

kursbox 01

ein 2-Wege-Lautsprecher in High-End-Ausführung

aus der Kurswerkstatt Freiburg

mit Wolf-Christian Hartweg am Holz
und Stefan Kienzler an der Elektroakustik
2. Auflage

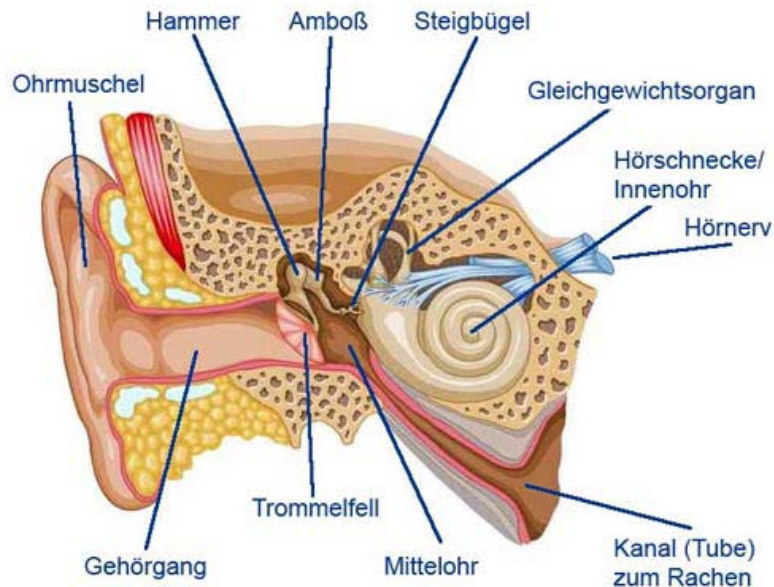
Inhalt

1	Wie hören wir?	2
1.1	Physiologie des menschliche Ohres	2
1.2	Hörvermögen eines jungen Menschen	2
1.3	Kurven gleicher Lautheitsempfindung nach ISO 226	2
1.4	Lärm und seine Auswirkung	3
2	Der dynamische Lautsprecher	4
2.1	Magnetisches Grundprinzip	4
2.2	Wirkungsprinzip am dynamischen Lautsprechermodell	4
2.3	Membranbewegung in Abhängigkeit der Polung	4
2.4	Allgemeiner Aufbau eines Tieftöners	5
2.5	Allgemeiner Aufbau eines Hochtöners (Kalotte)	5
2.6	Auslenkung der Lautsprechermembran	6
2.7	Wirkungsgrad von Schallwandlern	6
2.8	Warum benötigt ein Lautsprecher ein Gehäuse?	7
2.9	Warum benötige ich mehrere Lautsprechertypen?	7
2.10	Frequenzgangbetrachtung	8
2.11	Was beeinflusst welchen Wiedergabebereich?	8
3	Die Frequenzweiche	9
3.1	Passive frequenzabhängige Bauteile	9
3.2	Aufteilung bei einem 2-Wege-Lautsprecher	9
3.3	Aufteilung bei einem 3-Wege-Lautsprecher	9

4	Verschiedene Gehäusekonstruktionen	11
4.1	A) Geschlossenes Gehäuse	11
4.2	B) Bassreflexprinzip	12
4.3	C) Transmissionline	12
4.4	D) Hornlautsprecher	12
4.5	Frequenzgangmessung unter verschiedenen Winkel	13
5	Die Kursbox – Aufbau und Besonderheiten	14
5.1	Das Gehäuse	14
5.2	Technische Daten	15
5.3	Bassreflexsimulation der Kursbox 01	15
5.4	Impedanzgang der Kursbox 01	15
5.5	Der Hochtöner (Wavecor TW030WA01)	16
5.6	Der Tiefmitteltöner (Wavecor WF152BD01/ 05)	17
5.7	Die Frequenzweiche	18
5.8	Filterkennlinie für Tief- und Hochtöner	19
5.9	Befestigung Lautsprecher/ Frequenzweiche	19
5.10	Bedämpfung	19
6	Ohren auf beim Hifi-Kauf	20
6.1	Wertlose Wattangaben Lautsprechern!	20
6.2	Leistung und Belastbarkeit:	20
6.3	Verstärker-Clipping: ein Crash-Programm für jede Box!	20
6.4	Wirkungsgrad	21
6.5	Wenn es nicht so klingt, wie es sollte: Der Hörraum	23
6.6	Die Objektivität branchenüblicher Hörvergleiche	25
7	Literaturempfehlungen	26

1 Wie hören wir?

1.1 Physiologie des menschliche Ohres



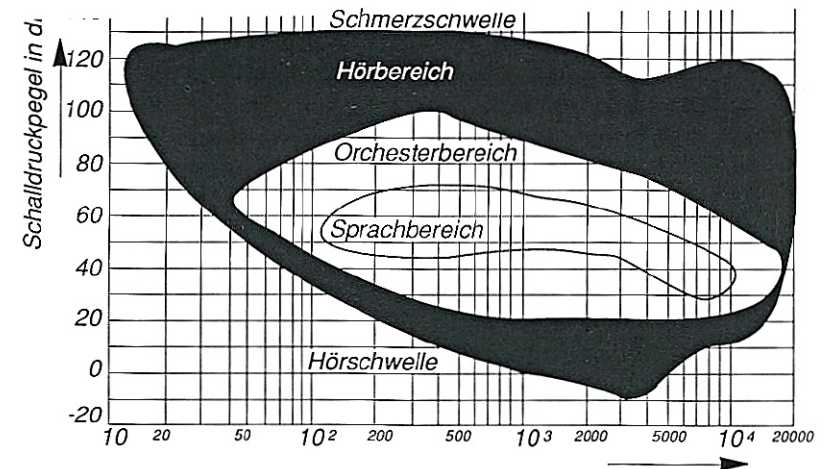
Das menschliche Ohr ist ein wundervolles Organ für eine hochkomplexe Signalverarbeitung des akustischen Schalls in Funktion eines Sinnesorgans zum Hören.

Unser Gehör verarbeitet ein Frequenzspektrum von ca. 16 Hz bis 20 kHz.

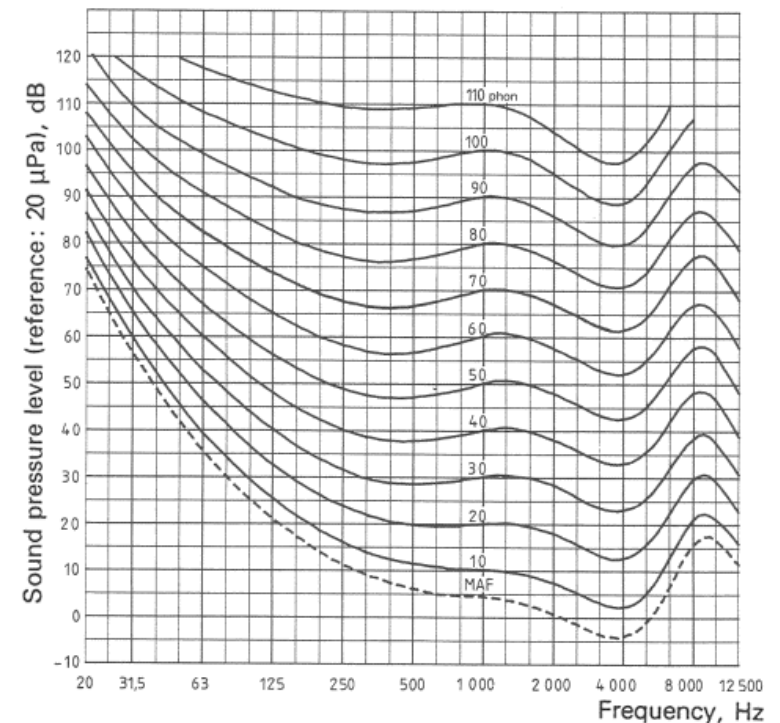
Bei 1000 Hz liegt die Hörschwelle, die gerade eine Hörempfindung auslöst, bei ca. 3×10^{-6} Pa. Etwa erst das 2millionenfache (ca. 60 Pa) des Schalldruckes bei 1000 Hz löst die Unbehaglichkeitsschwelle in der Lautstärke aus.

Gewusst? 1m^3 Luft wiegt ca. 1,2 kg bei 25° C

1.2 Hörvermögen eines jungen Menschen



1.3 Kurven gleicher Lautheitsempfindung nach ISO 226



1.4 Lärm und seine Auswirkung

1.4.1 Frequenzanalyse beim Sägen von Buchenholz

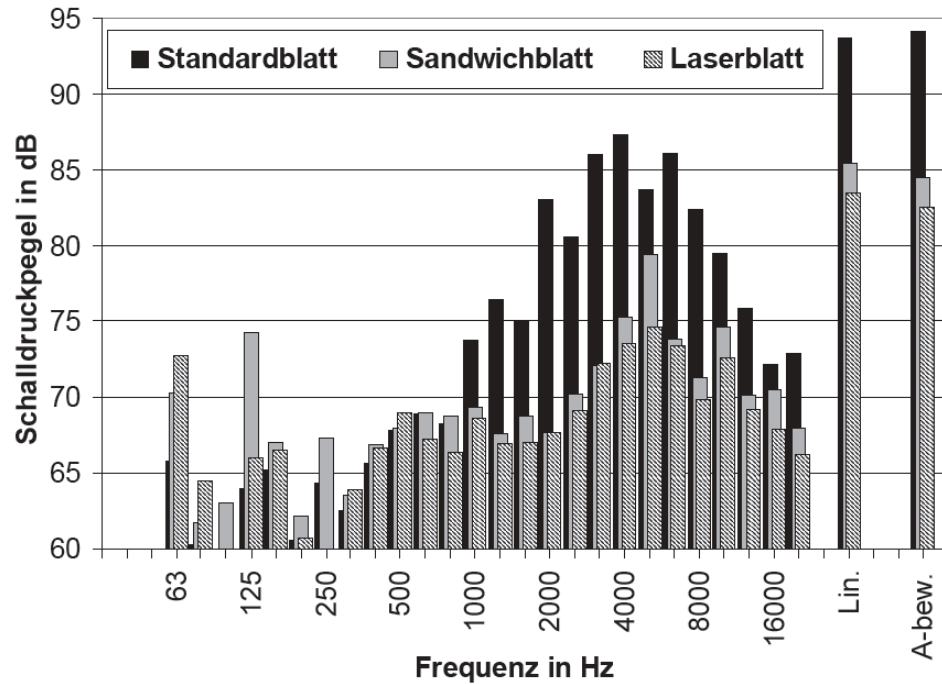
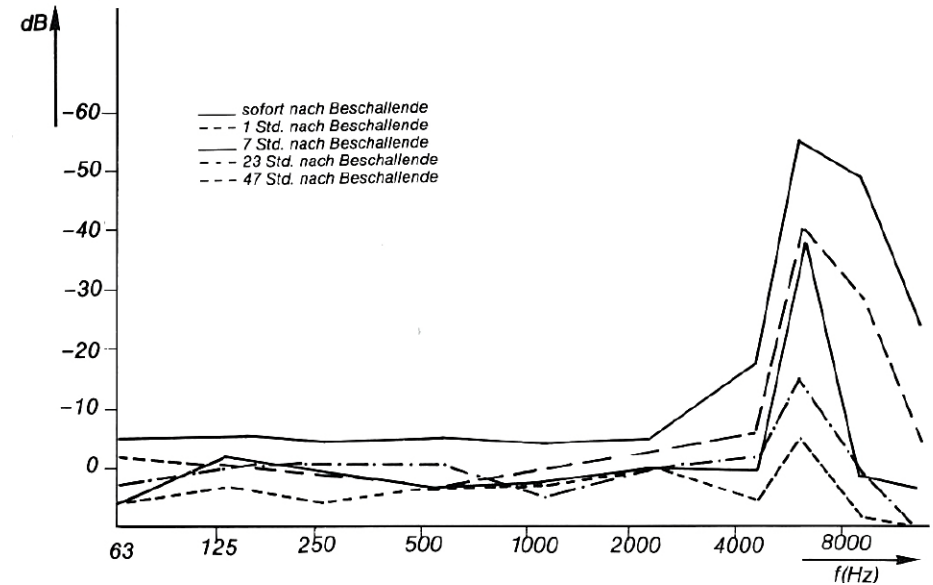


Bild 10: Frequenzanalyse beim Sägen von Buchenholz

1.4.2 Erholung des Hörvermögens für eine normalhörende Person nach starker Lärmeinwirkung (90dB[A]) über eine Stunde



2 Der dynamische Lautsprecher

2.1 Magnetisches Grundprinzip

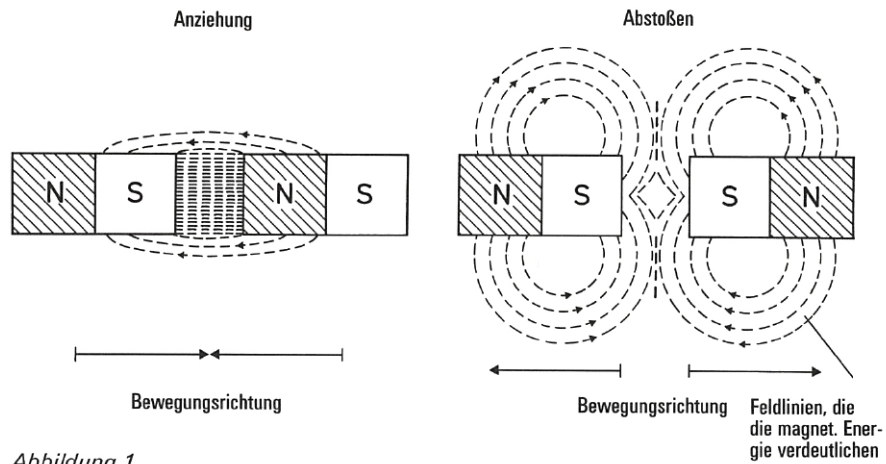
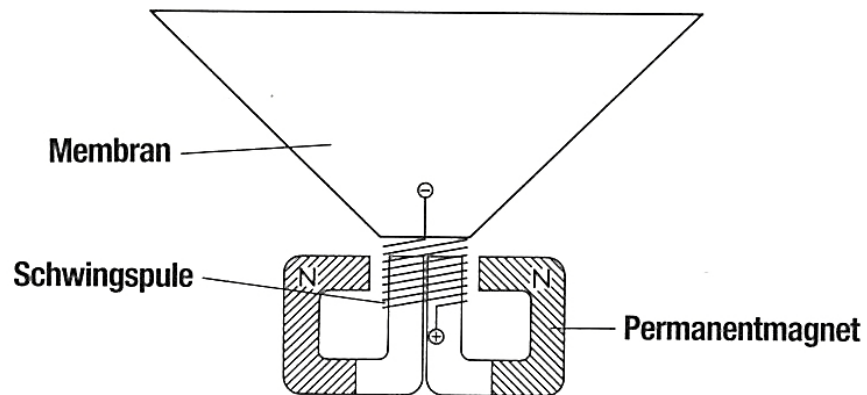
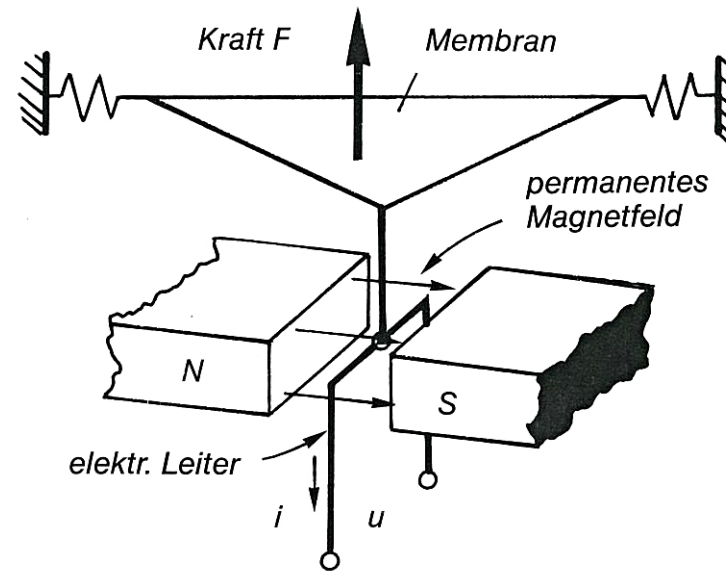


Abbildung 1



2.2 Wirkungsprinzip am dynamischen Lautsprechermodell



2.3 Membranbewegung in Abhängigkeit der Polung

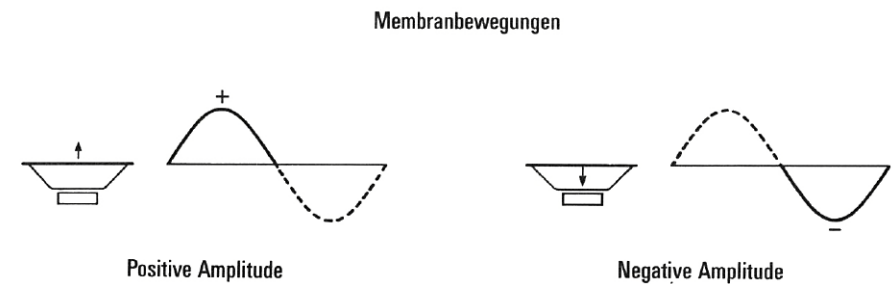


Abbildung 4

- 9V Batterieversuch am Tieftöner

2.4 Allgemeiner Aufbau eines Tieftöners

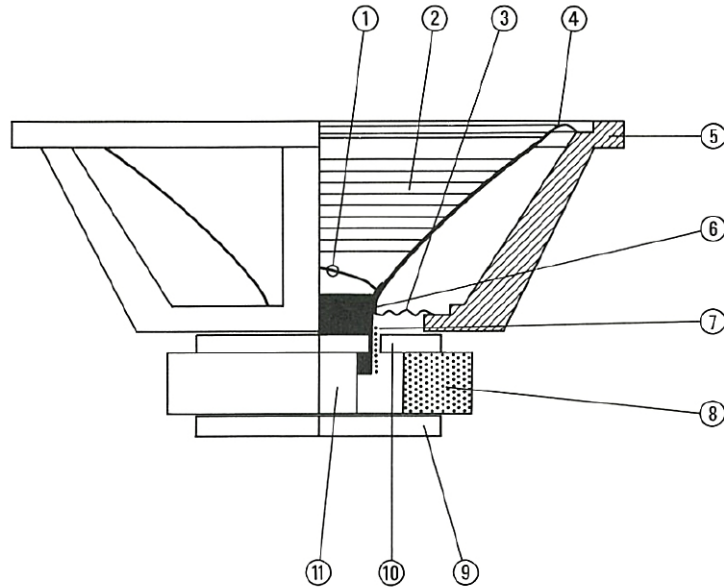


Abbildung 51:

- ① Staubschutzkalotte aus Pappe, Kunststoff, Textilgewebe oder Aluminium.
- ② Membran, meist aus Spezialpappe oder Kunststoff (Bextrene, Polypropylen etc.). Seltener aus Metall oder Styropor.
- ③ Zentriermembran (Zentrierspinne) aus getränktem, gefaltetem Textilgewebe.
- ④ Randaufhängung aus Schaumstoff, Gummi, Kunststoff, getränktem Textilgewebe oder Pappgemisch.
- ⑤ Rahmen und Korb aus Stahlblech, Aluminium oder Magnesium.
- ⑥ + ⑦ Schwingspulenträger, meist aus Aluminium mit Schwingspule aus lackiertem Kupferdraht.
- ⑧ Ferritmagnet.
- ⑨ Bodenplatte aus Stahl.
- ⑩ obere Polplatte aus Stahl.
- ⑪ Polkern aus Stahl.

Merkmale:

- hohe Masse → niedrige Resonanzfrequenz
- gutes Rundumstrahlverhalten bei niedrigen Frequenzen
- schlechtes Rundumstrahlverhalten bei höheren Frequenzen
- großes Verschiebevolumen

2.5 Allgemeiner Aufbau eines Hochtöners (Kalotte)

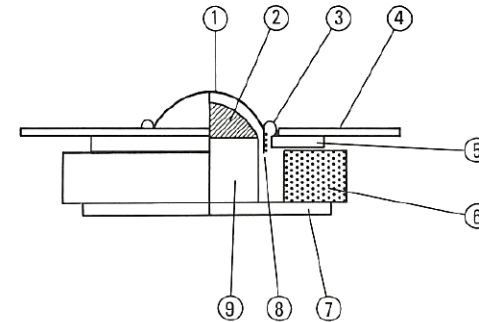


Abbildung 38:

- ① Membran aus weichem Kunststoffgewebe (→ »soft dome«), aus Kunststoffolie (Polyamid oder Polycarbonat), aus Metall (Aluminium, Titan, Beryllium) und manchmal auch aus speziellem Papiergemisch.
- ② Schalldämpfendes Material.
- ③ Randaufhängung, meist aus Kunststoff.
- ④ Frontplatte aus Metall oder Kunststoff.
- ⑤ Polplatte aus Stahl.
- ⑥ Ferritmagnet.
- ⑦ Bodenplatte aus Stahl.
- ⑧ Schwingspulenträger (meist aus Aluminium) mit Schwingspule im Luftspalt zwischen Polkern und Polplatte. Bei einigen Modellen ist der Luftspalt mit einer magnetischen Kühlflüssigkeit (Ferro- oder Magnetofluid) gefüllt.
- ⑨ Polkern aus Stahl. Bei einigen Modellen ist der Polkern durchbohrt, um das Luftvolumen hinter der Membran zu vergrößern.

Merkmale:

- niedrige Masse (< 1g) → Hohe Resonanzfrequenz
- gutes Rundumstrahlverhalten
- kleines Verschiebevolumen

2.6 Auslenkung der Lautsprechermembran

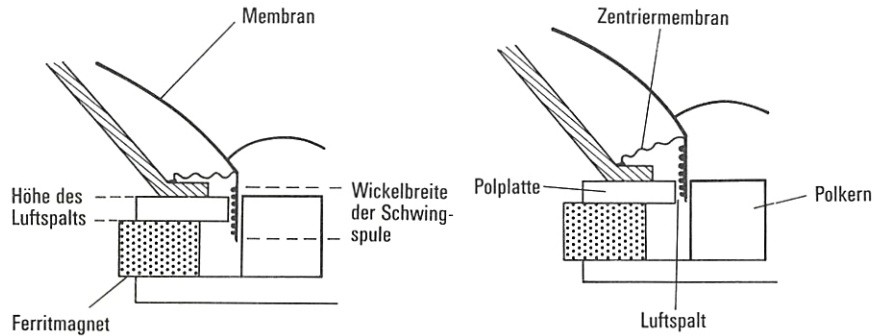


Abbildung 36a: Beträgt die Wickelbreite einer Schwingspule 16 mm und die Höhe des Luftspalts 8 mm, so sind Membranauslenkungen von etwa ± 4 mm zulässig.

Abbildung 36b: Bei größeren Membranauslenkungen (z. B. ± 5 mm) verläßt die Schwingspule teilweise das homogene Magnetfeld im Luftspalt. Extrem hohe Verzerrungen können die Folge sein.

2.7 Wirkungsgrad von Schallwandlern

Mittlerer Schalldruck (1 W, Abst. 1 m)	Wirkungsgrad	Betriebsleistung, für 90 dB Schalldruck (Abst. 1 m)	Betriebsleistung, für 96 dB Schalldruck (Abst. 1 m)
112 dB	100 %	0,0063 W	0,025 W
106 dB	25 %	0,025 W	0,1 W
103 dB	12,5 %	0,05 W	0,2 W
100 dB	6,2 %	0,1 W	0,4 W
98 dB	4 %	0,16 W	0,63 W
96 dB	2,5 %	0,25 W	1,0 W
94 dB	1,6 %	0,4 W	1,6 W
92 dB	1 %	0,63 W	2,5 W
90 dB	0,6 %	1 W	4 W
88 dB	0,4 %	1,6 W	6,3 W
86 dB	0,25 %	2,5 W	10 W
84 dB	0,16 %	4 W	16 W
82 dB	0,1 %	6,3 W	25 W
80 dB	0,06 %	10 W	40 W
77 dB	0,03 %	20 W	80 W

2.8 Warum benötigt ein Lautsprecher ein Gehäuse?

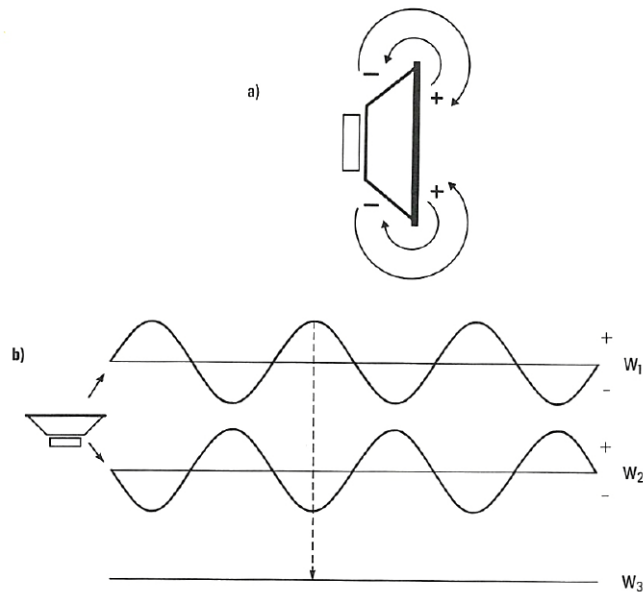
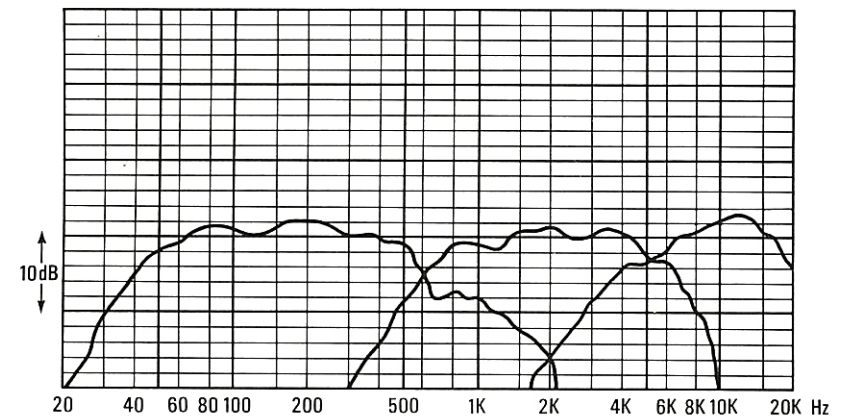


Abbildung 52: Akustischer Kurzschluß.

2.9 Warum benötige ich mehrere Lautsprechertypen?



Große dynamische Lautsprecher (Tiefmitteltöner) weisen gute Eigenschaften für die Wiedergabe tiefer bis mittlerer Frequenzen ($< 2\text{-}5\text{ kHz}$) auf, sind aber schlechte Hochtöner.

Bei kleinen dynamischen Lautsprechern verhält es sich dagegen umgekehrt.

Für den Aufbau eines guten Vollbereichswandlers braucht es mindestens zwei Lautsprecher- Tieftöner + Hochtöner. Mann spricht von einem 2-Wege-System.

Bei einem 3-Wege-System ist zusätzlich ein Mitteltöner anwesend, der den Bereich von $400/800 - 3000/6000\text{ Hz}$ übernimmt.

2.10 Frequenzgangbetrachtung

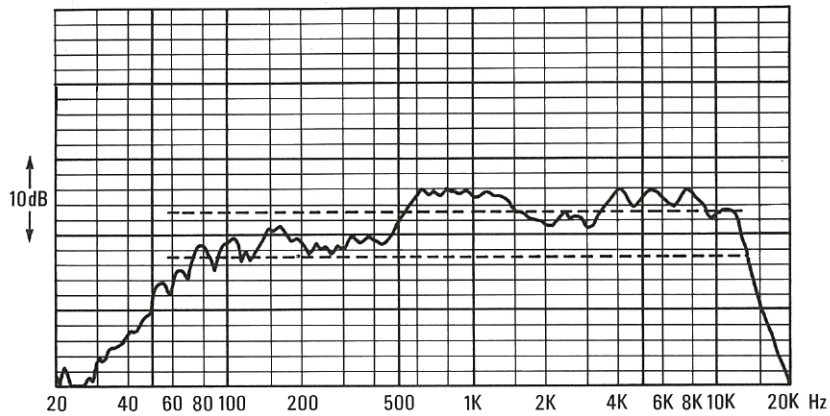


Diagramm 3: Billig-Fertigbox mit HiFi-untauglichem Frequenzgang (gestrichelte Linien: Toleranzgrenzen für hochwertige Boxen).

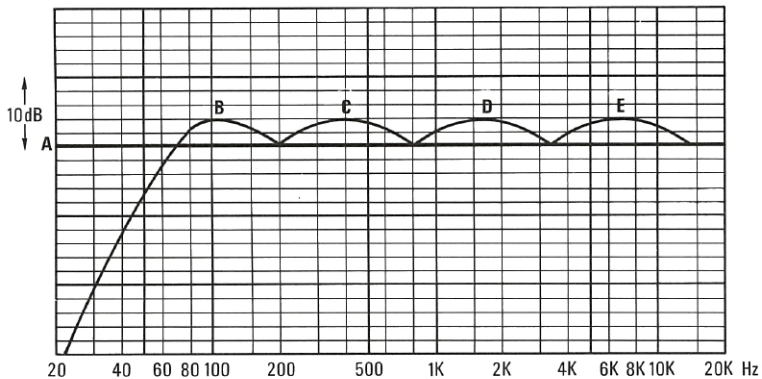


Diagramm 4:

A: Theoretisch idealer Frequenzgang.

B: Schwacher Tiefbaß; Baßinstrumente, große Trommeln und Pauken sind zwar laut (Anhebung bei 100 Hz), es fehlt ihnen aber an Wucht, Kraft und Originalität (Absenkung unter 80 Hz).

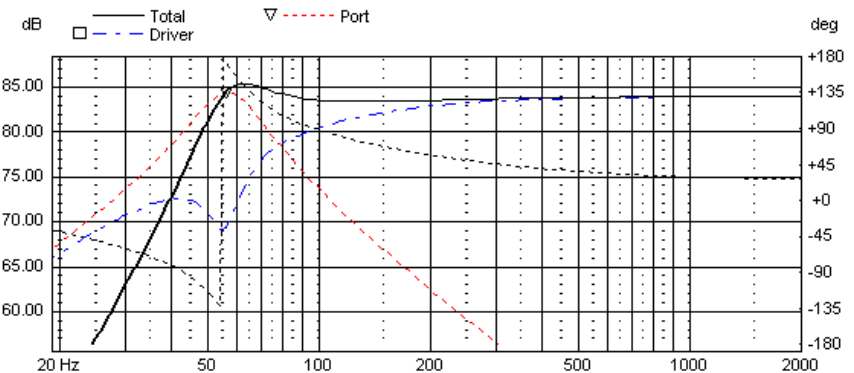
C: Überhöhung im unteren Mitteltonbereich; Sprache und Musik klingt warm und weich, eventuell auch röhrig, topfig und hohl.

D: Überhöhung im Präsenzbereich; Sprache und Musik klingt hell und hart, kaum voluminös und eventuell auch aufdringlich, näselnd oder blechern.

E: Überzogener Hochtonbereich; Zischlaute und hohe Obertöne wirken spitz, aggressiv und vordergründig.

2.11 Was beeinflusst welchen Wiedergabebereich?

- Tiefton [$< 100\text{Hz}$] : Gehäuseprinzip
- Mittelhochton [$> 100\text{Hz}$] : Frequenzweiche & Einbausituation

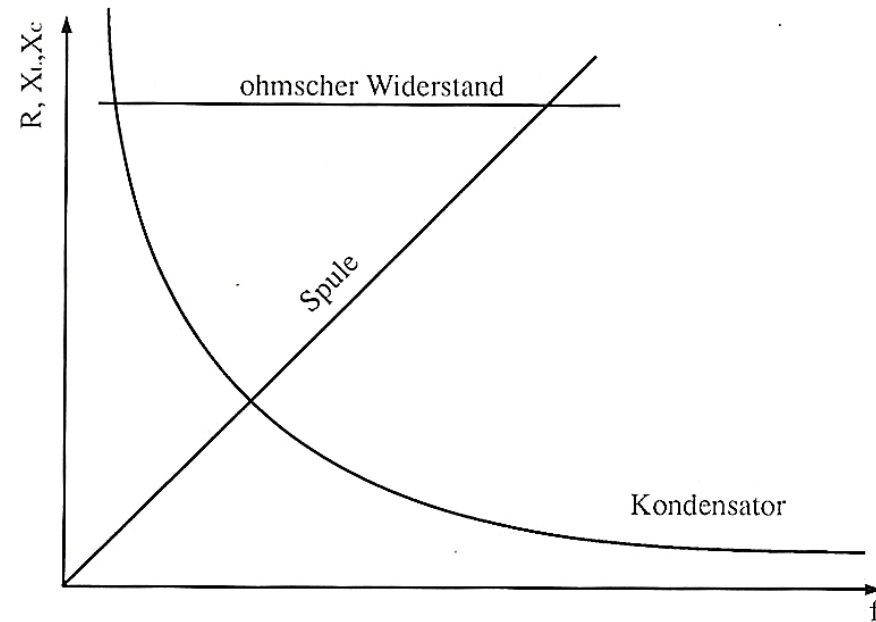


Gehäuseprinzip: Bassreflex

3 Die Frequenzweiche

3.1 Passive frequenzabhängige Bauteile

Aufteilung der Frequenzbereiche durch:
Widerstand – Spule – Kondensator



Wirkungsweise in Abhängigkeit der Frequenz

3.2 Aufteilung bei einem 2-Wege-Lautsprecher

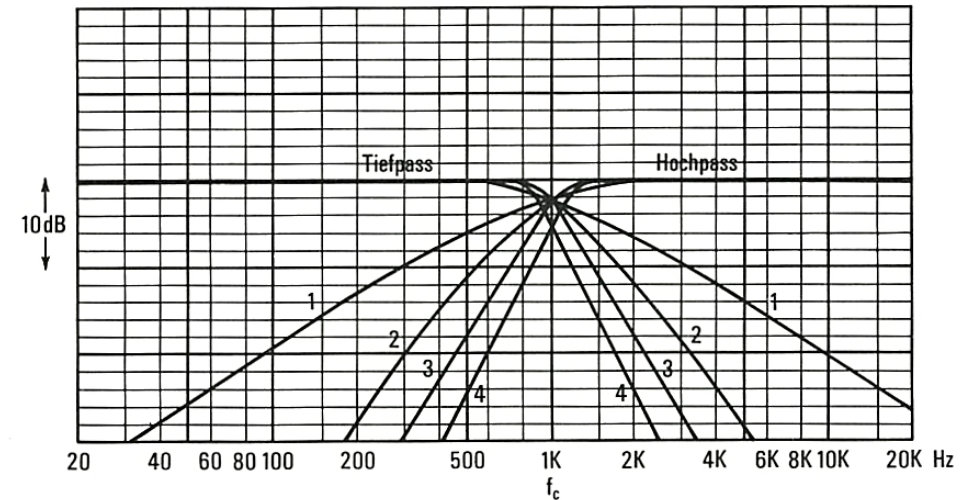


Diagramm 46: f_c = Übergangsfrequenz; (1), (2), (3), (4) = Filter erster, zweiter, dritter und vierter Ordnung.

Die Senke bei der Übergangsfrequenz verschwindet in der Praxis, da dieser Bereich ja von beiden Lautsprechern übertragen wird.

3.3 Aufteilung bei einem 3-Wege-Lautsprecher

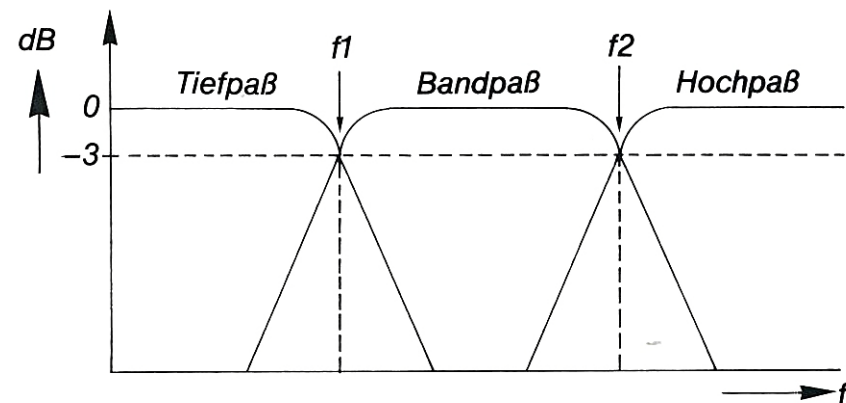
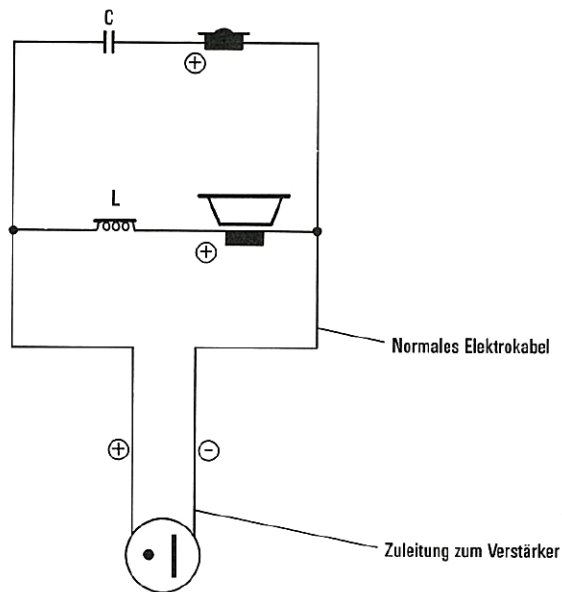


Bild 74: Kennlinienverlauf einer Dreiweg-Weiche

Filter 1. Ordnung mit 6 dB/ Oktave



Spule (Induktivität)

$$L = \frac{160 \cdot Z}{f_c}; \text{ mH}$$

Kondensator (Kapazität)

$$C = \frac{160000}{Z \cdot f_c}; \mu\text{F}$$

wobei Z = Impedanz des Lautsprechers in Ohm
 f_c = gewünschte Übergangsfrequenz in Hz
 mH = Millihenry, Maßeinheit für Induktivitäten
 μF = Microfarad, Maßeinheit für Kapazitäten

Filter 2. Ordnung mit 12 dB/ Oktave

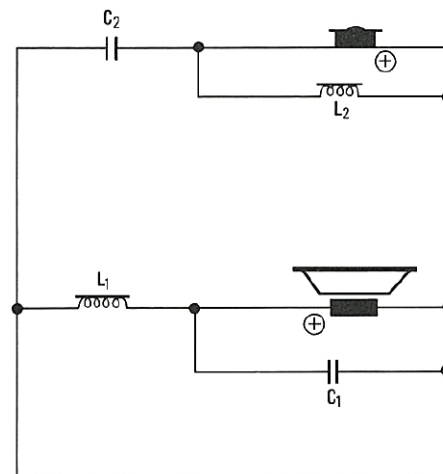


Abbildung 84: Impedanz 8 Ω :

$$\begin{aligned} L_1 &= 2,2 \text{ mH} \\ L_2 &= 0,8 \text{ mH} \\ C_1 &= 6,8 \mu\text{F} \\ C_2 &= 3,3 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Impedanz: 4 Ω :

$$\begin{aligned} L_1 &= 1,2 \text{ mH} \\ L_2 &= 0,4 \text{ mH} \\ C_1 &= 15 \mu\text{F} \\ C_2 &= 6,8 \mu\text{F} \end{aligned}$$

LS-Impedanz 8 Ω

$$L = 2,5 \cdot \frac{225 \cdot 8}{2000} = 2,25 \text{ mH}$$

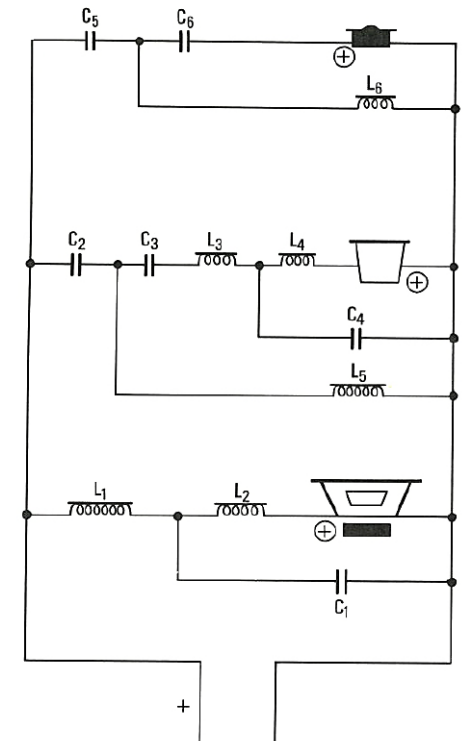
$$C = \frac{112500}{8 \cdot 2000} = 7 \mu\text{F}$$

LS-Impedanz 4 Ω

$$L = 2,5 \cdot \frac{225 \cdot 4}{2000} = 1,12 \text{ mH}$$

$$C = \frac{112500}{4 \cdot 2000} = 14 \mu\text{F}$$

Filter 3. Ordnung mit 18 dB/ Oktave



4 Verschiedene Gehäusekonstruktionen

4.1 A) Geschlossenes Gehäuse

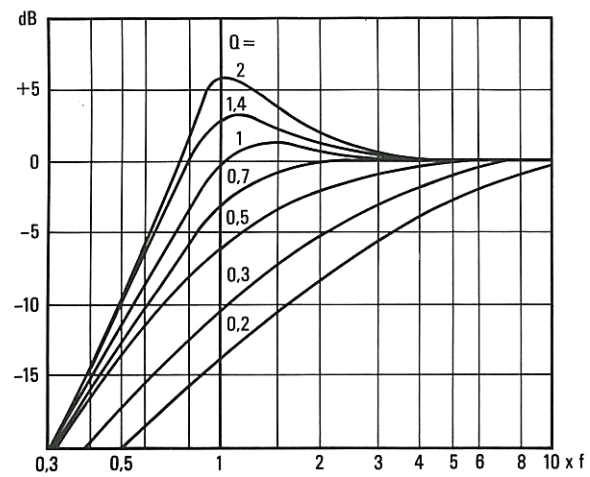
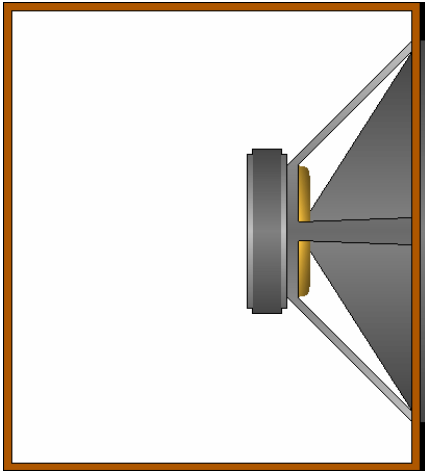


Diagramm 27: Schalldruckpegel eines Lautsprechers in Abhängigkeit von seinem Q-Faktor (f = Resonanzfrequenz).

4.2 B) Bassreflexprinzip

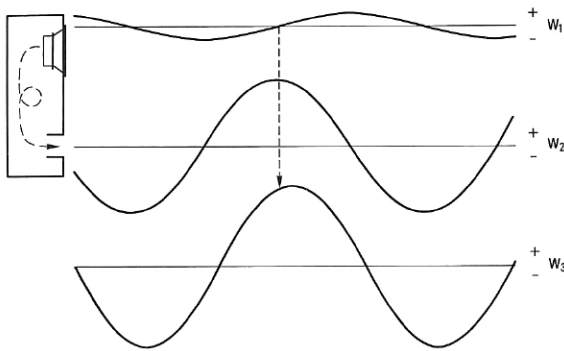


Abbildung 58

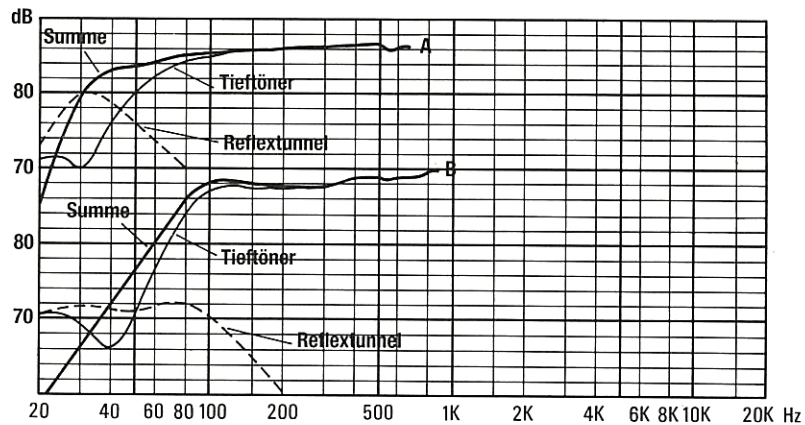


Diagramm 32: Lautsprecher im Bassreflexgehäuse bei 1 W/1 m

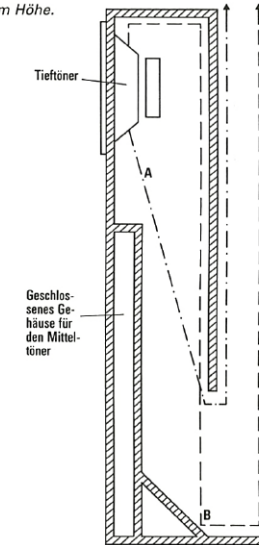
A: 25-cm-Tieftöner mit sehr schwerer Membran und starkem Antrieb. Gehäusevolumen 100 l netto, Einbauresonanz $f_2 = 35$ Hz; $Q_2 = 0,31$; Abstimmungsfrequenz $f_B = 32$ Hz

B: 17-cm-Tieftöner mit leichter Membran und eher schwachem Antrieb. Gehäusevolumen 13 l netto, Einbauresonanz $f_2 = 85$ Hz; $Q_2 = 1,1$; Abstimmungsfrequenz $f_B = 49$ Hz

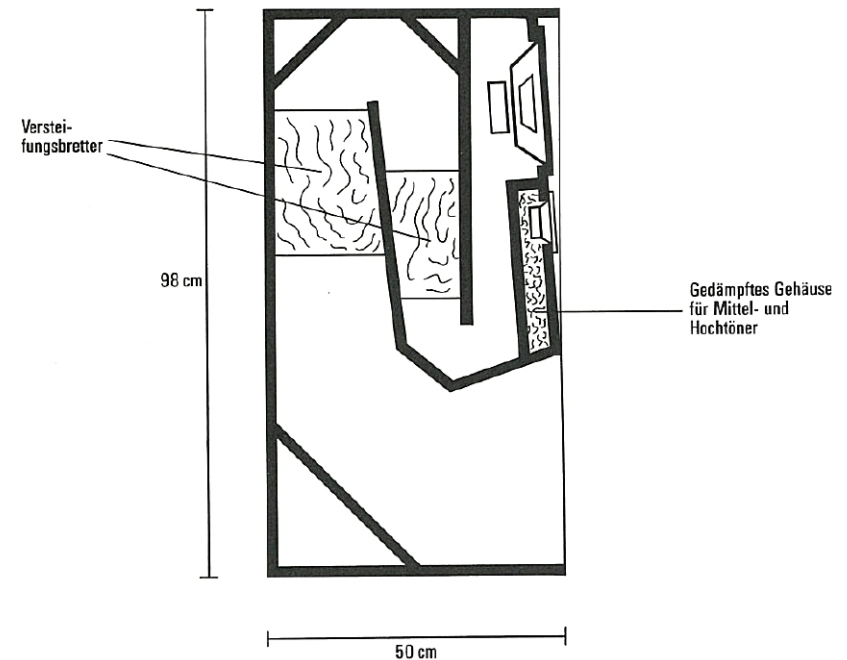
4.3 C) Transmissionline

Abbildung 65: Umwegröhre mit 125 cm Höhe.

= $2 \lambda \rightarrow$ Auslöschung
 = $2\frac{1}{4} \lambda \rightarrow 0$
 = $2\frac{1}{2} \lambda \rightarrow$ Anhebung
 = $2\frac{3}{4} \lambda \rightarrow 0$
 usw.



4.4 D) Hornlautsprecher



4.5 Frequenzgangmessung unter verschiedenen Winkel

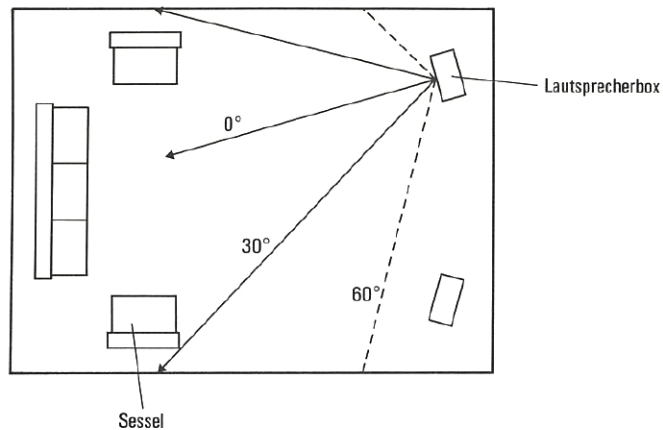


Abbildung 16: Der Abstrahlwinkel in einem Wohnraum.

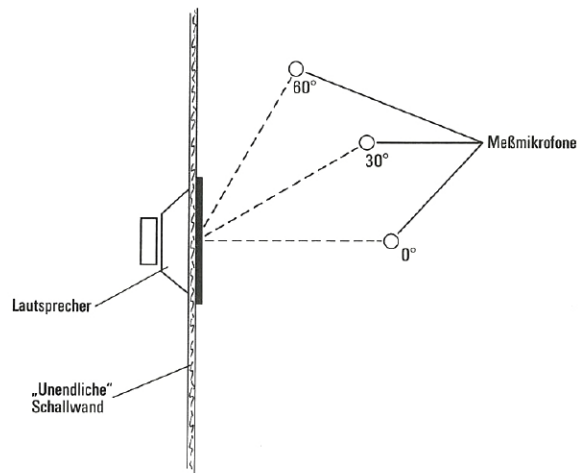
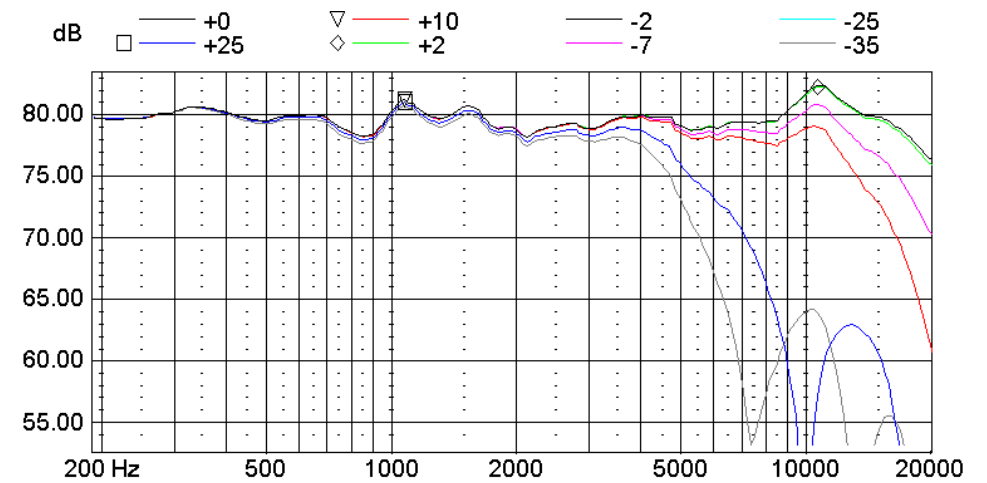
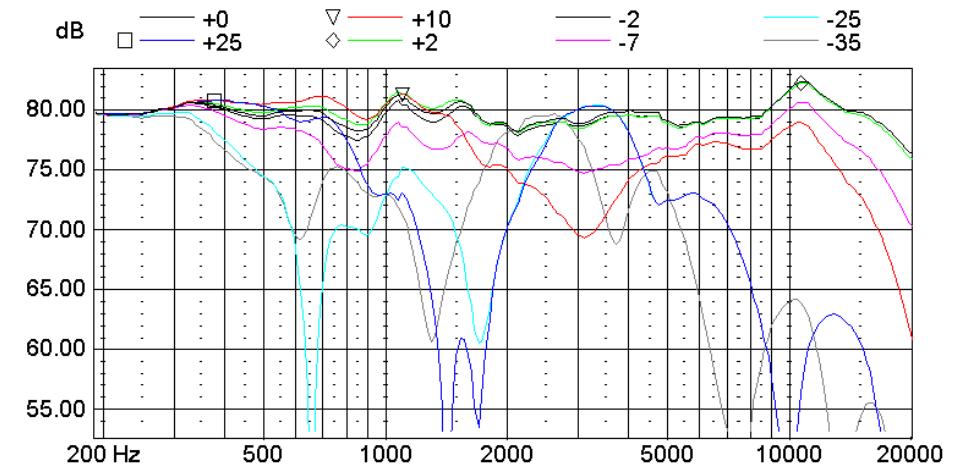


Abbildung 13: Meßanordnung für Diagramm 7.



Horizontale Frequenzabhängigkeit

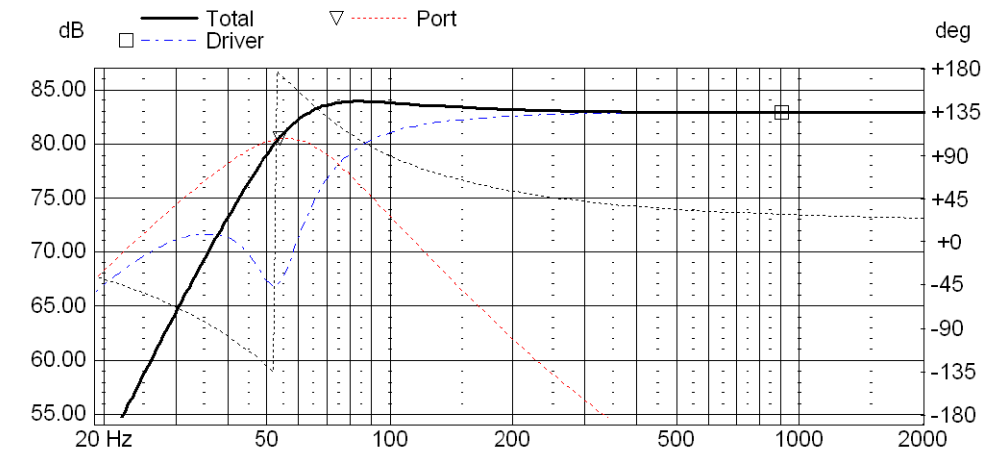


Vertikale Frequenzabhängigkeit

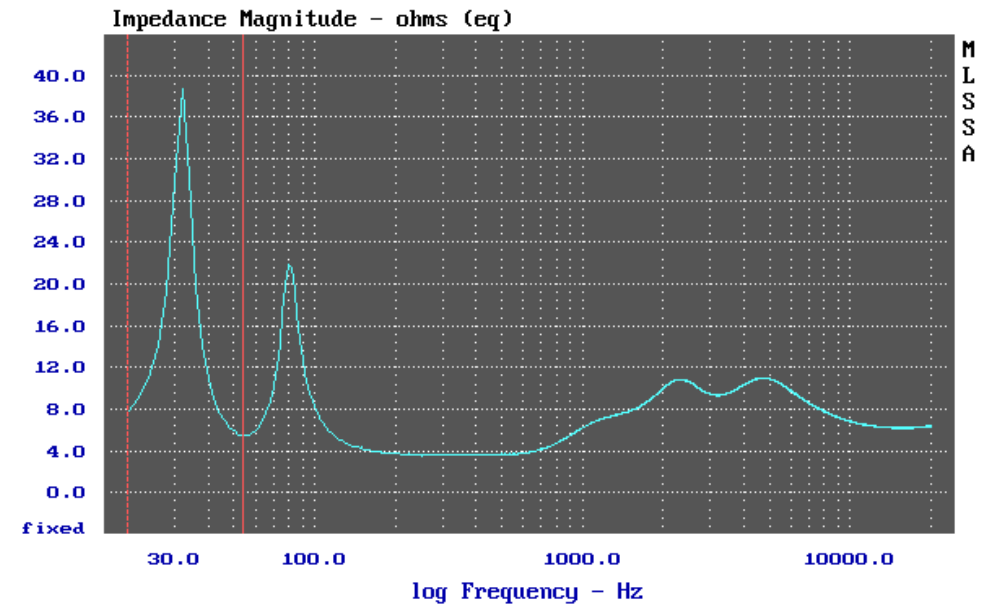
5.2 Technische Daten

Tiefmitteltöner	152 mm / 6 in.
Hochtöner	30 mm / 1.2in. Soft-Dome
Gehäuseprinzip	Bassreflex-System
System	2-Wege
Trennfrequenz	2600 Hz
Leistung (Aufnahme)	70 / 100 Watt
Frequenzgang (IEC)	42 Hz - 30 kHz (- 10dB Punkt)
Empfindlichkeit	91 dB (2.83V, 1m)
Nominale Impedanz	4 Ohms
Empfohlene Verstärker-Leistung	60 W - 100 W
Dimensionen	
Höhe	320 mm
Breite	180 mm
Tiefe	280 mm
Gewicht	ca. 6 kg

5.3 Bassreflexsimulation der Kursbox 01



5.4 Impedanzgang der Kursbox 01



CURSOR: y = 5.48774 x = 54.0311 (27)

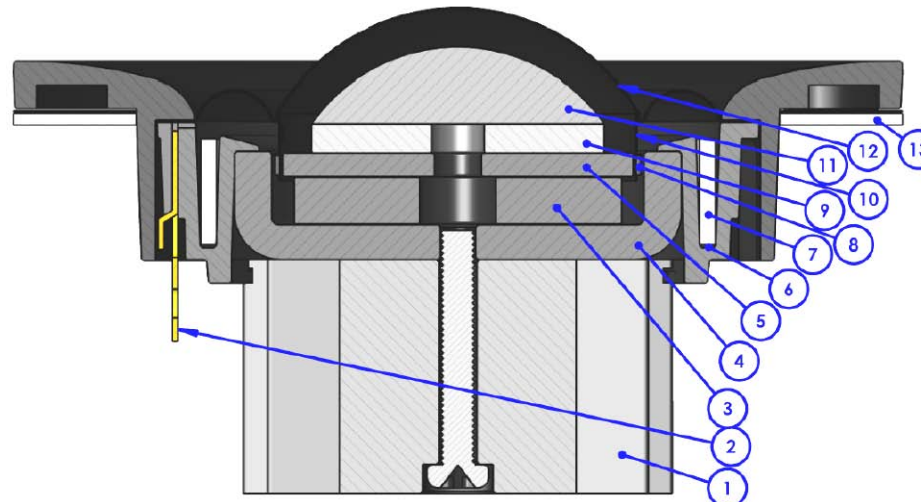
5.5 Der Hochtöner (Wavecor TW030WA01)

- 30 mm Hochtöner mit Gewebekalotte
- Neodymmagnetsystem
- Nennimpedanz 4 Ohm



Nominal size	30 [mm]
Nominal impedance	4 [ohm]
Recommended freq. range	2-25 [kHz]
Sensitivity, 2.83V/1m, (average 2-20kHz)	94 [dB]
Voice coil diameter	30.4 [mm]
Voice coil height	1.7 [mm]
Air gap height	3.0 [mm]
Voice coil resistance, R_{pc}	3.2 [ohm]
Voice coil inductance (measured at 20 kHz)	0.04 [mH]
Magnet weight (dual neo)	25.5 [g]
Effective radiating area, S_d	11.0 [sq.cm]
Power handling, continuous, IEC 268-5, 2.5kHz@12dB/oct.	30 [W]
Resonance freq., F_s	1,000 [Hz]
Moving mass, incl. air	0.43 [g]
Force factor, $B \cdot l$	2.33 [Tm]
Mechanical Q, Q_m	5.9 -
Electrical Q, Q_e	1.59 -
Total Q, Q_t	1.25 -
Suspension compliance, C_{ms}	0.059 [mm/N]
Equiv. air volume, V_{as}	0.010 [lit.]
Total unit net weight	0.13 [kg]

1. Schwarz anodisierter Kühlkörper
2. Vergoldete Anschlussstecker
3. Hauptneodymmagnet
4. Schwarz anodisierte hintere Polplatte
5. Schwarz anodisierte Polplatte
6. Frontplatte mit eingebaute Kammer
7. Dämmmaterial
8. Kupferummantelte Aluminium-Schwingspule
9. Nebenneodymmagnet
10. Ventilierte Schwingspulenträger (Aluminium)
11. Absorptionsmaterial gegen Reflexionen
12. Gewebekalotte
13. Vorgestanzte Dichtung



5.6 Der Tiefmitteltöner (Wavecor WF152BD01/ 05)

1. Symmetrische Antrieseinheit BD
2. Kupferkappe auf Polkern (< Induktivität der SS)
3. Nomex-Membran (Navi)
4. Aludruckgusskorb mit Ventilationsöffnungen
5. Polkernbohrung
6. SS-Träger aus Fiberglas (wirbelstromfrei)
7. Low-Loss-Sicke für detailreiche Wiedergabe

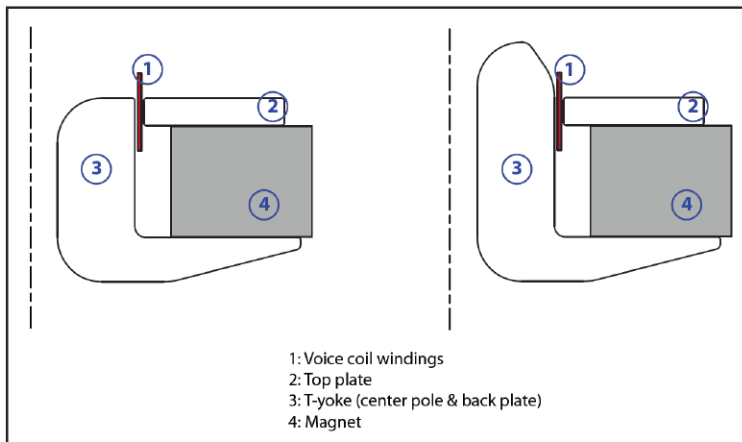


Fig. 3a (left). Cross section of a traditional motor design.

Fig. 3b (right). Cross section of the Balanced Drive motor design used for woofers in the Wavecor BD line.

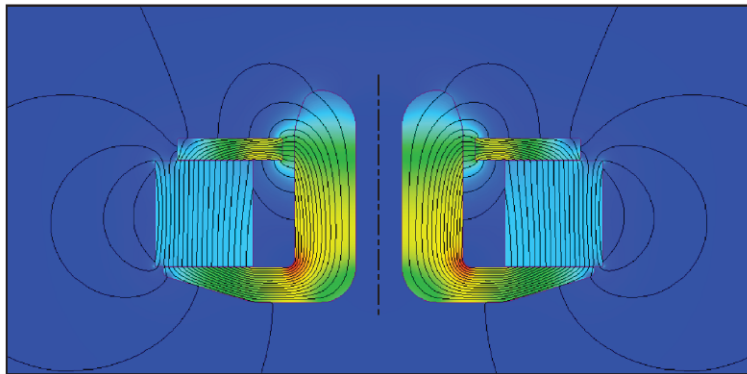
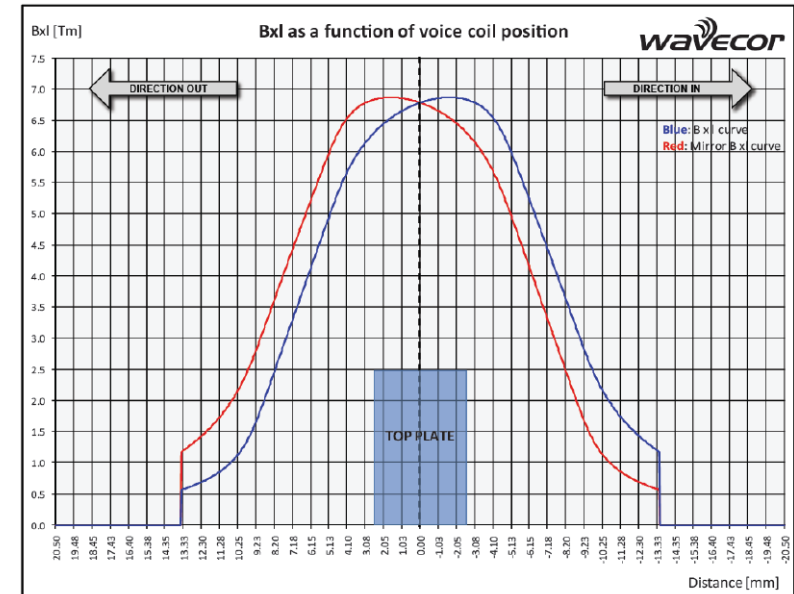
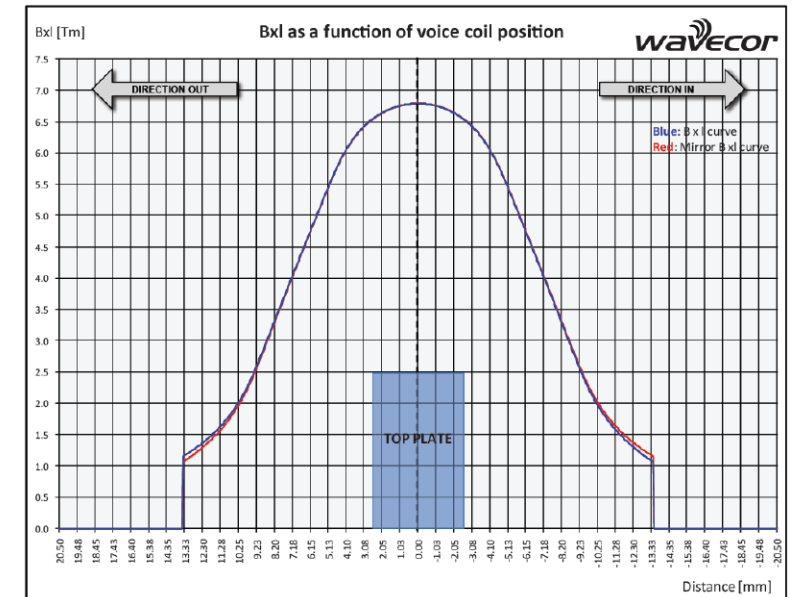


Fig. 2. The magnetic structure of the Balanced Drive line of Wavecor transducers is optimized using advanced Finite Element Analysis software.

BxL-Faktor bei einem Standard-Tieftöner

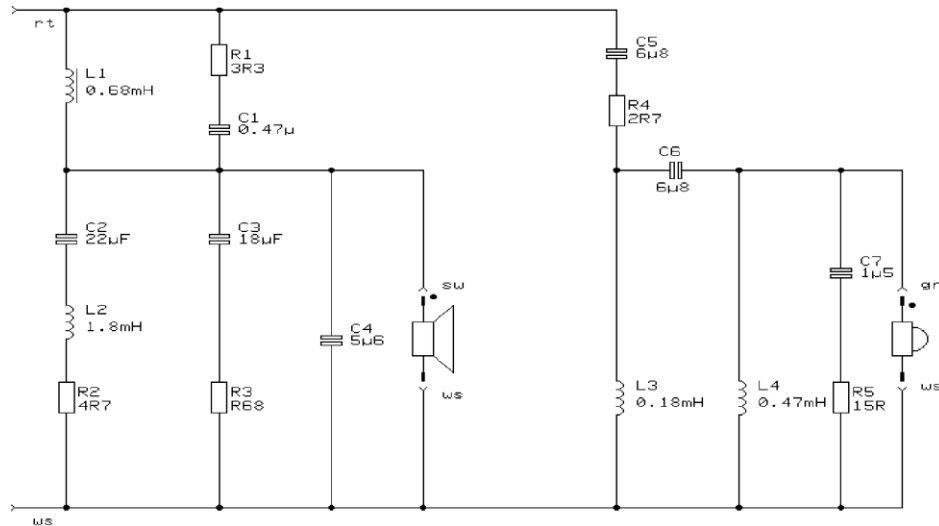


BxL-Faktor bei unserem Wavecor-Tieftöner mit BD

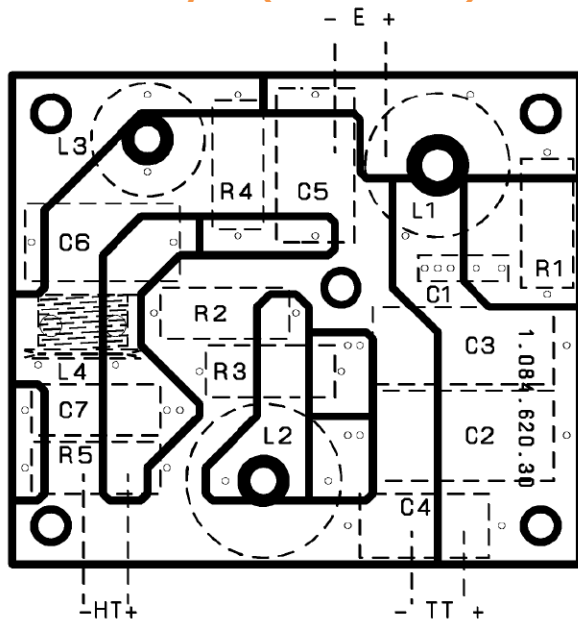


5.7 Die Frequenzweiche

5.7.1 FW-Schema



5.7.2 FW-Layout (110 x 95 mm)



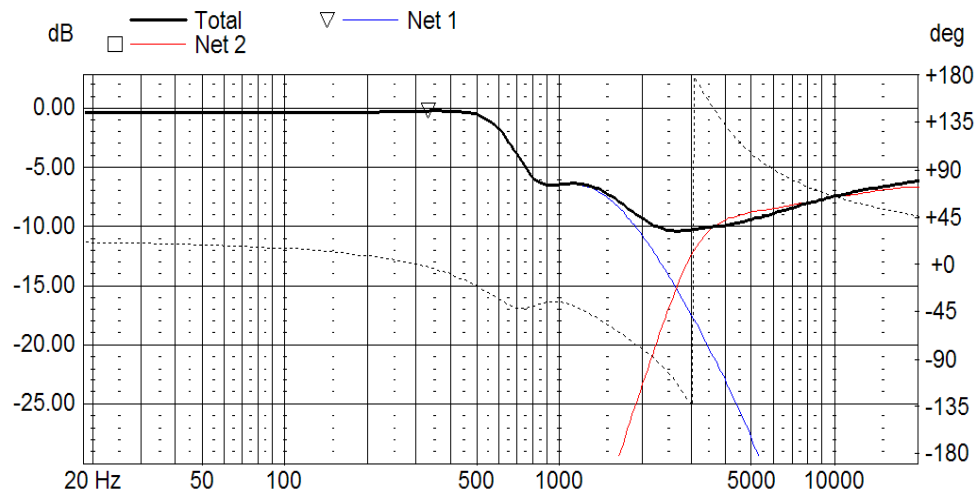
5.7.3 FW-Stückliste

L1	Ferritspule FR28HQ	0.68 mH	0.9 mm	5%	0.15 Ohm
L2	Luftspule K 30	1.8 mH	0.6 mm	5%	1.64 Ohm
L3	Luftspule K 22	0.18 mH	0.30mm	5%	1.33 Ohm
L4	Luftspule K 22	0.47 mH	0.30mm	5%	2.25 Ohm
C1	Kondensator MKT	0.47 µF		10%	100V / DC
C2	Tonfrequenzelko, etm NP-JJ	22 µF		5%	100V / DC
C3	Tonfrequenzelko, etm NP-JJ	18 µF		5%	100V / DC
C4	Tonfrequenzelko, etm NP-JJ	5.6 µF		5%	100 V / DC
C5	Kondensator MKT	6.8 µF		5%	100 V / DC
C6	Kondensator MKT	6.8 µF		5%	100 V / DC
C7	Tonfrequenzelko etm NP-JJ	1.5 µF		5%	100 V / DC
R1	Lastwiderstand	3.3 Ohm		10%	5 Watt
R2	Lastwiderstand	4.7 Ohm		10%	5 Watt
R3	Lastwiderstand	0.68 Ohm		5%	5 Watt
R4	Lastwiderstand	2.7 Ohm		5%	5 Watt
R5	Lastwiderstand	15 Ohm		10%	5 Watt

5.7.4 Kabel-Deklaration

Kabel	Verbindung zu	Länge	Flachsteck-Hülse
rot / weiß	E - Eingang Weiche	300 mm	rt=6.3x0.8 / ws=6.3x0.8
schwarz / weiß	TT- Tiefmitteltöner	300 mm	sw=4.8x0.5 / ws=2.8x0.5
grün / weiß	HT-Hochtöner	400 mm	gn=4.8x0.5 / ws=2.8x0.5

5.8 Filterkennlinie für Tief- und Hochtöner

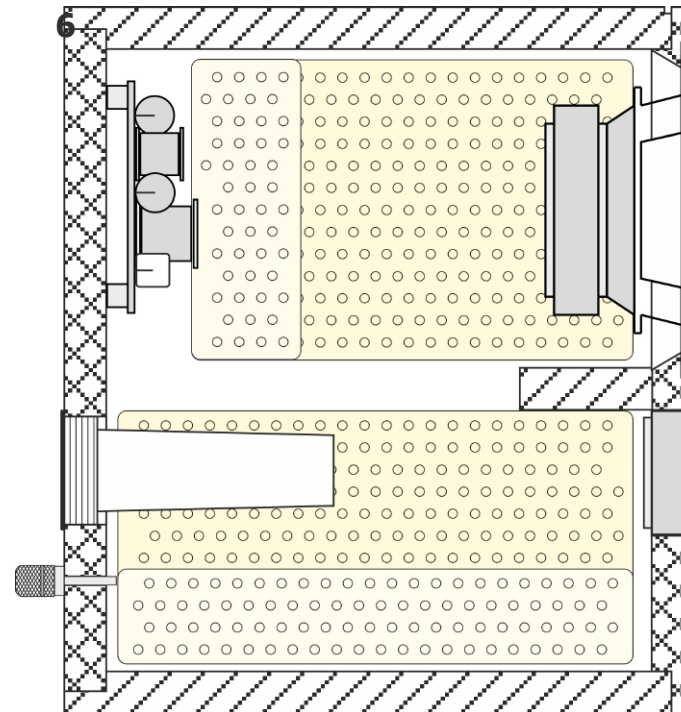


5.9 Befestigung Lautsprecher/ Frequenzweiche

Tieftöner: 4 Stück 3,5 x 20 mm Panhead/ Torx / sw
Hochtöner: 4 Stück 3,5 x 20 mm Panhead/ Torx /sw
Frequenzweiche: 5 Stück 4,0 x 17 mm Panhead/ Torx /sw

5.10 Bedämpfung

Das Lautsprechergehäuse wird nach der Montage der Frequenzweiche mit zwei Polyestervliesen bedämpft, die in U-Form in das eingebracht werden.



Ohren auf beim Hifi-Kauf

Auszüge von Orbid-Sound.de

6.1 Wertlose Wattangaben Lautsprechern!

- Die Wattangaben sagen nichts über die Klangqualität, nichts über die Lautstärke und nichts über die Überlastungssicherheit einer Box aus.
- Die Wattangaben bezeichnen nur den maximal möglichen Stromverbrauch eines Lautsprechers unter praxisfremden Normbedingungen. Sie sind daher für eine Leistungsbeurteilung irreführend!
- Nicht wie viel Watt eine Box „hat“, sondern wie wenig Watt eine Box braucht, ist ein Qualitätskriterium!

6.2 Leistung und Belastbarkeit:

Wenn man die akustische Leistung von Lautsprecher beurteilen will, worauf kommt es da eigentlich an? Lautsprecher sind ganz allgemein „Schallwandler“, das heißt sie wandeln die elektrische Leistung, die in der Regel von einem externen Verstärker kommt, in akustische Leistung um. Wie gut diese Umwandlung gelingt, ist gerade bei Lautsprechern sehr unterschiedlich. Das gilt sowohl für die Klangqualität, als auch für die mögliche Schall-Leistung (Lautstärke)

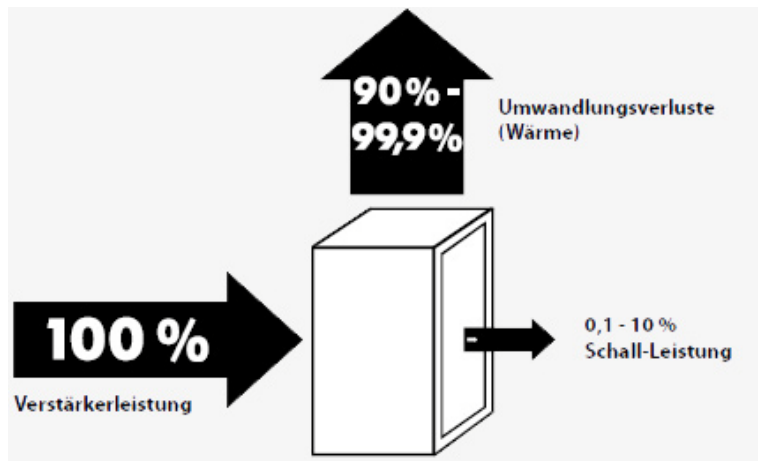
6.3 Verstärker-Clipping: ein Crash-Programm für jede Box!

Übersteuerung (engl. „clipping“) bedeutet, dass ein Verstärker nicht mehr in der Lage ist, die ihm zugeführten Spannungsspitzen (Lautstärkesprünge) sauber zu verarbeiten. Zunächst werden nur die Pegelspitzen beschnitten.

Bei kräftiger Übersteuerung pflegen Transistorverstärker dann Gleichströme in Höhe ihrer maximalen Leistung abzugeben. Das ist ein regelrechtes Crash- Programm für Boxen. Es verfehlt seine Wirkung auch dann nicht, wenn es leistungsmäßig weit unterhalb der Boxenbelastbarkeit angesiedelt ist. Nur wenige Lautsprecher halten eine solche Rosskur längere Zeit durch. Bei einem leistungsschwachen, aber übersteuerten Transistorverstärker können Sie daher alle Belastbarkeitsangaben von Lautsprechern getrost vergessen.

Man kann es auch im Experiment nachweisen: aus einem Basschassis, das (nach DIN) 100 Watt vertragen soll, steigen nach einer Minute Rauchzeichen aus der Schwingspule auf, wenn es mit 30 Watt Gleichstrom belastet wird. Noch kritischer ist das Verstärker-Clipping für Hochtöner: 10 Watt Gleichstrom lassen einen 100-Watt-Hochtöner in weniger als einer Minute für immer verstummen. Eine kurzzeitige Überlastung Ihrer Boxen durch einen starken Verstärker bleibt dagegen meist ohne Folgen. Sie ist in jedem Fall viel ungefährlicher als das Clippen eines „schwachen“ Verstärkers.

6.4 Wirkungsgrad



Das Maß für die akustische Leistungsfähigkeit einer Box ist also nicht der große Pfeil links, die Verstärkerleistung, sondern der kleine Pfeil rechts, die Schall-Leistung. Interessant ist nun folgendes: Neben dem kleinen Pfeil rechts sehen Sie zwei sehr unterschiedliche Prozentzahlen. Sie zeigen Ihnen, dass der Anteil Schall-Leistung je Verstärkerleistung nicht etwa bei allen Boxen gleich ist, sondern dass es von Box zu Box bis zu 100-fache Unterschiede gibt, wie viel Schall-Leistung bei einer bestimmten Verstärkerleistung aus ihr herauskommt.

Wenn der kleine rechte Pfeil bei Ihrer Box so groß ist wie in unserem Schaubild oben, dürfen Sie sich gratulieren. Eine Box, die 10 Prozent Schall- Leistung aus der Verstärkerleistung herausholt, ist bezüglich ihrer Energieausnutzung einsame Spitze! 10 Prozent Leistungsausbeute erscheinen nicht viel, aber bei den meisten HiFi-Boxen, und da sind jede Menge Testsieger darunter, ist der Anteil Schall-Leistung je Verstärkerleistung noch sehr viel kleiner. Sie können deshalb im Pfeil „Schall-Leistung“ noch einen 100-mal kleineren weißen Pfeil entdecken.

Er repräsentiert eine Box, die die Verstärkerleistung noch 100-mal schlechter ausnutzt. Nur winzige 0,1 Prozent der Verstärkerleistung werden bei einer solchen Box in Musik verwandelt. Sie sehen also: Jede

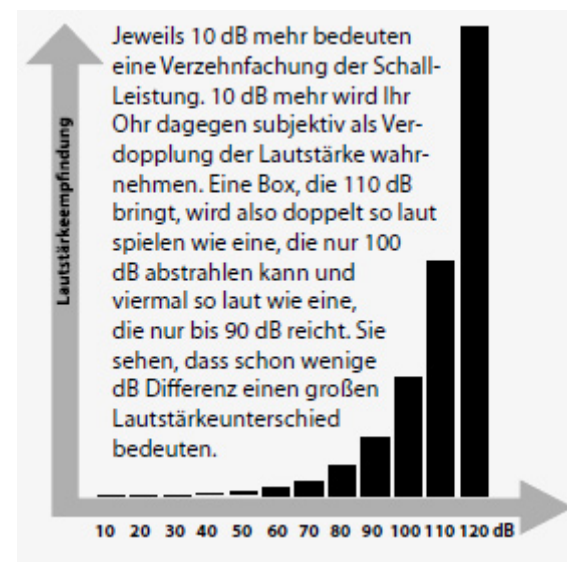
kursbox 01

Box hat, ganz unabhängig von der Wattzahl, ihren eigenen (und völlig verschiedenen) „Umtauschkurs“ für die Verstärkerleistung. Dieser Wechselkurs hat in der Technik natürlich einen anderen Namen. Bei Schallwandlern heißt es nicht Umtauschkurs, sondern Wirkungsgrad.

Der Wirkungsgrad eines Lautsprechers ist der Hebelarm, der darüber entscheidet, wie gut die Verstärkerleistung von einer Box genutzt wird. Daher braucht man auch umso weniger Verstärkerleistung, je höher der Wirkungsgrad einer Box ist. Erst wenn man den Wirkungsgrad mit berücksichtigt, erhalten die Belastungsangaben (Watt) überhaupt irgend einen Sinn.

Kleine Unterschiede mit großer Wirkung: Die dB-Skala

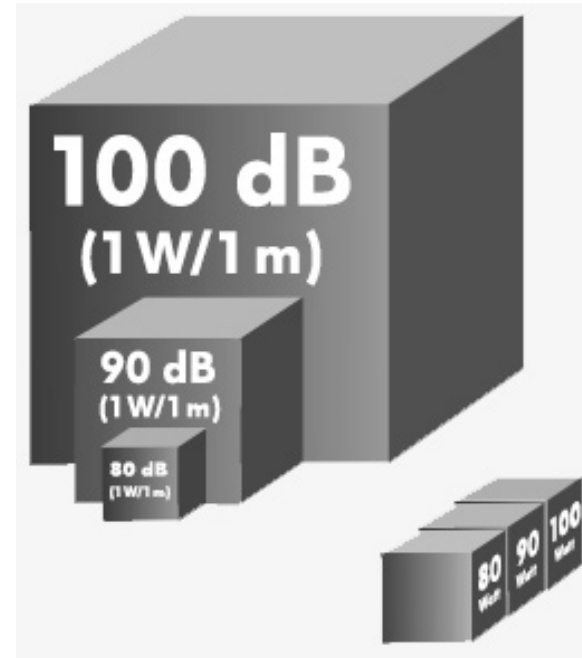
Weshalb dem Wirkungsgrad noch immer keine so große Bedeutung wie der Wattangabe beigemessen wird, liegt unter anderem am Maßsystem, mit dem der Wirkungsgrad üblicherweise angegeben wird. Man drückt den Wirkungsgrad in Dezibel (dB) aus, und wer schon viele HiFi-Prospekte oder –Zeitschriften gelesen hat, weiß, dass Lautsprecher normalerweise einen Wirkungsgrad zwischen 80 und 90 dB haben (gemessen bei 1 Watt mit rosa Rauschen in 1 Meter Abstand).



Besonders leistungsfähige Boxen kommen auch schon mal auf über 90 dB. Es gibt sogar einige, die 100 dB erreichen. Aber kaum jemand versteht, dass sich hinter den wenigen dB mehr oder weniger ein bis zu 100-facher Unterschied verbirgt.

Wenn Sie meinen, zwischen 80 und 100 dB Wirkungsgrad bestünde kein großer Unterschied, so täuschen Sie sich gewaltig: Die dB-Skala hat eine logarithmische Einteilung. Das bedeutet, dass schon wenige dB mehr einen gewaltigen Unterschied im Wirkungsgrad ausmachen: 10 dB mehr entsprechen einer Erhöhung der Leistungsausbeute auf das Zehnfache, 20 dB mehr wären schon das Hundertfache. Die Grafik links zeigt die wahren Größenverhältnisse: Die hintere Box (100 dB) bringt bei gleicher Verstärkerleistung die 100-fache Schall-Leistung einer 80 dB-Box. Zum Vergleich daneben noch einmal das „Watt-Schaubild“ von Seite 38: Bei entsprechender Steigerung der Wattzahl ändert sich kaum etwas!

Schalldrücke (Lautstärken) werden in Dezibel (dB) ausgedrückt. Die Werte – an den Balkenlängen erkennbar – wachsen nur langsam an. Die entsprechenden Schalldrücke sind jedoch, wie jeder weiß, grundverschieden. Zwischen normaler Sprache und der Tanzfläche einer Diskothek liegen gerade einmal 30 dB Unterschied, aber im Klartext heißt das, dass in der Disko die 1000-fache Schall- Leistung an Ihr Ohr dringt.



Unterhaltung im Raum	65-75 dB
Innenraum PKW	70-80 dB
PKW, 50 km/h, 4 m Abstand	75-80 dB
Klavierspiel (Wohnraum)	70-80 dB
Bohrmaschine, 1 m Abstand	80-85 dB
Partylautstärke im Raum	85-95 dB
Diskothek (Tanzfläche)	90-105 dB
Amboßschmiede	105-110 dB

6.5 Wenn es nicht so klingt, wie es sollte: Der Hörraum

Sicher hat fast jeder schon einmal folgende Beobachtung gemacht: Sie besuchen einen Bekannten, der Ihnen voller Stolz seine neue Stereoanlage vorführt. Ein Stelldichein aus lauter „Testsiegern“ tritt vor Ihnen in Aktion, aber was Sie da hören, ist eigentlich ziemlich enttäuschend.

Da wummern die Bässe konturlos zwischen die einzelnen Instrumente hinein. Letztere sind in ihren natürlichen Klangfarben nicht wieder zu erkennen. Die Höhen sind stumpf und glanzlos. Eine räumliche und transparente Abbildung des musikalischen Geschehens findet nicht statt. Die Umkehrung des geschilderten Beispiels ist weitaus seltener, aber man trifft gelegentlich darauf: Da liefert eine bescheidene Anlage ein bemerkenswertes Klangbild, musikalisch überzeugend bis in die letzte Ecke.

Die Erklärung dieses scheinbaren Widerspruchs liegt darin, dass der Besitzer der zweiten Anlage offenbar die raumakustischen Gesetzmäßigkeiten verstanden hat und bei der Platzierung seiner Boxen keine Fehler gemacht hat.

6.5.1 Richtige Aufstellung

Es gibt für die Boxenaufstellung eine Reihe von Grundregeln, die Sie beachten müssen, damit die akustischen Qualitäten Ihrer Lautsprecher auch zur Geltung kommen. Die Standardregel für die Boxenaufstellung dürfte mittlerweile so bekannt sein, dass wir sie hier nur noch einmal kurz erwähnen:

Platzieren Sie Ihre Boxen so, dass Sie zusammen mit Ihrem Sitzplatz ein annähernd gleichschenkliges Dreieck bilden.

Achten Sie auf unverstellte Sicht zu den Boxen.

Richten Sie Ihre Schallwandler nach Möglichkeit mit der Front zu sich aus. Achten Sie auf die richtige Aufstellungshöhe: Die Hoch- oder Mitteltöner sollen sich etwa in Kopfhöhe befinden, wenn Sie Platz genommen haben. 50 Zentimeter Spielraum scheinen hierbei vertretbar.

6.5.2 Der Hörraum beeinflusst das Klangbild

Kaum jemand ist sich der Tatsache bewusst, dass die in einem durchschnittlichen, 20 Quadratmeter großen Wohnzimmer befindliche Luft über einen Zentner wiegt. Kein Wunder also, dass diese Luftmasse, einmal von den Schallwandlarmembranen angeregt, ein ausgeprägtes Eigenleben entwickelt. Ein Eigenleben durch Resonanzen und Reflexionen zwischen Wänden und Möbeln mit der Folge von lokal begrenzten Verstärkungen und Auslöschungen im Frequenzbild. Sie müssen beim Musikhören also hinnehmen, dass Sie Ihr Zimmer „mithören“ werden, was im Extremfall dazu führen kann, dass eine Spitzenbox ihrer Bezeichnung bei weitem nicht mehr gerecht wird.

Glücklicherweise sind solche Fälle aber selten. Die meisten Wohnräume haben hinsichtlich ihrer Raumakustik sogar zahlreiche Gemeinsamkeiten, sie machen für das Klangbild sozusagen alle die gleichen „Fehler“, z.B. meist eine starke Höhenbedämpfung. Deshalb werden Orbid-Sound Boxen seit langem so ausgelegt, dass sie in typischen Wohnräumen natürlich klingen und nicht in „schalltoten“ Messräumen.

6.5.3 Probieren geht über studieren

Um einen optimalen Standort für Ihre Schallwandler zu ermitteln, raten wir zu einer gewissen Experimentierfreude. Nehmen Sie sich hierfür Zeit und gehen Sie möglichst unvoreingenommen vor, denn was gut aussieht, muss noch lange nicht gut klingen. Oftmals werden größere Boxen einfach glatt an die Wand auf den Fußboden gestellt, womöglich noch in die Zimmerecken, um im Raum nicht störend zu wirken.

Stehen die Lautsprecher dann noch „unauffällig“ hinter einem Vorhang, ist vom guten Klang nicht mehr viel zu hören. Dieses ist sicher nicht der richtige Weg, denn gibt man ausschließlich einer gefälligen Optik den Vorrang, bleiben die akustischen Qualitäten der Lautsprecher für immer verborgen. Es sollte also ein Kompromiss gefunden werden. Grundsätzlich gilt: Lautsprecher sollten immer von dem akustisch „härteren“, spärlich möblierten, in den bedämpfteren, also stärker möblierten Teil des Raumes hineinstrahlen.

Lohnende Experimente

Machen Sie doch einmal folgenden Versuch: Stellen Sie eine Box auf den Boden, die andere auf einen etwa 50 cm hohen kleinen Tisch oder einen Ständer. Schalten Sie Ihren Verstärker auf „Mono“ und drehen Sie am Balanceregler hin und her. Die am Boden befindliche Box wird im Bass zwar kräftiger erscheinen, die erhöht aufgestellte Box wird aber insgesamt „freier“ wirken, wobei die Basswiedergabe schwächer, aber sauberer empfunden wird.

Untersuchen Sie nun verschiedene Aufstellungshöhen und Wandabstände: Standortveränderungen von nur 20 cm bringen für das Klangbild oft erstaunlich viel. Platzieren Sie die Boxen abwechselnd stehend oder liegend mit den Hochtönern nach außen. Auch eine leichte Neigung nach hinten bringt manchmal Vorteile. Stellen Sie Ihre Lautsprecher aber keineswegs zu hoch im Raum auf. Ein Abstand von 1,40 m vom Boden scheint nach unserer Erfahrung eine absolute Obergrenze zu sein, sofern man normale Raumdimensionen voraussetzt. Höher liegende Schallquellen werden aus Gründen der Wahrnehmungspsychologie als unnatürlich empfunden.

Sehr gute Klangergebnisse erhalten Sie gerade bei größeren Boxen, wenn Sie diese mit Lautsprecherfüßen ausstatten, besonders bei schwierigen Raumverhältnissen mit Holz- oder Steinboden.

6.6 Die Objektivität branchenüblicher Hörvergleiche

Branchenübliche Hörvergleiche

Bei allen Lautsprechervergleichen müsse Sie darauf achten, dass die zu vergleichenden Boxen gleich laut eingestellt sind. Im Handel gibt es dazu Lautsprecher-Umschaltkästchen, die vom Händler zwischen den Verstärker und die zum Vergleich angeschlossenen Lautsprecher geschaltet werden. Ein „Vergleich“ mit dieser Methode fällt immer zu Ungunsten der wirkungsstärkeren, also lauterer Box aus, obwohl diese ansonsten mit ziemlicher Sicherheit besser wäre. Wie ist das zu erklären? Für die leisere Box bleibt der Regelwiderstand auf Null eingestellt, während die lautere auf das Empfindlichkeitsmaß der leiseren heruntergeregelt wird. Der künstliche induktive Widerstand in den Zuleitungen der wirkungsstärkeren Box wirkt sich aber auf das Klangbild aus wie ein Klotz am Bein. Teure niederohmige Lautsprecherzuleitungen mit großem Querschnitt, deren klangliche Notwendigkeit sonst allgemein anerkannt ist, werden durch solche Manipulationen völlig nutzlos.

Richtiger A/B-Vergleich

Bei jedem korrekten Hörvergleich müssen die Hochtöner der Boxen in etwa auf gleicher Höhe stehen. Auch der Wandabstand, die räumliche Beziehung zu den Zimmerecken sowie die Basisbreite des Stereodreiecks sollten ähnlich sein. Weiterhin sollten Sie bei allen Hörvergleichen unbedingt darauf achten, dass beide Vergleichsboxenpaare am selben Verstärker direkt angeschlossen werden und nur mit Hilfe des Lautsprecherwahlschalters verglichen werden. Jede andere Umschaltanlage kann durch Übergangswiderstände an Schaltern und Anschlüssen, aber auch durch zu dünne und zu lange Anschlusskabel einen ungünstig hohen Innenwiderstand haben. Dieser wirkt sich wiederum besonders nachteilig auf die niederohmige Box aus. Das ist am Beispiel leicht zu sehen: Ein Innenwiderstand von 1 Ohm in der Umschaltung verändert den Gesamtanschlusswert einer 4-Ohm-Box um 25 %, den einer 8-Ohm-Box aber nur um 12,5 %.

A/B-Vergleich unterschiedlich lauter Boxen

Beim Vergleich unterschiedlich lauter Boxen ist folgende Vorgehensweise am objektivsten: Sie hören ein Musikstück, das Sie gut kennen etwa 30 Sekunden lang mit den Boxen A, dann drehen Sie den Lautstärkeregler ganz zurück und schalten auf die Boxen B um. Nun drehen Sie den Lautstärkeregler erneut auf, bis ein gehörmäßig gleichlauter Schallpegel wie beim vorherigen Boxenpaar erreicht ist. Nach mehrmaliger Wiederholung mit möglichst unterschiedlichen Musikbeispielen können Sie sich schnell in die charakteristischen Klangmerkmale einhören und sich auch im Vergleich mit unterschiedlich lauten Boxen ein weitgehend korrektes Urteil bilden.

Die Glaubwürdigkeit von Tests

Auf die Frage nach objektiver Berichterstattung und objektiven Tests gibt es keine allgemeingültige Antwort. Viele Fachzeitschriften erwecken auf Grund ihrer Aufmachung den Eindruck von Sachkenntnis und Professionalität. Wie aber sieht es damit in Wirklichkeit aus? Wie jede andere Zeitschrift leben auch HiFi-Zeitschriften in erster Linie vom Anzeigengeschäft, denn ohne die Anzeigen wären die Hefte mindestens viermal so teuer und die verkaufte Auflage entsprechend geringer. Werbung ist somit kein schmückendes Beiwerk, sondern gewinnbringend und finanziell lebensnotwendig für die HiFi-Magazine. Veröffentlicht nun eine Fachzeitschrift einen Warentest über einen Hersteller, der gleichzeitig Anzeigenkunde bei dem Magazin ist, dann gehört schon eine gewisse „Diplomatie“ mit dem Hersteller zum Handwerkszeug der Zeitschriftenredaktion. Es wäre an dieser Stelle nicht fair, zu behaupten, dass diese Vorgehensweise bei allen HiFi-Magazinen gleich wäre. Es gibt durchaus auch Zeitschriften, die sachlich und nachvollziehbar berichten, während andere weniger objektiv urteilen. Hersteller, die bei den letztgenannten nie eine Werbeseite buchen, haben bei Testveröffentlichungen ihrer Produkte meist nicht viel zu lachen und finden sich auffallend oft am Tabellenende der „Testberichte“ wieder.

7 **Literaturempfehlungen**

- Lautsprecher-Handbuch: Theorie und Praxis des Boxenbaus
Bernd Stark
- Grundlagen der Lautsprecher - Gebundene Ausgabe (1995)
W. J. Tenbusch und Richard Small
- Lautsprecher-Meßtechnik. PC-gestützte Analyse analoger Systeme
Joseph DAppolito und Götz Schwamkrug
- Lautsprecherbau: Bewährte Rezepte für den perfekten Bau
Vance Dickason und Götz Schwamkrug
- www.orbid-sound.de (Hifi-Boxen-Praxis)