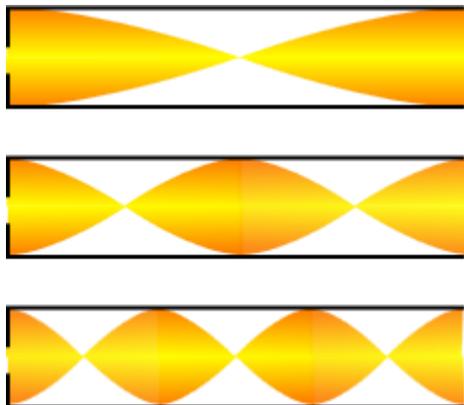


Dämmen und Bedämpfen

Beim Einbau eines Lautsprecherchassis in ein Gehäuse entsteht unweigerlich eine Schallabstrahlung ins Gehäuseinnere. Der innere Schall stört den Klang auf zweierlei Art.

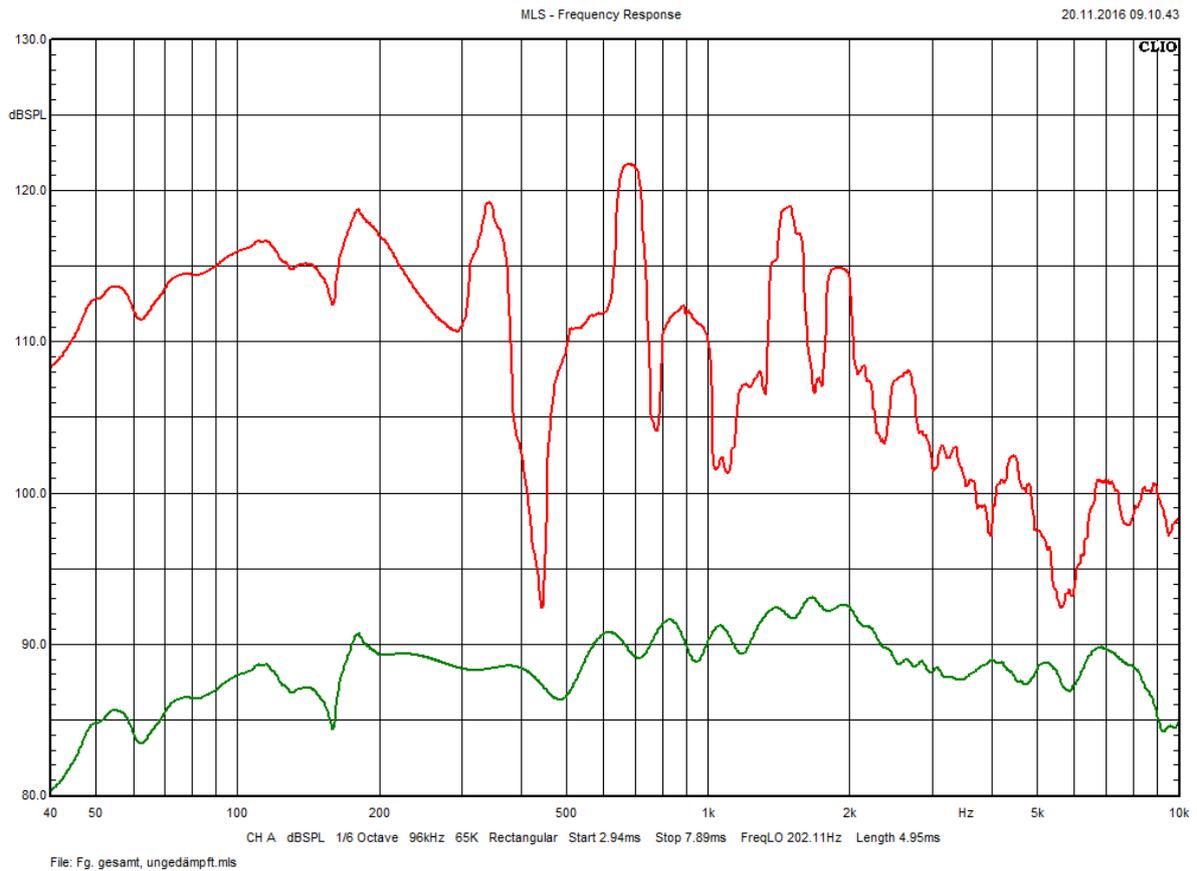
Erstens regt er das Gehäusematerial zum Schwingen an. Das Material vibriert und wird damit selbst zur Schallquelle.

Zweitens bilden sich stehende Wellen innerhalb der Box. Die Schallwellen werden an den Gehäusewänden reflektiert. Im halben Abstand der Wellenlänge oder einem Vielfachen davon entsteht eine Welle, ähnlich der einer angeregten Stimmgabel. Im Gegensatz zu den Musikinstrumenten verfälscht diese Resonanz die Wiedergabe. Die stärkste stehende Welle tritt bei der halben Wellenlänge auf. An den Wänden entstehen maximale Schalldrücke und mittig davon liegt die maximale Schnelle (Wechselgeschwindigkeit der Luftteilchen).



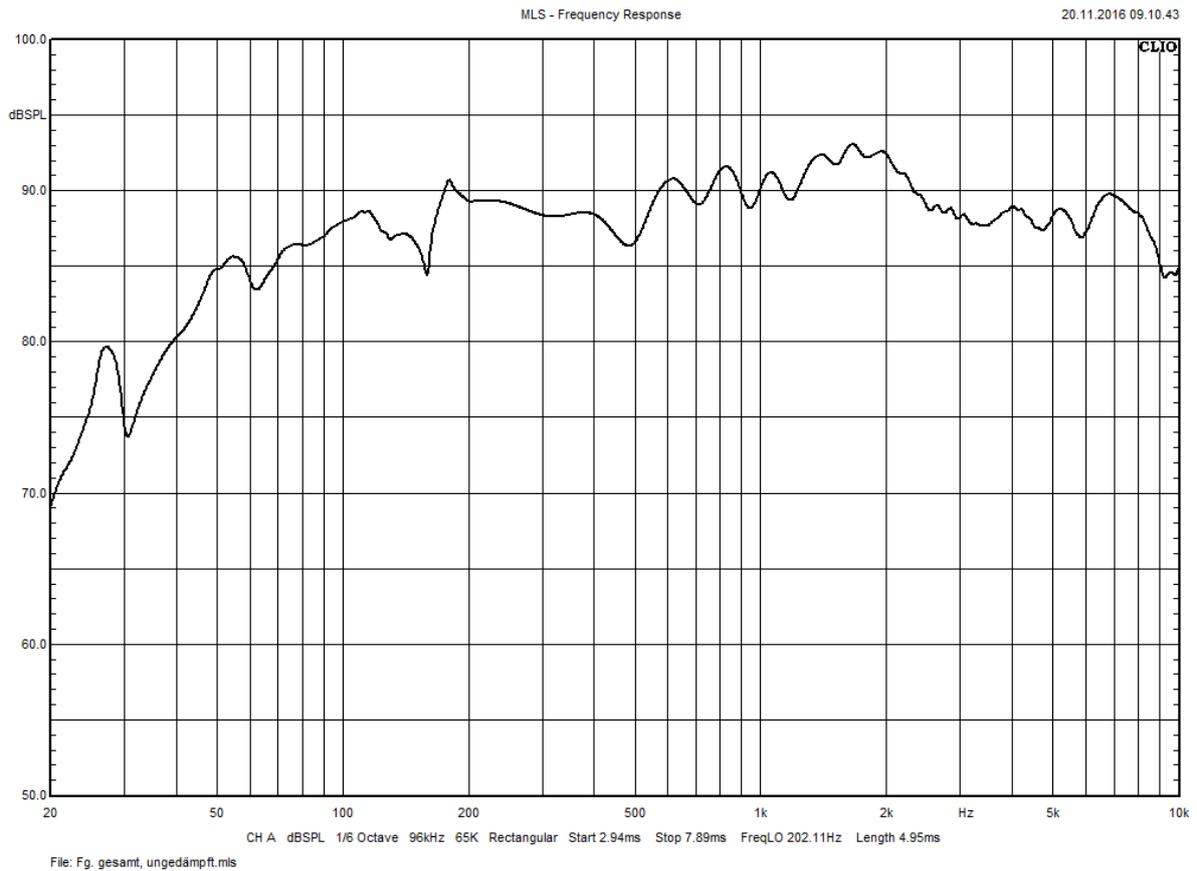
Von Christophe Dang Ngoc Chan (cdang) - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1377539>

Der Vergleich mit einem "Kundtschen Rohr" liegt hier sehr nahe. Andererseits kann man sich auch vorstellen, dass die Lautsprechermembran einen Wohnraum mit Schalldruck versorgt und die gleiche Energie in die Box leitet. Der Innenschallpegel liegt bis zu 30 dB über dem Pegel im Raum. Eine Messung bestätigt unsere Vermutung (gn – 1 m Abstand außen; rt – innen):

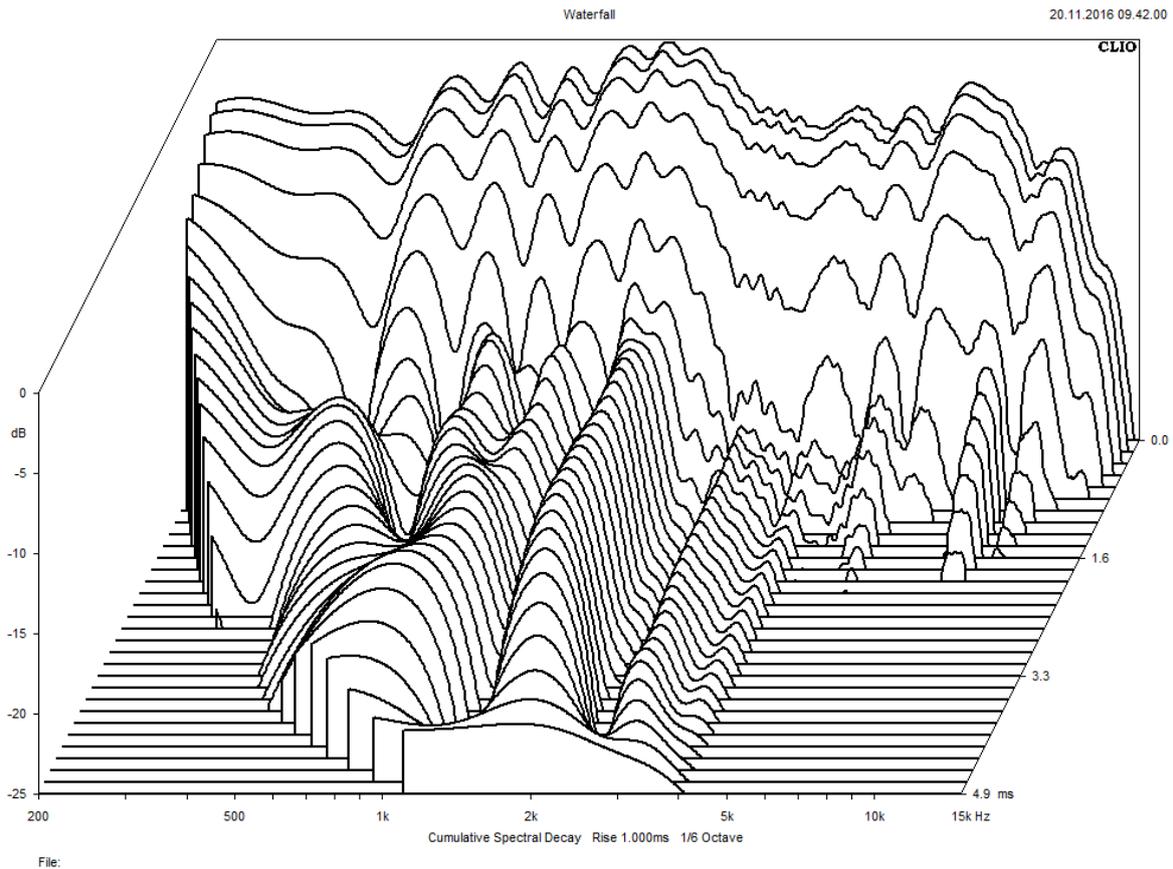


Die Schallenergie in der Box sucht sich den Weg über das schwächste Glied des Gehäuses nach außen, nämlich über die Membran. Wie ein Echo gelangen die inneren Druckwellen auf die Membran und stören den Frequenzgang und das Ausschwingverhalten.

Frequenzgang einer unbedämpften Box:



Bei genauer Betrachtung stellt man fest, dass die Unregelmäßigkeiten im Gehäuseinneren den Frequenzgang sehr deutlich beeinflussen. Noch übler wird es beim Ausschwingverhalten (Wasserfalldiagramm):



Die Resonanzen wollen überhaupt nicht mehr aufhören zu schwingen. Wer hier nichts unternimmt hat alles andere als eine klare Wiedergabe.

Was ist also zu tun? Das innere der Box ist zu bedämpfen!

Bedämpfung

Begriff

Unter **Schalldämpfung** wird eine Behinderung der Schallausbreitung durch Absorption von Luftschall verstanden. Bei der Schallabsorption wird die Schallenergie in nicht hörbare Schwingungsenergiwellen umgewandelt und dementsprechend die Reflexion an einer Grenzfläche vermindert.

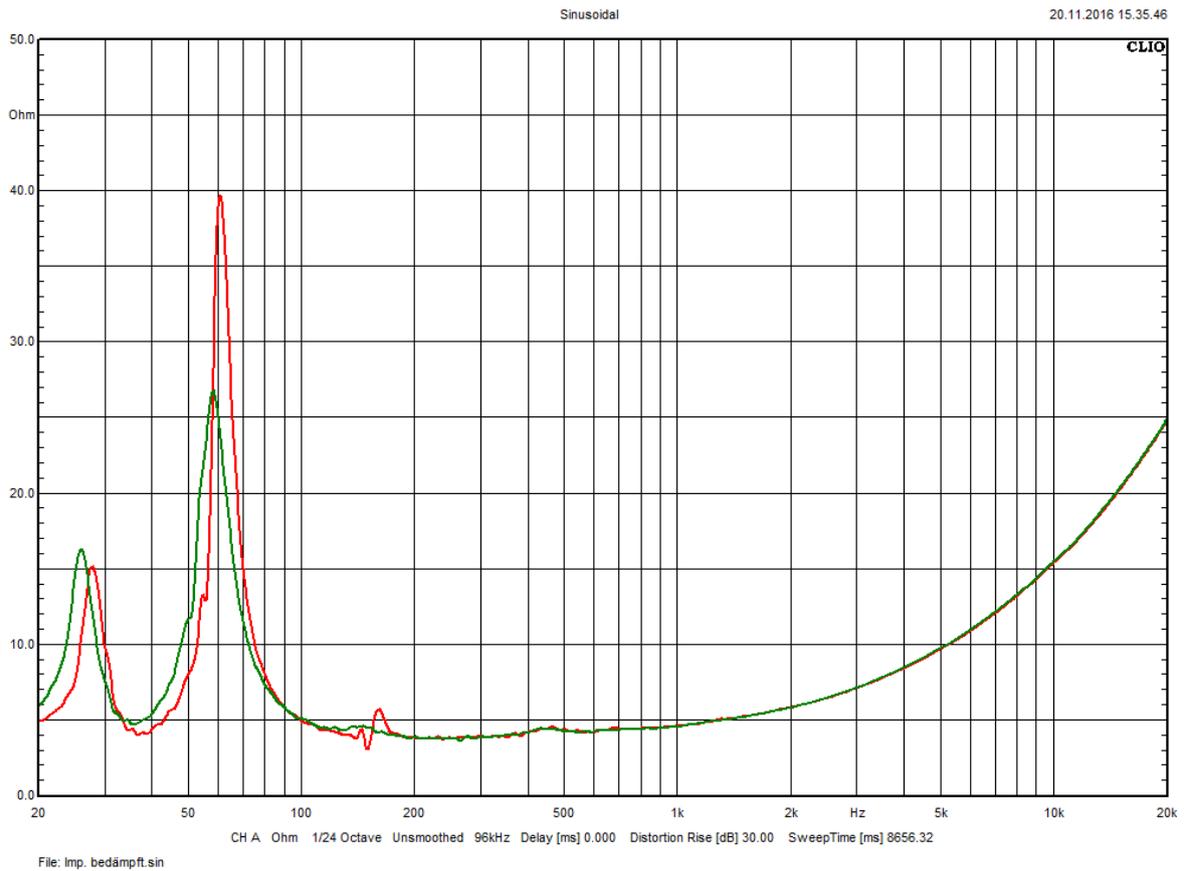
<https://de.wikipedia.org/wiki/Schalld%C3%A4mpfung>

Ursachen der Störquellen ermitteln

Wie bereits genannt erkennt man die Mängel im Frequenzgang und im Ausschwingverhalten. Da nicht erkennbar ist, ob der Fehler am Chassis oder an der Einbausituation liegt, lassen sich nur schwer Maßnahmen ableiten.

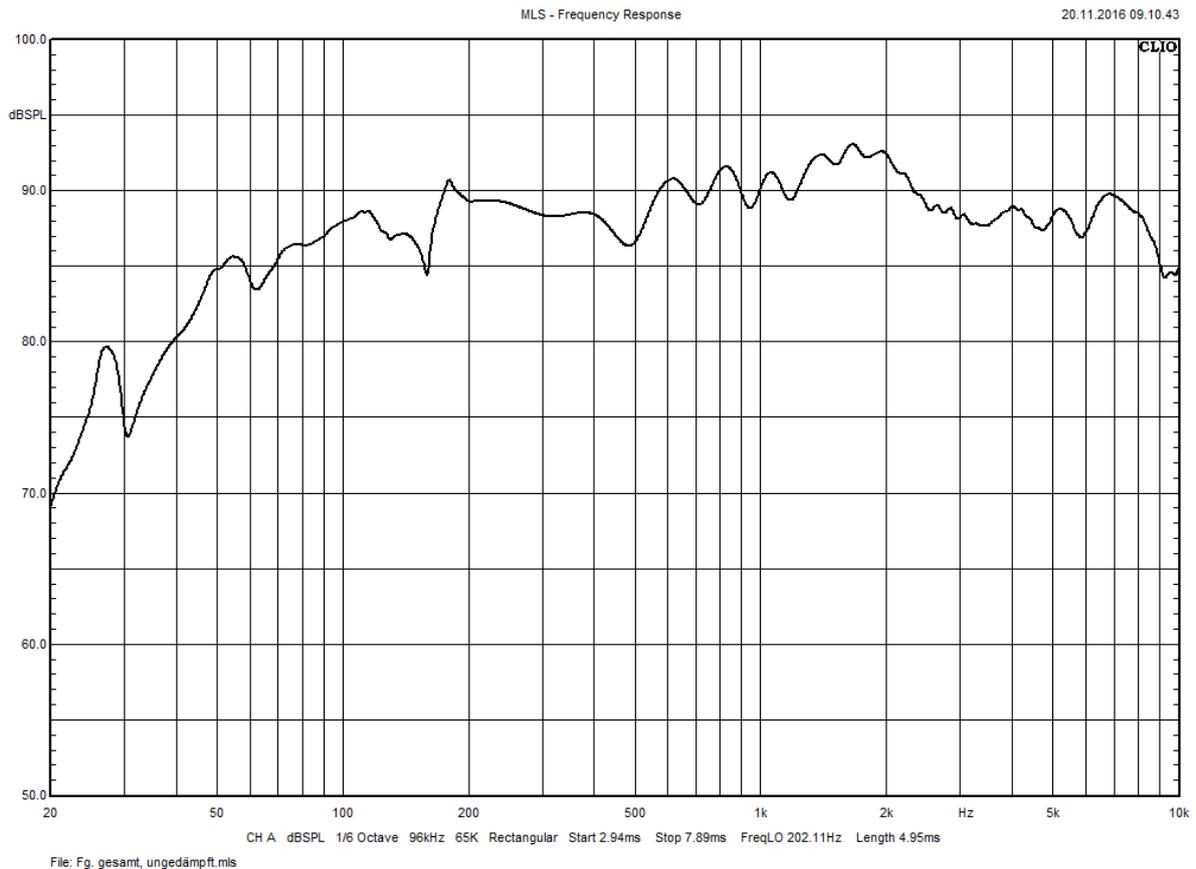
Einfacher geht es mit der Impedanzmessung. Die Messung der Impedanz zeigt stehende Wellen im Gehäuse auf. Gleichzeitig lässt sich noch die Abstimmfrequenz kontrollieren.

Beispiel:



Die berechnete Abstimmfrequenz von 35 Hz wird beim unbedämpften Gehäuse noch nicht erreicht, sondern erst nach Einbringen des Dämpfungsmaterials. Simpel gesagt muss der Schall beim Durchströmen des Dämpfungsmaterials einen weiteren Weg zurücklegen und dies kommt einer Volumenvergrößerung gleich. Mit der Volumenvergrößerung senkt sich die Abstimmfrequenz.

Weiterhin sehen wir deutlich eine Resonanz bei 160 Hz (rote Kurve – unbedämpft). Im Frequenzgang ist die Resonanz ebenso sichtbar, jedoch schwerer von anderen Einflüssen zu unterscheiden.



Die Ursache findet man durch Umstellen der Gleichung $c = \lambda * f$ nach $\lambda = c/f$.

λ - Wellenlänge

c – Schallgeschwindigkeit (340 m/s in Luft bei 15 grad. C)

f – Frequenz

Bereits eine Halbwelle ($\lambda/2$) erzeugt eine stehende Welle.

$$\lambda/2 = c/2f = 340/(2*160) = 1,0625.$$

In diesem Fall beträgt also die halbe Wellenlänge rund 1,06 m. Es ist die Längsresonanz im Gehäuse.

Grundsätzliche Maßnahmen

Um seine resonanzunterdrückende Wirkung zu entfalten, wird das Dämpfungsmaterial, möglichst in Bereichen der Schnelle, meist in der Gehäusemitte, angeordnet. Durch die Eigenschaften des Dämpfungsmaterials erfolgt eine Umwandlung der Schallenergie in thermische Energie. Die Schallschnelle befindet sich mittig zwischen den Gehäusewänden, die Watte müsste also dort angebracht werden. Leider funktioniert das aus praktischer Natur nicht immer perfekt, die Watte rutscht leicht nach unten. Eine erfolgreichere Maßnahme ist der "akustische Sumpf". Die Absorption funktioniert im "akustischen Sumpf", wenn die Stärke des Dämpfungsmaterials größer als ein Viertel der zu absorbierenden Wellenlänge ist, also 1/3 bis 1/4 der Höhe der Box.

Detailmaßnahmen

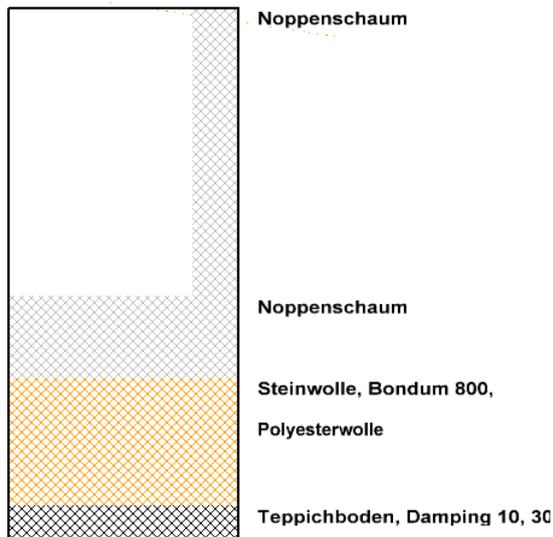
Das Problem liegt darin, dass es keine sicheren Regeln gibt.

Für die Bedämpfung stehen uns Materialien mit unterschiedlichen Strömungswiderständen zur Verfügung, die wiederum auch an verschiedenen Stellen eingesetzt werden sollten. Sinnvoll erweist sich wenig durchlässige Materialien an den Wänden anzubringen und zur Mitte hin schalldurchlässige Stoffe zu verwenden. Ein mittig angebrachter Stoff mit hohem Strömungswiderstand verhindert die Absorption und reflektiert lediglich den Schall. Dies ergibt keinen Sinn.

Anbei verschiedene Stoffe zur Bedämpfung:

Material	Strömungswiderstand
Polyesterwatte	sehr niedrig
(Noppen-) Schaumstoff	niedrig
Schafwolle	etwas niedrig
Glaswolle	etwas hoch
Steinwolle	hoch
Teppichboden (auf Wand)	sehr hoch

Ein akustischer Sumpf könnte z.B. folgenden Aufbau aufweisen:



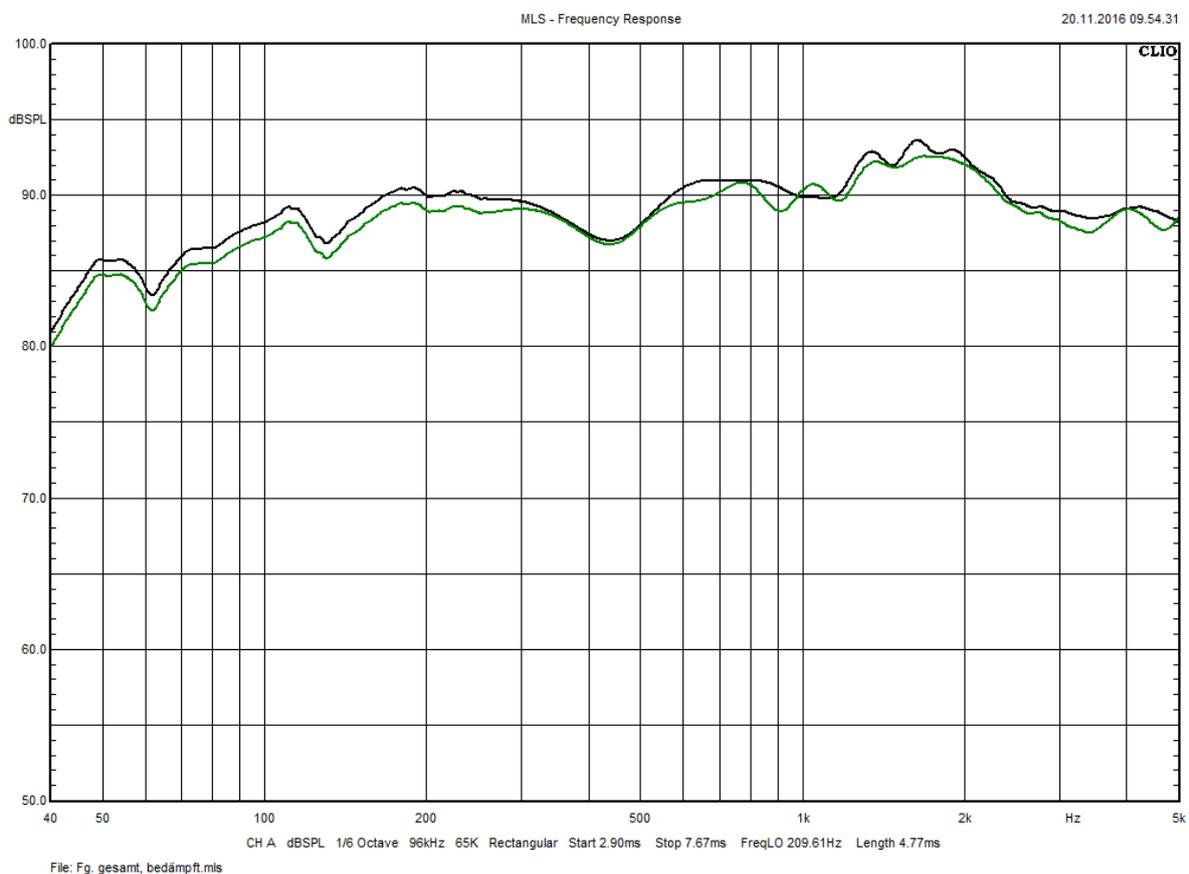
Bei den Bassreflexboxen sollte der Raum um das Reflexrohr frei bleiben.

Überdämpfung

Das richtige Maß abzuschätzen ist nicht leicht. Einerseits gibt es Zeitgenossen, die überhaupt nicht dämpfen, aus der Angst heraus wertvolle Energie könne dem Klangeindruck entzogen werden. Die Membran wird die Gehäuseechos schon nicht durchlassen. Versuche haben jedoch ergeben, eine solche Membran gibt es schlicht und ergreifend nicht.

Zum anderen existiert die Meinung mit sehr viel Dämpfungsmaterial eine kleine Box beliebig zu vergrößern. Wahrhaftig sinkt durch das Dämpfungsmaterial die Resonanzfrequenz und dies kommt einer Volumenvergrößerung gleich. Der Trick mit kleinem Gehäuse mehr Tieftönen zu erzeugen, funktioniert nur bis zu einer Füllung von 100%, danach steigt die Resonanzfrequenz wieder an. Da die Physik keine Kompromisse kennt, nimmt durch eine Überdämpfung der Wirkungsgrad wieder ab.

Anbei ein Beispiel:



Der grüne Frequenzgang zeigt die überdämpfte Box mit einem Abfall von ca. 2 dB im Tieftönen.

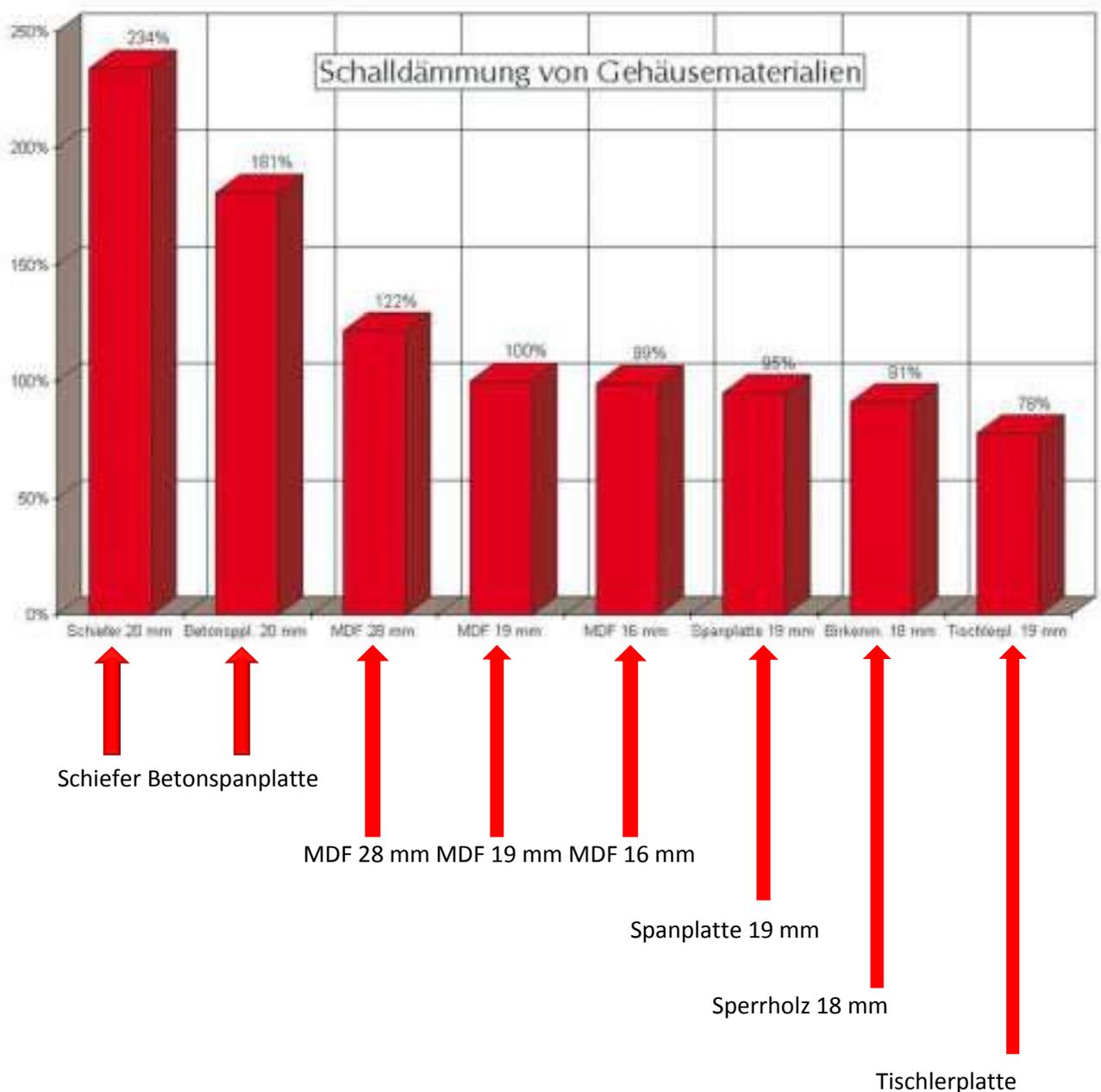
Um das richtige Maß zu finden, sollte man sich nach den Herstellerangaben richten. Bei der Visaton Dämpfungsmatte reicht ein Beutel für 20 Liter Volumen. Die Aramidfaser "Twaron" benötigt nur minimal 3 g pro Liter Volumen.

Dämmung

Die davon zu unterscheidende Schalldämmung bezeichnet die Behinderung der Schallausbreitung von Luftschall oder Körperschall in angrenzende Räume. Da jeder Körper bei Anregung schwingt, versetzt die Membranrückseite die Gehäusewände in Vibration. Diese wirken wiederum als Schallquellen deren Schall sich mit dem Lautsprecherschall überlagert und so den Klang verfärbt.

Einfluss des Gehäusematerials (Masseeinfluss)

Umso schwerer das Gehäuse und je dichter das Material, desto geringer ist der Schalldurchlass. Granit oder Schiefer sind ideal, aber schwer in der Herstellung und Transport. Für den Selbstbau ist Holz am besten geeignet:



Plattenware für den Lautsprecherbau

Stein

Mit Sicherheit das beste Material bezüglich der Schalldämmung. Am besten geeignet sind Marmor, Granit und Schiefer. Leider überwiegen einige Nachteile, die den Selbstbau erschweren. Da wären das hohe Gewicht, die schwierige und aufwändige Bearbeitung und der hohe Preis zu nennen.

OSB – Grobspanplatte (englisch oriented strand board)



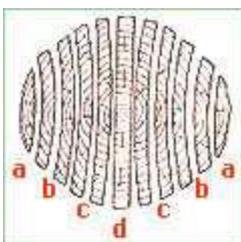
Grobspanplatten haben eine grobe Oberfläche und bestehen aus langen verleimten Holzfasern. Für Probearbeiten geeignet, die Schalldämmung entspricht dem von Sperrholz.

Furnierte Spanplatte

Akustisch gesehen eine Spanplatte, ähnlich der OSB Platte, es wird lediglich feineres Spanmaterial verwendet. Beidseitig furniert hat die Platte ein hervorragendes Aussehen. Lediglich an den Kanten ist das Spanmaterial noch zu sehen, so dass diese abgedeckt werden müssen. Die Oberflächenbehandlung erfolgt mit Klarlack, Wachs oder Politur (z.B. Schellack).

Vollholz

Rein äußerlich ebenfalls ein hervorragendes Material. Leider neigt es zu Eigenschwingungen und außerdem "arbeitet" es. Bedingt durch die Trocknung des Holzes biegt sich das aus einem Stamm geschnittene Brett vom Kernholz weg.



Wer z.B. die Seiten eines Gehäuses aus Vollholz auf Gehrung schneidet, dem kann es durchaus passieren, dass sich die Verleimung aufgrund von Spannungen wieder löst.

Besser geeignet sind Leimholzplatten, die fest verleimt als Schallwand verwendet werden.

MDF - Mittel-Dichte-Faserplatte

Aus der Sicht der Schalldämmung ideal für den Lautsprecherbau. Hat allerdings keine hohe Festigkeit und bricht an den Ecken schnell aus. Vor dem Lackieren muss gefüllert werden, da die Kanten sehr stark saugen.



Tischlerplatte

Die Tischlerplatte hat keine guten Dämmeigenschaften und neigt zum Mitschwingen. Diese besteht aus einer Mittellage und beidseitig aufgeleimten Furnier.



Biege-Sperrholz

Biegesperrholz wird bei runden Formen verwendet. Da es nur 6 mm stark ist, müssen mehrere Lagen übereinander geklebt werden. Das Sägen ist schwierig, da sich das Material beim Sägen leicht wellt. Teilweise lehnen Baumärkte solche Arbeit aus Sicherheitsgründen ab.

Multiplex

Etwas Teurer als MDF. Vom Prinzip ist es mehrlagiges Sperrholz, es ist gut zu verarbeiten und formstabil. Durch die furnierartige Oberfläche lässt es sich sehr gut Beizen oder Wachsen.



Einfluss der Steifigkeit, Materialstärke und Verstreibungen

Versteifungen verringern die Schwingamplitude der Wandung und verschieben die Resonanzfrequenz des Gehäuses. Ähnlich eines Stahlträgers, der durch Versteifungen bei geringerem Gewicht eine höhere Last aufnehmen kann und folglich auch weniger Vibrationen aufweist. Die freie Schwinglänge spielt dabei eine wesentliche Rolle. Kurze Abstände zwischen den Verstreibungen führen die Resonanz in Bereiche außerhalb des Arbeitsbereiches. Man sollte jedoch die Abstände zwischen den Versteifungen variieren, um eine Überlagerung der Resonanzspitzen zu vermeiden.

Die Wirkung der Versteifung ist allerdings nur im unteren Frequenzbereich gegeben (bis 500 Hz).

Bereits im Diagramm zur Schalldämmung war ersichtlich, welchen Einfluss die Materialstärke hat. Um komplizierte Berechnungen zu umgehen, richtet man sich nach einer Faustformel: 10 cm freie Länge des Gehäuses erfordert 1 cm Wandstärke bei Holz.



Materialdämmung durch Sandwichsystem

Eine Holzplatte wird mit einer Bitumenfolie verbunden. Besser ist Alubutyl, da hier Holz, Bitumen und Aluminium übereinander liegen. Diese Maßnahme ist aus dem Kfz-Bau, bei dem Türbleche mit Alubutyl entdröhnt werden, entnommen. In unserem Fall wird die Biegung der Holzplatte durch Dehnung oder Stauchung der Aluschicht verringert.

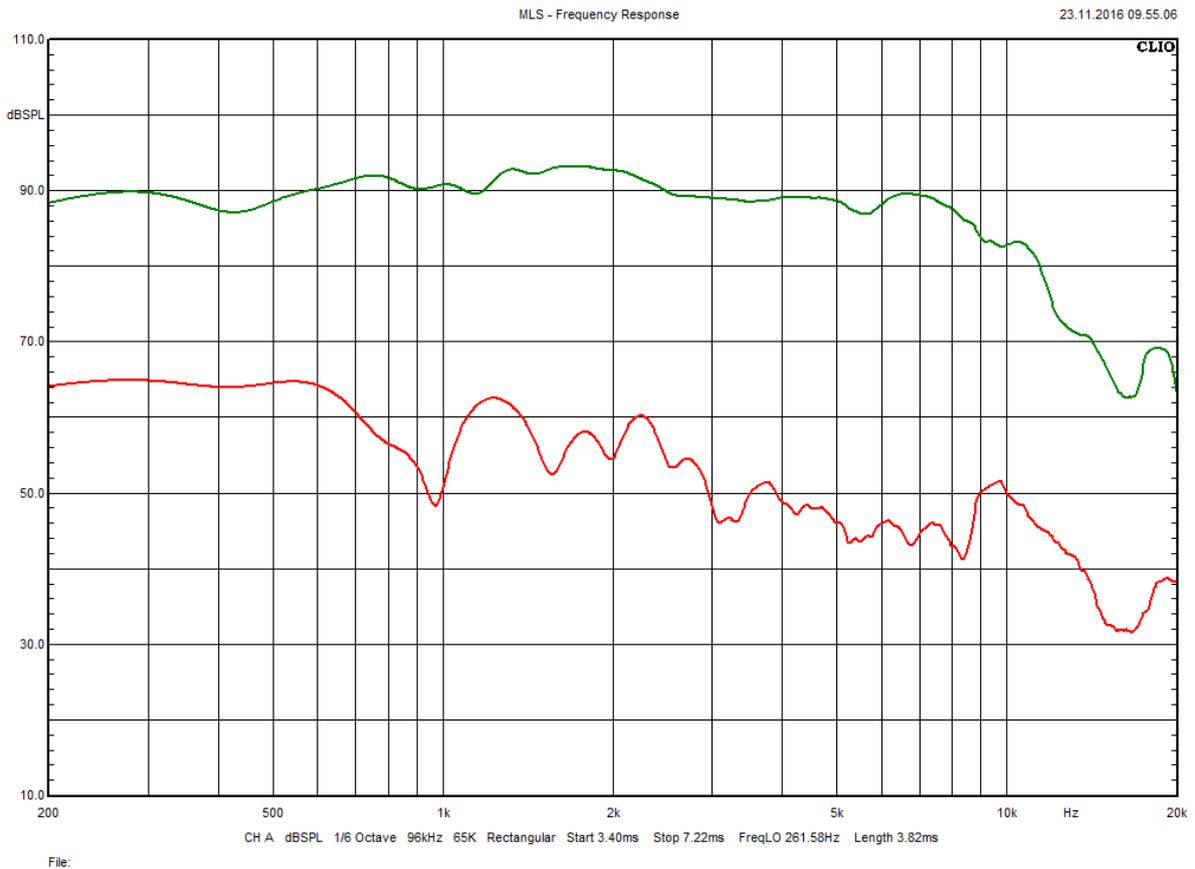
Wie in den folgenden Messungen ersichtlich ist, lässt sich die Wirkung nur im höheren Frequenzbereich nachweisen.

Folgender Versuchsaufbau wurde gewählt:

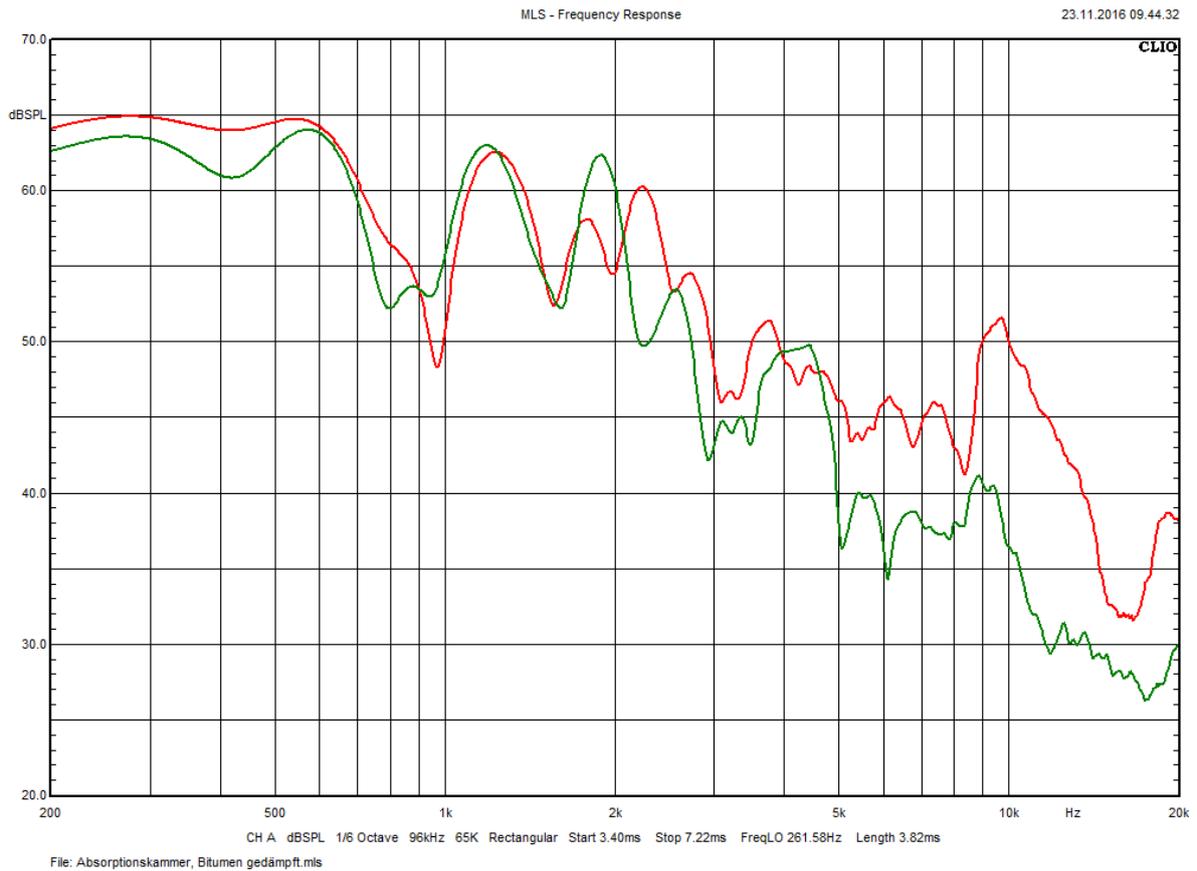
Basis ist eine Absorptionskammer. Ein Gehäuse aus 22 mm Multiplex wird mit Bitumen und einer zweiten inneren Holzauflage kräftig gedämmt. Die Füllung aus Steinwolle sorgt für ordentliche Bedämpfung. Um den Schalldruck in der Kammer möglichst niedrig zu halten, wurde ein Volumen von 100 Litern gewählt. Der Lautsprecher im Versuch strahlt den Schall an die Absorptionskammer ab, indem die Membran über eine Dichtfläche direkt in diese Kammer strahlt.

In 25 cm Abstand vom Lautsprechergehäuse befindet sich das Messmikrofon, deren Messwert für Vergleichszwecke auf einen Meter Messabstand umgerechnet wird. Die Messung erfolgt ohne Gating, um den tiefen Frequenzbereich nicht auszuschließen.

Hier die Ergebnisse:



Dies ist die Außenschallaufnahme eines reinen Multiplexgehäuses. Grün ist der Frequenzgang des Lautsprechers, rot der Frequenzgang des Schalls, welches über das Gehäuse abgestrahlt wird. Obwohl fast 30 dB Differenz im Schalldruck vorhanden sind, ist das Außengeräusch des Gehäuses deutlich hörbar.



Und hier sieht man den Vergleich einer Multiplexwandung (rot) zu einer Wandung mit Alubutyl (grün). Sehr deutlich ist zu erkennen, dass ein signifikanter Unterschied erst ab 5 kHz eintritt, also außerhalb des Arbeitsbereiches eines Tiefmitteltöners.