

Hallo, liebe Hobbyisten,

Es gibt Applikationen, für die selbst der recht kleine Cube12 Subwoofer zu groß ist.

Auch für Multisub- oder Arrayanwendungen sind kleinere Subwoofer vorteilhaft, da man sie besser unterbringen kann.

Und da der NS12-513-4A noch einen kleineren Bruder besitzt, der auf den Namen NS10-513-4A hört erscheint es sinnvoll diesen auch in ein kleines geschlossenes Gehäuse mit Hochpasskondensator zu stecken.



Das Entwicklungsziel ist ein sehr kleiner Subwoofer, der trotz seiner Größe ausreichend Tiefgang besitzt. Mit einer Simulation lässt sich im Vorfeld schon einiges über die Performance des Subwoofers sagen. Bei Simulationen ist es wichtig die Bedingungen der Simulation zu kennen, denn nur so kann man die Ergebnisse richtig deuten. Oft ist es so, dass einfache Programme das zu berechnende Gehäuse, bzw. das Volumen, in der unendlichen Schallwand simulieren. Die Gehäusemaße werden in diesem Fall nicht berücksichtigt.

Mit einem einfachen TSP Modell und einer Simulation in einer unendlichen Schallwand erhalten wir folgendes Ergebnis:

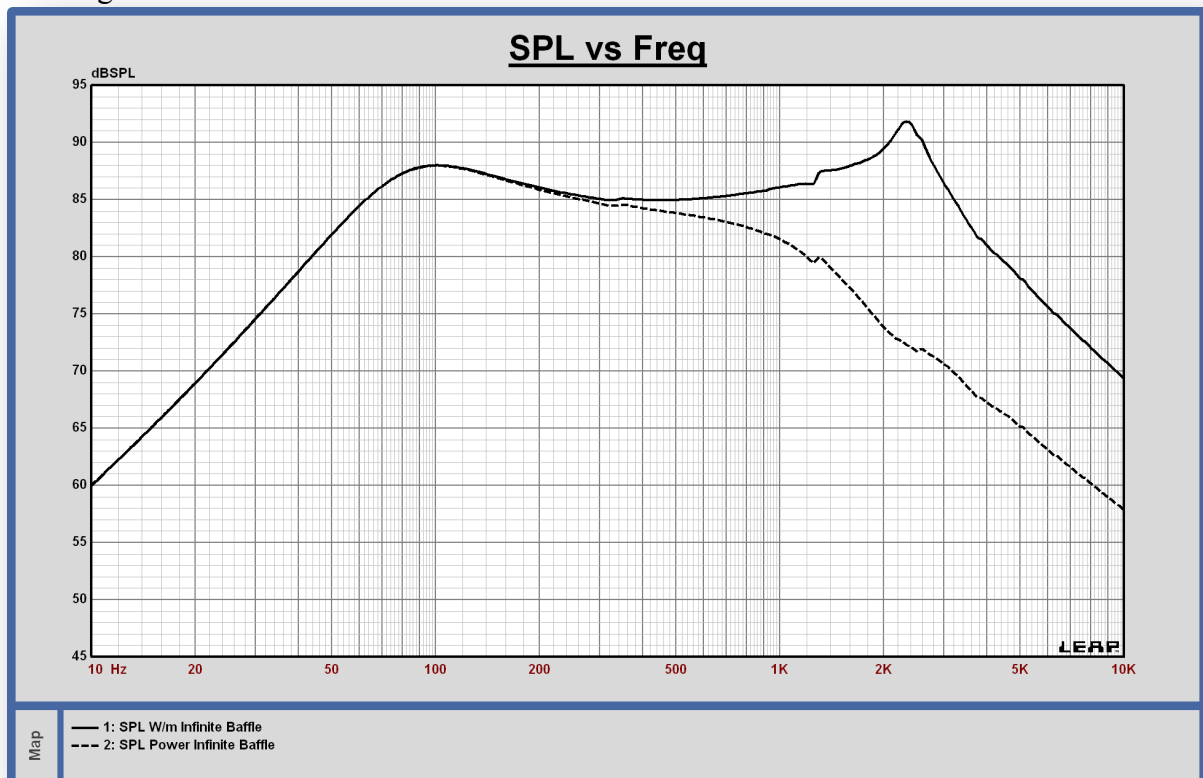


Abbildung 1: SPL und Energiefrequenzgang in der unendlichen Schallwand

Im Folgenden wollen wir den Lautsprecher im Gehäuse nun im Freifeld simulieren, denn die SPL Angaben beziehen sich meistens auf Freifeldbedingungen. Das Ergebnis sieht folgendermaßen aus:

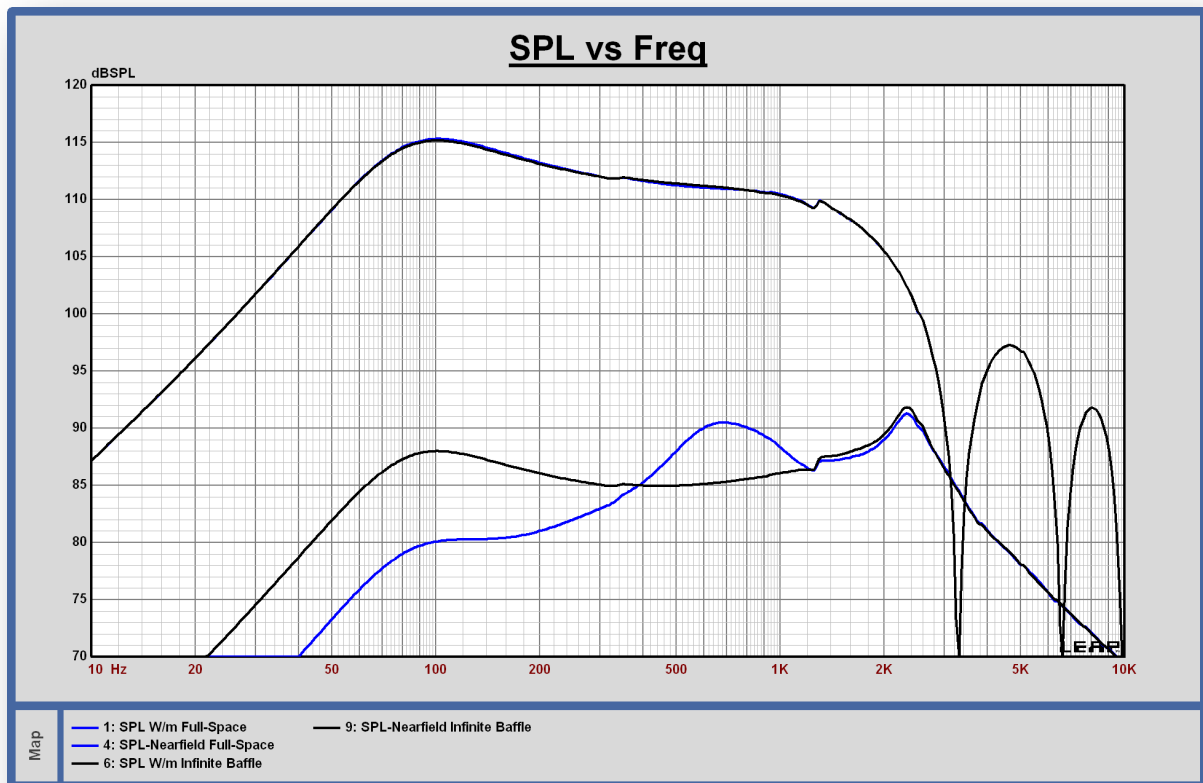


Abbildung 2: Freifeldsimulation

Man kann hier gut erkennen, dass die Amplitude unter Freifeldbedingungen bis zu 8dB verliert. Das liegt daran, dass sich die Welle hier kugelförmig ausbreitet und nicht halbkugelförmig, wie in der Simulation oben. Die Schallwand erhöht den Schalldruck zwischen 500Hz und 1kHz, was den Abmessungen des Gehäuses entspricht.

Im Diagramm sind auch die simulierten Nahfeldmessungen enthalten, die logischerweise identisch sein sollten und es auch sind. Wegen der Vollständigkeit wollen wir hier noch eine sogenannte „Ground-Plane-Messung“ simulieren. Bei dieser Messung steht der Proband auf einem schallharten Boden. Hinter dem reflektierenden Boden entsteht eine virtuelle identische zweite Schallquelle durch die Spiegelung bzw. der Reflexion des Schalls am Boden. Das ist der Grund warum der Schalldruck hier um ca. 6dB, je nach Absorption des Untergrundes, höher ist als bei Freifeldmessungen. Das Messmikrofon muss also 2m weit weg auf dem Boden liegen, um eine 1W/m Messung unter freiraumähnlichen Bedingungen zu erstellen. Das Prinzip der Spiegel- oder Bildladungen ist in der theoretischen Elektrodynamik sehr gängig um das elektrische Feld oder die Ladungsverteilung zu bestimmen.

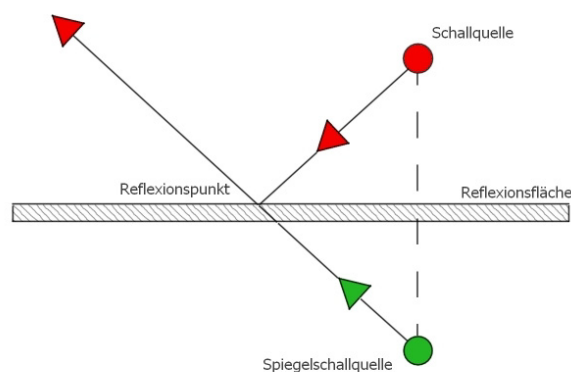


Abbildung 3: Spiegelschallquelle

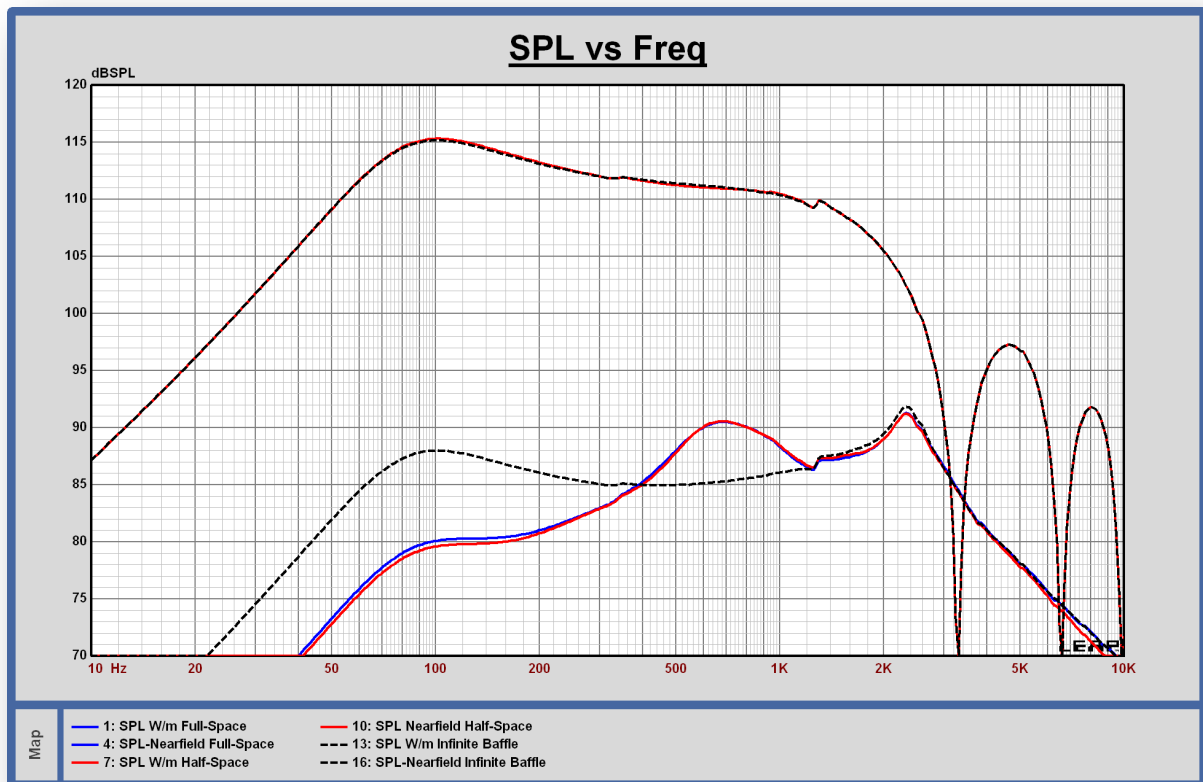


Abbildung 4: Vergleich zwischen Freiraum, Halbraum und unendlicher Schallwand

Man erkennt, dass die Halbraummessung mit der Freifeldmessung sehr gut übereinstimmt. Man sieht auch, dass die Nahfeldmessung in diesem Fall ab ca. 150Hz ihre Gültigkeit verliert. Das bedeutet, dass man mit einer Halbraummessung recht genau die Amplitude bestimmen kann. Für einen Hobbyisten ist es auch viel einfacher einen großen geteerten Parkplatz zu finden als einen sehr großen reflektionsarmen Raum.

Nahfeldmessungen sind nicht verkehrt, aber oft entstehen Probleme beim Zusammenfügen der gemessenen Nah- und Fernfeldmessungen, da man die absoluten Pegel nicht kennt. Hält man sich an eine einfache Simulation, dann erhält man unter Umständen einen höheren Schalldruck als er eigentlich ist. Gerade hier sind Halbraummessungen (Ground-Plane) im Vorteil.

Man könnte jetzt anmerken, dass Subwoofer meistens auf dem Boden stehen und dadurch ca. 6dB gewinnen. Meist oft sogar mehr, da die Subwoofer noch in Wandnähe stehen. Das ist richtig, aber die Amplitude von Lautsprechern wird in der Regel unter Freifeldbedingungen bei 1W/m oder bei 2,83V angegeben. Auch Hersteller geben oftmals den SPL W/m Schalldruck an, ohne die Nebenbedingungen (Freifeld, Halbraum, etc...) zu veröffentlichen. Im PA Bereich sind Halbraummessungen bei Tieftonsystemen Standard.

Wir geben den Schalldruck unter Freifeldbedingungen an. Für Halbraumbedingungen sind also ca. 6dB hinzu zu addieren.

Will man den Subwoofer optimal in das System integrieren, dann ist ein Messsystem oder ein Messservice eigentlich unerlässlich.

Zur Veranschaulichung hier nochmals die Gegenstände der Simulation:

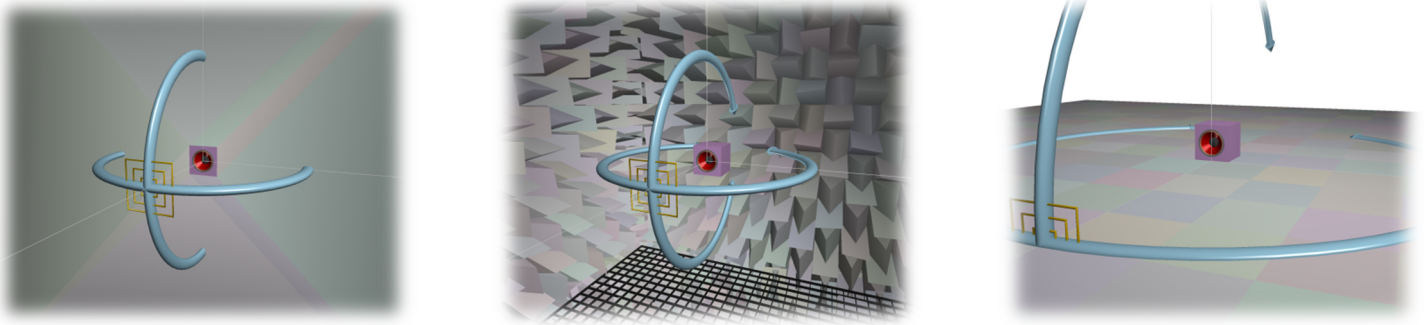


Abbildung 5: unendliche Schallwand, Freifeld, Halbraum (Das Kreuz markiert die Mikroposition)

Wenn man sich die Simulationen oben genauer anschaut, dann sieht man kleine Störungen um ca.350Hz und 1,2kHz. Das sind stehende Wellen, bzw. Moden in dem kleinen Gehäuse. Das passt auch gut zu den Maßen der Diagonalen der gegenüberliegenden Ecken und den Maßen der sich gegenüberliegenden Wände. Schon erstaunlich, dass selbst so ein kleines Gehäuse Probleme im Übertragungsbereich verursachen kann, obwohl das Volumen stark bedämpft ist. Wir können das überprüfen, indem wir den Schalldruck im Gehäuse simulieren.

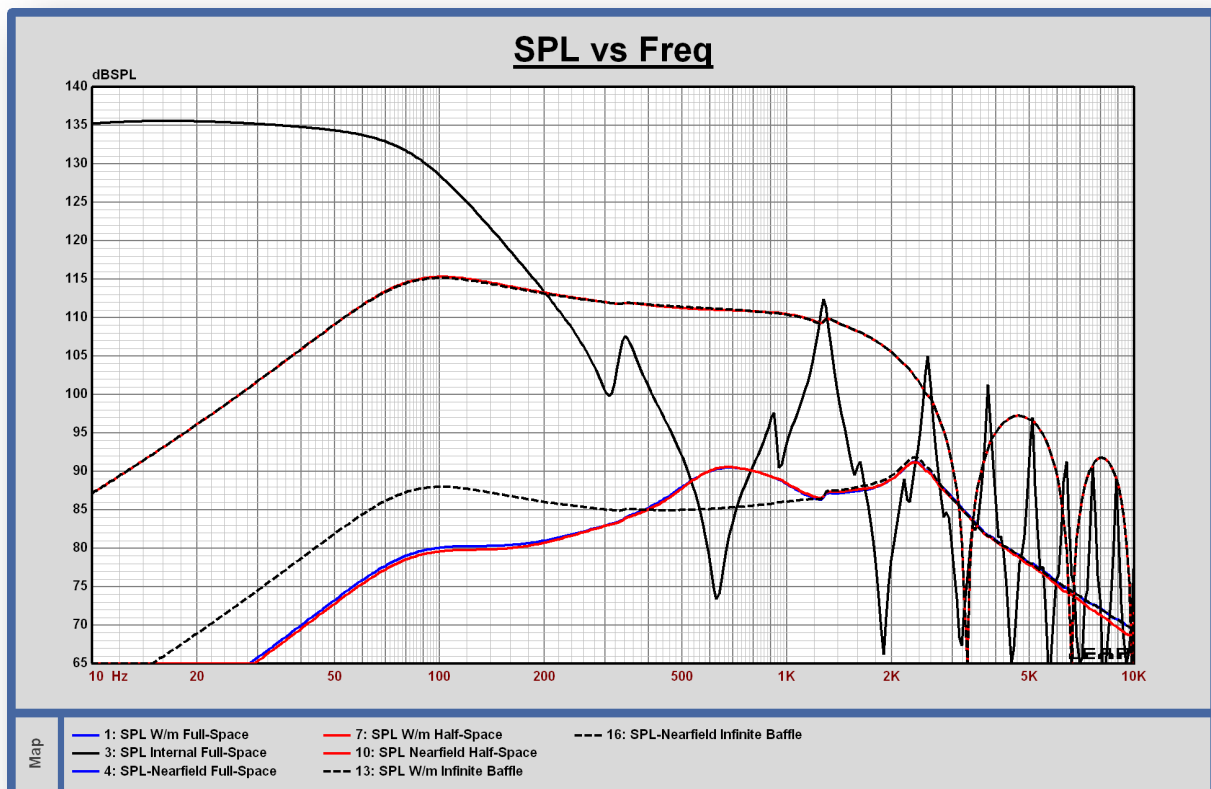


Abbildung 6: Schalldruck im Gehäuse

Nach den Simulationen wurde ein einfacher Prototyp gebaut. 6 Bretter und ein Ausschnitt für den Tieftöner und das Terminal reichen aus. Der Optik wegen kann man natürlich den Tieftöner bündig einlassen. Das erfordert aber den Besitz einer Oberfräse. Man kann aber auch einen Rahmen mit Akustikstoff vor dem Tieftöner anbringen. So bleibt der Subwoofer nahezu unsichtbar.

Zuerst wurden verschiedene Kondensatoren benutzt, um den idealen Hochpass zu bestimmen:

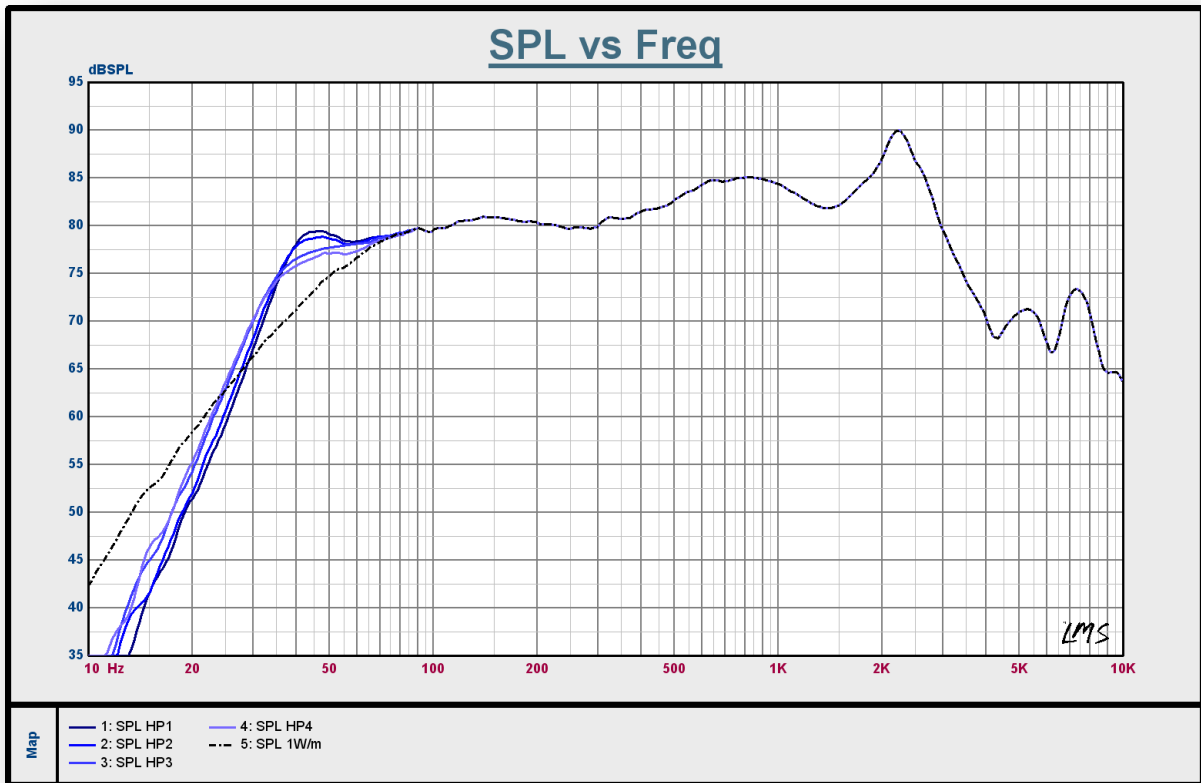


Abbildung 7: verschiedene Hochpasskondensatoren

Wie beim Cube12 dreht der Hochpasskondensator auch beim Cube 10 etwas an der Phase.

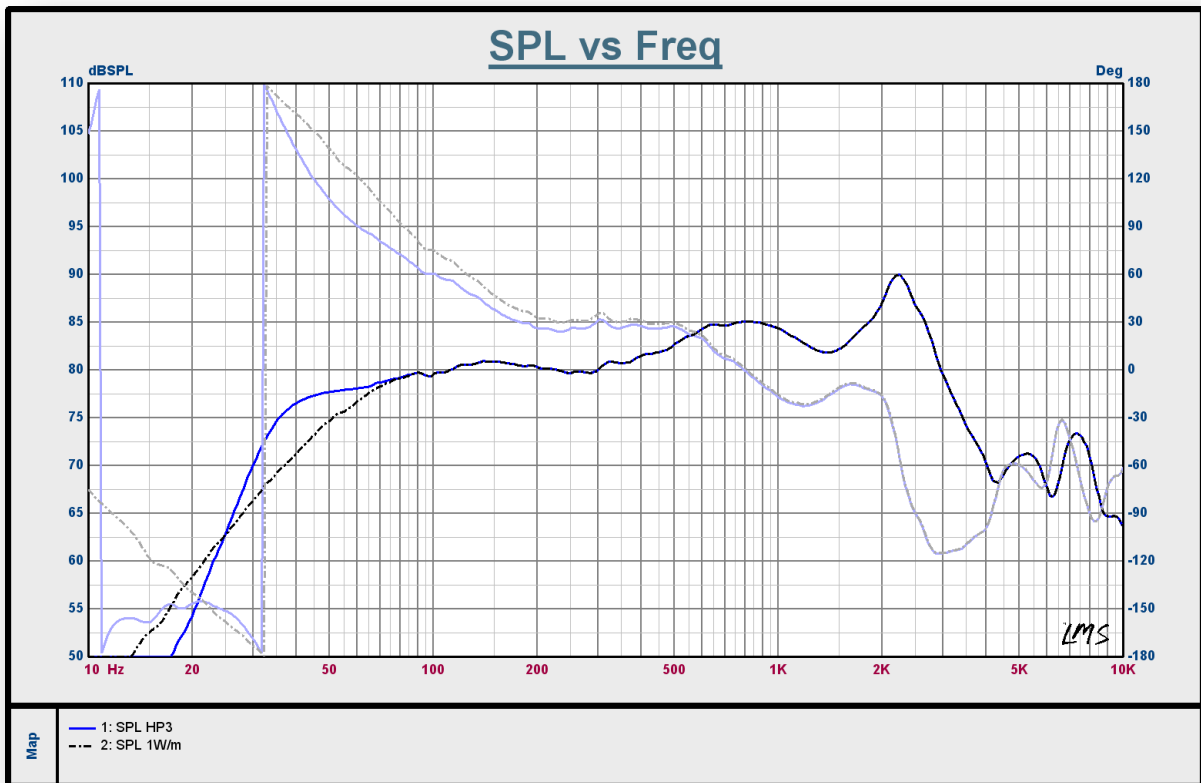


Abbildung 8: Phasendifferenz

Wie vielleicht der Eine oder Andere weiß, errechnet sich die Gruppenlaufzeit aus der Ableitung der Phase. Das bedeutet, dass sich bei einer Phasenänderung auch die Gruppenlaufzeit ändert.

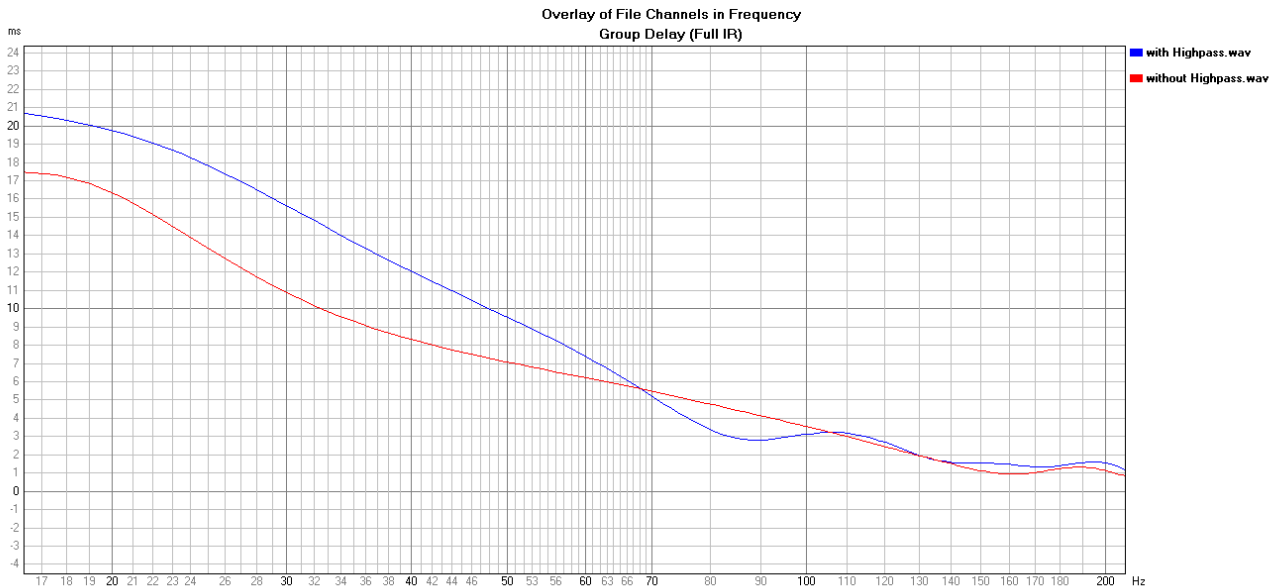


Abbildung 9: Gruppenlaufzeit

Die Gruppenlaufzeit liegt aber trotz des Hochpasskondensators auf erstaunlich niedrigem Niveau.

Ein Blick auf das Wasserfalldiagramm zeigt auch, dass der Subwoofer durch den Filter im Tieftonbereich etwas nachschwingt. Die Werte im Tiefbassbereich sind aber völlig unkritisch. Der Hörraum wird in diesem Bereich viel mehr Probleme verursachen.

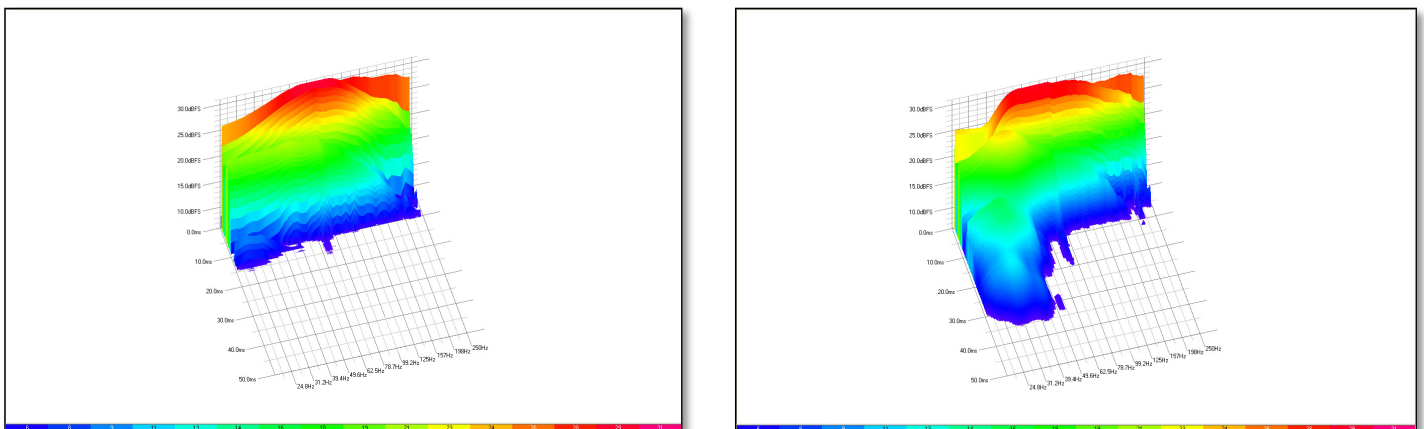


Abbildung 10: CSD ohne und mit Hochpass

Als nächstes wollen wir einen Blick auf die Verzerrungen werfen. Es sollte von vornherein klar sein, dass ein relativ kleiner Subwoofer in einem extrem kleinen Gehäuse in der Lautstärke begrenzt ist. Dennoch wurde Verzerrungsmessungen bis 100dB Freifeld durchgeführt, da der Subwoofer noch nicht an seinem Limit betrieben wurde. Wie bereits erwähnt wurde entsprechen die 100dB im Freifeld bereits mehr als 106dB unter realen Bedingungen.

Mit einem entsprechenden Subsonicfilter kann die Leistungsfähigkeit noch enorm gesteigert werden. Die Verzerrungen nehmen entsprechend dem Filter ab.

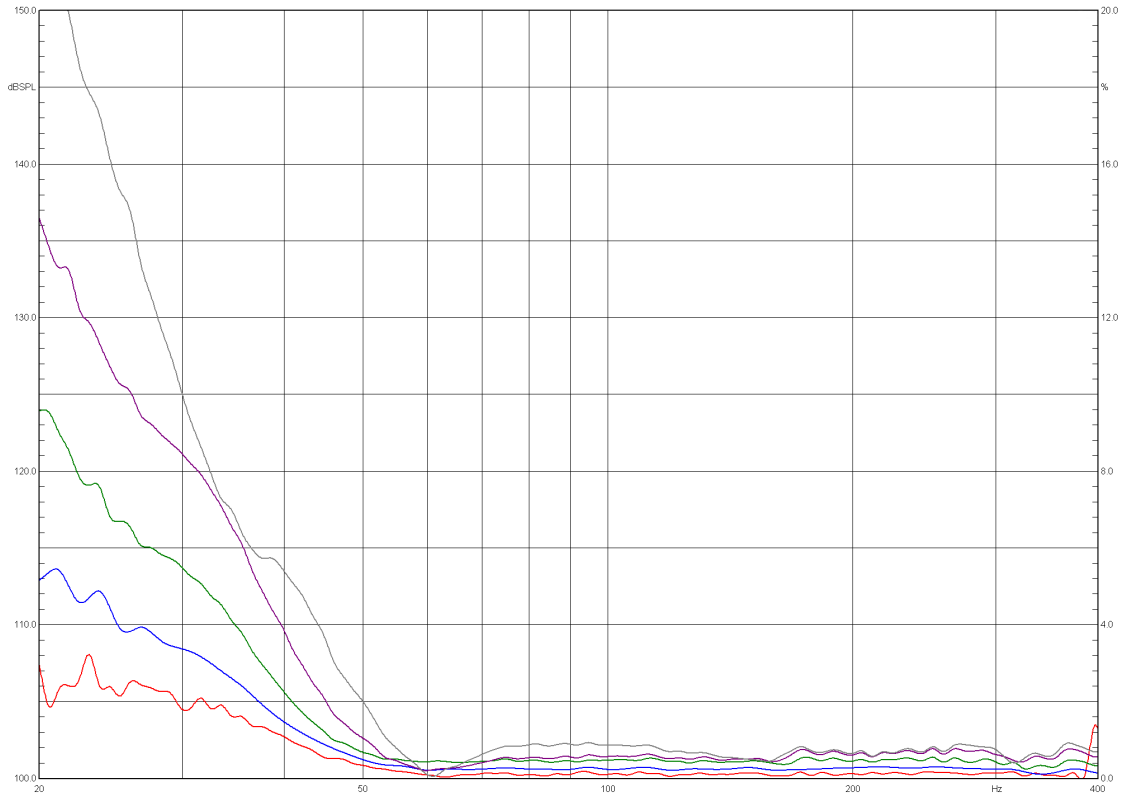


Abbildung 11: K2 (80dB = Rot; 85dB = Blau; 90dB = Grün; 95dB = Violett; 100dB = Grau)

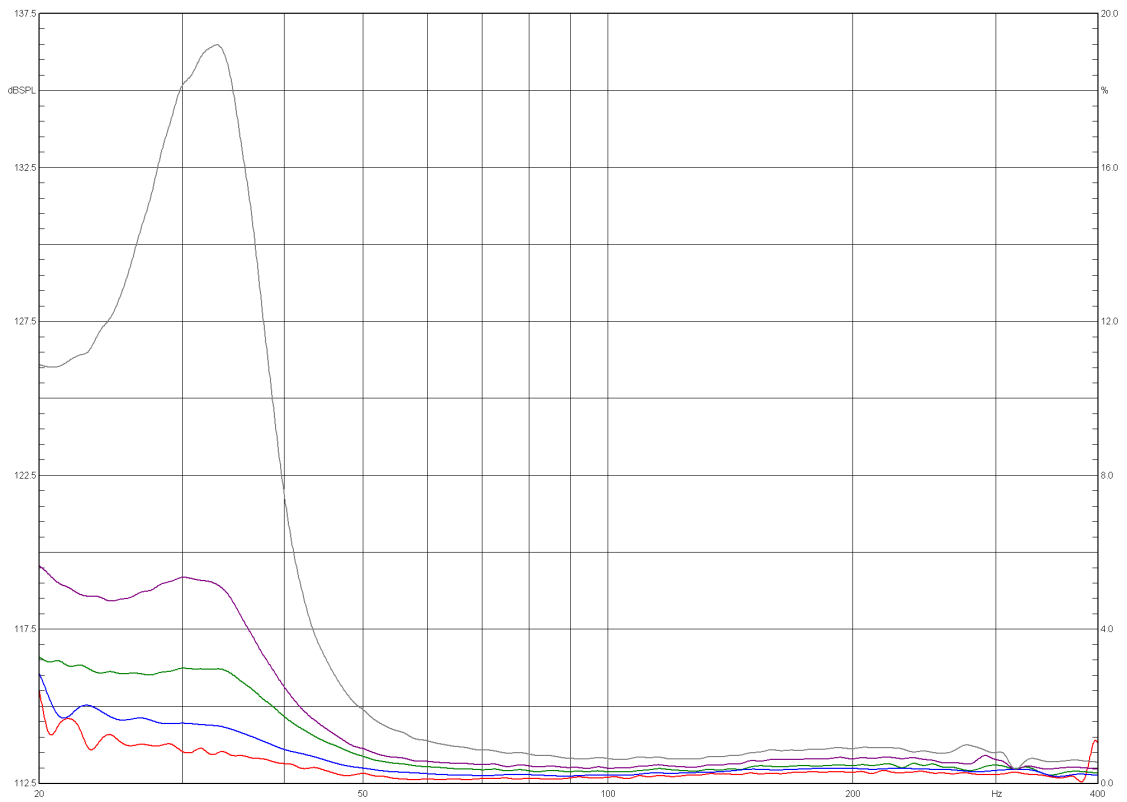


Abbildung 12: K3 (80dB = Rot; 85dB = Blau; 90dB = Grün; 95dB = Violett; 100dB = Grau)

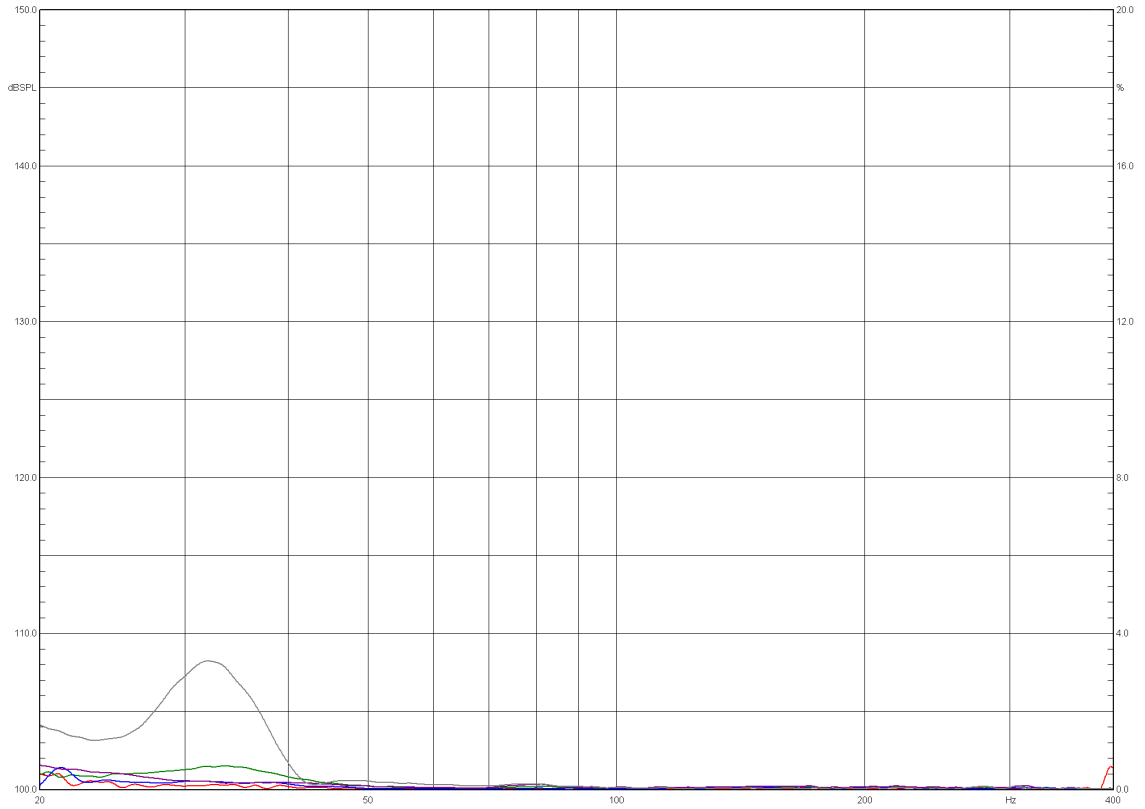


Abbildung 13: K4 (80dB = Rot; 85dB = Blau; 90dB = Grün; 95dB = Violett; 100dB = Grau)

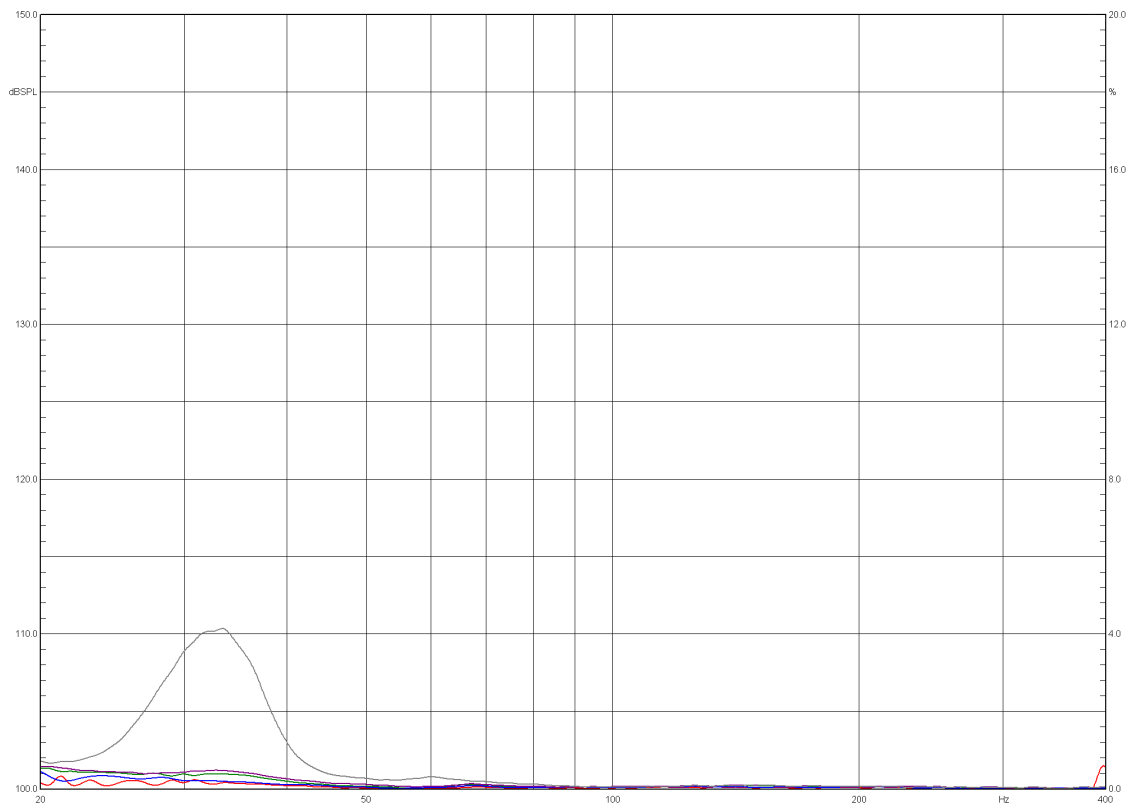


Abbildung 14: K5 (80dB = Rot; 85dB = Blau; 90dB = Grün; 95dB = Violett; 100dB = Grau)

Ohne aktiven Subsonicfilter sieht die Auslenkung der Membran über der Frequenz folgendermaßen aus:

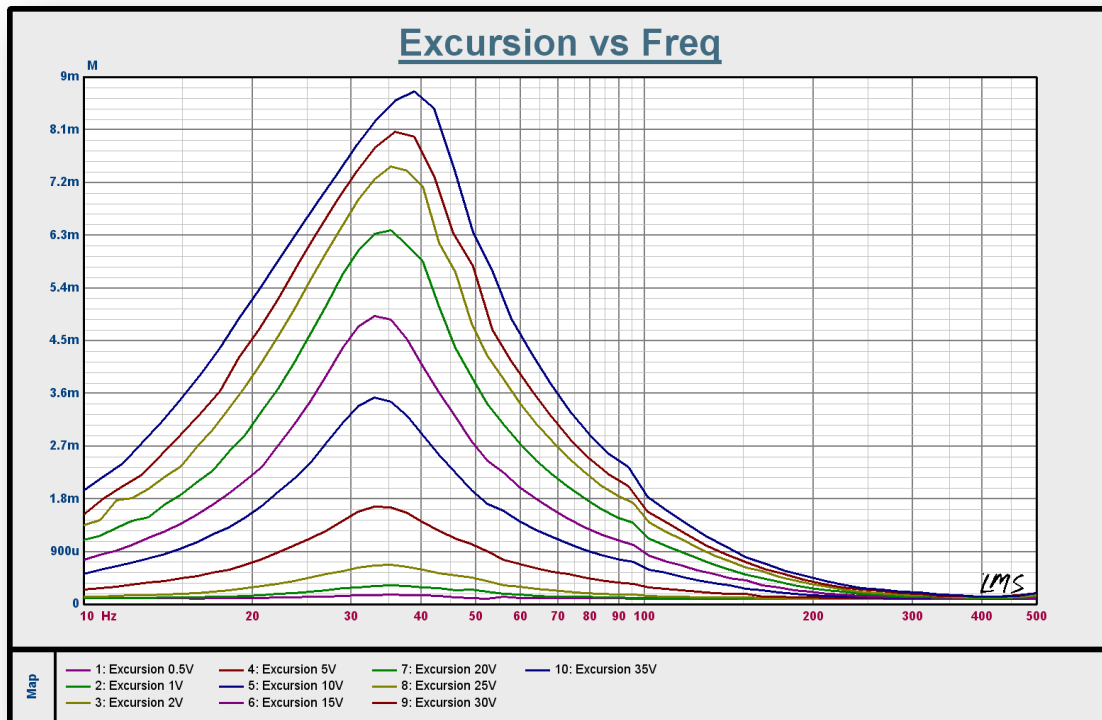


Abbildung 15: Auslenkung der Membran über der Frequenz bei verschiedenen Leistungen

Leichte Kompression ist im Bereich zwischen 30V und 35V zu erkennen. 35V entsprechen hierbei einer Leistung von ca. 310W. Im folgenden Impedanzschrieb sieht man die Wirkung des Hochpasses sehr deutlich.

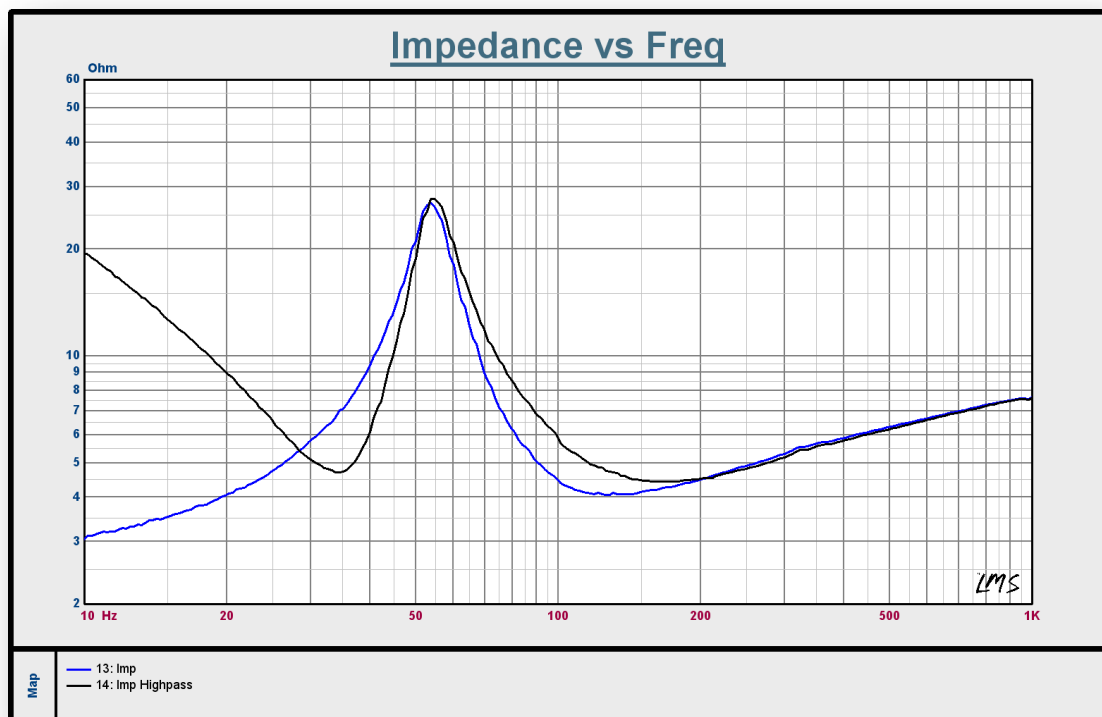


Abbildung 16 : Impedanz mit und ohne Hochpass

Wie beim Cube12 wollen wir auch beim kleinen Bruder wissen, wie sich Standard-Aktivfilter verhalten. Hierzu wurden die elektrischen Filter, wie man sie am Modul einstellen kann, über die gemessenen akustischen Filter aufgetragen.

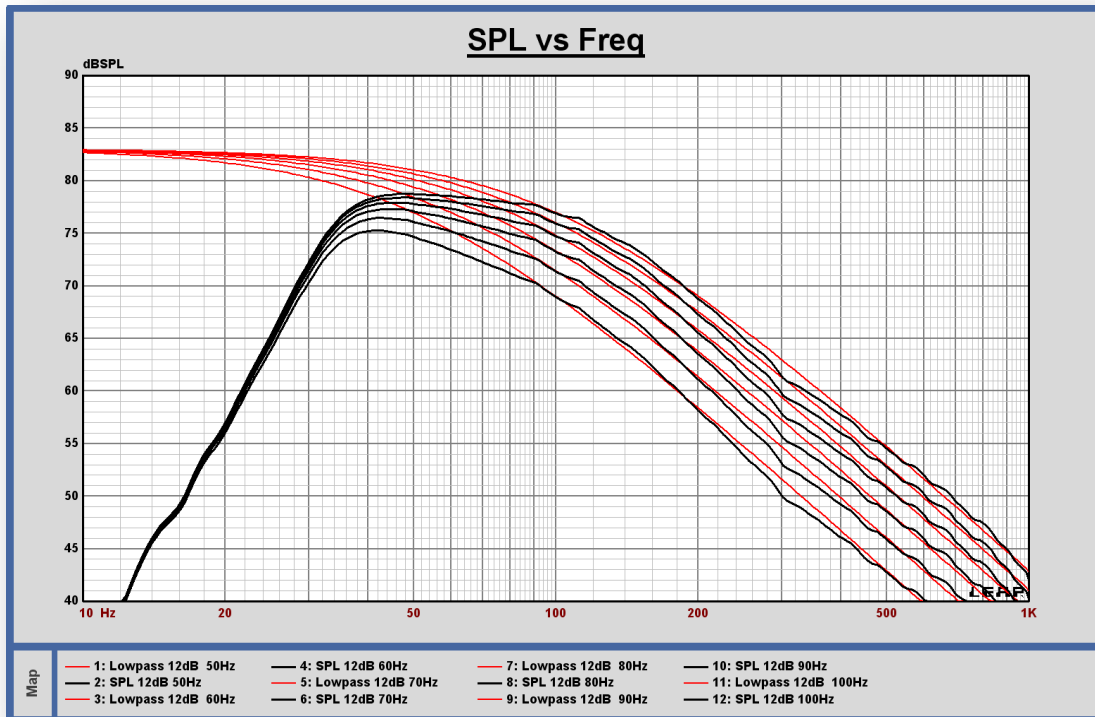


Abbildung 17: 12dB Filter bei 50Hz; 60Hz; 70Hz; 80Hz; 90Hz und 100Hz

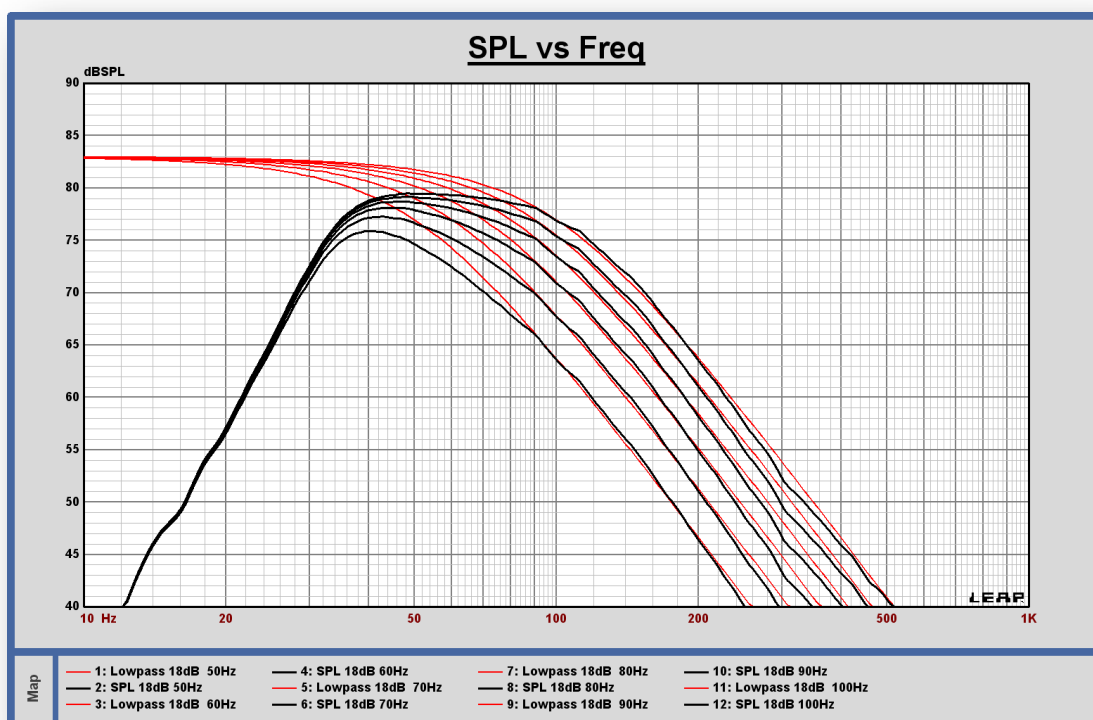


Abbildung 18: 18dB Filter bei 50Hz; 60Hz; 70Hz; 80Hz; 90Hz und 100Hz

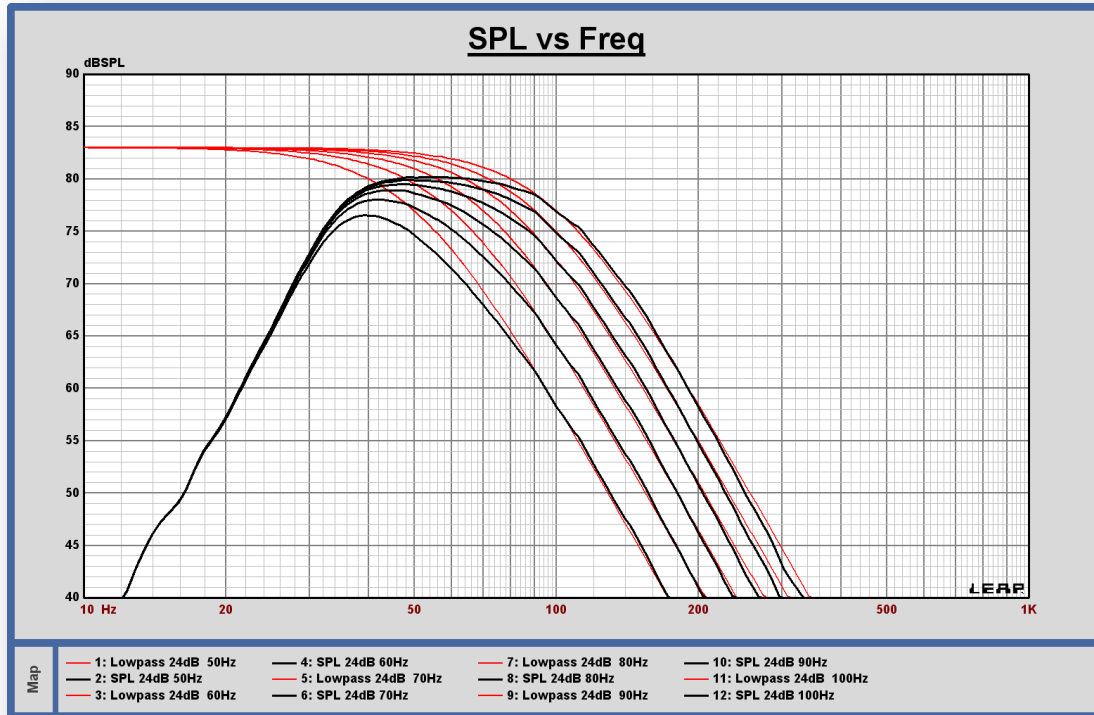


Abbildung 19: 24dB Filter bei 50Hz; 60Hz; 70Hz; 80Hz; 90Hz und 100Hz

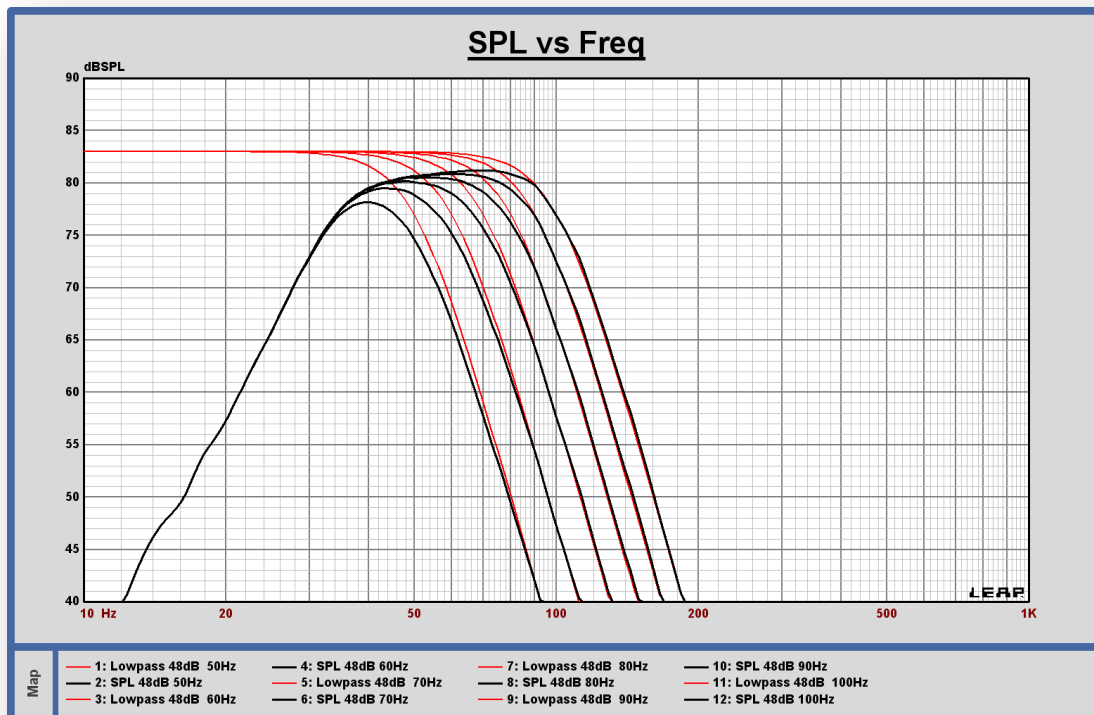


Abbildung 20: 48dB Filter bei 50Hz; 60Hz; 70Hz; 80Hz; 90Hz und 100Hz

Alternativer Aufbau ohne Hochpasskondensator und mit Hypex DS4.0 oder DS2.0 Aktiveinschub

Alternativ kann der Cube12 mit einer Tiefbassanhebung anstatt des Hochpasskondensators betrieben werden. Dafür sind die Aktiveinschübe von Hypex bestens geeignet. Die Module DS4.0 und DS2.0 können im Bereich von 20Hz bis 50Hz um bis zu 6dB angehoben werden. Der Frequenzgang und die Wirkung des EQ's des Moduls sind hier an einer 40Ohm Last zu sehen. Der EQ-Verlauf ist vom Subsonicfilter geprägt.

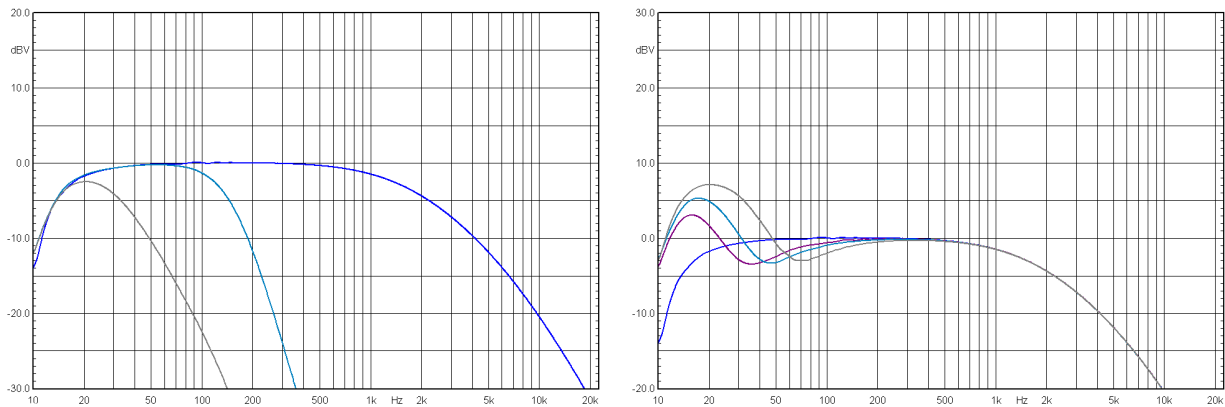


Abbildung 21

Frequenzgang 40Ohm ohne Filter; Filter minimal; Filter maximal

Equalizer +6dB bei 20Hz; 35Hz und 50Hz

Die Leistungsangabe von 200W an einer 40Ohm Last wird erreicht. Auch sonst zeigt das Hypex Modul keine Schwächen.

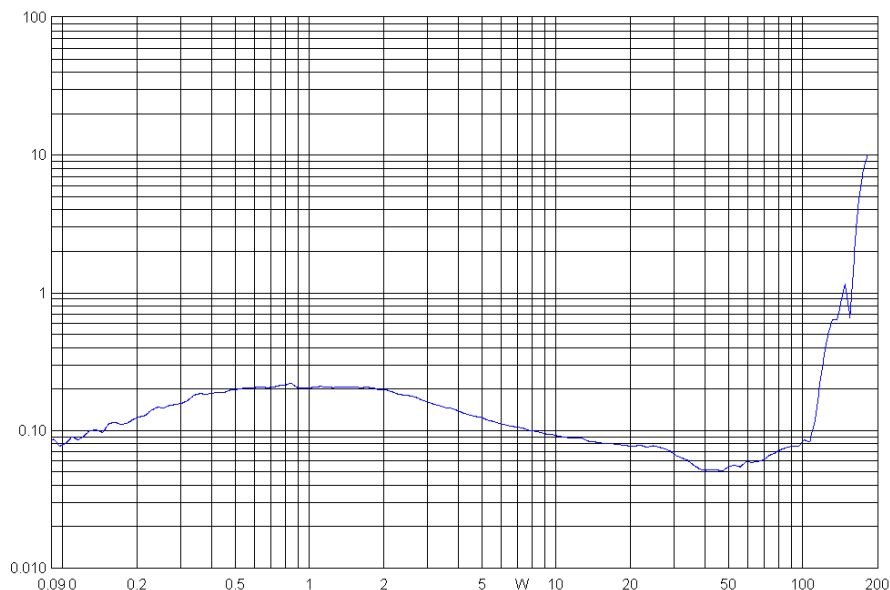


Abbildung 22: THD bei 1kHz (x-Achse = Leistung in Watt; y-Achse = Verzerrungen in %)

Im folgendem Diagramm sind vier verschiedene Trennfrequenzen des Subwoofers mit dem Hypexmodul bei 30Hz, 60Hz, 90Hz und 120Hz ohne EQ aufgetragen. Bitte beachten, dass die Schalldruckwerte nicht absolut sind, also nicht auf 1W oder 2,83V etc. bezogen sind.

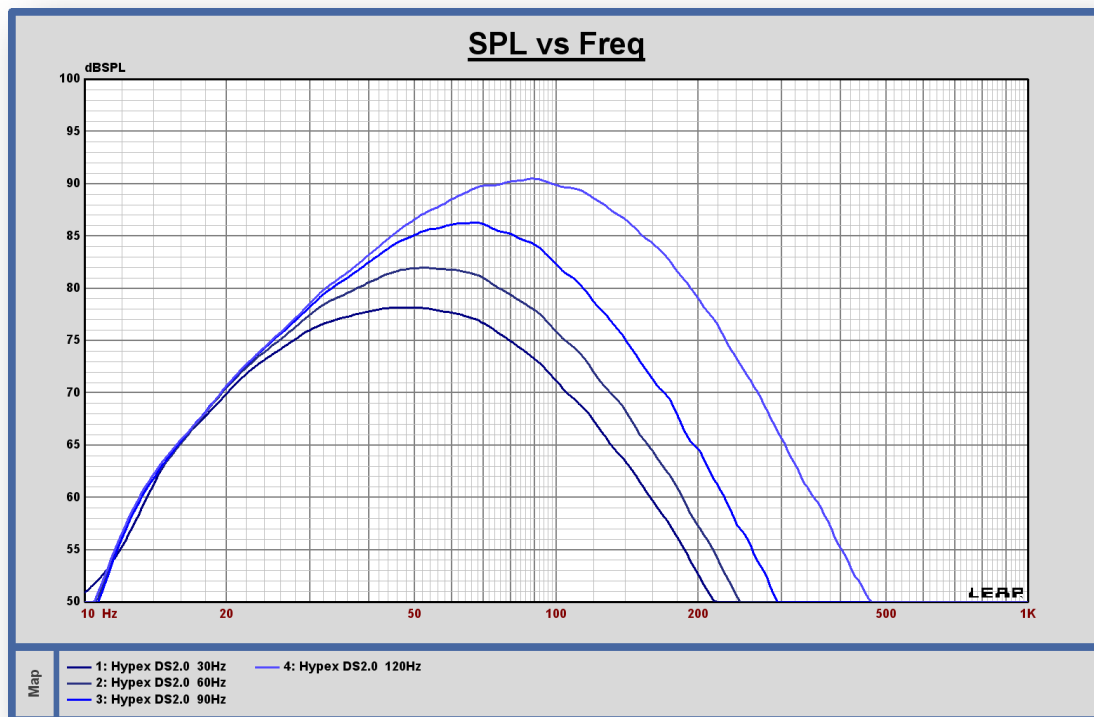


Abbildung 23: Filterwirkung des Hypexmoduls

Der größte Vorteil der Module ist der durchstimmbare Equalizer. Damit kann man den Subwoofer fast beliebig tief abstimmen. Man sollte aber nicht vergessen, dass die Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Tiefgang abnimmt. Entweder laut oder tief → Man hat die Qual der Wahl... oder des Geschmacks...

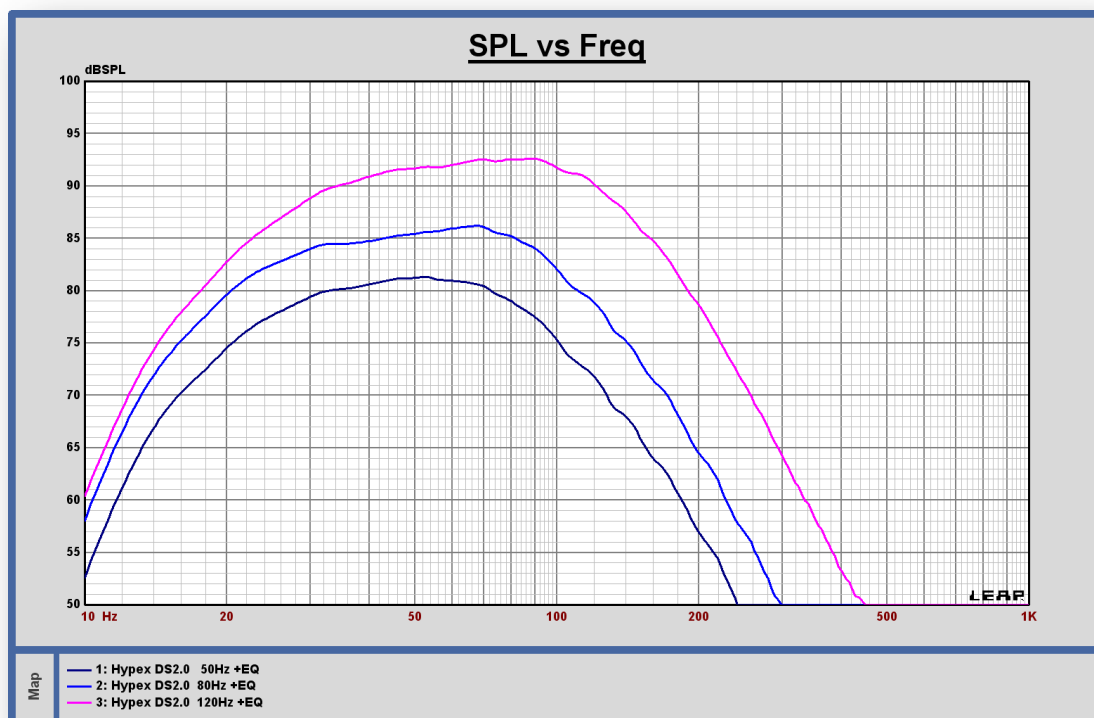


Abbildung 24: Filterung bei 50Hz; 80Hz und 120Hz mit EQ

Wie in Abbildung 23 ist auch hier der Schalldruck nicht absolut. Die Amplituden wurden etwas verschoben, um den Verlauf besser ablesen zu können. Wie man sieht kann der Subwoofer mittels Equalizer sehr tief abgestimmt werden. 25Hz sind kein Problem.

Die Filterung wurde bewusst bis 120Hz angegeben, weil der Subwoofer auch ideal geeignet ist um kleine Satelliten zu unterstützen. Man könnte mit dem Woofer auch ein halbaktives FAST (Fullrange and Subwoofer Technology) System realisieren.

In Verbindung mit einem DSP lassen sich auch sehr einfach Subwoofer Arrays oder Multisubanordnungen realisieren.

Selbstverständlich kann der Subwoofer auch mit dem Chassis nach unten zeigend, in einer sogenannten Downfire-Anordnung, betrieben werden.

Aufbau

Der Aufbau des Subwoofers ist mit 6 Brettern plus Ausschnitt sehr einfach. Wir haben uns für sehr große Rundungen entschieden um dem Subwoofer ein modernes Design zu verleihen. Das ist für die Wiedergabe aber nicht entscheidend. Möchte man das Chassis in die Frontplatte einlassen ist eine Oberfräse notwendig. Man kann die Front auch mit Akustikstoff beziehen. Akustisch macht das keinen Unterschied.

Die Bedämpfung des Subwoofers ist sehr wichtig. Das richtige Maß ist entscheidend, denn die Impedanz ändert sich mit verschiedener Bedämpfung. Dadurch wirkt der Hochpasskondensator nicht ideal. Im Bausatz ist natürlich ein bebildeter Bau- und Bedämpfungsplan enthalten.

Der im Bausatz enthaltene normale raue Kondensator hat eine Spannungsfestigkeit von ca. 35V und ist für normale Anwendungen völlig ausreichend.

Will man den Subwoofer aber völlig ausloten, dann empfiehlt sich der Kauf eines höherwertigen MKP Kondensators, der eine Spannungsfestigkeit von über 100V besitzt. Außerdem besitzt der MKP eine deutlich längere Lebenszeit und Beständigkeit, als der raue Elko.

Auch der Lautsprecher wurde eingelassen um eine gefälligere Optik zu erzielen.

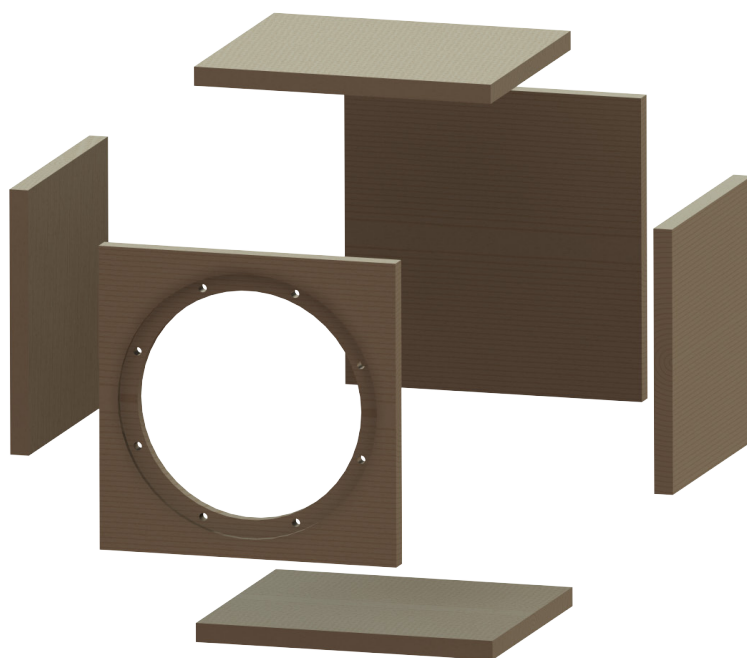


Abbildung 25: Explosionsansicht

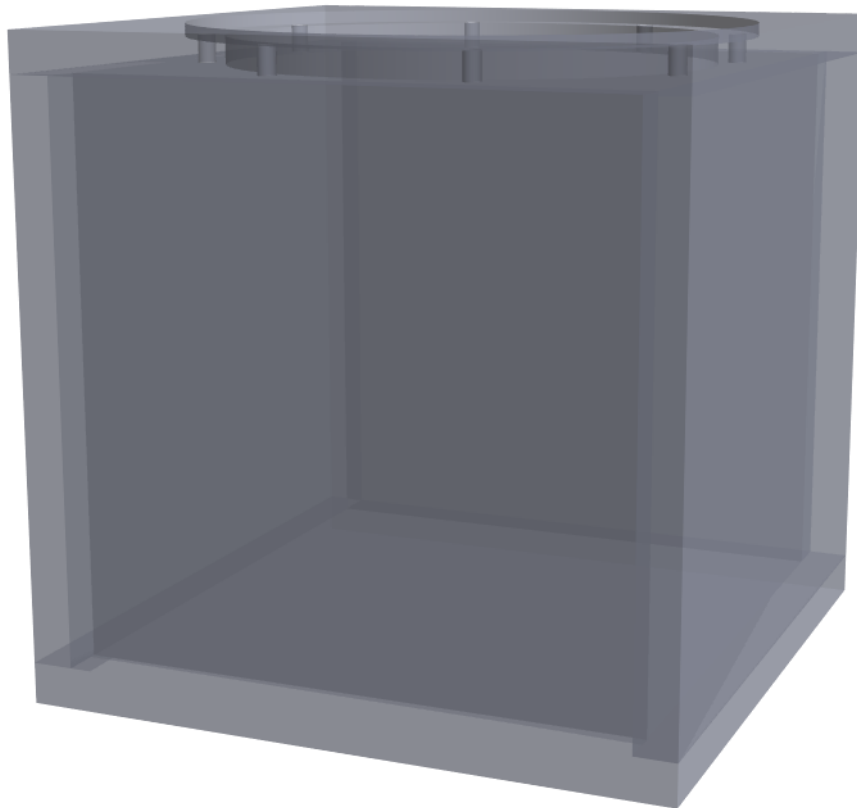


Abbildung 26: 3D CAD Modell (Acrobat 9 wird benötigt)

Klangbeschreibung

Der Cube 10 tönt wie der Cube12 sehr sauber und unaufdringlich. Tiefe Töne reproduziert er richtig und auch die Dynamik kann voll und ganz überzeugen. Natürlich kommt der Cube10 nicht ganz an die Lautstärke des großen Bruders heran, aber für normalen Musikbetrieb reicht es im Normalfall allemal aus. Wie schon erwähnt ist in Verbindung mit dem Hypexmodul die Maximallautstärke von der Abstimmung abhängig. Man sollte sich aber von der Größe des Subwoofers nicht täuschen lassen...

Durch die geringe Größe kann man den Subwoofer auch teilaktiv mit einem Breitbänder oder mit kleinen Regallautsprechern kombinieren. Wenn der Subwoofer unter den Lautsprechern steht, sind Trennungen über 100Hz problemlos möglich.

Einen großen Schritt nach vorne erzielt man bei Gebrauch von 2 oder mehr Subwoofern. Der Raum wird so deutlich gleichmäßiger angeregt. Daraus resultiert ein, um einiges, sauberer Bass. Auch Bassarrays lassen sich mit diesem Subwoofer unauffällig realisieren. Gerade im Heimkino sind solche Anordnungen einzelnen Subwoofern überlegen.

Viel Spaß beim Nachbauen wünscht euch das Quint Audio-Engineering Labor Team!