

## Entwicklung einer Frequenzweiche

### 1 Worum geht's?

#### Inhalt

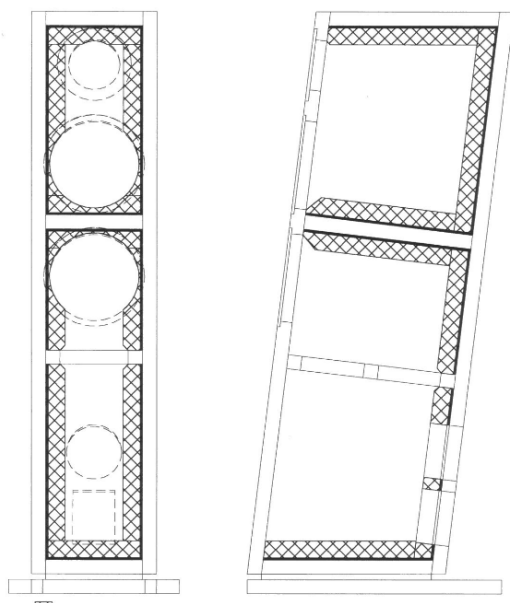
Dieser kleine Artikel soll einen groben Überblick über das Vorgehen bei der Entwicklung einer Frequenzweiche geben und damit dokumentieren, wie sich aus einzelnen Chassis ein ganzer Lautsprecher ergibt.

#### Vorgehen

Es wird für einen bestehenden Bausatz eine neue Frequenzweiche entwickelt. Das bietet den Vorteil, dass das ganze Lautsprecherkonzept vom Bausatz übernommen werden kann und sich dieser Artikel auf das Thema Frequenzweiche beschränken kann. Dabei werden zuerst die Chassis kurz vorgestellt und einzeln im Gehäuse gemessen. Anschliessend wird die Entwicklung und Funktionsweise der neuen Weiche dokumentiert. Zum Schluss wird die neue Weiche mit der Originalweiche verglichen.

#### Lautsprecherkonzept

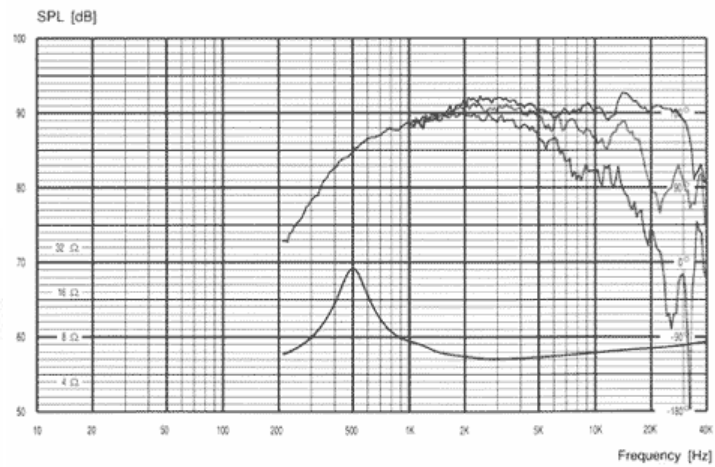
Beim verwendeten Bausatz handelt es sich um die *Viper*.<sup>1</sup> Es ist ein Bausatz bestehend aus Scan Speak Chassis, zusammengefügt zu einem so genannten 2 ½ -Weg System. Darin spielen ein Hochtöner (HT), ein Mitteltöner (MT) und ein Tieftöner (TT). HT und MT werden bei etwa 2.3 kHz getrennt. Der MT läuft zu tiefen Frequenzen hin ungefiltert und spielt in einem geschlossenen Gehäuse. Der TT unterstützt den MT im Tieftonbereich, er funktioniert quasi als Subwoofer und wird als bassreflex betrieben.



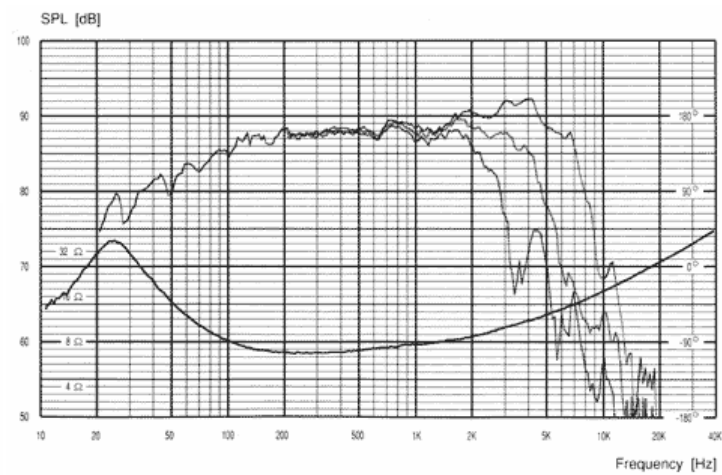
<sup>1</sup> Vgl. Link zum Bauplan der Viper im Anhang.

**Chassis<sup>2</sup>**

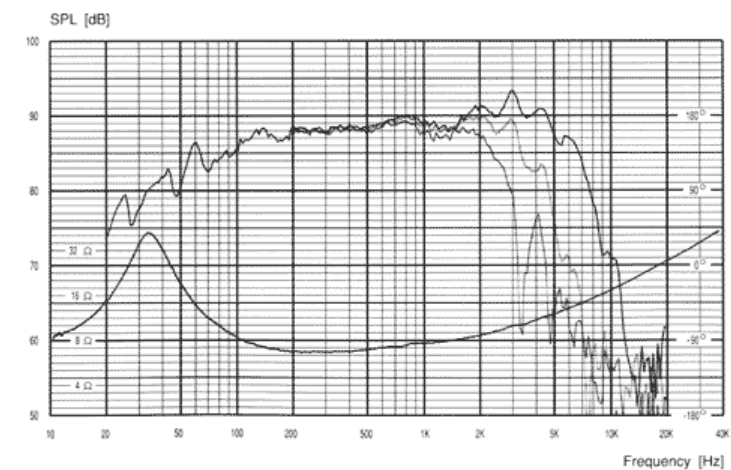
Hochtöner: Scan Speak D2905/99000



Mitteltöner: Scan Speak 18W/8546-01



Tieftöner: Scan Speak 18W/8545-00



<sup>2</sup> Alle Abbildungen dieses Abschnitts stammen aus den Datenblättern des Herstellers, vgl. Links im Anhang.

Der HT zählt zu den legendären Scan Speak Chassis, der unter anderen den exzellenten Ruf von Scan Speak Kalotten begründet. Speziell ist die grosse Frontplatte, die für eine gewisse Richtcharakteristik sorgt (so genannter Waveguide). Das bedeutet, dass der HT auch im unteren Bereich seines Übertragungsverhalten nicht ganz breit strahlen sollte und sich damit ideal an den MT anbinden lässt, dessen Rundstrahlverhalten in seinem oberen Frequenzbereich naturgemäss abnimmt.

MT und TT sind beide 18cm gross und bieten einen beachtlichen linearen Hub von +/- 6.5 cm. Während der MT über eine Kevlar Membran verfügt, besteht jene des TT aus einem Gemisch aus Papier und Karbon-Fasern.

Alle Chassis zeichnen sich durch relativ hohe Belastbarkeit und niedriges Verzerrungsniveau aus. Die abgebildeten Frequenzgänge sind dem Datenblatt des Herstellers entnommen. Diese wurden nicht in einem normalen Gehäuse gemessen, sondern auf einer breiten Normschallwand. Die Frequenzgänge erweisen sich als ziemlich linear, inwieweit sich das in Praxis im realen Gehäuse wiederholt, müssen die eigenen Messungen zeigen.

### **Entwicklungsziel**

Der Originalbausatz erzielt unter Einsatz von möglichst wenigen Bauteilen bereits ein sehr gutes Klangniveau. Ziel der Entwicklung der neuen Weiche ist es, ohne primäre Rücksicht auf die Anzahl der verwendeten Bauteile, die Chassis so zusammenzufügen, dass der Frequenzgang möglichst linear ist und die Phasenbeziehung zwischen MT und HT optimal ist.

### **Weichenentwicklung per Simulationssoftware**

Basis für die Entwicklung der Weiche bilden die Messungen von Frequenzgang, akustischer und elektrischer Phase sowie des Impedanzverlaufs der einzelnen ins fertige Gehäuse eingebauten Chassis. Die Messdaten aus dieser realen Umwelt werden in ein Simulationsprogramm<sup>3</sup> importiert. Mit diesen Messdaten wird am Computer die Frequenzweiche entwickelt. Der grosse Vorteil der Simulationssoftware liegt darin, dass nur einmal gemessen werden muss und anschliessend ganz ohne Löten und immer wieder Nachmessen mit wenigen Mausklicks unzählige Kombinationsmöglichkeiten ausprobiert und ihre Wirkung auf Frequenz-, Impedanz- oder Phasenverläufe sofort überprüft werden kann.

Die Entwicklung oder das Finden der geeigneten Weichentopologie und -bauteile gleicht nachwievor mehr einem heuristischen als einem wissenschaftlichen Verfahren. Die Annäherung an das letztendliche Ziel erfolgt hauptsächlich über das Prinzip Versuch und Irrtum.

---

<sup>3</sup> Als Simulationsprogramm wird *boxsim* verwendet.

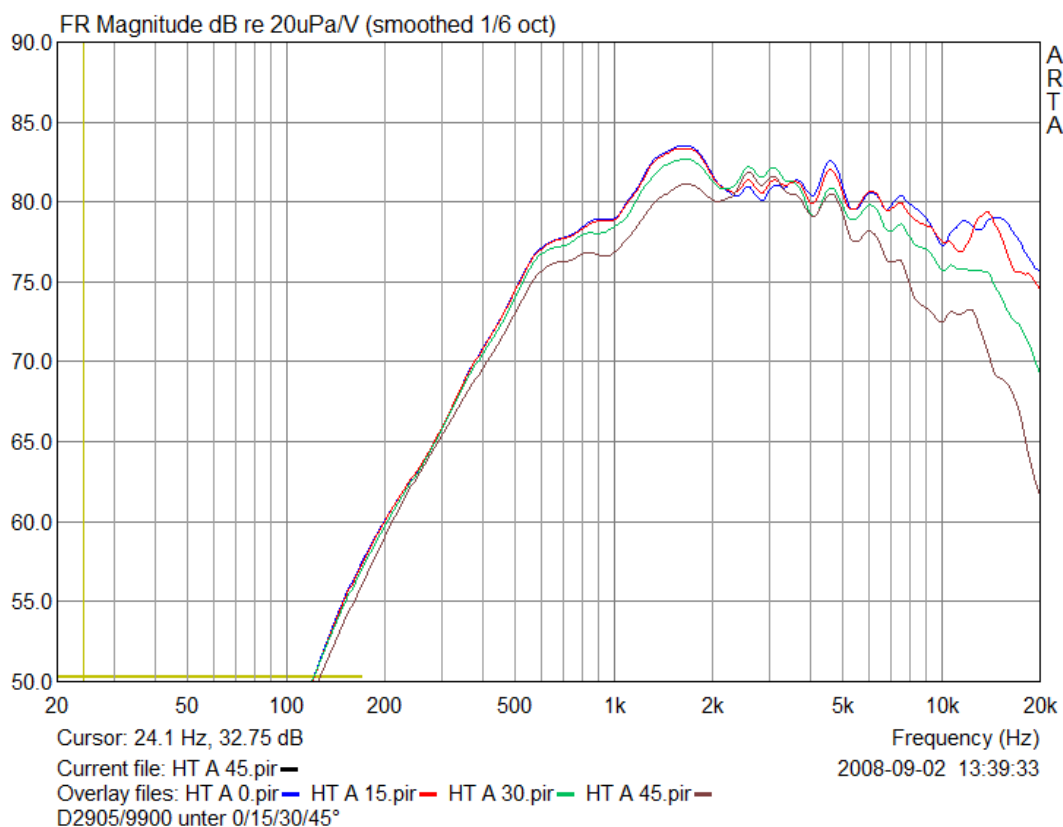
## 2 Die Messwerte der einzelnen Chassis im fertigen Gehäuse

### Messbedingungen

Die einzelnen im Gehäuse eingebauten Chassis werden im Abstand von 60 cm von der Schallwand gemessen. Das Lautsprechergehäuse steht 50 cm ab Boden in einem 2.8 Meter hohen Raum, mindestens 2 Meter von jeder Seitenwand entfernt. Als Messsoftware wird ARTA verwendet. ARTA kann durch die Wahl eines Zeitfensters, das endet, bevor die erste Raumreflexion beim Mikrophon eintrifft, reflexionsfreie Frequenzgänge generieren. Der zur Verfügung stehende Messraum erlaubt reflexionsfreie Messungen bis auf etwas 200 Hz hinunter. Unterhalb davon besitzen die Messkurven wenig Aussagekraft. Die absolute Pegelhöhe ist nicht kalibriert.

### Hochtöner

#### Frequenzgang unter Winkeln von 0° bis 45°

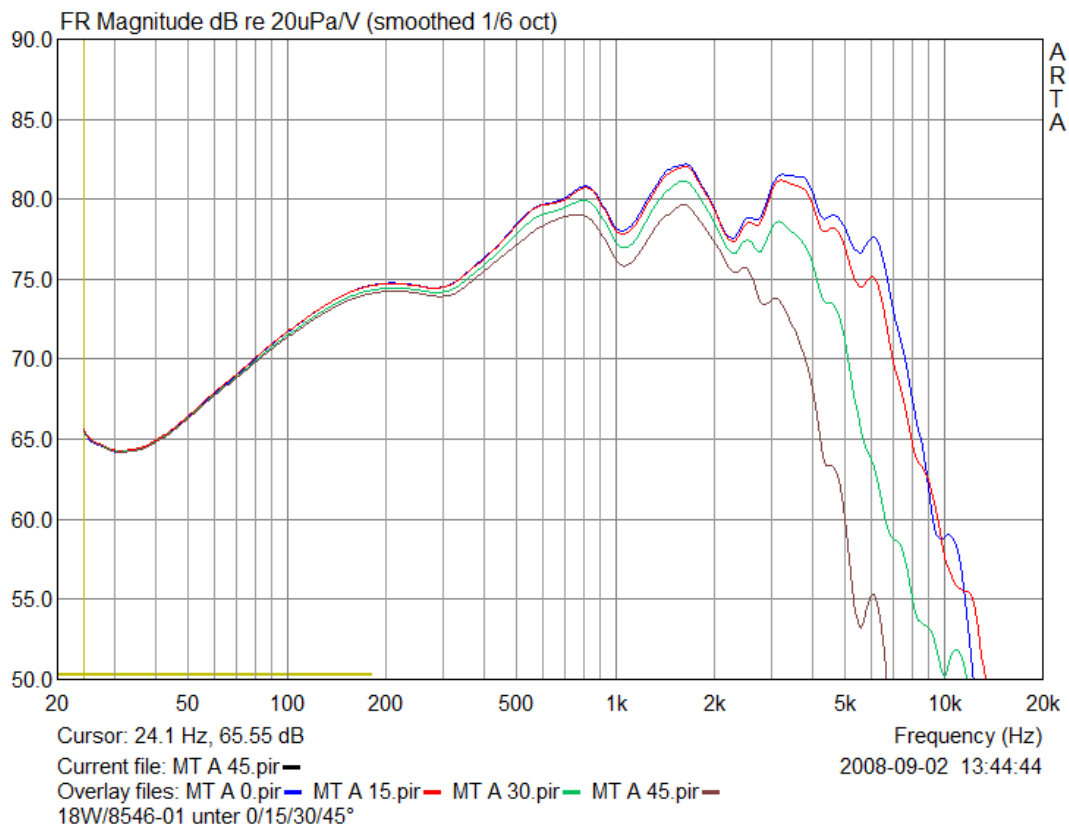


Der Frequenzgang im eigenen Gehäuse stimmt nur eingeschränkt mit den vom Hersteller publizierten Daten überein. Zum einen fällt der Pegel zu hohen Frequenzen ab, zum anderen ist die Waveguide-Charakteristik zwar im Bereich von 1.5 kHz deutlich erkennbar, zwischen 2.5 kHz und 4 kHz steigt der Pegel unter Winkeln aber deutlich an. Möglicherweise spielen hier Kantenreflexionen des Gehäuses eine gewisse Rolle. Gut funktionierende Waveguides sollten unter anderem aber gerade dazu führen, dass Kantenreflexionen keine Rolle spielen. Insgesamt ist der Frequenzgang

aber als ausgewogen zu bezeichnen. Die Beschaltung des HT sollte keine grösseren Probleme bereiten.

## Mitteltöner

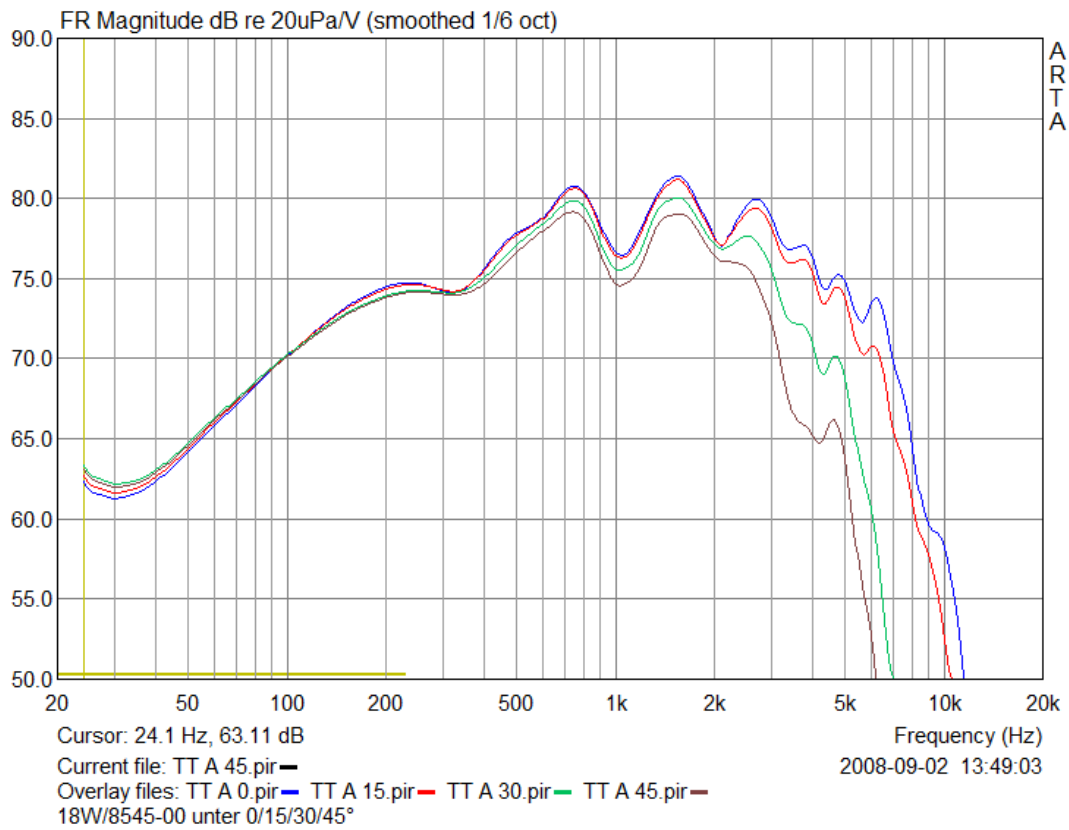
### Frequenzgang unter Winkeln von 0° bis 45°



Die Messung besitzt aufgrund der erwähnten Raumreflexionen unterhalb von 200 Hz keine Aussagekraft. Der MT zeigt den typischen Anstieg des Schallpegels mit steigenden Frequenzen. Der Frequenzgang hat von 500 - 900 Hz sowie um 1700 Hz eine Überhöhung. Eine weitere liegt zwischen 3 und 4 kHz ausserhalb des vorgesehenen Einsatzbereichs. Um das Ziel eines linearen Frequenzgangs zu erreichen wird der Weichenzweig für den MT wohl etwas umfangreicher werden.

## Tieftöner

### Frequenzgang unter Winkeln von 0° bis 45°



Der TT zeigt aufgrund seiner weitgehend identischen Konstruktion ein ähnliches Verhalten wie der MT. Die bereits oben erwähnten Überhöhungen im Frequenzgang sind für die Weichenentwicklung nicht relevant, da der TT nur bei ganz tiefen Frequenzen eingesetzt wird.

### 3 Simulation und Entwicklung der neuen Weiche

#### Vorgehen

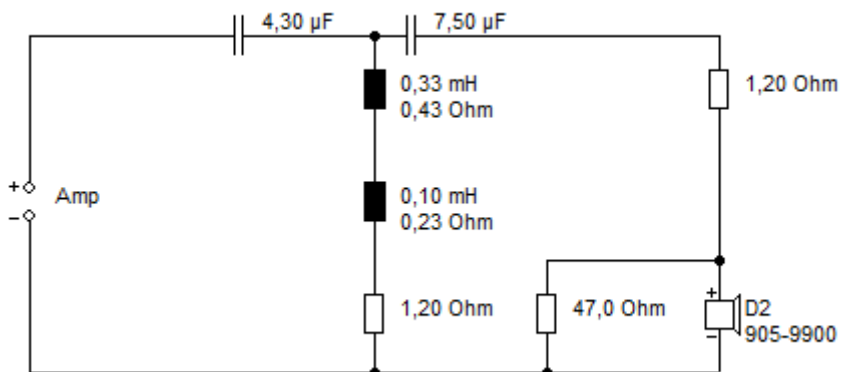
Die oben gezeigten Frequenzgänge sowie die Impedanz- und Phasenverläufe der einzelnen Chassis werden nun ins Simulationsprogramm importiert. Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass der Lautsprecher nicht nur auf den Hörplatz, sondern auch breit in den Raum strahlt sowie dem Umstand, dass der Musikhörer vermutlich nicht immer genau frontal vor dem Lautsprecher sitzt, können Frequenzgänge unter verschiedenen Winkeln, ev. mit unterschiedlicher Gewichtung kombiniert werden. Für die hier gezeigte Simulation wird der Mittelwert der Frequenzgänge von  $0^\circ$  und  $15^\circ$  verwendet.

Die Frequenzweiche soll so ausgelegt werden, dass MT und HT akustisch steil zueinander getrennt werden, damit ist ihr Überlappungsbereich klein und als Folge daraus bleiben Frequenzgangänderungen in vertikaler Abstrahlrichtung auf einen schmalen Frequenzbereich beschränkt. Der Frequenzgang soll so linear wie möglich sein.

Klanglich wird eine detaillierte und neutrale Wiedergabe erwartet sowie ein stabiles räumliches Abstrahlverhalten. Kritisch wird zu beurteilen sein, inwieweit die Anzahl der für die Umsetzung dieses Konzepts notwendigen Bauteile den Klang negativ beeinflusst. Grundsätzlich ist immer jene Lösung vorzuziehen, die ein gleiches Ziel mit weniger verlustbehafteten Bauteilen erreicht.

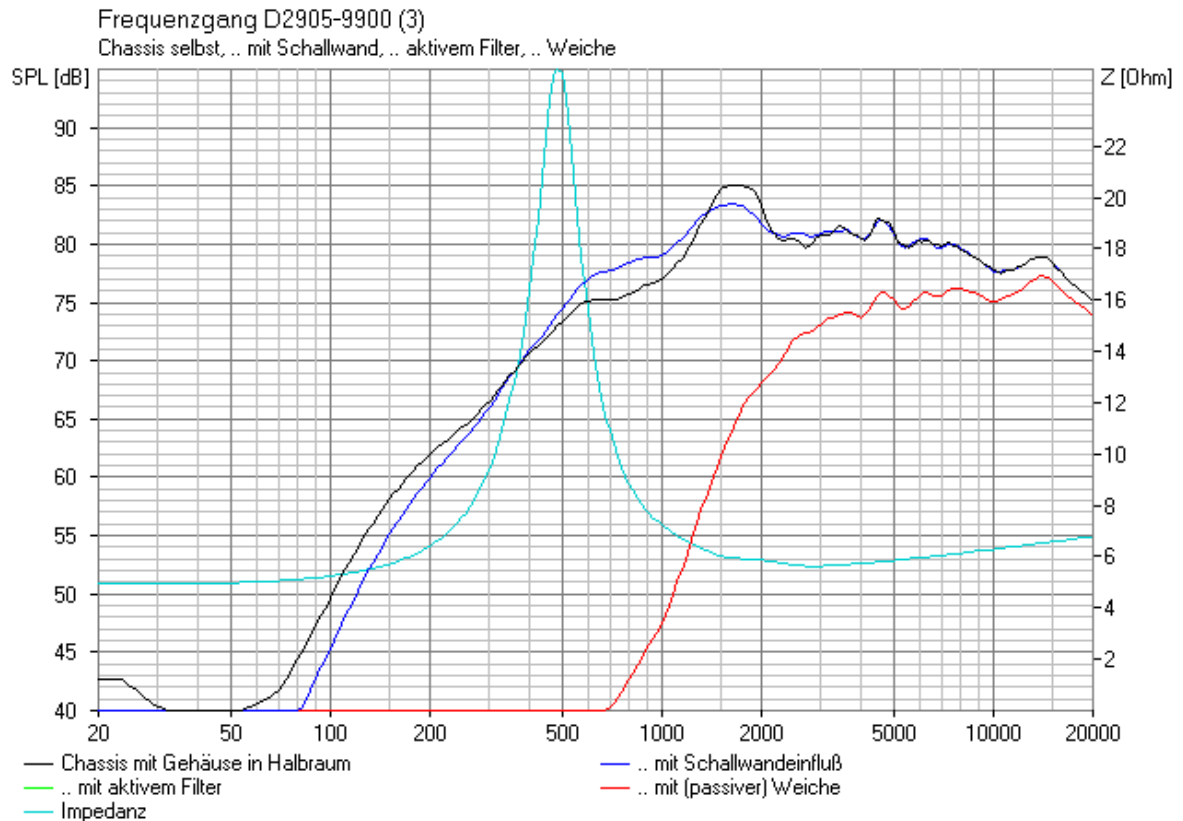
#### Hochtonzweig

##### Weichenschaltbild für den Hochtöner



Der HT wird mit einem 18 dB Filter gegen tiefe Frequenzen getrennt. Da der notwendige Spulenwert nicht standardmässig erhältlich ist, wurde er aus zwei Serienspulen zusammengesetzt. Der Pegel des HT kann über das L-Glied angepasst werden.

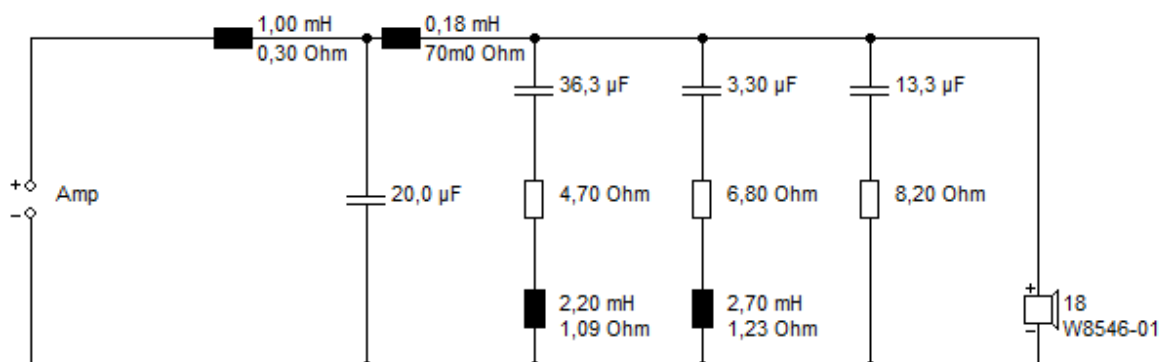
## Hochtöner gefiltert



Die rote Kurve zeigt den gefilterten Frequenzverlauf, die blaue Kurve den Frequenzverlauf, wie er ohne Frequenzweiche gemessen wurde. Die gefilterte Kurve zeigt einen optimalen Verlauf. Der -6 dB Punkt liegt bei etwa 2.2 kHz. Unterhalb davon fällt der Schalldruck steil ab, oberhalb davon nähert er sich sanft dem Bezugspegel. Auf der gesamten Filterflanke sind keine Unregelmässigkeiten feststellbar.

## Mitteltonzweig

### Weichenschaltbild für den Mitteltoner

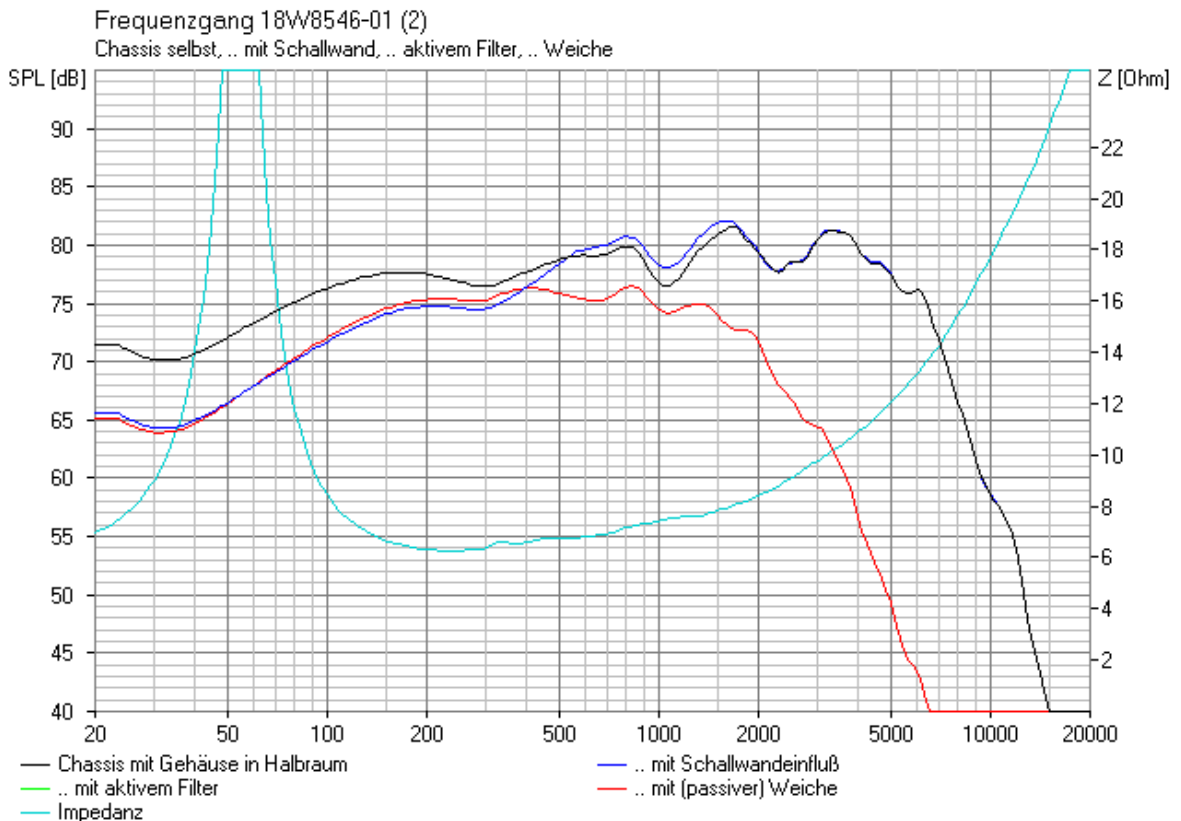


Der Mitteltonzweig ist einiges aufwändiger. Der MT wird ebenfalls elektrisch mit 18 dB pro Oktave zu hohen Frequenzen hin gefiltert, während er gegen unten ungefiltert bleibt. Hinzu kommt eine



Korrektur des aus der Schwingspuleninduktivität resultierenden Impedanzanstiegs (13.3  $\mu$ F und 8.2 Ohm). Damit kann das 18 dB Filter lehrbuchmässig auf eine konstante Impedanz arbeiten. Weiter korrigieren zwei Saugkreise die erwähnten Überhöhungen von 500 - 900 Hz sowie um 1700 Hz. Die Dritte Überhöhung zwischen 3 und 4 kHz wird durch das 18 dB Filter bereits ausreichend unterdrückt.

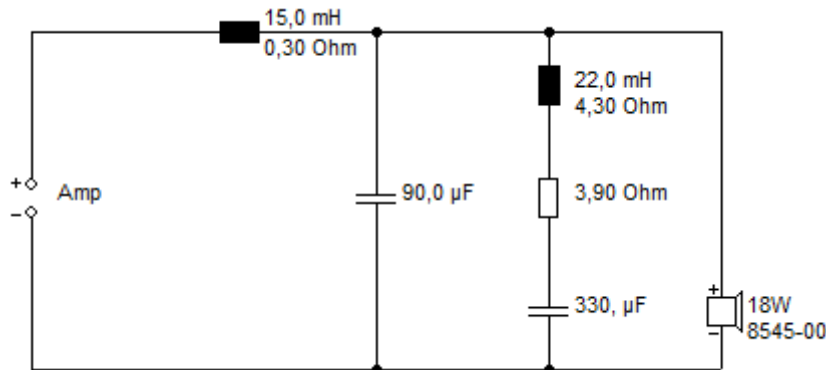
### Mitteltöner gefiltert



Die rote gefilterte Kurve zeigt wie der HT einen fast perfekten Verlauf, allerdings ist im Durchlassbereich noch eine gewisse Restwelligkeit feststellbar, die nicht vollständig korrigiert wird. Die beiden grösseren Überhöhungen sind entzerrt. Der -6 dB Punkt liegt wiederum bei ca. 2.2 kHz. Die Impedanzkurve (türkis) zeigt zwischen 300 und 1500 Hz eine minimale Welligkeit, zurückzuführen auf Membranresonanzen in diesem Frequenzbereich.

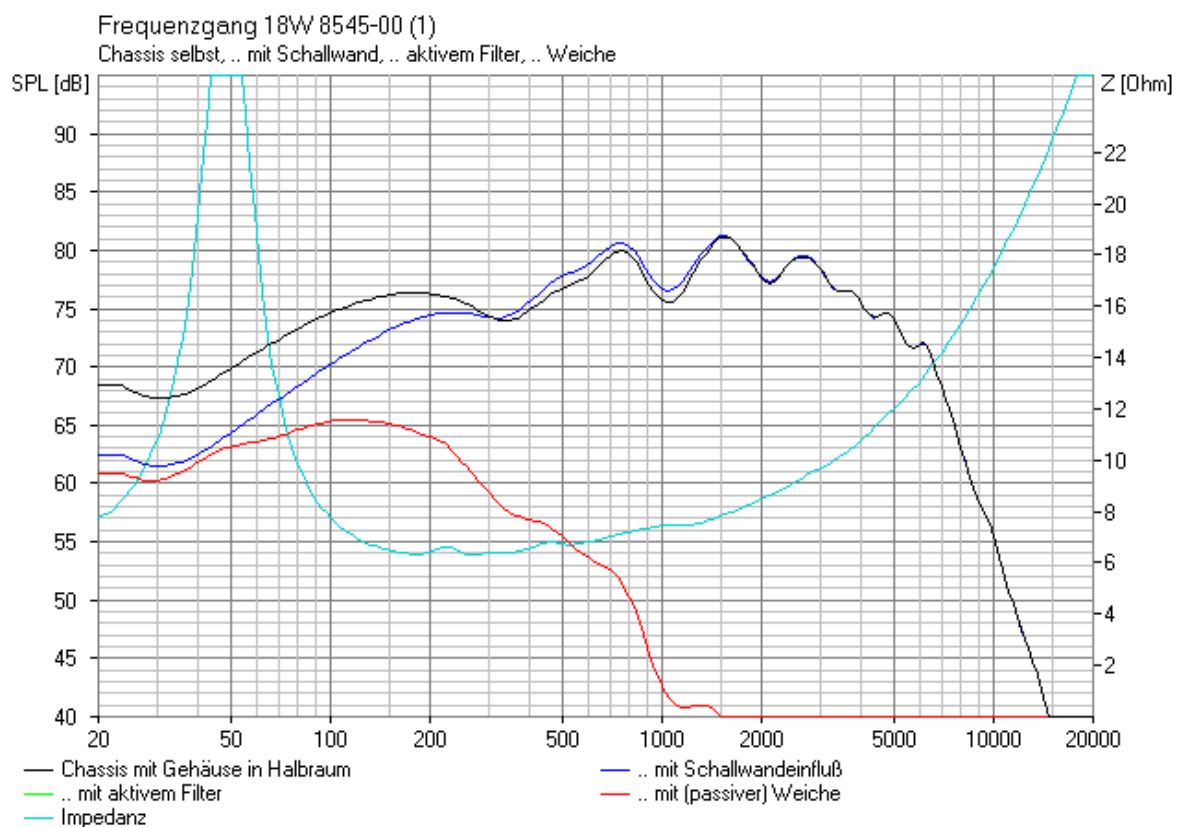
## Tieftonzweig

### Weichenschaltbild für den Tieftöner



Der Tieftöner wird mit einem 12 dB Filter getrennt. Aufgrund der tiefen Trennfrequenz ist eine Linearisierung des Impedanzanstiegs im Bereich der Einbauresonanz notwendig. Andernfalls kommt es zu einem Aufblähen des Basses zwischen 50 und 100 Hz. Durch ein schrittweises Vergrössern des 3.9 Ohm Widerstands kann dieser Effekt auch genutzt werden, und den Bass nach Wunsch zu tunen.

### Tieftöner gefiltert

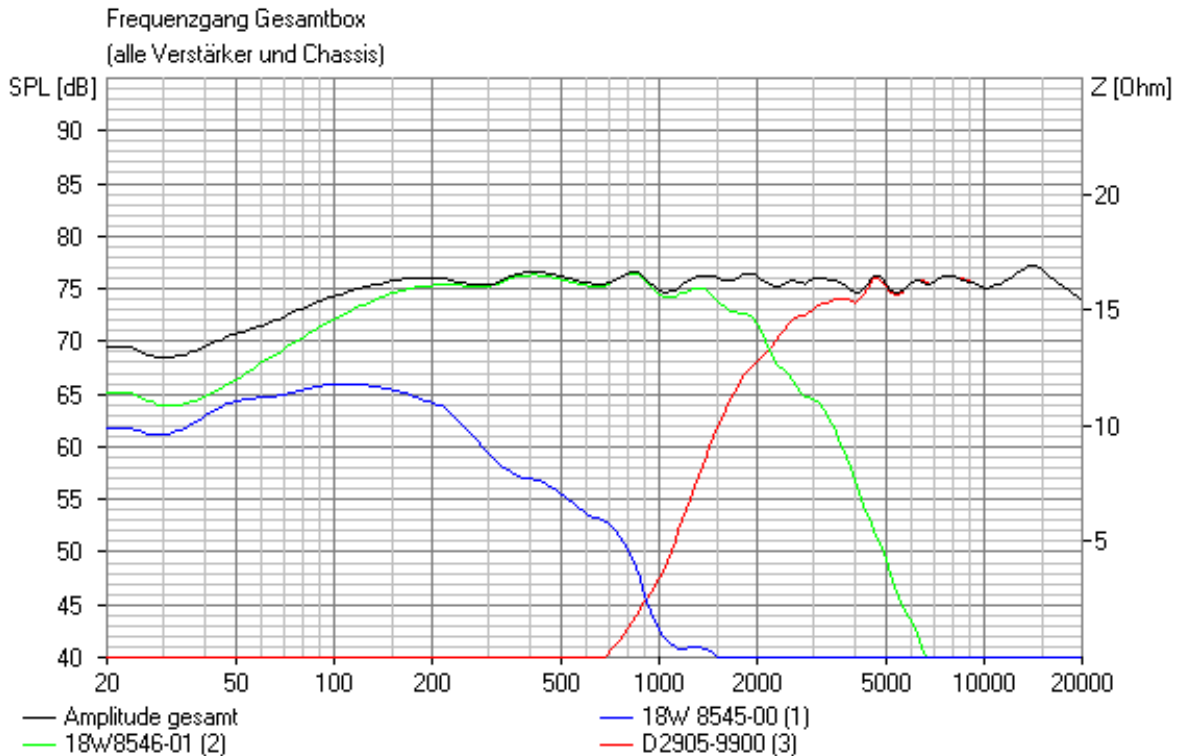


Die Beurteilung dieser Grafik ist etwas schwieriger, da aufgrund des Messverfahrens der Pegel unterhalb von 200 Hz, also im Einsatzbereich des TT, nur noch eingeschränkt Aussagekraft besitzt.

Die gefilterte Kurve (rot) zeigt jedoch das frühe eingreifen des Filters im Vergleich zum ungefilterten Frequenzverlauf (blau). Bereits bei 150 Hz wird der TT um mehr als 6 dB gedämpft. Allfällige Frequenzgangüberhöhungen liegen weit ausserhalb des genutzten Frequenzbereichs und benötigen keine weitere Beachtung.

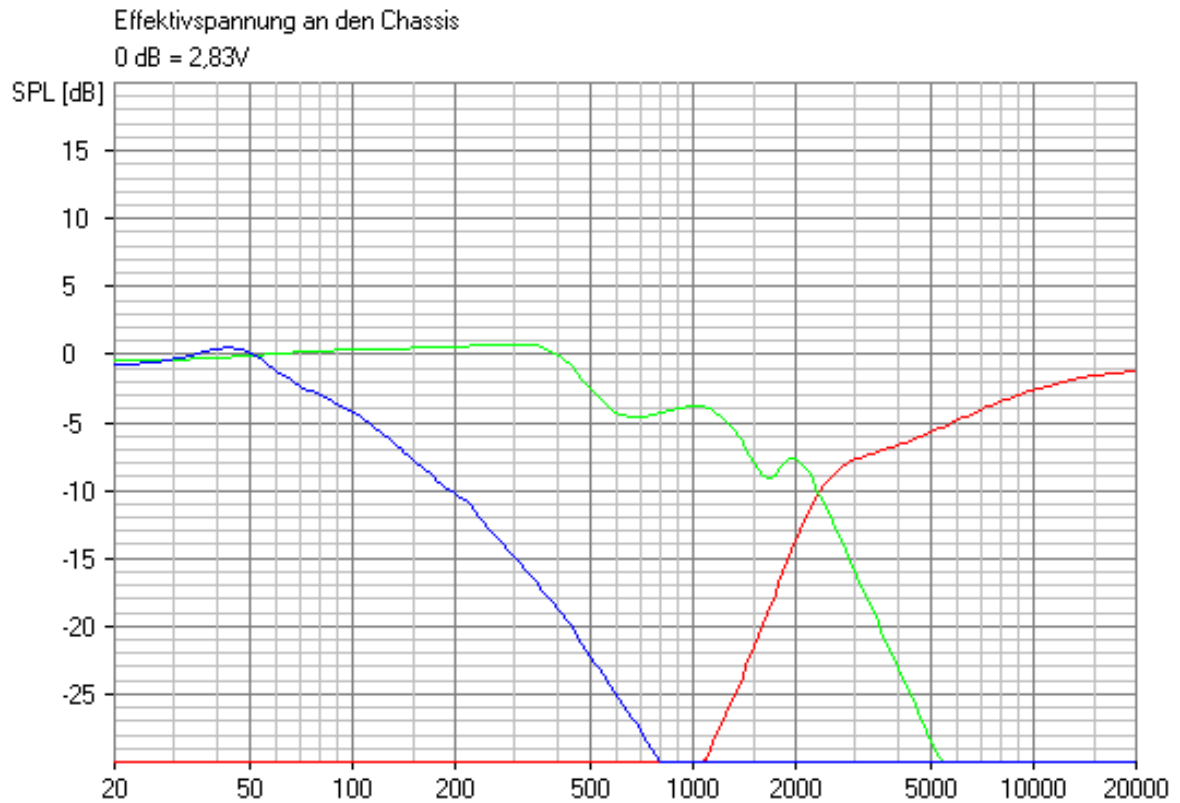
## Gesamtbox

### Simulierter Frequenzgang der Gesamtbox



Werden alle Einzelfrequenzgänge zusammengefügt ergibt sich der simulierte Frequenzgang der Gesamtbox. Dieser verläuft von 200 Hz bis über 10 kHz innerhalb einer Toleranzbreite von  $\pm 1.5$  dB. Die Schalladdition und damit die Phasenlage zwischen MT und HT sind optimal, die Filterflanken sind symmetrisch zueinander und die Summenkurve bei der Trennfrequenz liegt 6 dB oberhalb der Einzelfrequenzgänge. Die Trennfrequenz selbst liegt im angestrebten Bereich zwischen 2 und 2.5 kHz. Weiter ist erkennbar, dass der TT den MT bei tiefen Frequenzen unterhalb von 200 Hz unterstützt.

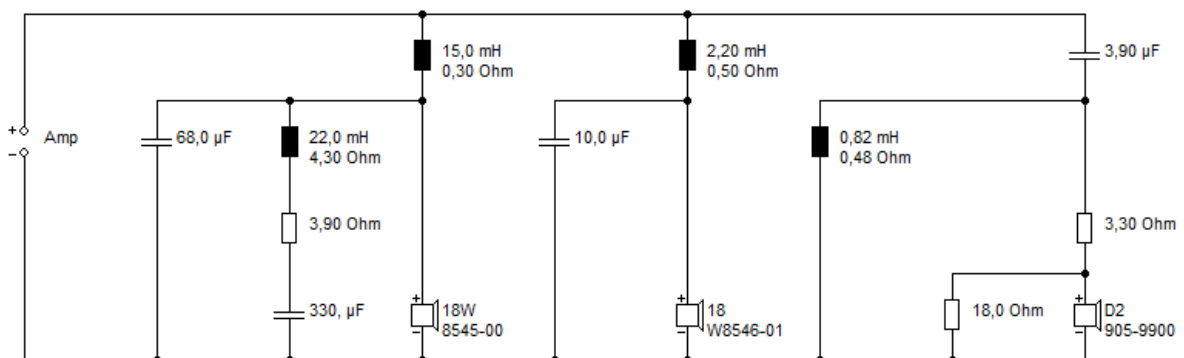
### Elektrisches Filter



Der elektrische Frequenzverlauf der einzelnen Weichenzweige verhält sich spiegelbildlich zum akustischen Frequenzverlauf der einzelnen Chassis. Aus beidem zusammen resultiert der flache Frequenzgang der Gesamtbox.

## 4 Die Original Frequenzweiche zum Vergleich

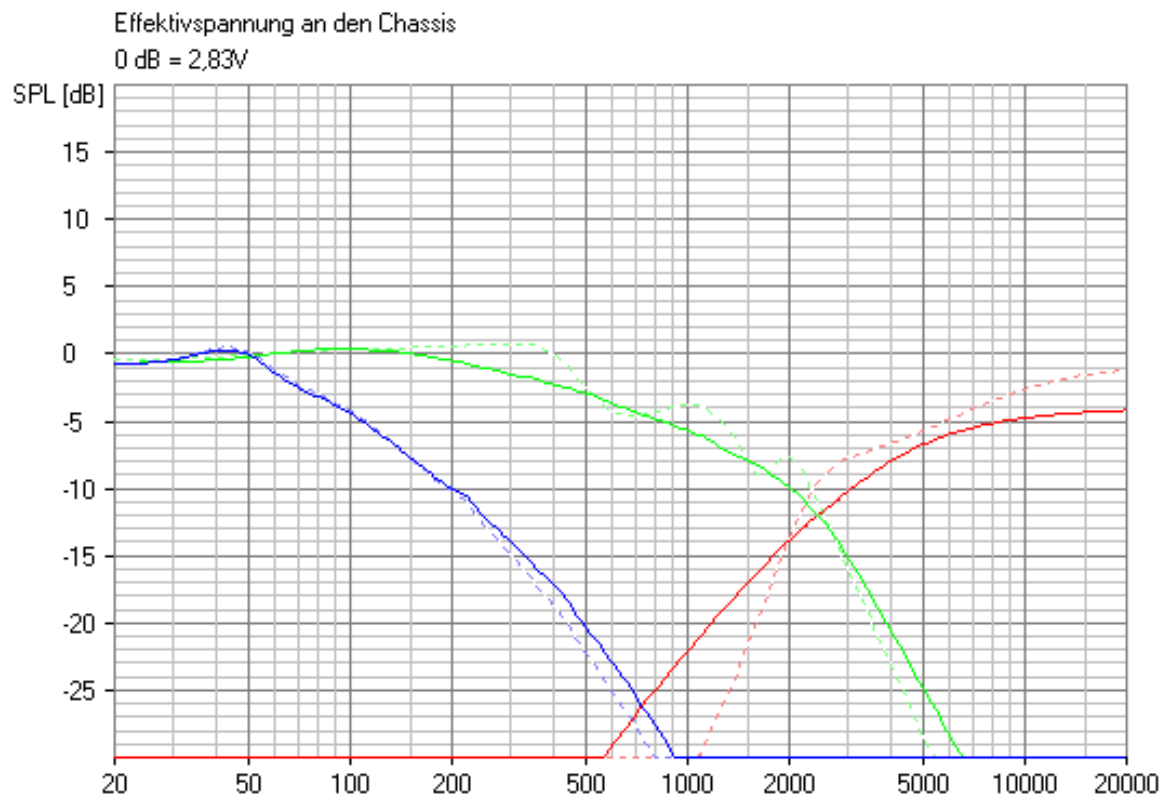
### Weichenschaltbild des Originalbausatzes



Die originale Frequenzweiche aus dem Bausatz verfolgt wie erwähnt einen minimalistischen Ansatz mit relativ wenigen Bauteilen.

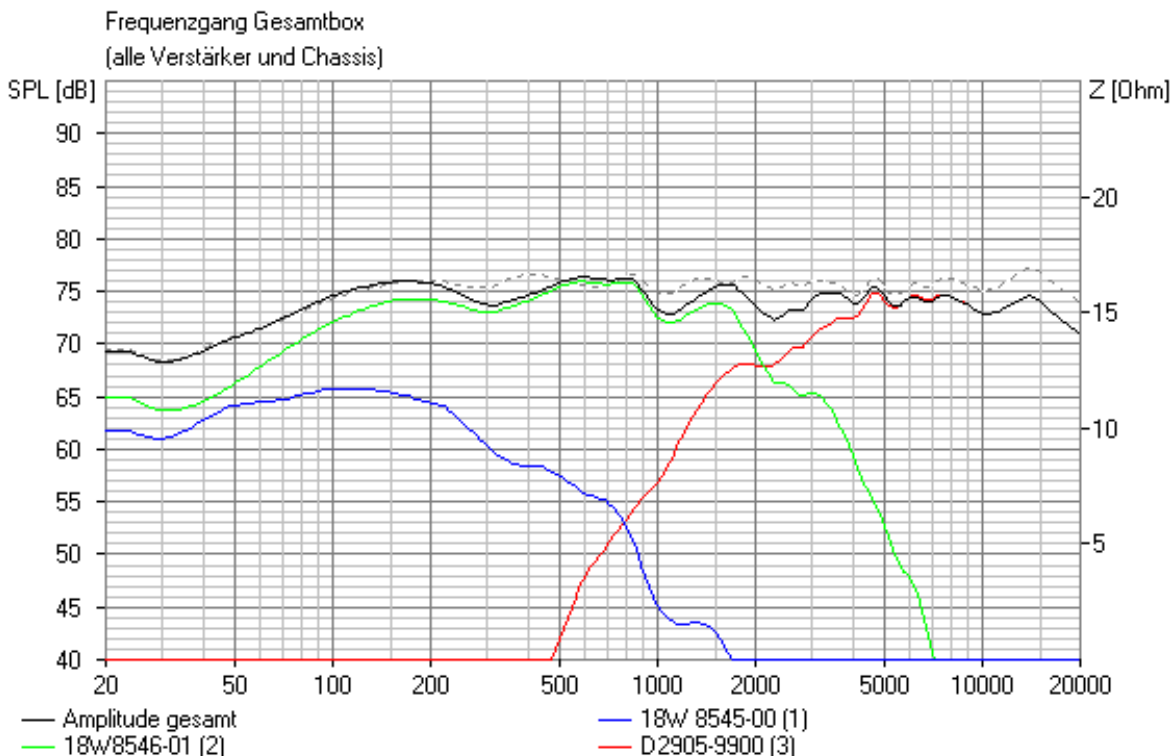
Der TT wird grundsätzlich gleich gefiltert wie vorhin, einzig der Parallelkondensator des 12 dB Filters ist etwas kleiner, was zu einer etwas flacheren Filterung führt. HT und MT sich mit 12 dB Filtern zueinander gefiltert, der HT verfügt ebenfalls über ein L-Glied zur Anpassung der Lautstärke. Zusätzliche Impedanzlinearisierungen oder Saugreise sind jedoch nicht vorgesehen.

### Elektrisches Filter des Originalbausatzes



Die elektrischen Filter der Originalweiche verlaufen flacher und weniger wellig. Die gestrichelte Linie zeigt zum Vergleich die Filterwirkung der neu entwickelten Weiche.

### Simulierter Frequenzgang mit Originalweiche



Die Originalweiche zeigt im Grossen und Ganzen ebenfalls einen ausgewogenen Frequenzgang. Die Schwankungsbreite liegt hier bei ca. +/- 2 dB. Zu den hohen Frequenzen hin ist ein sanfter Abfall feststellbar, im Präsenzbereich um 2-3 kHz besteht eine etwas breitere Senke, ebenfalls knapp über 1 kHz und um 300 Hz. Die Flanken von HT und MT sind nicht ganz so symmetrisch zueinander, am Kreuzungspunkt liegt die Summenkurve 5 dB über den Einzelfrequenzgängen. Zum Vergleich ist der Summenfrequenzgang der neu entwickelten Weiche in gestrichelter Linie dargestellt.

## 5 Was ist nun besser?

Soviel vorweg: Es soll an dieser Stelle keine der beiden Weichen zum Sieger gekürt werden. Vielmehr geht es darum, die klanglichen Unterschiede zwischen beiden Konzepten näher zu beschreiben. Gleichzeitig muss angefügt werden, dass die hier geschilderten Unterschiede nicht vorbehaltlos verallgemeinert werden können, sondern sich in erster Linie auf die hier dargestellte Box beziehen.

Den Klang eines Lautsprechers zu beschreiben ist nicht einfach und in hohem Masse subjektiv, ganz darauf zu verzichten wird der Situation auch nicht gerecht. Also, wagen wir uns an einen Klangbeschrieb.

### **Der Klang der Originalweiche**

Dem Lautsprecher ist anzuhören, dass die verwendeten Chassis von hoher Qualität sind. Er bleibt bis in hohe Lautstärken sauber und kontrolliert.

Das allgemeine Klangbild wirkt voluminös, souverän, ruhig und äusserst flüssig. Die Musikbühne scheint immer etwas hinter dem Lautsprecher zu sein. Der Bass reicht tief in den Frequenzkeller. Im unteren Mitteltonbereich spielt die Box sehr plastisch, mit viel Schmelz und Klangfarbenpracht. Allerdings kann sie nicht ganz verbergen, dass im oberen Mittelton da und dort etwas fehlt oder der Klang als zu zurückhaltend oder dumpf empfunden wird. Der positive Aspekt dieser Zurückhaltung ist eine ausgesprochene Langzeittauglichkeit. Stressfreies Hören während eines ganzen Abends ist kein Problem. Der Hochtöner ist kaum als separates Chassis wahrnehmbar, er integriert sich gut ins Klangbild und spielt detailliert und luftig.

Insgesamt ein sehr gut klingender Lautsprecher für Geniesser, der jedoch ab und zu ein wenig neutraler aufspielen könnte, jedoch immer noch als sehr ausgewogen bezeichnet werden kann.

### **Der Klang der neuen Weiche**

Die Qualität der Chassis bleibt natürlich bestehen, auch hier staunt man zuweilen, wie konstant das Klangbild bleibt, auch bei wirklich grossen Membranhüben.

Das Klangbild selbst hat sich nun aber deutlich gewandelt. Die Box spielt anspringend und frisch und verfügt über eine grosse Strahlkraft aus allen Frequenzbereichen. Der Bass ist weniger voluminös, eher schlank und zurückhaltend, der Mittelton sehr ausgewogen aber gleichzeitig eher nüchtern. Der Hochton ist präsenter, schliesst nahtlos an und ist nicht als separates Chassis heraushörbar. Auffallend ist die äusserst stabile räumliche Abbildung. Das Klangbild bleibt unter verschiedenen horizontalen und vertikalen Winkeln stabiler. Beim durchhören der CD-Sammlung stellt man fest, dass der Lautsprecher mit jeder Art von Musik zu recht kommt und sie so wiedergibt, wie sie aufgenommen wurde. Musikstücke allerdings, die mit der alten Weiche besonders farbstark klangen, wirken mit der neuen Weiche nicht ganz so „magisch“, aber dafür etwas richtiger oder neutraler. Die neutrale und damit im Vergleich anspringendere Abstimmung führt dazu, dass der Klang als weniger ruhig oder relaxed empfunden wird, das Gehör ermüdet tendenziell etwas früher. Grund dafür kann aber auch sein, dass man sich oft dabei ertappt, dass man den Lautstärkereglern lauter aufdreht als mit der alten Weiche.

Insgesamt ein absolut ehrlich klingender Lautsprecher der nichts verbirgt, mit anspringendem und packendem Klang und genauer räumlicher Abbildung. Erinnert im Klang stark an Studiomonitore.

### **Hörbare Verluste durch hohe Bauteilezahl?**

Die Originalweiche verfügt über insgesamt 11 Weichenbauteile, wobei in jeden Weichenzweig jeweils nur ein Bauteil (Spule oder Kondensator) in Serie zum Chassis liegt. Die neue Weiche verfügt über 23 Bauteile, wobei beim TT ein, beim MT und HT jeweils zwei Weichenbauteile in Serie

zum Chassis liegen. Beide Weichen sind mit Bauteilen guter und vergleichbarer Qualität aufgebaut.

Ein Zurückführen der Klangunterschiede auf die Anzahl der Weichenbauteile ist nicht einfach, da sich die beiden Lautsprecher nicht nur in der Anzahl der Bauteile, sondern auch in ihrem Frequenz- und Phasengang unterscheiden.

Die bisherige Hörerfahrung mit den beiden Weichen zeigt keinen wahrnehmbaren Verlust durch die höhere Anzahl der Bauteile. Wer die neutralere Abstimmung der neuen Weiche bevorzugt, braucht die höhere Anzahl der Bauteile nicht zu fürchten, er wird mit der von ihm bevorzugten Weichenabstimmung weit mehr mit gutem Klang entschädigt, als er durch zu viele Bauteile geschmälert werden kann. Wer die Originalweiche bevorzugt, hat dafür die Gewissheit, dass das Resultat mit einer minimalen Anzahl von Bauteilen erreicht wurde.

### **Was jetzt noch fehlt ...**

Zwei wichtige Schritte in der Weichenentwicklung wurden bis jetzt noch nicht erwähnt.

1. Der Lautsprecher muss mit der fertig entwickelten Weiche nochmals durchgemessen werden um sicher zu stellen, dass sich die Realität mit der Simulation deckt. Erfahrungsgemäss liegen Simulation und Realität erstaunlich nahe zusammen.
2. Es ist gut möglich, dass sich Simulation und Realität zu 100% entsprechen, der Lautsprecher aber nicht so klingt, wie man es sich wünscht. Hier sind nachwievor eine Ursachen-suche und ein Feintuning der Weiche notwendig. Im Rahmen dieses Feintunings wurde der Hochtöner in der neuen Weiche zwischen 2.5 und 3.5 kHz um 0.5 dB abgesenkt, was den Lautsprecher minimal zahmer oder sanfter macht. Fürs Feintuning erweist sich eine etwas komplexere Weiche insofern als vorteilhaft, als hier mehr Stellschrauben zur Verfügung stehen, den Klang in die gewünschte Richtung zu ändern.

## **6 Fazit**

Der Artikel zeigt, wie auf relativ einfache Weise einzelne Chassis mit Unterstützung eines Simulationsprogramms zu einem in Realität sehr gut klingenden Lautsprecher zusammengefügt werden können. Weiter zeigt der Vergleich mit der Originalweiche des Bausatzes, dass verschiedene Philosophien im Weichendesign ans Ziel führen können, je nach individuellen Präferenzen, mit unterschiedlichem Bauteileaufwand. Die Bandbreite unterschiedlicher klanglicher Abstimmungen innerhalb eines gegebenen Rahmens (Gehäuse und Chassis) ist gross. Mit einem Simulationsprogramm hat man ein effizientes Werkzeug zur Hand um diese Bandbreite klangbringend auszuschöpfen.



## 7 Anhang

### Links:

Bauplan der „Viper“, nachfolgend zu finden unter dem Namen „reference plus“:

[http://www.audiocomponents.nl/speakers/scanspeak/reference/scanspeak-reference\\_eng.htm](http://www.audiocomponents.nl/speakers/scanspeak/reference/scanspeak-reference_eng.htm)

Datenblatt Hochtöner: [http://www.tymphany.com/files/products/pdf/D2905\\_990000.pdf](http://www.tymphany.com/files/products/pdf/D2905_990000.pdf)

Datenblatt Mitteltöner: [http://www.tymphany.com/files/products/pdf/18W\\_8546-00.pdf](http://www.tymphany.com/files/products/pdf/18W_8546-00.pdf)

Datenblatt Tieftöner: [http://www.tymphany.com/files/products/pdf/18W\\_8545-00.pdf](http://www.tymphany.com/files/products/pdf/18W_8545-00.pdf)

Messsoftware: <http://www.fesb.hr/~mateljan/arta/>

Simulationssoftware: <http://www.boxsim.de/>

Simulations-Projektdatei: [http://siggaudiodesign.ch/others/Viper\\_SiggAudioDesign.BPJ](http://siggaudiodesign.ch/others/Viper_SiggAudioDesign.BPJ)