwolle erreicht werden. Der Akustikschaumstoff wurde nur interessehalber zum Vergleich getestet, damit Trends besser beurteilt werden können. Sein Absorptionspektrum war ja aus der Publikation [16] bekannt.

2 Hypothesen könnten aufgestellt werden: i) Das Dämpfungsvermögen bei tiefen Frequenzen wird umso besser je größer die „Poren“ im Material sind, bzw. je weniger dicht diese sind. Im Mitteltonbereich invertiert sich eher dieses Verhalten. ii) Je dichter die Materialschicht, desto größer ist die Dämpfung.

Tab.16: Legenden der Abb.45

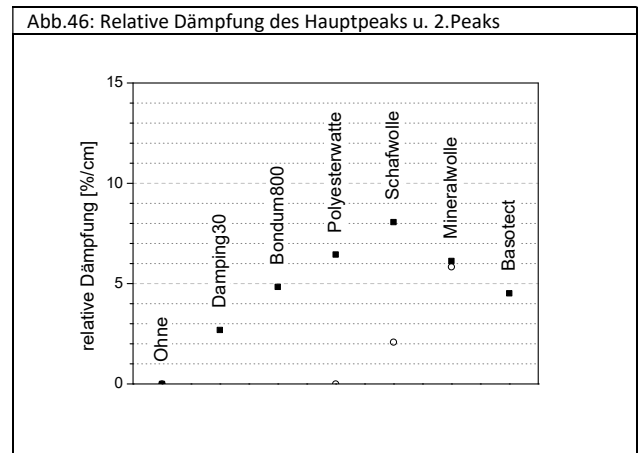
	Bedeutung
WaCVsa2w_Z	Wiederholung einige Wochen später, Spalt Schwingspule unten, TT immer noch unten
WaCVD3_Z	Damping30 am Boden 3cm,
WaCVB8_Z	2cm Bondum800 am Boden
WaCVPw_Z	3cm Polyesterwatte am Boden
WaCVSw_Z	2cm Schafwolle am Boden
WaCVMw_Z	5cm Mineralwolle am Boden
WaCVAs_Z	5cm Akustikschaum am Boden



Zur Bewertung der Hypothesen muss eine Berechnung der relativen Dämpfung erfolgen. Wenn dZ_{1Mo} die Impedanzüberhöhung des 1. Maximums in der leeren Box ist, dZ_{1Mn} diejenige eines Materials n , d_n die Dicke des Materials n , dann gilt folgende Gleichung (1).

$$relDämpfung = \frac{dZ_{1Mo} - dZ_{1Mn}}{dZ_{1Mo} \cdot d_n} \cdot 100\% \quad (1)$$

In Abb.46 sind die Ergebnisse dargestellt. Zusätzlich wurden die Werte für den 2.Peak berechnet. Unter Berücksichtigung des 2.Peaks bieten Mineralwolle, Polyesterwatte und Schafwolle geeignete Eigenschaften an.

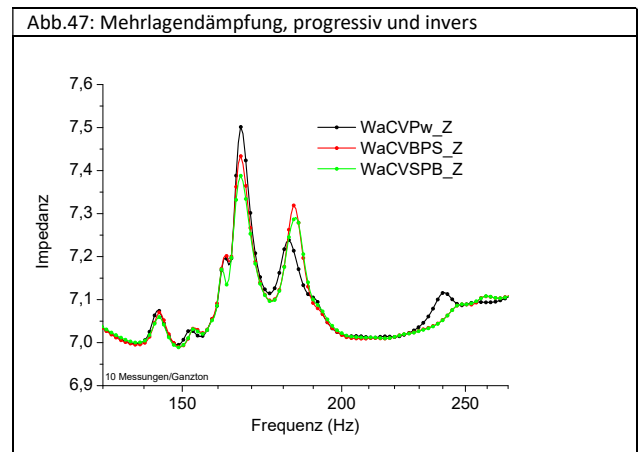


Die Handhabung der 5cm starken Mineralwolle ist in der Praxis mit einer Hautreizung in Form von unangenehmen Jucken begleitet. Kleinste Bruchstücke der Mineralwolle verursachen dies. Für einen Schwingspulenstap nicht die risikofreieste Lösung. Daher fällt Mineralwolle als Alternative raus.

Schafwolle ist weniger formstabil als Polyesterwatte. Sie lässt sich aber vielleicht ebenso mit Klebepunkten in der Lage fixieren.

Damping30 ist völlig ungeeignet, es entfaltet erst oberhalb 210Hz seine exzellente Dämpfungswirkung, siehe 240Hz-Peakgruppe in Abb.45. Es wird als Mitteltondämpfung in einigen Bereichen des Gehäuses dienlich sein.

Wenn die Dicke des Dämpfungsmaterials die Bedämpfung proportional erhöht, wären mehrere Lagen sinnvoll. Als erste Variante mehrerer Lagen ist die aus dem Mitteltongehäuse erfolgreich angewendete progressive Dämpfung. Die Ergänzung der Polyesterwatte mit Bondum800 als Unterlage und mit Schafwolle als Oberlage wirkt kontraproduktiv. Die inverse Anordnung ist besser aber vom Gesamtabsorptionsvermögen gegenüber der einfachen Polyesterwatte nicht wirklich deutlich besser.

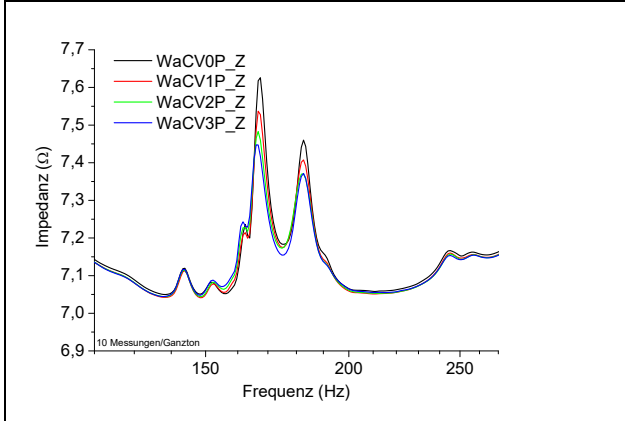


Bleibe noch der Versuch mehrere Lagen mit dem gleichen Material, der vorläufig optimalen Polyesterwatte, zu prüfen. In Abb.48 wird deutlich, dass die Stehwellenlängsresonanz stetig mit der Zugabe an Platten von Polyesterwolle kleiner wird.

Tab.16: Legenden der Abb.48 u. 50

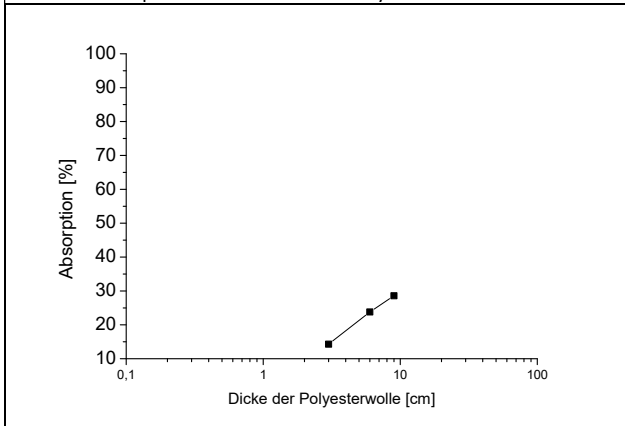
	Bedeutung
WaCV0P_Z	Spalt Schwingenspule oben, Gehäuse leer
WaCV1P_Z	1 Lage Polyesterwatte 3cm am Boden
WaCV2P_Z	+ 1 weitere Lage Polyesterwatte
WaCV3P_Z	+ 1 weitere Lage Polyesterwatte

Abb.48: Polyesterwatte Mehrlagendämpfung am Boden



Der 2.Peak wird mit der 3.Lage nicht weiter bedämpft. Trägt man die Impedanzüberhöhung des Hauptpeaks in Abhängigkeit von der Dicke der Polyesterwatte auf und setzt für eine Impedanzüberhöhung von 0Ω eine 100% Absorption an, wird die Kurve in Abb.49 abgebildet. Es ist zu erkennen, dass bei keiner praktischen Dicke eine 100% Absorption erreicht werden kann.

Abb.49: Absorption von der Dicke der Polyesterwatte

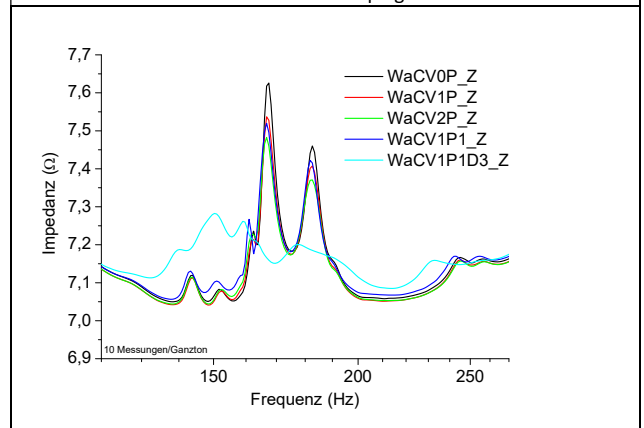


In [6] wird zwar bei einer Dicke von 36cm und einer Querfläche von $2,3\text{dm}^2$ von akustischen Sumpf gesprochen, aber das scheint nicht zu genügen, um auf den Helmholtzresonator zur Annihilierung der Längsresonanz verzichten zu können. Neben dem Polyester wurde an den Wänden in [6] für den Autor ausnahmsweise mal noch Damping 30 in 33dm^2 verwendet. Um diese Wirkung nachzuvollziehen, wurde nach mehreren Schritten auch noch die Rückwand mit einer Bahn von 28dm^2 Damping30 beklebt, siehe Legendentabelle 17 und Abb.50.

Tab.17: Legenden der Abb.48 u. 50

	Bedeutung
WaCV0P_Z	Spalt Schwingenspule oben, Gehäuse leer
WaCV1P_Z	1 Lage Polyesterwatte 3cm am Boden
WaCV2P_Z	+ 1 weitere Lage Polyesterwatte
WaCV1P1_Z	je 1 Lage Polyesterwatte am Boden +Deckel
WaCV1P1D3_Z	+ 1 Lage Damping30 an der Rückwand

Abb.50: Einfluss Zusatz von 28dm^2 Damping30 auf Rückwand



Zuerst wurde eine Platte und noch eine Platte Polyesterwatte am Gehäuseboden ausgelegt, die Dämpfung stieg an. Dann wurde die 2. Platte aber am Gehäusedeckel befestigt, die Stehwellendämpfung ist jetzt geringer. Die Polyesterplatte ist also in der Nähe des TT effizienter als oben am Gehäusedeckel! Das zusätzliche Damping30 bringt dann das ganze Stehwellenverhalten durcheinander. Das Damping30 verkleinert nicht nur die Hauptpeaks, es verschiebt sie auch ins niederfrequente. Die Fläche unter der Impedanzabweichung bleibt aber annähernd gleich. Das Damping30 auf der Seitenwand verursacht eine Dispersion des Resonanzverhaltens. Von Vorteil ist es jedenfalls für die Mitteltonbedämpfung des TT. Auch die Polyesterwatte dispergiert bei gegenüberliegenden Belegungen.

Ist die Impedanzüberhöhung ein Maß für die Verzögerung des Ausschwingens, führt diese Dispersion zu einer geringeren Verfärbung des Klanges. Ausschwingverzögerungen können sich wie Pegelanhebungen auswirken.

Verdichtete Fasermaterialien (Bondum800, Damping30) sind für die wärmeumsetzenden Bedämpfungen von besonders intensiven Längsstellwellen der tiefen Töne unter 200Hz an den Druckstauseiten weniger geeignet, besser sind lockere Fasermaterialien (Polyesterwatte, Schafwolle). Die dichteren Materialien können eher an den kürzeren Reflektionsweiten angewendet werden. Dort sorgen sie für eine energetische Dispersion der Resonanzen. Mineralwolle hat die beste Absorption, aber seine freien Faserstäube sind ein Risiko nicht nur für die Schwingenspulenbewegungen. Anstelle der Seitenwandbedämpfungen ist der Aufwand für einen Helmholtzresonator gerechtfertigt.

Literaturquellen

- [1] Hobbyhifi 2000/6
- [2] Hobbyhifi 2007/4
- [3] Hobbyhifi 2010/1
- [4] Hobbyhifi 2010/3
- [5] Hobbyhifi 2010/6
- [6] Hobbyhifi 2011/2
- [7] Klang+Ton 2003/2
- [8] HobbyHifi 2006/1
- [9] Stereoplay 1/2012 S.15,
- [10] www.linkwitz.com : [11] Anrew Jones, TAD/Pioneer
- [11] HobbyHifi 2011/5, S.49
- [12] www.smart-forum.de
- [13] www.audioavid.com
- [14] <http://www.stereophile.com/floorloudspeakers/492scifi/index.html>
- [15] <http://archive.avforum.com>
- [16] www.audiokarma.org
- [16] www.basotect.de
- [17] www.schaumstofflager.de
- [18] Klang+Ton 1992/1
- [19] www.ursound.de Teil1, Kapitel 9
- [20] www.klangbau.de, mündl. Mitteilung
- [21] Urs Züger, Akustische Grundlagen, ETH_Akustik_ZF.doc,
aus www.zracoustics.ch
- [22] Grimsehl, Lehrbuch der Physik, Band I, B.G.Teubner
Verlagsgesellschaft leipzig, S.538
- [23] http://www.bauberatung-ziegel.de/unipor_Fachseminar_-Schall-.pdf