

# Lautsprecher Selbstbau Berlin

## Entwicklung eines Selbstbaulautsprechers



### Theorie

#### 1. Regeln für den Selbstbau

Die erste Überlegung ist die nach dem Ziel. Eine vollkommene Box gibt es nämlich nicht, Vorteile sind immer mit Nachteilen verbunden.

Eigenschaft	Vorteil	Nachteil
Bandbreite der Wiedergabe, Tiefton	Tiefer Bass	Großes Gehäuse, große Membranfläche
Bandbreite der Wiedergabe, Hochton	Hochton	Leichte Membranmaterialien erfordern einen hohen Preis
Ausgewogenheit der Wiedergabe	Linearer Frequenzgang	Hochwertige Chassis mit wenig Partialschwingungen, gut abgestimmte Frequenzweiche
Hoher Schalldruck	Große Dynamik, hohe Lautstärke	Hohe Verstärkerleistung, große Membranfläche, Mehrwegesystem
Ideales Abstrahlverhalten	Ohne Einbrüche	Chassis müssen zueinander passen, Mehrwegesysteme, Preis
Phasenrichtigkeit	Korrektter Übergang bei der Trennfrequenz	Aufwendige Konstruktion, Aktivsysteme
Raumanpassung	Kein Dröhnen, kein Hall, ideale Nachhallzeit	Bedämpfung des Raumes, Boxenaufstellung, Aktivsysteme

#### Die Art der Selbstbaubox

- Entweder man baut eine Partybox mit hohem Schalldruck oder eine HiFi-Box bei der die Wiedergabequalität im Vordergrund steht.
- Das zu erwartende Frequenzspektrum spielt für die Bauart ebenso eine Rolle. Es gibt wohl keinen Lautsprecher, der ein Frequenzband von 20 Hz bis 20 kHz mit gleicher Lautstärke wiedergeben kann. Deshalb ist zu entscheiden, ob man einen Subwoofer, einen Breitbandlautsprecher, eine Zweiwege-Regalbox oder Dreiwege-Standbox benötigt.
- In Verbindung mit den Erwartungen steht auch die Bauart einer Box, z.B. geschlossene Box, Bassreflexbox, usw..

#### Frequenzen

Nach der bekannten Handwerkerregel "Nicht so genau wie möglich, sondern nur so genau wie nötig" sollte man das Konzept eines Lautsprechers entwickeln. Es hört sich zwar toll an im Bekanntenkreis zu erklären, dass die Box sogar 16 Hz wiedergeben kann, aber gibt das Sinn? Sicherlich ja, wenn ich überwiegend Orgelmusik hören möchte.

Im folgendem ein kleiner Auszug aus [Wikipedia \(Hornlautsprecher\)](#), der uns zeigt welche tiefsten

Töne Musikinstrumente erzeugen können. Jeder mag dann über den Tiefbass seiner Box selbst entscheiden.

- Kammerton a: 440 Hz,
- tiefster Ton einer Bassgitarre (tiefes H): 30 Hz,
- tiefster Ton auf dem Klavier: 27,5 Hz,
- Orgel: 16 Hz.

## 1.1. Die Chassis

### Lautsprecherchassis

Als Chassis bezeichnet man den eigentlichen Lautsprecher ohne Gehäuse, da wären Hochtöner, Mitteltöner, Tieftöner, usw. zu nennen..

Die Auswahl der Lautsprecherchassis ist Thema vieler Internetseiten und mindestens ebenso vieler Zeitschriften und Bücher. Selbst für eine kleine Einführung, wäre ein extra Artikel notwendig.

Nehmen wir mal an, wir hätten eine sehr gute Lautsprecherbox, die bereits in die Jahre gekommen ist. Nun hat sich entweder die Sicke aufgelöst oder ein Haustier wollte die Membran untersuchen, was kann man tun?

Da für viele Chassis Datenblätter im Internet vorhanden sind, machen wir uns zuerst auf die Suche nach Unterlagen zum defekten Chassis. Sind diese vorhanden, so ist der wichtigste Schritt schon getan. Als Nächstes geht es um die Bewertung der Daten.

Sollte man sich ähnlich wie beim Pkw nur an der Leistung orientieren, so ist man schlecht beraten, Die Leistung sagt nichts über die Wiedergabelautstärke noch über die Qualität der Wiedergabe aus. Die einzige Aussage der Leistung ist die, ab wann die Spule des Lautsprechers durchbrennt. Für die erste Auswahl gibt es in der Vielzahl der Angaben sehr wichtige Parameter, die unbedingt zu berücksichtigen sind, da wären zu nennen:

### Kennschalldruck

Der Kennschalldruck ist eine Angabe für den Schalldruck in einen Meter Entfernung von der Quelle, bei einem Signal von 2,83 Volt. Gemessen wird der Schalldruckpegel SPL (**Sound Pressure Level**) in Dezibel, einer logarithmischen Einheit.

Die üblichen Werte für Lautsprecherchassis liegen zwischen 80 dB und 95 dB. Vergleichsweise hat ein Gespräch in normaler Lautstärke einen Pegel von ca. 60 dB.

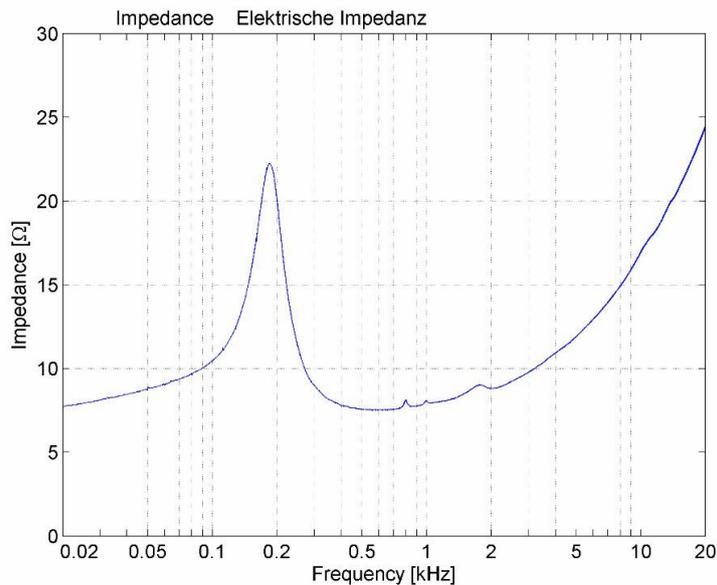
Interessanterweise hat der Tieftöner fast immer einen geringeren Kennschalldruck als Mittel und Hochtöner. Das ist sehr simpel mit dem Membrangewicht zu erklären.

### Resonanzfrequenz, $F_s$

Resonanzfrequenz ist diejenige Frequenz, bei der durch Anregung die Amplitude am höchsten ist, unkompliziert sagt man Eigenfrequenz. Man definiert die Resonanzfrequenz bei Lautsprechern als Freiluftresonanz auf einer Normschallwand um vergleichbare Daten zu erhalten.

Zur Feststellung der Abhängigkeiten stellen wir uns das Masse-Feder-System vor. Eine Erhöhung der Federkraft verschiebt die Frequenz nach oben und eine Erhöhung der Masse senkt die Frequenz.

Wir finden also bei Hochtönern Resonanzfrequenzen zwischen 500 Hz und 1500 Hz vor und bei Tieftönern Resonanzfrequenzen zwischen 20 Hz und 120 Hz. Unterhalb der Resonanzfrequenz fällt der Frequenzgang stark ab (12 Dezibel pro Oktave).



### Äquivalentvolumen Vas (Volume acoustic speaker)

Dieser Wert gibt eine Aussage zur Federwirkung der Membraneinspannung. Da sich die Maßeinheit Kraft für weitere Rechnungen schlecht nutzen lässt, wurde das Äquivalentvolumen eingeführt. Das Äquivalentvolumen in Litern bezeichnet die Federkraft als Wirkung gleich großen Luftvolumens in einer geschlossenen Box. Ein großer Wert deutet auf eine schwache Einspannung hin und erfordert vielfach große Boxenvolumen. Heute verwendet man Chassis mit Vas im ein oder zweistelligen Bereich.

### Qts - Gesamtgüte (quality total speaker)

Und wieder sind wir beim Masse-Feder-System. Die Güte ist ein Maß für die Dämpfung der Schwingung. Dies geschieht mechanisch, also durch Reibungsverluste z.B. in der Sicke und elektrisch durch die generatorische Wirkung der Schwingspule.

Niedrige Gütewerte deuten auf starke und hohe Gütewerte auf eine schwache Dämpfung hin. Für die weiteren Berechnungen ist die Gesamtgüte maßgeblich. Um die Wirkungen zu unterscheiden benutzt man die mechanische Güte  $Q_{ms}$  und die elektrische Güte  $Q_{es}$ .

Anhand des Gütefaktors  $Q_{ts}$  lässt sich eine Empfehlung für die Lautsprecherbauart vornehmen:

Qts	Empfohlene Gehäusebauart
...0,3	Hornlautsprecher
0,3...0,4	Bassreflexgehäuse
0,4...0,6	geschlossenes Gehäuse
0,5...1,0	Transmissionsline

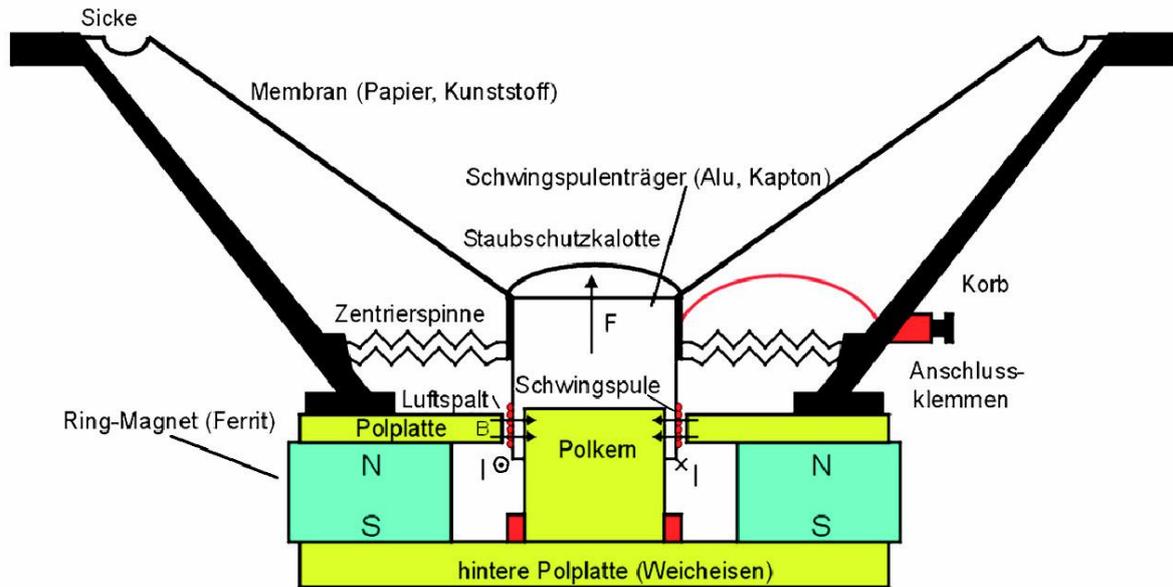
### Impedanz

Die Impedanz ist der frequenzabhängige komplexe Widerstand eines Lautsprechers. Üblicherweise werden 4 Ohm oder 8 Ohm bei 1000 Hz gemessen. Zu höheren Frequenzen steigt die Impedanz aufgrund der Spuleninduktivität etwas an.

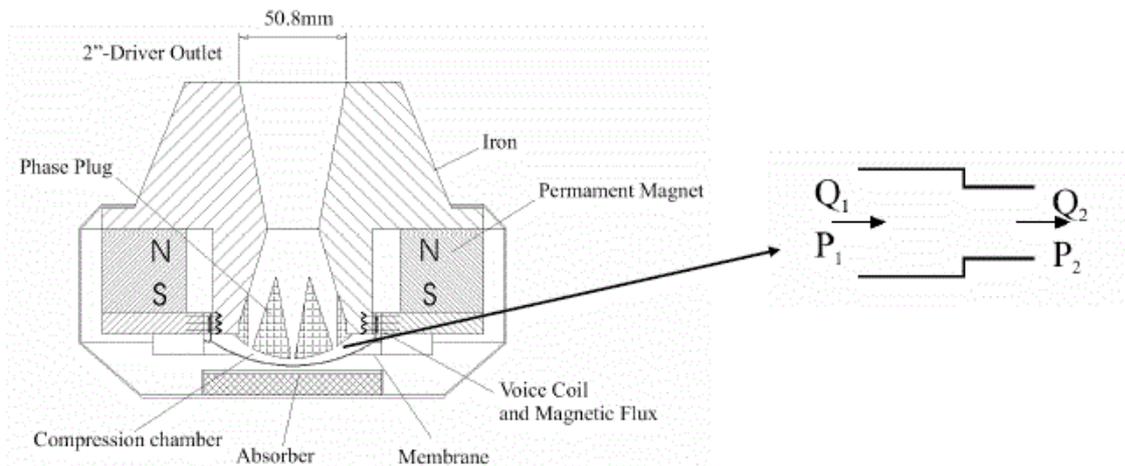
### Membranhub Xmax

$X_{max}$  ist ein Maß für die maximale lineare Auslenkung und wird in mm angegeben. Es ist der Weg, den die Spule zurücklegen kann, ohne das lineare Feld zwischen den Magnetpolen zu verlassen.

## Konuslautsprecher



## Druckkammerlautsprecher



Neben den obengenannten Werten wird in den Datenblättern noch eine Vielzahl weiterer Angaben gemacht. Dazu gehören z.B. die Membranfläche  $S_d$ , die bewegte Masse  $M_{md}$ , die Schwingspulen-Induktivität  $L_e$ , der Gleichstromwiderstand  $R_e$ , der Kraftfaktor  $B \cdot l$ , usw..

## 1.2. Das Lautsprechergehäuse

### Erfordernis

Gehäuse sind für die Tieftonwiedergabe wichtig. Aufgrund der Wellenlängen von mehreren Metern kommt es nach allgemeiner Theorie ohne Gehäuse zum sogenannten "akustischen Kurzschluss". Die mit dem Membranhub entstehende Druckwelle auf einer Membranseite wird durch den Unterdruck der anderen Membranseite ausgeglichen.

Hochtöner sind, bedingt durch die kurzen Wellenlängen und die Richtwirkung bei der Abstrahlung, vom "akustischen Kurzschluss" wenig betroffen.

Nach der Bauart unterscheidet man: geschlossene Gehäuse, Bassreflexgehäuse, Transmissionsline-Gehäuse und Hörner:

### Geschlossene Gehäuse

Durch die im Gehäuse eingeschlossene Luft (Luftfeder) werden

die mechanischen Eigenschaften des LS beeinflusst

- Modellvorstellung: „zugehaltene Luftpumpe“
- Erhöhung der Freiluft-Resonanzfrequenz

Vorteile

- Geringe Gruppenlaufzeit, da Resonator niedriger Ordnung
- Unterhalb der Resonanzfrequenz wirkt die Luftfeder auslenkungsbegrenzend

Nachteile

- schlechter (Bass-) Wirkungsgrad

### Bassreflexgehäuse

Bassreflexgehäuse strahlen den rückwärtigen Schall der Lautsprechermembran über eine Gehäuseöffnung ab. Damit addiert sich der Schall aus der Reflexöffnung zum Membranschall. Luftfeder und Luftmasse bilden einen Resonator

- Eselsbrücke: angeblasene Flasche
- Abstimmung (Tuning-Frequenz) unterhalb der Resonanz des Lautsprechers

Vorteile

- Erweiterung des Übertragungsbereichs zu tiefen Frequenzen
- Kompakte Gehäuse
- Reduzierter Membranhub bei der Tuning-Frequenz

Nachteile

- kein Auslenkungsschutz des Lautsprechers
- Doppelt so steiler Abfall unterhalb der Resonanzfrequenz (24dB/Oct)
- Hohe Gruppenlaufzeit
- Turbulente Strömung bei zu kleinen Tunneln erzeugt Verzerrungen

### Transmissionsline-Gehäuse

ähneln in der Funktion dem Bassreflexprinzip. Der Unterschied liegt nur darin, dass die phasenrichtige Wiedergabe des membranrückwärtigen Schalls nicht durch einen Resonator sondern durch eine Umwegleitung erzielt wird.

## Hörner und Trichter

bündeln die Schallabstrahlung und erhöhen auf diese Art und Weise den Schalldruck. Nachteilig ist die relative Größe dieser Konstruktionen.

### Fazit:

Basreflex bietet für die meisten (Tiefton-) Anwendungen den besten Kompromiss.

- Relativ kompakte Gehäuse
- Einfache Konstruktion und Berechnung
- Einen relativ guten Wirkungsgrad (im Bereich der Tuning Frequenz)

## Gehäusematerial

Jetzt können wir mit dem Bau beginnen. Die erste Frage lautet nun, welches Gehäusematerial ist anzuwenden. Im Gegensatz zur Herstellung von Musikinstrumenten hat das Gehäuse nicht die Funktion Schall abzustrahlen. Der membranrückseitige Schall in der Box darf auf keinen Fall nach außen dringen, die Energie in der Box sollte möglichst in Wärme umgewandelt werden.

Abgeleitet heißt das, schweres Material mit hoher Eigendämpfung verwenden.

Eine simple Möglichkeit, um die Materialeignung zu prüfen, ist der "Klopftest". Auf das Gehäuse klopfen, je lauter das Geräusch ist, umso schlechter ist das Gehäuse. Dies lässt sich in Kaufhäusern leicht ausprobieren.

Ideal wäre das Geräusch beim Klopfen auf einen Stein. Damit haben wir auch schon ein vorzügliches Material gefunden, nämlich Granit, Schiefer oder Beton.

Da Stein schwer zu bearbeiten ist, widmen wir uns gebräuchlicheren Materialien zu. Gut geeignet sind Spanplatten, MDF (mitteldichte Faserplatte) und Multiplex. Preis-Leistungs-Sieger ist MDF.

Echtholz ist wegen der geringeren Eigendämpfung nicht so gut geeignet. Als Materialstärke sind 19...22 mm zu bevorzugen. Höhere Materialstärken bringen nur noch geringere Verbesserungen. Im Inneren des Gehäuses sind nun Maßnahmen zur Gehäusedämmung und Gehäusebedämpfung erforderlich.

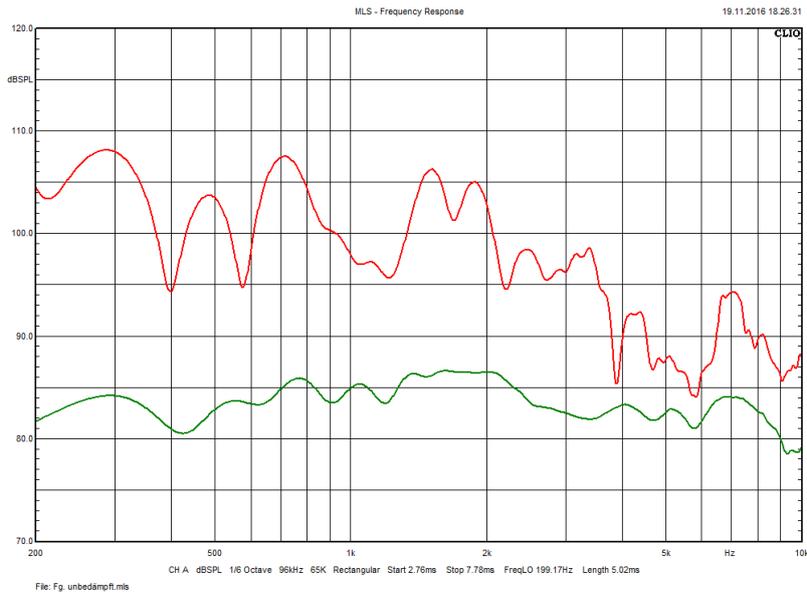
## Dämmung

verhindert den Schalldurchtritt durch die Gehäusewand. Das Auskleiden der Innenwände mit Bitumenfolie bringt eine Körperschallreduzierung allerdings überwiegend im höheren Frequenzbereich. Geeignete Materialien sind: Damping, Alubutyl, Dachpappe.

Eine weitere sehr wirksame Maßnahme das Mitschwingen der Gehäusewände zu verhindern, ist das Einkleben von Querverstrebungen im Gehäuse zur Versteifung.

## Bedämpfung

dagegen ist notwendig, um den Innenschall in Wärme umzuwandeln, damit dieser nicht über die Membranrückseite seinen Weg nach außen findet. Im Inneren des Gehäuses herrscht nämlich ein extremer Schalldruck vor.



Fg. im geschlossenen Gehäuse – rot; Fg. Schallabstrahlung in den Raum - grün

Wesentlich für den Klang geschlossener Boxen ist die Befüllung mit Dämmstoff. Man verhindert damit Echos, die auf die Membranrückseite treffen und so wiedergegeben werden. Zur Bedämpfung wird das Gehäuse mit einem porösen Absorber befüllt.

Der poröse Absorber entfaltet erst dann seine volle Wirksamkeit, wenn er im Bereich der höchsten Schallschnelle abgebracht ist.

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

Durch das Einbringen von Absorptionsmaterial wird das Volumen scheinbar vergrößert. Der Effekt wird je nach Quelle mit 10 bis 30% beziffert.

Der Füllgrad lässt  
umschreiben:



sich etwa wie folgt



Füllgrad	Beispiel für Realisierung
Leer	ohne Füllung bzw. nur eine Seite mit Schaumstoff belegt (Volumen des Absorptionsmaterials < 10% des Gesamtvolumens, typisch für 3-Wege-Bassreflexsysteme), Gehäuse und Lautsprecher (z.B. Sicke, Staubschutz) ohne deutliche Lecks
Leicht	Gehäuse zu 80% mit Polyestervlies (unkomprimiert) gefüllt, an einzelnen Gehäusewänden Noppenschaumstoff, andere mit Filz oder Teppichboden bekleben (typisch für 2-Wege-Bassreflexsysteme); Gehäuse und Lautsprecher (z.B. Sicke, Staubschutz) ohne Lecks
Moderat	Gehäuse zunächst (vom Lautsprecher aus gesehen) mit 1 bis 2 Lagen Polyestervlies gefüllt (unkomprimiert, ca. 15% des Gesamtvolumens), dann (Noppen)Schaumstoff (ca. 35% des Gesamtvolumens), dann Glas- oder Steinwolle auf den Wänden (ca. 50% des Gesamtvolumens, typisch für qualitativ hochwertige geschlossene Gehäuse)
Stark	Gehäuse zu 100% mit Glas- bzw. Steinwolle gefüllt (nur bei "zu kleinen" geschlossenen Gehäusen oder als lokaler Resonanzkiller bei Transmissionline-Gehäusen ratsam)

(<http://www.picosound.de/>)

### Fertigung der Front

Um Beugungseffekte auszuschließen sollten die Chassis versenkt und mit der Frontplatte in einer Ebene montiert werden. Für die dafür erforderliche Fräsarbeit hat sich ein Fräszirkel bewährt:



- Größter herstellbarer Radius: 38cm
- Kleinster herstellbarer Radius: 2,5cm

### Montage des Gehäuses

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten der Verbindung der Gehäuseteile:

1. die Seiten werden stumpf verleimt,
2. die Seiten werden auf Gehrung verleimt.

Bei der stumpfen Verleimung fällt es schwer die seitlichen Hirnholzflächen zu kaschieren.

Die 45 grd. Gehrung ist schwierig in der Herstellung, sieht jedoch wesentlich besser aus. Damit die Schnittkanten sauber nebeneinander liegen, erfolgt das Fixieren mit Klebeband. Jede Ecke wird mit einem Klebband, das keine Rückstände auf der Fläche hinterlässt, nebeneinander zusammengeklebt. Dann kommt vollflächig auf die Klebfläche Weißleim. Der Korpus wird jetzt zusammengefaltet und mit einem Spannband fest umschlossen. Mit Längenmessungen über Kreuz wird die Rechtwinkligkeit

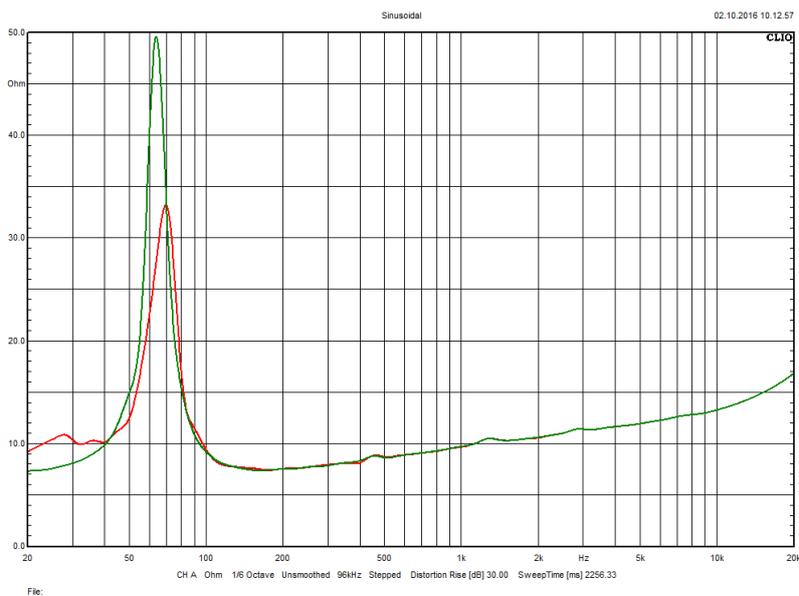
geprüft.  
Wichtig ist das vollflächige Verleimen.

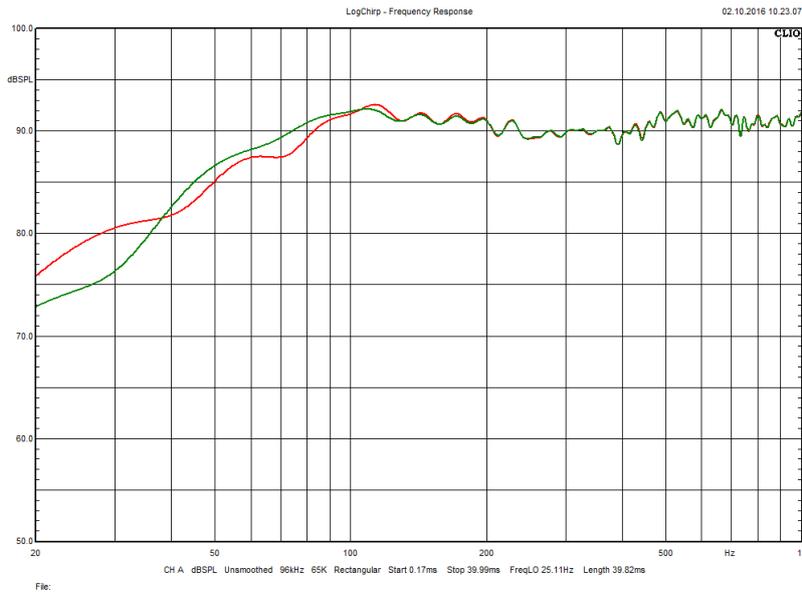
### Abdichtung des Gehäuses

Um die akustische Federwirkung der Luft im Gehäuse zu gewährleisten, ist eine sichere Abdichtung verschraubter Chassis oder Rückwände erforderlich. Hierfür eignen sich Moosgummi-Dichtstreifen. Monacor bietet diese als MDM-5 an.



Aus den folgenden Messdiagrammen ist ersichtlich, welchen Einfluss ein undichtetes Gehäuse auf Impedanz und Frequenzgang des Lautsprechers hat (grün ist dicht; rot ist undicht).



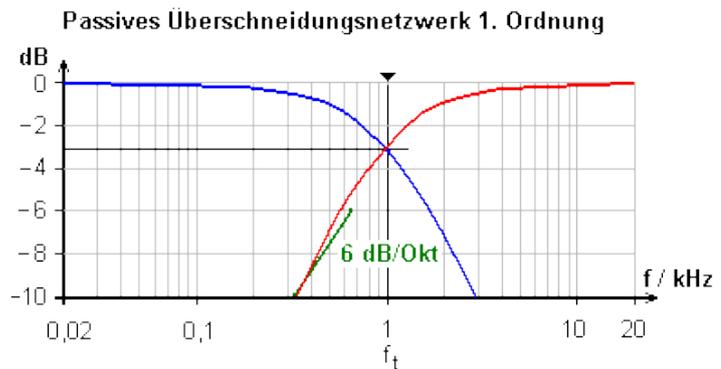
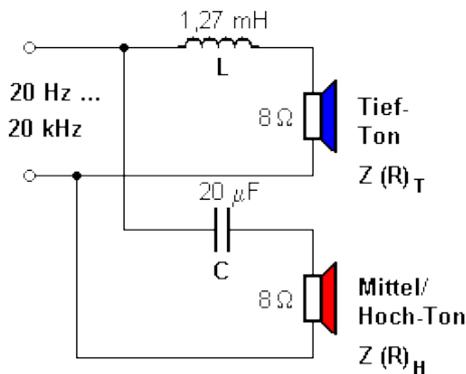


### 1.3. Die Frequenzweiche

#### Aufteilung des Frequenzbereiches

Lautsprecher in der Kombination von Tief-, Mittel- und Hochtöner benötigen Frequenzweichen, um jedem Lautsprecher sein Frequenzband zuzuteilen. Wir unterscheiden im Wesentlichen Zweiweg- und Dreiweg-Frequenzweichen. Je nach Aufbau können unterschiedliche Dämpfungswerte erreicht werden, das sind 6 dB, 12 dB und 18 dB pro Oktave (dB steht für Dezibel; +10 dB entspricht einer Lautstärkeverdopplung).

Die 6 dB-Weiche besteht nur aus einer Spule und einem Kondensator und ist damit am einfachsten aufgebaut. Der Nachteil liegt aber in einer weiten Überlappung der Frequenzbereiche einzelner Chassis. Die Chassis kommen damit einerseits außerhalb ihres Arbeitsbereiches zum Einsatz und beeinflussen die anderen Lautsprecher, z.B. durch Interferenzen.



$$L = \frac{Z_T}{2 \cdot \pi \cdot f_t}$$

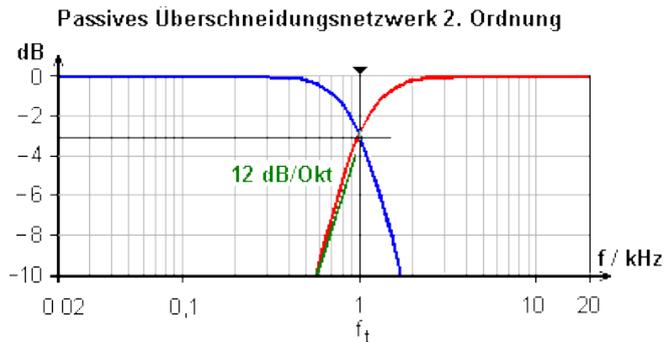
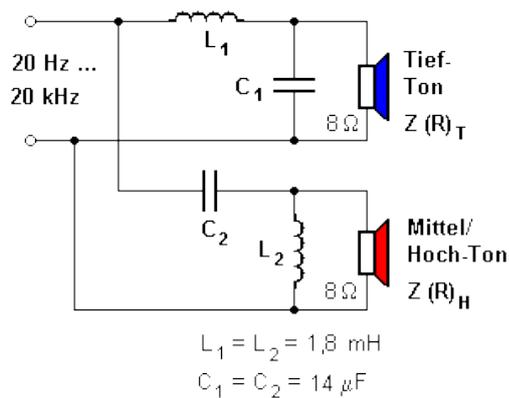
$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_t \cdot Z_H}$$

es finden sich auch die Näherungsgleichungen, bei denen Z in  $\Omega$  und  $f_t$  in Hz eingesetzt werden müssen

$$L = \frac{160 \cdot Z_T}{f_t} \text{ mH}$$

$$C = \frac{160000}{f_t \cdot Z_H} \text{ } \mu\text{F}$$

Größere Dämpfungen sind hier vorteilhaft. Ein guter Kompromiss ist die 12 dB-Weiche.



es finden sich auch die Näherungsgleichungen, bei denen Z in  $\Omega$  und  $f_t$  in Hz eingesetzt werden müssen

$$L_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot Z_T}{2 \cdot \pi \cdot f_t}$$

$$L_2 = \frac{\sqrt{2} \cdot Z_H}{2 \cdot \pi \cdot f_t}$$

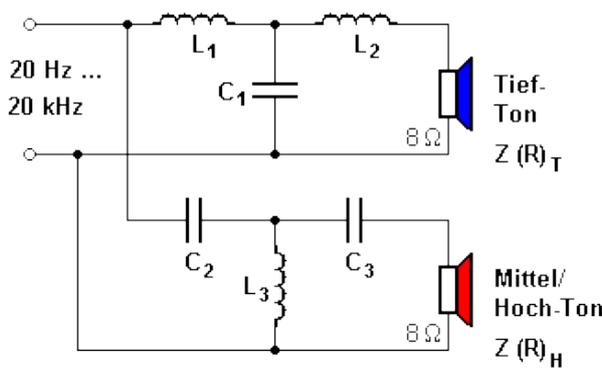
$$L = \frac{225 \cdot Z}{f_t} \text{ mH}$$

$$C = \frac{112500}{f_t \cdot Z} \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_1 = \frac{\sqrt{2}}{4 \cdot \pi \cdot f_t \cdot Z_T}$$

$$C_2 = \frac{\sqrt{2}}{4 \cdot \pi \cdot f_t \cdot Z_H}$$

Die 18 dB-Weiche ist für eine steile Trennung geeignet. Insbesondere bei Unregelmäßigkeiten des Frequenzganges eines Chassis in der Nähe des Arbeitsbereiches.



**Passives Überschneidungsnetzwerk 3. Ordnung**

$$L_1 = \frac{3 \cdot Z_T}{4 \cdot \pi \cdot f_t}$$

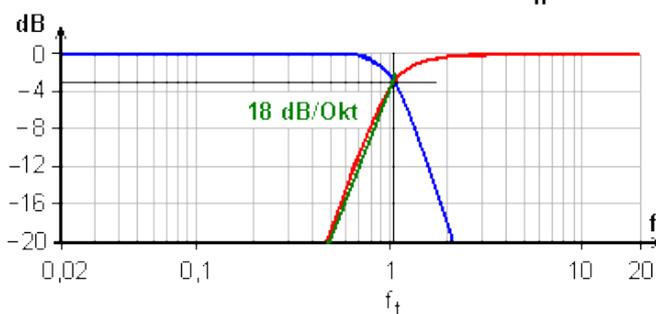
$$C_1 = \frac{2}{3 \cdot \pi \cdot f_t \cdot Z_T}$$

$$L_2 = \frac{Z_T}{4 \cdot \pi \cdot f_t}$$

$$C_2 = \frac{1}{3 \cdot \pi \cdot f_t \cdot Z_H}$$

$$L_3 = \frac{3 \cdot Z_H}{8 \cdot \pi \cdot f_t}$$

$$C_3 = \frac{1}{\pi \cdot f_t \cdot Z_H}$$



$$L_1 = 1,8 \text{ mH}$$

$$C_1 = 27 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_2 = 0,68 \text{ mH}$$

$$C_2 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L_3 = 1 \text{ mH}$$

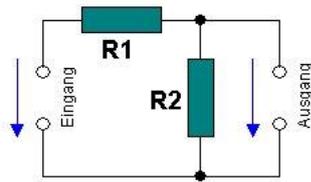
$$C_3 = 39 \text{ } \mu\text{F}$$

Weiterhin zu berücksichtigen sind:

### Pegelunterschiede der Chassis

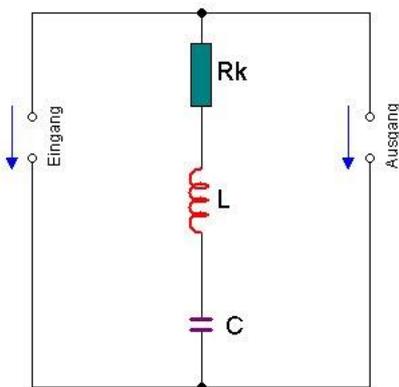
Selten weisen die in einem Lautsprecher eingebauten Chassis den gleichen Kenschalldruck auf. Ist

der Tieftöner lauter, funktioniert das Projekt nicht, da der Tieftöner nicht gedrosselt werden kann. Ist der Hochtöner zu laut, muss er mit einem Spannungsteiler eingebremst werden.



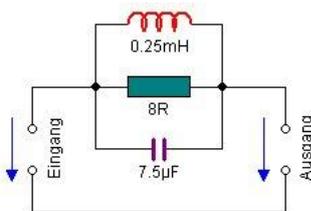
### Saugkreis

Sinn dieser Schaltung ist es, den Einfluss der Lautsprecherresonanz auf die Frequenzweiche zu verringern.



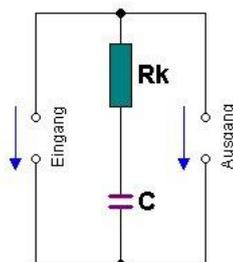
### Sperrkreis

Sinn dieser Schaltung ist es, Frequenzgangüberhöhungen zu glätten, indem selektiv mit dem Filter der betreffende Bereich gesperrt wird.



### Impedanz

Die Impedanz ist nicht linear, sie schwankt mit der Frequenz. Die Impedanz des Lautsprechers steigt zu hohen Frequenzen hin an. Damit die Frequenzweiche sauber arbeiten, kann man die Impedanz linearisieren.



Weichenschaltungen mit starker Schwingneigung führen übrigens auch immer zu Einbrüchen im Impedanzverlauf der Gesamtkombination. Dies ist besonders bei Tiefpassfiltern bei **3-Wege-Basslautsprechern** zu beachten, wo es aufgrund der Wechselwirkung zwischen Weichenkapazität und Lautsprecher-masse (entspricht einer elektrischen Induktivität) häufig zu Schwingneigung im Bereich um 100 Hz kommt, was den Bass ungewollt aufdickt und daher unsauber erscheinen lässt. Außerdem bekommt das Impedanzminimum um 125 Hz dem Verstärker auch nicht sehr gut. Abhilfe für beides schafft hier nur die Impedanzlinearisierung bei der Resonanzfrequenz mit einer LRC-Serienschaltung parallel zum Lautsprecher.

Dasselbe passiert übrigens auch bei **Hochtönern** (hier schwingt die Weichenkapazität gerne mit der Schwingspuleninduktivität). Abhilfe schafft hier ein sogenanntes Zobelglied (RC-Serienschaltung parallel zum Lautsprecher). Das ergibt zwar weniger Höhen (ca. 2 dB um 5 kHz), die dafür aber in der Regel sauberer klingen. (<http://www.picosound.de/>)

### **Phasendrehung einer Frequenzweiche**

Weichentyp	vereinfachtes Schaltbild (mit Lautsprecher als reinem Wirkwiderstand)	Phase minimal (tiefe Frequenz)	Phase maximal (hohe Frequenz)
6 dB Hochpass-Weiche		-90 °	0 °
6 dB Tiefpass-Weiche		0 °	90 °
12 dB Hochpass-Weiche		-180 °	0 °
12 dB Tiefpass-Weiche		0 °	180 °
18 dB Hochpass-Weiche		-270 °	0 °
18 dB Tiefpass-Weiche		0 °	270 °

Quelle:

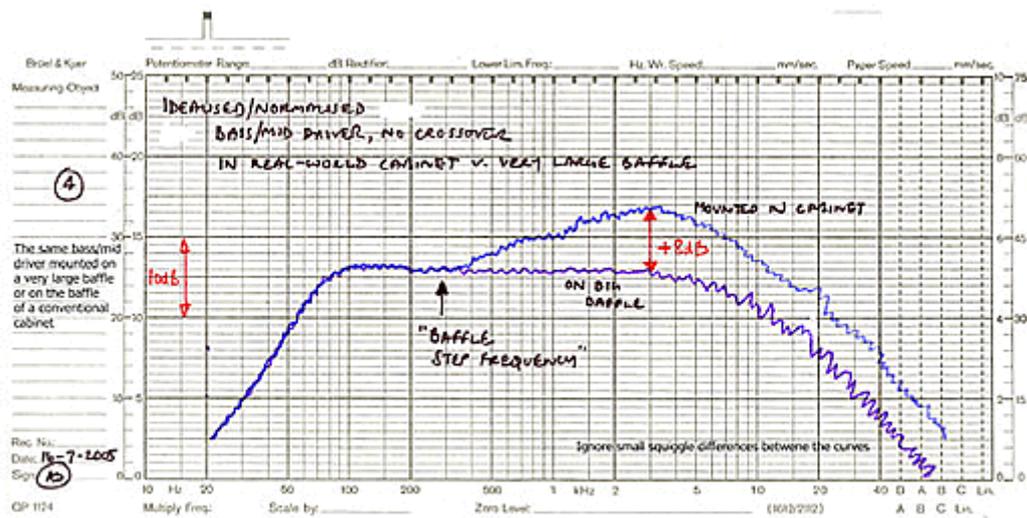
[http://www.lautsprechershop.de/index\\_hifi\\_de.htm?http://www.lautsprechershop.de/hifi/lagrange\\_98\\_erkl.htm](http://www.lautsprechershop.de/index_hifi_de.htm?http://www.lautsprechershop.de/hifi/lagrange_98_erkl.htm)

## 1.4 Gestaltung der Gehäusefront

Hier sieht man den Zusammenhang zur Weichenentwicklung. Das Gehäuse spielt beim Frequenzgang eine große Rolle und dieser Einfluss ist durch die Frequenzweiche zu korrigieren. Je nach Schallwandgröße, Schallwandform und der Anordnung der Chassis verbiegt sich der Frequenzgang.

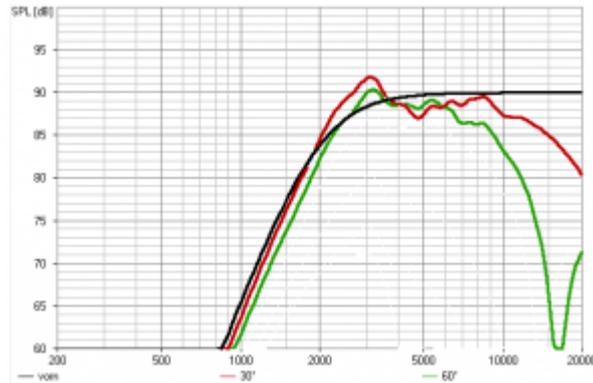
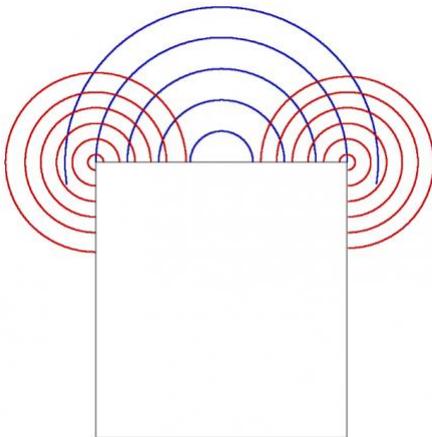
Immer zu berücksichtigen ist der sogenannte Baffle Step (Stufe). Er berücksichtigt das Verhältnis zwischen Schallwandbreite und Wellenlänge. Ist die Wellenlänge größer als die Breite der Schallwand, dann erfolgt eine  $360^\circ$  Abstrahlung. Bei kleineren Wellenlängen  $180^\circ$  Abstrahlung. Diese Reflexion an der Schallwand führt zur Schalldruckerhöhung um 6 dB und muss bei der Weichengestaltung berücksichtigt werden.

<http://www.harbeth.co.uk/uk/index.php?section=products&page=designersnotebookdetail&id=5>



Im Hochtonbereich ist die Kantendiffraktion zu berücksichtigen. Gegenüber dem Einbau in einer unendlichen Schallwand bilden sich in Realität an den Gehäusekanten Sekundärschallquellen, die den Frequenzgang verbiegen.

<http://heissmann-acoustics.de/kantendiffraktion-sekundaerschallquellen-treiberanordnun/>



"In der Simulation ist der Hochtöner linearisiert, sprich der Einbruch auf Achse wurde kompensiert, was die Überhöhung unter Winkeln entsprechend stärker zu Tage treten lässt. Unabhängig davon wie man den Treiber auf Achse beschaltet, die Diskrepanz zwischen Achs,- und Winkelfrequenzgängen bleibt bestehen."

Um diesen Effekt zu verringern ist eine außermittige Montage oder eine Kantenabrundung/Fase an der Kante erforderlich.

Bei der außermittigen Montage und zur Verringerung stehender Wellen im Gehäuse hat sich ein Verhältnis nach dem goldenen Schnitt bewährt (1:1,61).

## 1.5 Ablauf einer Lautsprecherentwicklung

### 1. Ziele festlegen:

- Größe des Lautsprechers passend zur Raumgröße
- Schalldruck
- Bevorzugte Wiedergabe; Sprache, Konzerte, Rock, Pop, usw.
- Frequenzbereich
- Qualität und Preis

2. Die Bauart festlegen. Dies bezieht sich wiederum auf den Tieftön, dafür wurden die TSP (Thiele – Small – Parameter) entwickelt. Üblicherweise wäre eine geschlossene oder eine Bassreflexbox mit 2 oder 3 Wegen zu entwickeln.

### 3. Lautsprecherchassis auswählen. Schwerpunkte:

- Impedanz
- Hersteller
- TSP
- Membranmaterial
- Polkernbohrung, Gußkorb, Impedanzgang, Frequenzgang, Ferrofluid, Neodym
- Eignung laut Herstellerangabe

Eine Vielzahl von Angaben finden wir auf dem Datenblatt.

Die Frequenzbereiche sollen sich weitläufig überschneiden. Der Tieftöner muss den geringsten Kennschalldruck aufweisen. Die Kennschalldrücke sollen zueinander passen.

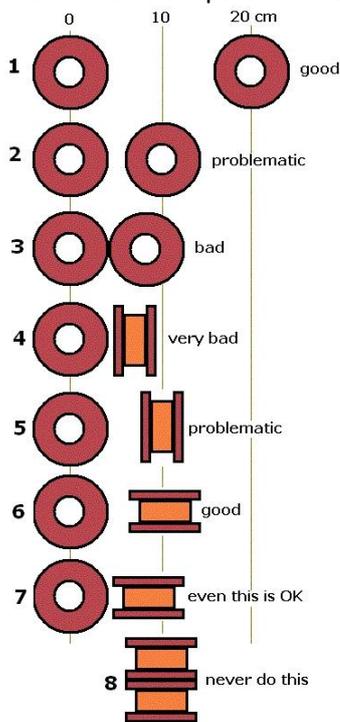
4. Eine Voreinschätzung über mögliche Trennfrequenzen treffen. Schwerpunkte:
  - Klirrfaktor
  - Bündelung
  - Untere Grenzfrequenz, ist von der Resonanzfrequenz abhängig
  - Linearität des Frequenzganges
5. Weichendesign festlegen
6. Das benötigte Gehäusevolumen z.B. mit Boxsim ausrechnen.
7. Bei Bassreflexgehäusen den Durchmesser des Reflexrohres festlegen (ca. 1/3 der Membranfläche) und die Rohrlänge mit Boxsim bestimmen.
8. Testgehäuse bauen.
9. Frequenzgang und Impedanzgang messen (z.B. mit ARTA). Messdaten in Simulationsprogramm (z.B. Boxsim) importieren. Bei Visaton Chassis liegen die Daten vom Hersteller bereits vor.
10. Frequenzweiche herstellen, einbauen und wieder messen.
11. Korrekturen vornehmen.
12. Nach Übereinstimmung der Messung mit den Vorgaben sind ausgewählte Musikstücke mit dem Lautsprecher abzuhören und zu beurteilen.
13. Minimale Änderungen an der Weiche vornehmen.
14. Zweiten Lautsprecher fertigstellen und in der Stereoposition erneut abhören.

## 2. Tipps und Tricks

### 3.1 Häufige Fehler allgemein

- Die Auswahl der Chassis sollte nicht nach der Leistungsangabe erfolgen. Schalldruck und Leistung sind zwei verschiedene Dinge und diese unterscheiden sich durch den Wirkungsgrad.
- Ein Lautsprecherchassis ohne TSP Daten ist so gut wie wertlos.
- Die Verwendung von Universalweichen bringt eher zufällig akzeptable Ergebnisse. Ohne spezielle Computerprogramme lässt sich eine Weiche nur nach dem Prinzip Versuch und Irrtum entwickeln.
- Billigkauf bei ebay bringt häufig Enttäuschungen. Ältere Chassis (ausgenommen seriöse Hersteller wie z.B. Isophon) verfügen häufig über Schaumstoffsicken, die im Laufe der Zeit zerbröseln. Ebenso kann falsche Lagerung die Zentrierung schädigen. Für einen Lautsprecherneubau sollte man neue Chassis verwenden.
- Ein zufällig gefundenes fertiges Gehäuse kann nicht die Basis für ein neues Konzept werden. Es funktioniert nur umgekehrt. Anhand der Chassis wird das Gehäuse berechnet und gefertigt.
- Wundermittel bringen, wenn überhaupt, nur sehr kleine Verbesserungen. Grundlage einer guten Konstruktion sind geeignete Chassis und ein stabiles gut bedämpftes Gehäuse. Ist das Chassis ungeeignet dann erfolgt auch keine Besserung durch vergoldete Zuleitungen.
- Das Gehäusematerial ist sehr ausschlaggebend für die Qualität des Lautsprechers. 10 cm überbrückte Länge erfordern eine Materialstärke von einem Zentimeter.

- Der Bedämpfung stehender Wellen im Gehäuse ist besondere Beachtung zu schenken. Der Schalldruck im Gehäuse ist enorm hoch und ist ausreichend zu bedämpfen. Bei zu schwacher Bedämpfung regen Flatterechos im Gehäuse die Membran ungewollt an.
- Kabel im Gehäuse dürfen nicht mitschwingen und sind deshalb zu befestigen.
- Die Schallentstehungsorte vom Hochton- und Mitteltonchassis sollen dicht beieinander liegen, damit das Klangbild nicht zerfällt.
- Zur Befestigung von Spulen sind Messingschrauben oder andere unmagnetische Materialien zu verwenden, z.B. Kabelbinder, Heißkleber, usw..
- Die Achsen der Spulen sollten im 90° Winkel zueinander stehen.



(<http://www.troelsgravesen.dk/coils.htm>)

- Der Gleichspannungswiderstand von Drosselspulen sollte unter 0,5 Ohm liegen.
- Kernspulen dürfen nicht bis zur Sättigung betrieben werden.

## Praxis

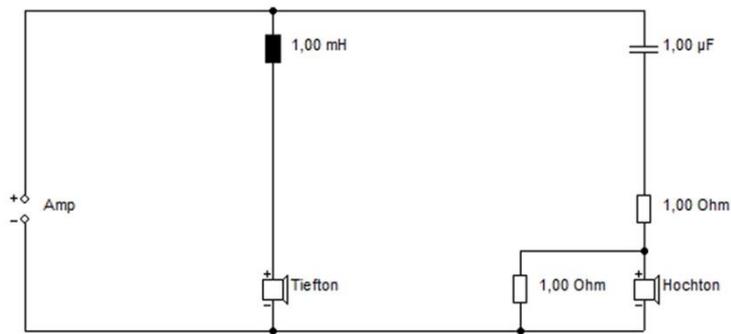
Aufgabe: Konstruiere mit Hilfe des Programms "Boxsim" eine geschlossene Zweiwegebox. Verwende dazu Lautsprecherchassis von Visaton.

### Vorgehensweise

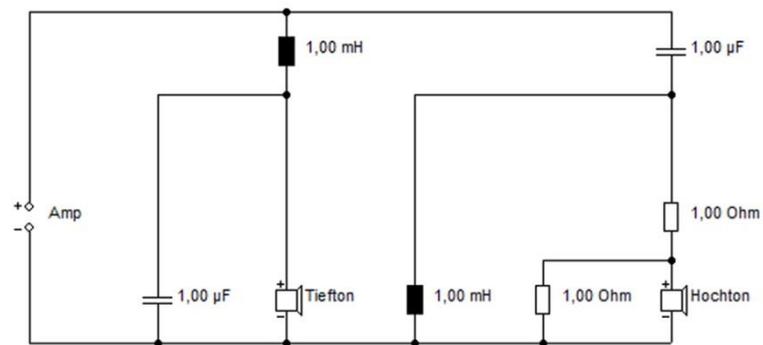
1. Datei/Projekteigenschaften; 1 Verstärker, 2 Chassis wählen
2. Chassis & Einbau; Chassisdaten eingeben, laden aus Datei, z.B. W 170 S, SC 10 N
3. Extras; Auslegung geschlossene, Bassreflexbox
4. Chassis; Gehäuse & Impedanz, Einbaudaten eingeben
5. Chassis & Einbau; gemeinsames Außengehäuse
6. Verstärker; Weiche editieren

Weichenschaltung eingeben, die Bestimmung der Bauteilwerte über Extras/Auslegung Standardweichen:

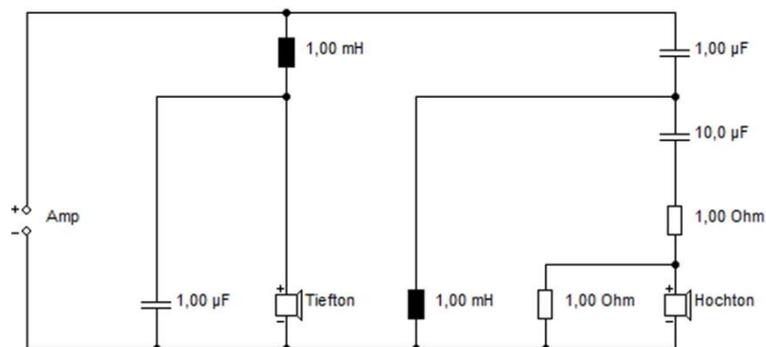
### 6/6 dB Weiche



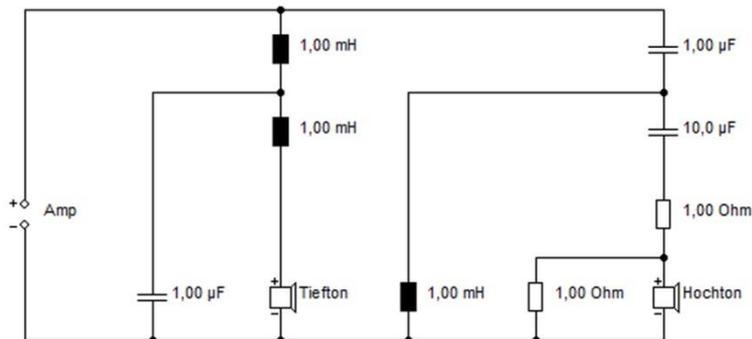
### 12/12 dB Weiche



### 12/18 dB Weiche



## 18/18 dB Weiche



**Hinweis:** Bei der Auswahl des Weichentyps ist die Phase zu berücksichtigen. Kommt der Schall nicht phasengleich an, so gibt es Überhöhungen und Auslöschungen. Die Phase wird durch den SEO (Schallentstehungsort) und der Verzögerung durch passive Weichenbauteile verschoben.

SEO: Mitte der Schwingspule jedes Membran- oder Kalottenchassis.

Phase: 90 Grad Phasendifferenz bei Filtern erster Ordnung; 180 Grad bei Filtern zweiter Ordnung.

7. Fg./Impedanz und Phasengang anzeigen lassen
8. Extras/Weichenoptimierer bei Bedarf nutzen
9. Fg./Impedanz und Phasengang prüfen (auf Einhaltung der Trennfrequenz achten!)
10. Korrektur mit Saugkreis, Sperrkreis, Spannungsteiler oder Impedanzlinearisierung

*Diese Zusammenstellung dient zur persönlichen Nutzung durch die Seminarteilnehmer. Eine öffentliche Verbreitung ist nicht zulässig.*