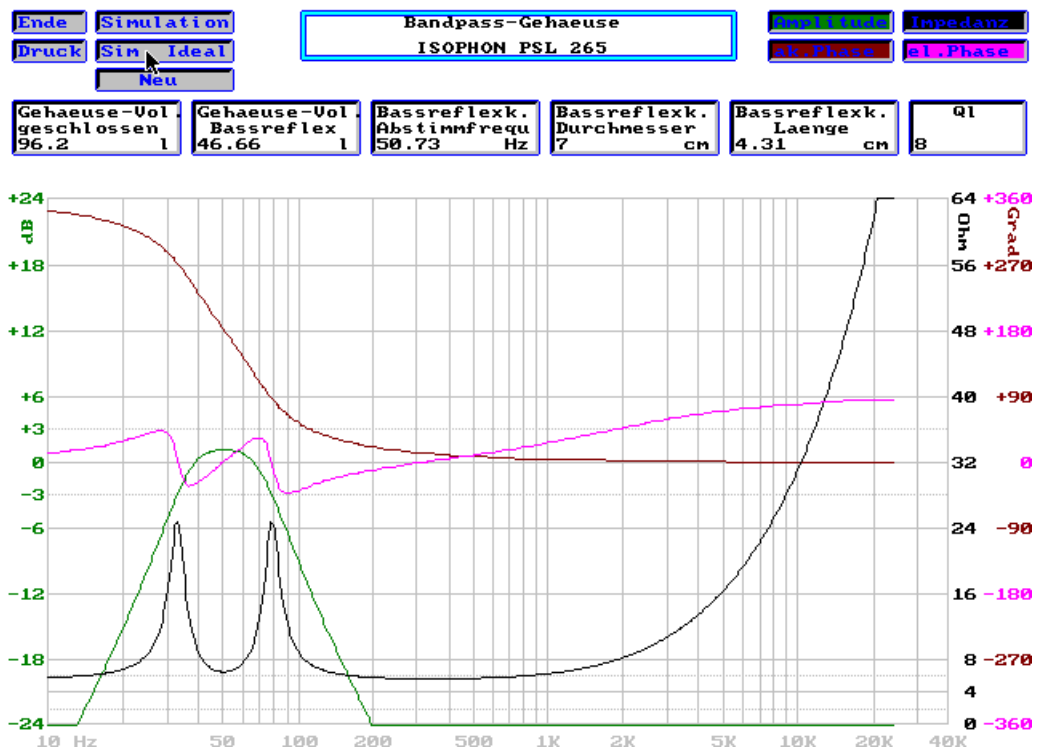


AudioCad

Pro 8.0 & ECN C 8.0

Ein Programm zur Entwicklung
von Lautsprechersystemen



Inhaltsverzeichnis

1	ALLGEMEINES	4
1.1	LIZENZBEDINGUNGEN	4
1.2	GESCHÜTZTE WAREN- UND MARKENBEZEICHNUNGEN	4
1.3	DOKUMENTATIONSERGÄNZUNGEN	5
1.4	UMFANG DES HANDBUCHS	5
2	MÖGLICHE PROBLEME UND LÖSUNGEN	6
3	PROGRAMMINSTALLATION.....	7
3.1	TECHNISCHES ZUM PROGRAMM	7
3.2	HARDWAREVORAUSSETZUNGEN	7
3.3	INSTALLATION.....	8
3.3.1	Allgemeines.....	8
3.3.2	Druckereinstellungen	9
3.3.3	Die Gruppe Allgemeines	11
3.3.4	Die Gruppe Gehäuse-Skizze	12
3.3.5	Die Gruppe Gehäuse-Simulation	12
3.3.6	Die Gruppe Frequenzweichen	13
3.3.7	Die Gruppe FW-Optimierung	13
3.3.8	Sonstiges	14
3.3.9	Spezielle Einstellungen für MS-Windows 3.1x	15
3.3.10	Spezielle Einstellungen für MS-WINDOWS '95.....	15
4	VORGEHENSWEISE DER KONSTRUKTION	16
5	ALLGEMEINE PROGRAMMBESCHREIBUNG	18
5.1	TECHNISCHES	18
5.2	PROGRAMMAUFRUF	18
5.2.1	Programmaufruf unter MS-DOS.....	18
5.2.2	Programmaufruf unter MS-WINDOWS 3.1 bzw. 3.11.....	18
5.2.3	Programmaufruf unter MS-WINDOWS 95.....	18
5.3	DAS AUDIOCAD-MENÜPROGRAMM	19
5.3.1	Die einzelnen AudioCad-Programme	19
5.3.2	Bedienung des Menüprogramms.....	19
5.4	ALLGEMEINE PROGRAMMBEDIENUNG.....	20
5.4.1	Programmbedienung in Graphiken.....	20
5.4.2	Ausdrucken von Maskeninhalten und Graphiken.....	24
6	DAS HAUPTPROGRAMM (ACPRO.EXE)	25
6.1	DAS HAUPTMENÜ	25
6.2	DAS MENÜ DATENBANK	26
6.2.1	Der Menüpunkt Datenbank	26
6.2.1.1	Das Menü Auswahl	26
6.2.1.2	Das Menü Bearbeiten	26
6.2.1.3	Das Menü Meßwerte	28
6.2.1.4	Das Menü Sonstiges	29
6.2.1.5	Das Menü Ende	31
6.2.1.5.1	Tip zur Impedanzsimulation:	32
6.2.2	Der Menüpunkt Lade Datenbank.....	33
6.2.3	Der Menüpunkt Erstelle Datenbank	33
6.2.4	Der Menüpunkt Lösche Datenbank.....	33
6.2.5	Der Menüpunkt Recherchiere Datenbank.....	33
6.2.6	Der Menüpunkt Reorganisiere Datenbank.....	34
6.2.7	Der Menüpunkt Export.....	34
6.2.8	Der Menüpunkt Ende	34

6.3	DAS MENÜ GEHÄUSE.....	35
6.3.1	<i>Geschlossene Gehäuse</i>	36
6.3.1.1	Einfluß von Dämm-Material	37
6.3.2	<i>Baßreflexgehäuse</i>	38
6.3.3	<i>Bandpaßgehäuse, einseitig ventiliert (Bandpass 1)</i>	39
6.3.4	<i>Bandpaßgehäuse, beidseitig ventiliert (Bandpass 2)</i>	41
6.3.5	<i>Simulation Membranauslenkung</i>	43
6.3.6	<i>Simulation Ein-/Ausschwingverhalten (IFFT)</i>	44
6.3.7	<i>Transmission-Line-Boxen</i>	45
6.3.8	<i>Hornlautsprecher</i>	46
6.3.8.1	Hornsysteme.....	47
6.3.8.2	Hornkontur.....	47
6.3.9	<i>Skizze</i>	48
6.3.10	<i>Skizze Bandpass</i>	50
6.3.11	<i>Skizze Car-Subwoofer</i>	51
6.3.12	<i>Skizze Kugelgehäuse</i>	52
6.4	DAS MENÜ FREQUENZWEICHE.....	55
6.4.1	<i>Frequenzweichen</i>	55
6.4.1.1	Das Menü Bearbeiten	55
6.4.1.1.1	Der Menüpunkt Trennfrequenzen.....	56
6.4.1.1.2	Der Menüpunkt Impedanzentzerrung & Pegelabsenkung	58
6.4.1.1.3	Der Menüpunkt Akustische Zentren	62
6.4.1.2	Das Menü Simulation	64
6.4.1.3	Das Menü Optimierung	65
6.4.1.3.1	Impedanzoptimierung.....	66
6.4.1.3.2	Amplitudenoptimierung	67
6.4.2	<i>Feedforward-Filter</i>	68
6.5	DAS MENÜ PROJEKTE	71
6.6	DAS MENÜ SONSTIGES.....	72
6.6.1	<i>Thiele/Small - Parametermessungen</i>	72
6.6.2	<i>Vas berechnen</i>	73
6.7	DAS MENÜ AUDIOCAD	73
7	AUDIO-MEßSYSTEM-SCHNITTSTELLEN (KONVERT.EXE)	74
7.1	AUDIOMEßSYSTEME MIT INTEGRIERTER AUDIOCAD-SCHNITTSTELLE	74
7.2	ANSCHLUß BELIEBIGER AUDIO-MEßSYSTEME.....	75
7.3	INSTALLATION DES SCHNITTSTELLENPROGRAMMS	75
7.4	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DER DATEIKONVERTIERUNG	76
7.5	ERZEUGUNG DER MEßSYSTEM-ASCII-FORMATE.....	76
7.5.1	<i>AMS-PC (Kemsonic)</i>	76
7.5.2	<i>LMS</i>	77
7.5.3	<i>MEPEG</i>	78
7.5.4	<i>MLSSA</i>	78
7.5.5	<i>IMP</i>	79
7.5.6	<i>CLIO</i>	79
8	UNIVERSELLE AUDIO-MEßSYSTEM-SCHNITTSTELLE (KVU.EXE).....	80
9	DER MESSDATEN-EDITOR (ACEDITOR.EXE).....	84
10	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	86

Anhang A: Eine Frequenzweichenentwicklung

Anhang B: Die Zielfunktionen des Frequenzweichenoptimierers und ihre Anwendung

Anhang C: Frequenzweichenkonstruktion mit AudioCad ECNC

Anhang D: Die AudioCad - Aktivweiche

1 Allgemeines

1.1 Lizenzbedingungen

Alle Rechte, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werks darf in irgendeiner Form ohne vorherige ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Autors reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Die vorliegende Anleitung und das dazugehörige Programm wurden mit größter Sorgfalt erstellt. Trotzdem sind Fehler nie ganz auszuschließen. Der Autor weist deshalb darauf hin, daß er weder eine Garantie für die Fehlerfreiheit geben, noch die Haftung für irgendwelche Folgen, gleich ob durch Fehler im Handbuch oder in der Software übernehmen kann. Für die Mitteilung eventueller Fehler ist der Autor jederzeit dankbar.

Erlaubt sind: Die Verwendung des Programms auf einem einzigen Rechner, oder einem Rechner, der für eine Zeit an seiner Stelle verwendet wird, oder einem Rechner der den ersten ersetzt. Die Übergabe des Programms an eine dritte Partei, sofern sich diese zur Einhaltung der vorliegenden Bedingungen bereit erklärt. Bei einer solchen Übergabe sind gleichzeitig sämtliche Kopien entweder an dieselbe Partei auszuhändigen oder zu vernichten. Gleiches gilt für eine auf einer Festplatte installierte Programmversion.

Nicht erlaubt sind: Kopieren, Modifizieren, Unterlizenzvergabe, Vermietung, Verleih, Übertragung, Übersetzung und Disassemblierung des Programms und der Dokumentation.



Michael Bernhard Uibel
Dipl.-Inform. (FH)
Josef-Heid-Str. 1

D-76646 Bruchsal
Telefon/FAX 07251- 8 27 97

Copyright © 1998 by Michael Bernhard Uibel

1.2 Geschützte Waren- und Markenbezeichnungen

In diesem Handbuch werden geschützte Marken- und Warenbezeichnungen ohne weiteren Kommentar verwendet. Die Marken- und Warenbezeichnungen sind Eigentum ihrer jeweiligen Hersteller bzw. Lizenzinhaber.

1.3 Dokumentationsergänzungen

Sich erst nach Drucklegung dieses Handbuchs ergebende Änderungen oder Ergänzungen sind in der Datei README.DOC dokumentiert. Mit den DOS-Befehlen

C:

CD\AC8

COPY README.DOC PRN können Sie die Datei auf Ihrem Drucker ausdrucken.

Der Befehl **SHOW README.DOC** zeigt die Datei am Bildschirm an.

1.4 Umfang des Handbuchs

Das Handbuch beschreibt AudioCad ECNC. Wenn Sie AudioCad Pro benutzen stehen einige Funktionen nicht zur Verfügung.

2 Mögliche Probleme und Lösungen

An dieser Stelle werden einige typische Support-Fragestellungen behandelt. Normalerweise beginnt man eine Programmbeschreibung nicht mit der Auflistung möglicher Probleme. Früher befand sich diese Seite auch am Ende des Manuals - nur wurde sie dort von vielen Anwendern leider nicht gefunden.

Der Mauszeiger läßt sich nicht über den ganzen Bildschirm bewegen. Verwenden Sie einen Original-Microsoft-Maustreiber (mouse.com oder mouse.sys), wie er in vielen Microsoft-Programmen enthalten ist.

Der Ausdruck von Grafiken funktioniert nicht. Sie haben wahrscheinlich vergessen, Ihren Drucker in der Installationsmaske einzutragen.

Ich bekomme beim Grafikausdruck immer zwei Ausdrücke. Sie dürfen in der Installationsmaske nur eines der Felder **Druckerschnittstelle** auf einen Wert größer 0 einstellen.

Die Grafiken sind verzogen. Die Kreise werden nicht rund dargestellt. In der zweiten Grafik-Hardcopy-Routine können Sie das Druckbild über die Felder X-Zoom und Y-Zoom in der Installationsmaske anpassen.

Das Programm findet meine Audio-Meßsystem-Dateien nicht. Tragen Sie das Daten-Directory des Konvertierungsprogramms `C:\AC8\MESS\` in der Installationsmaske und im Schnittstellenprogramm ein.

Das Programm verhält sich manchmal irgendwie merkwürdig. Ermitteln Sie mit dem MS-DOS-Befehl **CHKDSK** oder **MEM** den freien Hauptspeicher für Anwendungsprogramme (... Bytes frei) Ihres PC. Wenn dieser unter ca. 550 KB liegt, läuft das Programm evtl. nicht korrekt. Sorgen Sie durch geeignete Konfigurationsmaßnahmen in den Dateien **Autoxec.bat** und **Config.sys** für mehr freien Hauptspeicher. Falls Sie die MS-DOS Version 6.2 einsetzen, kann das MS-DOS-Programm **MEMMAKER** dies für Sie automatisch erledigen.

Wie groß ist der Hauptspeicherbedarf des Programms? Siehe **Das Programm verhält sich manchmal irgendwie merkwürdig**.

Ich bekomme beim Aufruf der DATENBANK immer Fehlermeldungen und das Programm stürzt dann ab. Starten Sie im Hauptmenü die Datenbankreorganisation.

Wie kann ich in den Graphiken die absoluten dB-Werte ablesen? In der Lautsprecherdatenbank und in den Gehäusesimulationen entspricht die 0 dB-Linie dem SPL des jeweiligen Treibers, in der Frequenzweichen-Simulation bezeichnet die 0 dB-Linie den SPL des Tieftöners. Sie können aber auch in der Installationsmaske auf effektive dB-Anzeige umschalten.

Ich kann keine Messdaten (Amplitude, Impedanz, etc.) in AudioCad importieren. In diesem Fall ist Ihre Messwertedatenbank defekt. Das passiert immer dann, wenn Sie eine neu angelegte Datenbank, in deren Messwertedatenbank noch keine Kurven gespeichert sind, reorganisieren. Erstellen Sie eine neue Datenbank und kopieren Sie evtl. in der alten Datenbank vorhandene Lautsprecher mit dem Menüpunkt **Recherchiere Datenbank** hinein. Die alte Datenbank kann dann gelöscht werden. Achten Sie darauf, daß Sie die neue Datenbank erst reorganisieren, wenn mindestens eine Messkurve (Amplitude, Impedanz, etc.) darin gespeichert ist.

3 Programminstallation

3.1 Technisches zum Programm

Da das Programm größer als 640 KB ist und somit normalerweise unter MS-DOS nicht ablauffähig wäre, ist es in der Overlay-Technik erstellt, d.h. Teile des Programms werden erst bei Bedarf von der Festplatte nachgeladen. Falls Ihr PC mit Expanded Memory (Nach LIM-EMS Version 4.0 - Standard) ausgerüstet ist werden die Overlays im EMS resident gehalten, was gegenüber dem Nachladen von Festplatte eine Zeitersparnis bringt. Ein EMS-Speicher-Manager (Programm **EMM386.EXE** bzw. **EMM386.SYS**) ist z.B. in MS-DOS ab der Version 5.0 enthalten. Beachten Sie, daß der EMS-Manager nicht mit der Option **NOEMS** geladen werden darf.

Falls Ihr PC über mehr als 1 Megabyte Hauptspeicher verfügt sollten Sie auch unbedingt einen Festplatten-Cache-Speicher einrichten. Dieser beschleunigt die Datenbankzugriffe wesentlich. Benutzen Sie z.B. das Programm **SMARTDRV.SYS** bzw. **SMARTDRV.EXE**, das mit MS-WINDOWS oder mit MS-DOS ausgeliefert wird.

3.2 Hardwarevoraussetzungen

IBM-kompatibler PC-AT (80286) oder besser mit mindestens 640 KB Hauptspeicher, VGA-Graphikkarte, Microsoft- (kompatibler) Maus, Festplatte mit ca. 10 Megabyte freiem Speicherplatz, MS-DOS ab Version 3.2

Optional: CO-Prozessor (80287, 80387, 80487SX, 80486DX, Pentium, etc.), EPSON-FX80 (9-Nadel), NEC-P6 (24-Nadel), HP-Deskjet (Tintenstrahl), HP-Laserjet-Drucker (Laserdrucker) oder entsprechender kompatibler Drucker

3.3 Installation

3.3.1 Allgemeines

Installieren Sie das Programm von der CD-ROM wie folgt beschrieben. Die Installationsroutine gibt Ihnen dazu noch weitere Informationen, die Sie unbedingt beachten sollten.

Legen Sie die CD-ROM in das CD-ROM-Laufwerk ein und starten Sie die Installation z.B.: durch Eingabe von

D:

INSTALL

Beachten Sie die Ihnen vom Installationsprogramm gegebenen Hinweise bitte genau!

Die Installationsroutine installiert das Programm jetzt auf Ihre Festplatte. Nach der Installation starten Sie das Programm (siehe **Programmaufruf**). **Die Installationsmaske rufen Sie wie folgt auf:** Betätigen Sie im Hauptmenü die Alt-Taste und wählen Sie mit den Cursor-Steuertasten und der Return-Taste das Menü **Sonstiges** an. Betätigen Sie die Return-Taste auf dem Menüpunkt **Installation**. Daraufhin erscheint die Installationsmaske.

Übrigens können Sie alle Menüs auch mit Ihrer Microsoft- (kompatiblen) Maus bedienen. Das ist natürlich wesentlich komfortabler als mit der Tastatur.

In der Installationsmaske sind bei Verwendung eines VGA-Farbmonitors mit Ausnahme der Druckereinstellungen alle Parameter so vorgelegt, daß das Programm für Standardanwendungen optimal konfiguriert ist. Demnach müssen Sie eigentlich nur, wie unten beschrieben, Ihren Drucker definieren und können dann sofort mit AudioCad Pro arbeiten. Falls Sie zu einem späteren Zeitpunkt einmal die Installation ändern möchten können Sie das jederzeit tun.

Im folgenden werden die verschiedenen Konfigurationsmöglichkeiten beschrieben. Starten Sie jetzt den Menüpunkt **Eingabe**.

Sprache: Hier können Sie zwischen deutscher (**0**) und englischer (**1**) Dialogsprache auswählen.

Farb-Bildschirm: Das Programm läuft nur auf PCs mit VGA-Graphikkarte. Geben Sie hier ein, ob Ihr PC mit einem Farbbildschirm (**j**) oder mit einem Schwarz/Weiß-Bildschirm (**n**) ausgestattet ist.

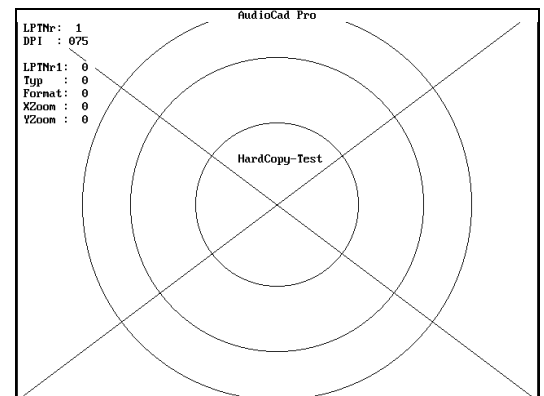
3.3.2 Druckereinstellungen

Graphikdruckroutine 1 und **Graphikdruckroutine 2**: In das Programm wurden zwei verschiedene Hardcopy-Routinen eingebunden.

Die erste benötigt nur die Parameter Druckerschnittstelle und Druckauflösung. Sie ist für HP-Laserjet-, HP-Deskjet- und EPSON-FX80- kompatible Drucker geeignet. Diese Routine arbeitet schneller als die zweite.

Die zweite Hardcopyroutine hat die Parameter Druckerschnittstelle, Drucker-Typ, Ausgabeformat, X-Zoom und Y-Zoom. Sie ist für EPSON LQ500- und NEC P6+- (24-Nadler) sowie für EPSON-FX80- kompatible Drucker verwendbar. Die gewünschte Hardcopyroutine wählen Sie über den Parameter Drucker-Schnittstelle aus. Wenn Sie beide Felder Druckerschnittstelle auf einen Wert größer Null setzen bekommen Sie immer zwei Ausdrücke!

Mit dem Menüpunkt **Probedruck Graphic-Hardcopy** können Sie die Einstellungen testen.



Druckerschnittstelle: Hier geben Sie eine **1** ein. Falls kein Drucker an Ihren PC angeschlossen ist oder Sie die andere Hardcopyroutine verwenden wollen geben Sie **0** ein.

Druckauflösung: Über den Parameter Druckauflösung wird der Druckertyp bestimmt und die Auflösung für Laserdrucker und Tintenstrahldrucker eingestellt. Wenn Sie das Feld nicht belegen wird ein Nadeldrucker (9-Nadler, EPSON-FX-80 - kompatibel) angenommen. Falls Sie einen HP-Laserjet-kompatiblen-Laserdrucker oder einen HP-Deskjet nutzen können Sie eine der drei Einstellungen **075**, **100**, **150** oder **300** dpi hinterlegen. Die Auflösung **075** dpi druckt große Graphiken im Querformat. Die Einstellungen **100**, **150** und **300** dpi drucken kleinere Graphiken im Hochformat.

Ausdruck auf Farbdrucker

Ein farbiger Ausdruck kann nur durch Druck über die MS-WINDOWS-Zwischenablage erfolgen, wie unter „Ausdruck von Maskeninhalten und Graphiken“ beschrieben. Dazu muß der GRAPHIK-HINTERGRUND in der Installationsmaske auf schwarz eingestellt werden. Ansonsten wird die Graphik beim Kopieren in die Zwischenablage immer in Schwarz/Weiss konvertiert! Als Nachteil der Benutzung von externen Druckroutinen war bisher die Existenz von "überflüssigen" Bedienungselementen zu sehen, die nur bei Nutzung der AudioCad-Druckroutinen ausgeblendet wurden. Zudem wurde auch nur bei Gebrauch der eingebauten Druckroutinen eine Überschrift eingeblendet. Zur Beseitigung dieser Nachteile belegt man in der AudioCad-Installationsmaske eine der zwei Felder Druckerschnittstellenummer mit 9. Dies bewirkt folgendes beim Anklicken des "Knopfes" DRUCK in einer Graphik:

- Der Mauszeiger verschwindet.
- Die Überschrift wird eingeblendet.
- Im Druckbild nicht benötigte Bedienungselemente verschwinden.

Jetzt hat man 3 Sekunden Zeit, eine Hardcopy zu ziehen bzw. den Bildschirminhalt in die MS-WINDOWS - Zwischenablage zu kopieren.

Druckerschnittstelle: Falls Sie die zweite Hardcopy-Routine verwenden möchten geben Sie hier eine **1** ein. Falls kein Drucker an Ihren PC angeschlossen ist oder Sie die andere Hardcopyroutine verwenden wollen geben Sie **0** ein.

Druckertyp: Geben Sie **1** für einen 24-Nadler oder **2** für einen 9-Nadler ein.

Ausgabeformat: Geben Sie **1** für Hochformat oder **2** für Querformat ein.

X-Zoom und Y-Zoom: Über diese Felder kann das Druckbild beeinflußt werden. Es gelten die folgenden Empfehlungen:

- * EPSON FX80 und IBM GRAPHICS - Ausgabeformat: **2** - X-Zoom : **1** - Y-Zoom : **3**
- * NEC P70 - Ausgabeformat: **1** - X-Zoom : **4** - Y-Zoom : **2**

Seitenvorschub: Geben Sie hier **1** ein, wenn das Programm nach Ausdruck einer Graphik auf eine neue Seite positionieren soll. Falls Sie **0** eingeben wird kein Seitenvorschub vorgenommen und Sie bekommen evtl. mehrere Graphiken auf eine Seite.

3.3.3 Die Gruppe Allgemeines

Graphik-dB-Skala: Bei Eingabe von **0** beträgt der Skalenbereich für die Amplitude in Graphiken ± 48 dB, wenn Sie **1** eingeben ± 24 dB.

dB-Anzeige: Wenn Sie hier **1** eingeben erfolgt die Anzeige der Amplitude relativ zum SPL des jeweiligen Treiber, bei Eingabe von **0** wird die Amplitude in absoluten Werten (dB) angezeigt. Bei absoluter Pegelanzeige fragt das Programm den Pegel, der in der Mitte des Diagramms liegt in einer Eingabebox ab. Die Vorbelegung **90** db hat sich bewährt.

Graphik- Ω -Skala: Folgende Skalenbereiche für die Impedanzanzeige sind möglich:

Kennziffer	Skalenbereich (Ohm)
0	0 - 16
1	0 - 32
2	0 - 64
3	0 - 128
4	0 - 256

Graphik-Linien: Zur besseren Ablesbarkeit können in die Graphiken Hilfslinien eingeblendet werden. Die Einstellung **0** blendet keine, die Einstellung **1** zeigt 8 und die Einstellung **2** blendet 24 Hilfslinien ein.

Sim-Untergrenze: Verändert die Frequenzskalierung des Diagramms. Die Sim-Untergrenze kann zwischen 10 und 1000 Hz liegen, wobei jeder Wert gewählt werden kann, für den eine Frequenz-Hilfslinie (senkrechte Linien im Diagramm) existiert. Geben Sie einfach einen Wert zwischen 10 und 1000 Hz ein. Das Installationsprogramm wählt dann den nächstgrößeren zulässigen Wert automatisch.

Die Sim-Untergrenze ist von Ihrem Audio-Meßsystem abhängig und sollte entsprechend belegt werden. Falls Ihr Meßsystem z.B. von 20 - 20000 Hz messen kann, dann geben Sie für Sim-Untergrenze 20 und für Sim-Obergrenze 20000 ein.

Sim-Obergrenze: Gibt die End-Frequenz des Diagramms an. Diese darf zwischen 10 und 40 KHz liegen.

Tastenübersicht: Im Hauptmenü wird standardmäßig eine Funktionstastenübersicht (**1**) eingeblendet. Wenn Sie die Funktionstasten nach einiger Zeit auswendig wissen können Sie die Tastenübersicht durch Eingabe von **0** ausblenden.

Menü aktivieren: Wenn Sie hier eine **1** einstellen klappt das Pulldownmenü nach Aufruf einer Maske automatisch auf, ansonsten muß es erst durch die Alt-Taste oder mit der Maus aktiviert werden. Bei Eingabe von **0** muß das Menü über die Maus oder mit der Alt-Taste aktiviert werden. Die automatisch Aktivierung (**1**) wird nicht empfohlen, da es beim Zurückkehren aus einer Grafik in eine Maske dadurch zum ungewollten nochmaligen Aufruf der Grafik kommen kann.

Abbruchtaste F5: Die Betätigung der Funktionstaste **F5** führt zum sofortigen Abbruch des Programms. Dies kann bei ungewollter Bedienung sehr lästig sein, deshalb ist die Funktion der Taste **F5** standardmäßig abgeschaltet (Eingabe=**0**). Falls Sie **F5** benutzen möchten geben Sie hier eine **1** ein.

Linienstärke: Hier kann die Linienstärke der Kurven in den Graphiken verändert werden. Die Eingabe **0** ergibt dünne Linien, die Eingabe **1** dicke Linien.

3.3.4 Die Gruppe Gehäuse-Skizze

Gehäuse-Höhe, - Breite, -Tiefe: Die Parameter geben die Standardseitenverhältnisse einer Box an, die in der Maske **Skizze** gezeichnet wird. Experimentieren Sie hier ruhig ein bißchen. Sie können die Einstellungen jederzeit wieder ändern.

Spanplattenstärke: Geben Sie hier die Stärke der von Ihnen hauptsächlich zum Gehäusebau verwendeten Spanplatten in Millimetern an. Dieser Parameter wird für die Maske **Skizze** benötigt. Er kann aber auch in der Skizze-Maske jederzeit abgeändert werden.

3.3.5 Die Gruppe Gehäuse-Simulation

Sim-Genauigkeit: Über diesen Parameter können Sie die Berechnungsgenauigkeit und damit auch die Berechnungszeit der Verarbeitungsgeschwindigkeit Ihres PCs anpassen. Zulässige Werte sind **1, 2, 4** und **8**. Je niedriger die Zahl, desto genauer ist die Simulation und desto länger die Rechenzeit.

Sim-Genauigkeit	Anzahl Simulationspunkte je Kurve (10 - 40.000 Hz)
1	512
2	256
4	128
8	64

Mehrfachtreiber: Das Programm ermöglicht die Simulation von mehreren in Serie oder parallelgeschalteten Treibern in einem Frequenzweichenzweig. Eine solche Konstruktion wird normalerweise nur für Doppelbaßsysteme eingesetzt, da man durch den Einsatz von zwei kleinen statt eines großen Basstreibers schlankere Gehäuse realisieren kann. Zu diesem Zweck erfolgt jedesmal bei Neuinitialisierung eines Treibers (beim Verlassen der Datenbankmaske) eine entsprechende zusätzliche Abfrage. Da dies bei Mittel- oder Hochtönern in der Regel nicht notwendig ist unterbleibt hier die Abfrage (Parameter **0**). Über den Parameter **Mehrfachtreiber** können Sie diese Abfrage auch für Mittel- und Hochtöner zuschalten, so daß Sie auch hier jeweils mehrere Treiber in Serie oder parallelschalten können. Geben Sie dazu **1** (Abfrage erfolgt für TT und MT/TMT), **2** (Abfrage erfolgt für TT, MT/TMT und MHT) oder **3** (Abfrage erfolgt für alle Treiber) ein.

Skala-Membranauslenkung: Die Y-Achsen-Skalierung der Membranauslenkungssimulation wird automatisch der jeweiligen Kurve angepaßt, wenn dieser Parameter mit **0** belegt ist. Sie können hier aber auch einen Wertebereich fest definieren. Wenn Sie z.B. **10** eingeben erfolgt die Darstellung der Membranauslenkung auf einer Skala von 0 bis 10 Millimetern.

3.3.6 Die Gruppe Frequenzweichen

Sim-Genauigkeit: Dieser Wert bestimmt die Anzahl der zu simulierenden Frequenzpunkte in der Frequenzweichensimulation und FW-Optimierung. Die nähere Beschreibung lesen Sie bitte oben nach.

Wid. Induktivität: Im Frequenzweichenschaltbild wird vor jede Induktivität (Spule) ein ohmscher Widerstand geschaltet, wenn dieser Parameter mit einem Wert größer Null (Ohm) belegt ist. Sinn der Sache ist der Einbezug des ohmschen Widerstands der Spule in die Frequenzweichensimulation. Als durchschnittlichen Wert kann man hier z.B. 0,3 Ohm angeben. Die Widerstandswerte sind im Frequenzweichenschaltbild nachträglich änderbar.

Akust. Zentrum: Über diesen Parameter ist die Berücksichtigung der akustischen Zentren der Einzelchassis in der Frequenzweichensimulation abschaltbar (0). Standardvorbelegung ist eine 1, d.h. die akustischen Zentren werden berücksichtigt.

FW-Typ: Wählen Sie hier 0 für Passiv- oder 1 für Aktivweichen. Für Aktivweichen (siehe Anhänge) geben Sie einen Abschlußwiderstand von 100 Ohm ein.

Alte Kurve anzeig: Ähnlich den Gehäusesimulationen kann auch in der Frequenzweichensimulation die Amplituden- und Impedanzkurve der vorherigen Simulation zur Begutachtung der Veränderungen mit angezeigt werden. Die alten Phasenkurven werden nicht angezeigt! Tragen Sie hier 1 ein, wenn das Programm die alten Kurven anzeigen soll oder 0 wenn nur die jeweils aktuellen Kurven angezeigt werden sollen.

Die Kurven werden jeweils nach Ausführung des Menüpunktes "Simulation Summenkurve" (Menü "Simulation" der FW-Maske) auf Festplatte gespeichert und bei der nächsten **Simulation Weichenzweige** und **Simulation Summenkurve** mit angezeigt. Beachten Sie, daß Sie keine alten Kurven zu sehen bekommen, wenn Sie zwischen zwei Simulationen das FW-Schaltbild nicht ändern. Die Kurven (alt und neu) sind dann identisch!

Die Speicherung auf Festplatte nimmt einige Zeit in Anspruch. Sie können die Verarbeitungszeit wesentlich verkürzen, wenn Sie zu diesem Zweck ein RAMDISK einrichten. Eine genaue Beschreibung zur Einrichtung der RAMDISK finden Sie auf der Seite 6 im Anhang C.

3.3.7 Die Gruppe FW-Optimierung

Kleinster BE-Wert: Unterschreitet ein Bauelementwert (Widerstand, Kondensator oder Spule) diese Vorgabe, dann wird er vom Optimierer nicht mehr weiter verändert.

Größter BE-Wert: Überschreitet ein Bauelementwert diese Vorgabe, dann wird er vom Optimierer nicht mehr verändert.

Opt.-Start-Divisor, Opt.-Multiplikator und Opt.-End-Divisor:

Der Optimierer verändert die zu optimierenden Bauteilewerte jeweils um einen Bruchteil des Ausgangswerts. Wenn z.B. der Ausgangswert 3,3 MikroFarad beträgt wird bei einem Opt.-Start-Divisor von 10 der Ausgangswert um 0,33 MikroFarad variiert. Ist durch Veränderung der Bauelementwerte in 1/10 Schritten keine wesentliche Verbesserung mehr zu erreichen, dann wird der Divisor (im Beispiel 10) mit dem Opt-Multiplikator (ebenfalls 10) multipliziert und die Optimierung fortgeführt. Dieser Schritt wird solange wiederholt, bis der Opt-End-Divisor keine wesentliche Verbesserung mehr erbringt. Durch diese Eingabestruktur können beliebige Optimierungsdivisoren vorgegeben werden. Standardvorbelegung ist 10, 10, 100, welche die Divisorreihe 10, 100 ergibt. Denkbar ist z.B. auch 10, 10, 1000. Das ergibt die Divisorreihe 10, 100, 1000 und damit sehr genaue Optimierungsergebnisse, die aber in aller Regel nur zu unnötig langer Rechenzeit führen, ohne einen praktischen Nutzen zu haben. Es kann z.B. auch 5, 5,125 gewählt werden, was die Reihe 5, 25, 125 ergibt. Diese Einstellung kann evtl. zu schnelleren Optimierungszeiten führen. Das hängt von den jeweiligen Bauteilewerten beim Start des Optimierers ab.

3.3.8 Sonstiges

Graphik-Überschrift: Hier kann die Überschrift beim Graphikdruck beeinflusst werden. Die ausgedruckte Überschrift setzt sich wie folgt zusammen:

- „AudioCad Pro“: bzw. „AudioCad ECNC“:
- **Graphik-Überschrift** aus Installationsmaske, falls diese nicht vorhanden ist: max. 40 Zeichen Projektbezeichnung
- Projektdateinamen
- Tagesdatum

Projekte-Directory: In das hier einzugebende Directory speichert AudioCad Ihre Projektdateien. Das Standard-Directory ist **C:\AC8\PRO**. Falls Sie ein davon abweichendes Directory eingeben müssen Sie dieses vor der ersten Nutzung mit dem Dos-Befehl **MD** (Make Directory) anlegen.

Meßsystem-Directory: Geben Sie hier den vollständigen Zugriffspfad des Directories an, in dem das Meßsystem-Schnittstellenprogramm die konvertierten Messwertedateien ablegt. Standardmäßig ist dies **C:\AC8\MESS**. Falls Sie ein davon abweichendes Directory eingeben müssen Sie dieses vor der ersten Nutzung mit dem Dos-Befehl **MD** (Make Directory) anlegen. Denken Sie auch daran, daß Sie in diesem Fall das Feld **AudioCad-Directory** im Audio-Meßsystem-Schnittstellenprogramm entsprechend belegen müssen. (Behalten Sie am besten die Vorbelegung bei. Dann klappt alles.)

Der Menüpunkt Probedruck Graphik-Hardcopy: Mit dieser Funktion können Sie die Einstellungen der Hardcopy-Routine testen.

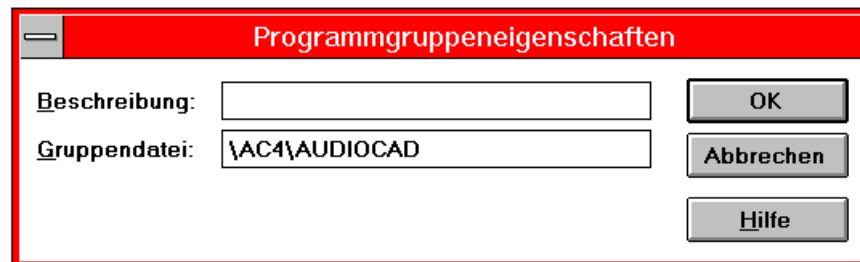
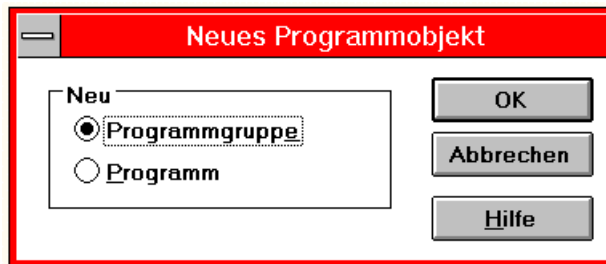
Der Menüpunkt Graphik-Hintergrund: Hier können Sie die Hintergrundfarbe für Graphiken einstellen. Dafür steht die komplette VGA-Farbpalette (262144 Farbtöne) zur Verfügung. Nach Anwahl des Menüpunkts erscheint eine Mustergraphik. Hier erzeugen Sie den gewünschten Hintergrund durch Mischung der Farben Blau, Grün und Rot. Die Farbintensität regeln Sie durch Betätigung einer Taste. Z.B. erhöht die Tastenkombination **Shift-B** (ein großes B) die Intensität von Blau. Ein kleines **b** vermindert die Blauintensität. Mit Grün und Rot verfahren Sie analog. Wenn Sie die gewünschte Farbe eingestellt haben verlassen Sie die Funktion durch Betätigung der Leertaste.

Jetzt verlassen Sie durch Anwahl von **Ende** die Maske. Das Programm fragt, ob die Einstellungen gespeichert werden sollen. Wählen Sie **<JA>** an. Verlassen Sie dann das Programm durch Anwahl von **Ende** im Menü **Datenbank**. Damit ist die Installation abgeschlossen.

Sollten Sie die Einstellungen irgendwie einmal '*total vermurksen*' löschen Sie auf der DOS-Ebene die Datei AC.CFG und rufen dann das Hauptprogramm auf. Dieses stellt dann wieder die Standard-Vorbelegungen ein.

3.3.9 Spezielle Einstellungen für MS-Windows 3.1x

Wählen Sie im Menü **Datei** des Programm-Managers den Menüpunkt **Neu** an, machen Sie unten aufgeführte Eingaben und wählen Sie jeweils **OK** an.



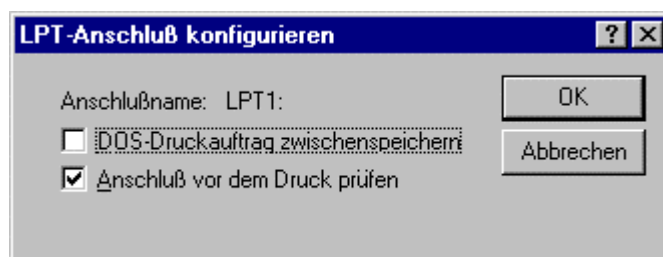
3.3.10 Spezielle Einstellungen für MS-WINDOWS '95

Die Installationsroutine legt automatisch im Windows-Startmenü eine AudioCad-Programmgruppe an. In dieser sind alle notwendigen Einstellungen vorbelegt. Führen Sie AudioCad im Vollbild-Modus aus. Im Fenstermodus kann es zu „lästigen“ Effekten bei der Mausbedienung kommen.

Schalten Sie das Spooling des Druckers für DOS-Programme ab. Es kann sonst zu „merkwürdigen“ Effekten beim Graphikausdruck kommen. Das geht so:

Wählen Sie im Start-Menü

- **Einstellungen**
- **Systemsteuerung**
- Klicken Sie auf **Drucker**
- Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Drucker und wählen **Eigenschaften**
- Wählen Sie die Karte **Details**
- Klicken Sie auf Anschluß Einstellungen



Deaktivieren Sie den „Knopf“ DOS-Druckauftrag zwischenspeichern, wie oben gezeigt.

4 Vorgehensweise der Konstruktion

Zur Konstruktion einer Lautsprecherbox incl. Frequenzweiche mit AudioCad geht man wie folgt vor:

Gehäusekonstruktion

1) Ermittlung der Thiele/Small-Parameter

Die Thiele/Small-Parameter mißt man am besten mit einem Audio-Meßsystem. Falls keines zur Verfügung steht kann man auch die Herstellerdaten heranziehen.

2) Erstellen einer neuen AudioCad-Lautsprecherdatenbank

Dieser Schritt ist nicht unbedingt notwendig, trägt aber wesentlich zur Übersicht bei. Sie können die Lautsprecherdaten selbstverständlich auch in einer schon bestehenden Datenbank hinterlegen. Der Autor verwaltet jedes Projekt in einer separaten Datenbank.

3) Neuanlage der Lautsprecher in der Datenbank

Benötigt werden zur Gehäusekonstruktion nur die Thiele/Small- und mechanischen Parameter. Meßdaten (Amplitude, Impedanz, etc.) sind nicht notwendig.

4) Initialisierung der Lautsprecher für die Berechnung

siehe Kapitel „Der Menüpunkt Datenbank“ bzw. „Der Menüpunkt Ende“.

5) Gehäusekonstruktion

Konstruieren Sie, wie unten näher erläutert, für die einzelnen Treiber des Systems Gehäuse (Geschlossen, Baßreflex, etc.).

6) Mechanische Gehäusekonstruktion

Mit Hilfe der Menüpunkte „Skizze ...“ wird das Gehäuse für die Box entworfen.

7) Speicherung des Projekts für die Gehäusekonstruktion

Frequenzweichenkonstruktion

Falls Sie nicht über ein Audio-Meßsystem verfügen können Sie hier direkt weitermachen und eine Frequenzweiche mit AudioCad entwickeln. Seien Sie sich aber darüber im Klaren, daß diese Vorgehensweise in der Regel zu ziemlich großen Fehlern bei der Weichenabstimmung führt.

Falls Sie ein Lautsprechermeßsystem haben gehen Sie wie folgt vor:

1) Gehäusebau

Bauen Sie das Gehäuse incl. Lautsprecher, etc. aber ohne Weiche. Die Lautsprecher werden so angeschlossen, daß sie einzeln von außen zugänglich sind. Der Autor verwendet dazu ein umgebautes Anschlußterminal, über das bis zu 4 Lautsprecher angeklemt werden können. Nach Fertigstellung der Weiche wird es gegen ein normales ausgetauscht.

2) Messung der Treiber

Gemessen werden die Amplitude, die akustische Phase, die Impedanz und die elektrische Phase der einzelnen Treiber im Gehäuse ohne Frequenzweiche.

Die Messungen müssen unbedingt folgenden Bedingungen unterliegen: Nicht das Mikrophon vor das jeweils zu messende Chassis setzen! Der Mikrophonstandort muß immer an derselben Stelle in Bezug auf die gesamte Box sein - schließlich befindet sich das menschliche Ohr beim Abhören eines Lautsprechers auch nur

an einem Punkt und "springt" nicht in den Chassis-Ebenen hin und her. Der Meßpunkt sollte sich in typischer Ohrhöhe (ca. 95.. 100cm vom Boden) beim Abhören eines Lautsprechers befinden. Als günstiger Abstand von Mikrophon zur Schallwand ergibt sich häufig ein Wert von 1 - 2,5 Metern. Hier muß sicherlich je nach verwendeten Chassis und Gehäusebauform experimentiert werden. Fernmessungen sind leider in den meisten Fällen aufgrund wenig geeigneter Meßräume selten durchführbar, die Meßwerte sind dann oft stark wellig und die akustische Phase "springt" sehr häufig. Falls es gar nicht klappen sollte (Sprünge der akustischen Phase innerhalb des Übertragungsbereichs eines Chassis) kann man, je nach verwendetem Meßsystem, mit einer niedrigeren Auflösung (ca. 100 Messwerte je Kurve) messen und das Ergebnis etwas (ein Mittel über jeweils ca. 6 Messwerte bilden) glätten. Der mögliche Meßabstand hängt allerdings, abgesehen vom Hörraum, auch stark von der Qualität (Empfindlichkeit und Aufnahmecharakteristik) des verwendeten Meßmikrophons ab. Der Autor hat mit dieser Methode bei einem Mikrophonabstand von 2 Metern in einem normalen Hörraum gute Erfahrungen gemacht.

3) Konvertieren der Meßdateien mit dem Schnittstellenprogramm (siehe Audio-Meßsystem-Schnittstellen).

4) Neuanlage der einzelnen Lautsprecher in der AudioCad-Datenbank

Die Lautsprecher werden unter einer neuen Lautsprecherbezeichnung in der Datenbank angelegt, um zu kennzeichnen, daß es sich um im Gehäuse gemessene Daten handelt.

z.B.: **ISOPHON PSL 155 ALU** bzw. **ISOPHON PSL 155 ALU *G**

Im Datenfeld **SPL** muß bei allen Treibern des Systems der gleiche Wert eingegeben werden.

5) Einlesen der Meßdaten in AudioCad

Beim Import der Amplitudenmessdaten muß darauf geachtet werden, daß der Wert **0 dB-Pegel** ebenfalls bei allen Lautsprechern gleich eingegeben wird. Mit dem **0 db-Pegel** kann man die Amplitudenkurven auf der y-Achse nach oben oder unten verschieben (Ausprobieren!). Der 0-db-Pegel des Tieftöners sollte dabei der 0-dB-Linie im AudioCad-Diagramm entsprechen. Dies überprüfen Sie durch Ansehen der Amplituden-Grafik nach dem Datenimport. Die Pegel von Mittel- und Hochtöner liegen in der Regel über dieser Linie, was durch den bei Mittel- und Hochtönern üblicherweise höheren Wirkungsgrad begründet ist. Mittel- und insbesondere Hochtöner, die einen niedrigeren Wirkungsgrad als der verwendete Baßlautsprecher haben sind in Kombination mit diesem Baß ungeeignet!

Dann initialisieren Sie die einzelnen Lautsprecher für die Frequenzweichenentwicklung.

6) Frequenzweichenkonstruktion mit AudioCad

Es dürfen in diesem Fall keine Gehäuse mit AudioCad simuliert werden, da die Treiber ja schon im Gehäuse gemessen wurden. Zur Weichenkonstruktion gehen Sie wie in den Anhängen beschrieben vor.

7) Musteraufbau und Nachmessen der Box incl. Weiche

Die Mikrophonposition muß noch dieselbe wie bei Punkt **2)** sein! Falls sich nicht das gewünschte Ergebnis einstellt muß sinngemäß bei **6)** wieder begonnen werden.

Messen Sie die Bauteile (Spulen, Kondensatoren, Widerstände) des Musteraufbaus vorher aus. Bei abweichenden Bauteilewerten denken Sie sonst vielleicht, das Programm würde falsch simulieren, wenn Sie das Ergebnis nachmessen und es nicht dem erwarteten entspricht. Die üblichen 5 Prozent Bauteilewerttoleranz können sich bei ungünstiger Wechselwirkung der einzelnen Bauelemente „ganz schön summieren“.

8) Speichern Sie Ihre Frequenzweichenentwicklung als Projekt.

5 Allgemeine Programmbeschreibung

5.1 Technisches

AudioCad besteht aus verschiedenen MS-DOS-Programmen, die unter einer Menüoberfläche (Datei AC.BAT) zusammengefasst wurden. Die einzelnen Programme werden unten näher beschrieben.

5.2 Programmaufruf

5.2.1 Programmaufruf unter MS-DOS

Die AudioCad-Menüoberfläche rufen Sie von der MS-DOS-Ebene aus wie folgt auf.

```
C:  
CD\AC8  
AC
```

Das Menüprogramm können Sie unter MS-Windows mehrfach aufrufen, wenn Sie SHARE nicht geladen haben. Das ist ganz praktisch, wenn man z.B. das AudioCad-Hauptprogramm und die Audio-Meßsystem-Schnittstellen gleichzeitig laden möchte.

5.2.2 Programmaufruf unter MS-WINDOWS 3.1 bzw. 3.11


Nach Installation der AudioCad-Programmgruppe (siehe Datei INSTALL.WRI auf der CD-ROM) doppelklicken Sie einfach auf das AudioCad-Icon.

Sie können das Programm selbstverständlich auch im MS-Windows-Dateimanager durch Doppelklick auf die Datei AC.BAT starten.



5.2.3 Programmaufruf unter MS-WINDOWS 95

Bei der Installation wird automatisch ein Eintrag im MS-WINDOWS 95 - Startmenü erzeugt. Klicken Sie in

der Taskleiste auf **Start, Programme, AudioCad** und dann auf das AudioCad-Icon  .

Sie können das Programm selbstverständlich auch im MS-Windows-Explorer durch Doppelklick auf die Datei AC.BAT starten.

5.3 Das AudioCad-Menüprogramm

5.3.1 Die einzelnen AudioCad-Programme

Wie oben schon erwähnt besteht AudioCad aus verschiedenen Programmen, die über ein Menüprogramm aufgerufen werden. Die Programme sind auch von der MS-DOS-Ebene aus einzeln startbar. In diesem Fall muß aber zwingend eine Umgebungsvariable gesetzt werden, da die Programme ansonsten 48 KB mehr Hauptspeicher unter MS-DOS (Zur Erinnerung - unter MS-DOS stehen maximal 640 KB freier Hauptspeicher zur Verfügung, auch wenn in Ihrem PC z.B. 32 MB Hauptspeicher eingebaut sind.) benötigen. Geben Sie dazu auf der MS-DOS-Ebene folgenden Befehl ein:

SET DBPOOL=16

Diesen Befehl können Sie auch in Ihre Datei AUTOEXEC.BAT eintragen. **Das Ganze ist aber nicht notwendig, wenn Sie, wie oben beschrieben, AudioCad nur vom Menüprogramm aus starten.**

Im folgenden werden kurz die einzelnen AudioCad (.EXE) - Programme beschrieben.

Programm	Bemerkung
ACPRO.EXE	AudioCad Pro - Hauptprogramm
ECNC.EXE	AudioCad ECNC - Hauptprogramm
KONVERT.EXE	AudioCad - AudioMeßsystemSchnittstellen
KVU.EXE	AudioCad universelle AudioMeßsystemSchnittstelle
ACREORG.EXE	Hilfsprogramm zur Datenbankreorganisation Dieses Programm wird nur benötigt, wenn die entsprechende Funktion im AudioCad-Hauptprogramm mangels freiem Hauptspeicher nicht durchgeführt werden kann.
ACEDITOR.EXE	AudioCad - Meßdateneditor

Die anderen Programme haben intern genutzte Hilfsfunktionen, mit denen Sie als Anwender nicht direkt in Kontakt kommen.

5.3.2 Bedienung des Menüprogramms

Darüber ist nicht viel zu sagen - klicken Sie einfach die gewünschten Menüs bzw. Menüpunkte mit Ihrer Maus an, so wie Sie es von MS-Windows her gewohnt sind.

Kurz eingehen möchte ich hier auf das Menü **Installation**.

- **Registrierungsformular drucken:** Druckt das Registrierungsformular aus.
- **Readme-Datei lesen:** Zeigt nach Drucklegung dieses Manuals erschienene Dokumentationserweiterungen an.
- **Installation für PC mit CoProzessor:** Wenn Ihr PC einen CoProzessor besitzt (in 80486DX und Pentium - Prozessoren integriert) klicken Sie einmalig nach der Installation diesen Menüpunkt an.
- **Installation für PC ohne CoProzessor:** Wenn Ihr PC keinen CoProzessor besitzt klicken Sie einmalig nach der Installation diesen Menüpunkt an.

5.4 Allgemeine Programmbedienung

Das Programm kann über die Tastatur oder eine Microsoft-kompatible Maus bedient werden. Am einfachsten ist natürlich die Bedienung mit der Maus. Mit der linken Maustaste wählt man alle Menüs an. Mit der rechten Maustaste kann man ein Pulldown-Menü "zuklappen". Wenn man schon etwas länger mit dem Programm gearbeitet hat möchte man evtl. eine schnellere Bedienungsmöglichkeit. Hierzu sind die sogenannten "HOTKEYS" da. Als HOTKEY bezeichnet man das hellweiß dargestellte Zeichen (Buchstabe oder Ziffer) eines Menüpunktes, durch dessen Betätigung der Menüpunkt angewählt und auch gleich ausgeführt wird. Wenn man sich einmal an das Programm gewöhnt hat kennt man die einzelnen Menüpunkte sowieso auswendig. Die Hotkeys prägen sich im Laufe der Zeit auch ganz von selbst ein. Dann geht die Bedienung über die Tastatur wesentlich schneller von der Hand als mit der Maus. Der Übergang kann fließend erfolgen, da die Mausbedienung ja weiterhin zur Verfügung steht. Im folgenden wird kurz die weitestgehend den SAA-Richtlinien entsprechende Programmbedienung über die Tastatur beschrieben.

Menübedienung über Tastatur:

- Alt-Taste** : Hotkeys der Menüleiste anzeigen
- Taste** : Menüpunkt (Hotkey) anwählen und ausführen
- Cursor-Tasten** : Menüpunkt anwählen
- Return-Taste** : Menüpunkt ausführen
- Escape-Taste** : Pulldownmenü schließen

Bedienung von Auswahlboxen über Tastatur:

- TAB-Taste** : Auswahl einer Alternative
- Return-Taste** : Bestätigung der Auswahl

Funktionstastenbelegung:

- F3:** Aktiven Treiber aus Hauptspeicher entfernen
- F4:** Aktiven Treiber auswählen
- F5:** Programmabbruch
- F8:** Graphik-Hardcopy
- F9:** Abbruch Optimierung

Achtung: Der Abbruch eines die Lautsprecherdatenbank betreffenden Vorganges (alles was im Hauptmenü **Datenbank** enthalten ist) durch die Taste **F5** kann im schlimmsten Fall zu einer Zerstörung der Datenbank führen und sollte deshalb nicht angewendet werden. Falls im Zusammenhang mit der Datenbank einmal ein solcher Fehler auftritt starten Sie die **Datenbankreorganisation** vom Hauptmenü aus.

Cursor unten oder Cursor oben: Sprung zum nächsten bzw. vorherigen Eingabefeld oder Positionieren auf nächsten bzw. vorherigen Menüpunkt

Taste PageDown (Bild Pfeil nach unten): Verlassen der Eingabefelder einer Maske und Rückkehr in das Menü.

Das Programm ist weitestgehend selbsterklärend, wenn man sich schon einmal mit der Lautsprecherboxenkonstruktion und den THIELE-/SMALL - Parametern beschäftigt hat. Dialogmeldungen in der untersten Bildschirmzeile unterstützen den Anwender bei der Eingabe. Falsche oder unvollständige Eingaben werden mit entsprechenden Fehlermeldungen abgewiesen. Bedenken Sie aber, daß nicht alles plausibilisiert werden kann. Falsche Eingaben können natürlich auch zu falschen Rechenergebnissen führen. Ein Programmabsturz durch Fehlbedienungen ist nicht zu erwarten, da alle Programmteile entsprechend abgesichert sind. Falls ein "fataler" Fehler auftritt, der nicht abgefangen werden kann, fällt das Programm im schlimmsten Fall auf das Hauptmenü zurück. Rufen Sie in diesem Fall die Maske einfach nochmals auf und korrigieren Ihre Eingabedaten.

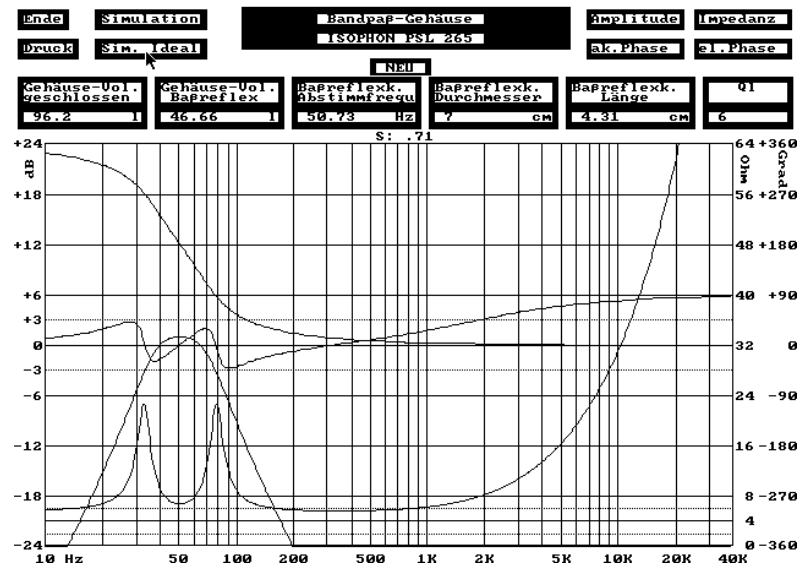
5.4.1 Programmbedienung in Graphiken

In Graphiken stehen Funktionen zur Verfügung, die teilweise nur mit der Maus erreichbar sind. Verschiedene Graphiken ermöglichen auch eine sehr komfortable Bedienung über sogenannte Schaltflächen. Das sind die „Drucktasten“ im oberen Bereich der Graphik, deren Funktion im folgenden beschrieben wird. Die Schaltflächen werden mit der Maus durch Anklicken mit der linken Maustaste bedient.

Ende: Die Graphik wird beendet und das Programm kehrt zum Menü zurück. Alternativ können Sie eine beliebige Taste betätigen. Im Gehäusekonstruktionsenteil müssen Sie evtl. zweimal eine Taste betätigen.

Druck: Die Graphik wird ausgedruckt. Sie können zum Drucken einer Graphik auch die Funktionstaste **F8** betätigen.

Anzeigen: Die Graphik wird neu aufgebaut oder es wird eine neue Simulation durchgeführt.



Simulation: Es erfolgt eine neue Simulation unter Einbezug der Messdaten (Amplitude, Impedanz, ...).

Sim. Ideal: Es erfolgt eine neue Simulation ohne Berücksichtigung der Messdaten (Amplitude, Impedanz, ...)

Neu: Wenn der Text in dieser Box sichtbar ist wird bei jeder neuen Simulation der Bildschirm vorher gelöscht, so daß nur die neu ermittelten Kurven dargestellt werden. Klickt man die Schaltfläche an, dann verschwindet der Text „Neu“ und es werden bei einer neuen Simulation die alten Kurven grau dargestellt und dann durch die neu simulierten Kurvenverläufe überlagert. Dadurch kann man mehrere Abstimmungen in einer Graphik vergleichen.

Gehäusevolumen geschlossen bzw. Gehäusevolumen Baßreflex: Durch Anklicken dieser Schaltfläche können Sie ein anderes Gehäusevolumen eingeben.

Baßreflexkanal-Abstimmfrequenz: Hier können Sie die Helmholtz-Resonanz verändern. Die BRK-Länge wird neu berechnet.

Baßreflexkanal-Durchmesser: Der BRK-Durchmesser kann verändert werden. Die BRK-Länge wird neu berechnet.

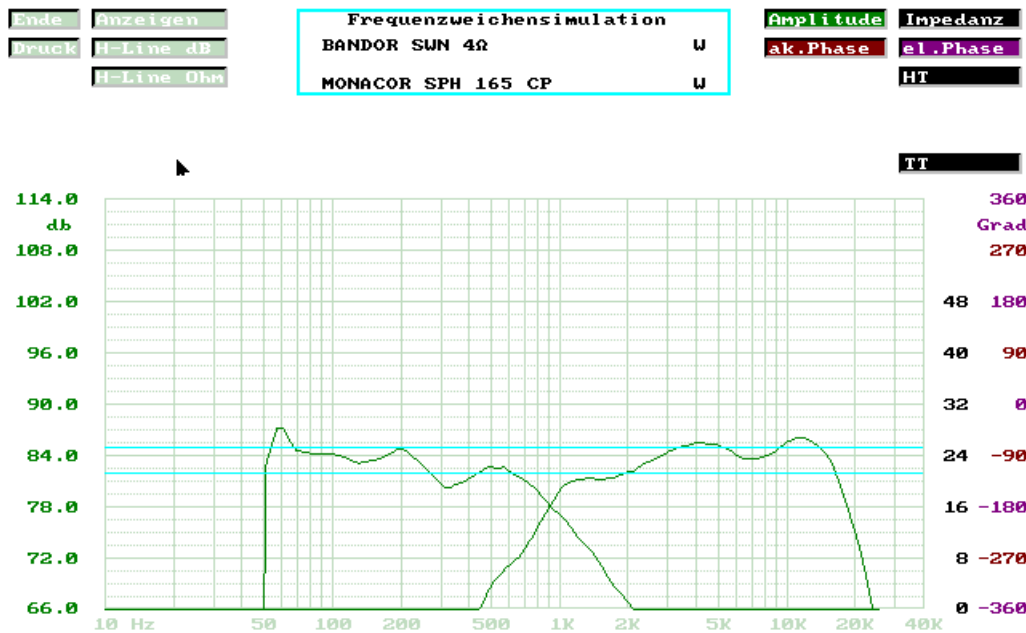
Baßreflexkanal-Länge: Die BRK-Länge kann verändert werden. Die Abstimmfrequenz wird neu berechnet. Dadurch kann man die Veränderung der Abstimmfrequenz durch einen zu kurzen BRK beurteilen, wenn die benötigte BRK-Länge nicht in das Gehäuse paßt.

QL: Die Verlustgüte des Gehäuses kann verändert werden.

Amplitude, ak. Phase, Impedanz, el. Phase: Mit Hilfe dieser Schaltflächen wählen Sie, welche Kurven in der jeweiligen Graphik dargestellt werden sollen. Wenn eine Schaltfläche in der Farbe der zugehörigen Kurve erscheint wird die Kurve dargestellt. Ist eine Schaltfläche nicht farbig, dann wird die jeweilige Kurve nicht angezeigt.

Leistung: Durch Anwahl dieses „Knopfes“ kann in den Gehäusesimulationen das Amplitudenverhalten bei beliebigen zugeführten Verstärkerleistungen simuliert werden. In der Praxis sollten Sie prüfen, für welche Verstärkerleistung der verwendete Treiber geeignet ist. Dies können Sie den Herstellerdaten (Sinus-Leistung) entnehmen. Ein Kriterium ist auch die Simulation der Membranauslenkung. Überprüfen Sie hier, ob der vom Hersteller angegebene maximale Membranhub nicht überschritten wird.

Besonderheiten in der Frequenzweichsimulation



Ausblenden von Weichenzweigen in der „Simulation Weichenzweige“: Durch Anklicken der Knöpfe „TT“, „MT/TMT“, „MHT“ und „HT“ können Weichenzweige für die Anzeige ab- bzw. angeschaltet werden. Nach Anwahl des Knopfs „Anzeigen“ wird die Simulation mit der getroffenen Weichenzweigauswahl nochmals ohne vorherige Neuberechnung angezeigt. Dadurch kann man z.B. die Simulation nur eines Weichenzweiges begutachten, ohne durch die vielen Kurven der anderen Weichenzweige „verwirrt“ zu werden.

In der **Frequenzweichsimulation** können zusätzliche Hilfslinien fuer die Amplitude und Impedanz eingeblendet werden. Dies dient der besseren Ablesbarkeit und z.B. der optischen Feststellung eines "Durchschnittsschallpegels". Dazu gibt es die zwei "Knöpfe"

- **H-Line dB** : Fragt eine dB-Wert ab und blendet eine Hilfslinie in die Skala ein.
- **H-Line Ohm** : Fragt einen Ohm-Wert ab und blendet die entsprechende Hilfslinie in die Skala ein.

Besonderheiten im Frequenzweichen-Schaltbild

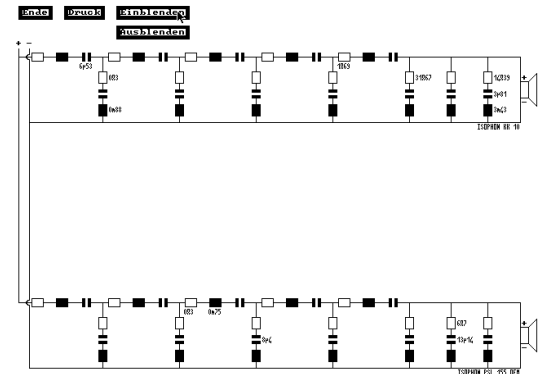
Bauteilewerte verändern: Klicken Sie das jeweilige Bauelement mit der linken Maustaste an. Das Bauelement wird rot dargestellt und eine Eingabebox erscheint, in der Sie den neuen Wert eintragen können. Falls Sie den Wert doch nicht verändern möchten betätigen Sie nur die Return-Taste oder geben Sie **0** ein und drücken RETURN. Beantworten Sie die darauffolgende Frage **'Bauelement löschen?'** durch Anklicken von **Nein**.

Lautsprecherpolarität: Durch Anklicken des Lautsprechers können Sie die Polarität vertauschen.

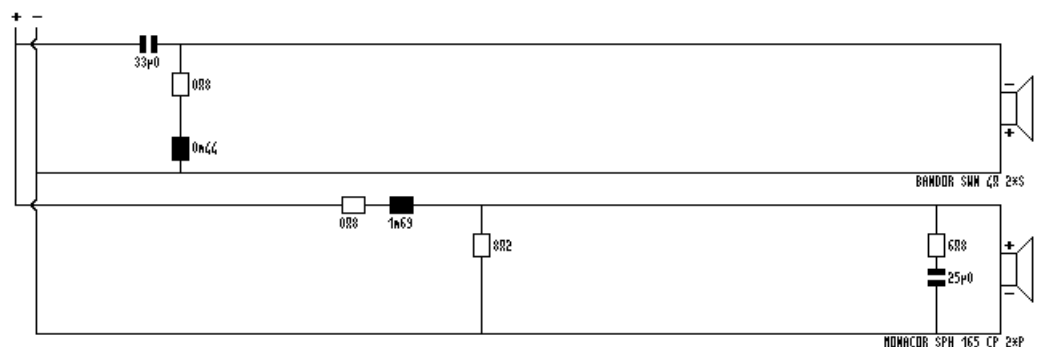
Einblenden: Durch Anklicken der Box **Einblenden** wird der Maximalausbau des Weichenschaltbilds dargestellt. Durch die Funktion **Bauteilewerte verändern** können Sie, wie oben beschrieben, weitere Bauelemente in das Schaltbild einfügen.

Ausblenden: Es werden nur noch die benutzten Bauelemente angezeigt.

Bauteil aus Schaltbild entfernen: Klicken Sie das gewünschte Bauelement an und tragen Sie in der daraufhin erscheinenden Eingabebox den Wert **0** ein oder betätigen Sie nur die Return-Taste. Beantworten Sie die nachfolgenden Frage **Bauelement löschen ?** durch Anklicken von **Ja** mit der linken Maustaste.



Wenn mehrere Treiber in Parallel- oder Serienschaltung verwendet werden, wird dies durch die Anzeige der folgenden Literale im Weichenschaltbild unter dem jeweiligen Lautsprecher angegeben:



- **2*P** : 2 Treiber Parallel
- **2*S** : 2 Treiber in Serie

5.4.2 Ausdrucken von Maskeninhalten und Graphiken

Zum Ausdruck eines Maskeninhaltes betätigen Sie einfach die Taste **Print** bzw. **Druck**. Jede Graphik kann durch Betätigung der Funktionstaste **F8** oder Anklicken des Felds **Druck** in der Graphik ausgedruckt werden. Zuvor muß man aber seinen Drucker im Programm definieren (siehe Installation).

Falls Sie mit den in AudioCad enthaltenen Druckroutinen nicht zufrieden sind können Sie auch die Graphikdruckroutine des Betriebssystems (Programm **GRAPHICS**) benutzen. Ab der MS-DOS-Version 5.0 ist diese für VGA-Bildschirme tauglich und ab der MS-DOS-Version 6.0 sind umfangreiche Druckertreiber enthalten, unter denen sich sicher auch Ihr Drucker findet. **Graphics** liefert sehr schöne Ausdrücke, ist aber leider ziemlich langsam.

Wenn Sie AudioCad unter MS-WINDOWS ausführen (siehe oben) können Sie auch über MS-WINDOWS drucken. Verfahren Sie dazu wie folgt:

- Stellen Sie in AudioCad die Graphik dar und betätigen Sie die Taste Druck bzw. Print.
- Betätigen Sie die Tasten Alt und Tabulator (links neben der Taste q) gleichzeitig und schalten Sie so wieder zum Programmanager zurück.
- Starten Sie das MS-WINDOWS-Programm PAINTBRUSH
- Starten Sie den Menüpunkt Bildattribute des Menüs Optionen und stellen Sie die Einheit Pixel, die Breite 640, die Höhe 480 und Farben ein.
- Wählen Sie den Menüpunkt Einfügen im Menü Bearbeiten an. Dadurch haben Sie die AudioCad-Graphik in PAINTBRUSH kopiert.
- Jetzt wählen Sie den Menüpunkt Invertieren im Menü Trickkasten an.
- Zum Schluß starten Sie noch den Menüpunkt Drucken im Menü Datei.
- Betätigen Sie die Tasten Alt und Tabulator (links neben der Taste q) gleichzeitig und schalten Sie so wieder zu AudioCad zurück.

6 Das Hauptprogramm (ACPRO.EXE)

6.1 Das Hauptmenü

Im Hauptmenü fallen zunächst einmal vier Zeilen auf, die Texte **TT**, **MT/TMT**, **MHT** und **HT** enthalten. Über diese wird der aktive Treiber ausgewählt. Das geht am einfachsten durch Klicken mit der linken Maustaste auf die jeweilige Zeile oder nach Betätigung der Funktionstaste **F4** durch die Cursor-Tasten und die Return-Taste. Alle Berechnungen beziehen sich jetzt auf diesen Treiber. Zur Verdeutlichung der Kombinationsmöglichkeiten hier einige Beispiele.

- 2-Wege-BOX

HT : Hochtöner
MHT : unbelegt
MT/TMT : unbelegt
TT : Tieftöner

- 3-Wege-BOX

HT : Hochtöner
MHT : unbelegt
MT/TMT : Mitteltöner
TT : Tieftöner

- 4-Wege-Box

HT : Hochtöner
MHT : Mittel-Hochtöner
MT/TMT : Tief-Mitteltöner
TT : Tieftöner

Durch Anklicken der Box **Treiber löschen** oder durch Betätigung der Funktionstaste **F3** können Sie den gerade markierten Treiber wieder aus dem Hauptspeicher entfernen.

Für die Frequenzweichenkonstruktion muß immer der **TT** belegt sein, da er den Referenzpegel des Gesamtsystems bestimmt.

Bevor Sie ein Gehäuse oder eine Frequenzweiche konstruieren können müssen Sie mindestens einen Lautsprecher für die Berechnung „initialisieren“, d.h. Sie gehen im Menü **Datenbank** in die Maske **Datenbank**, suchen sich hier einen Lautsprecher heraus und verlassen die Datenbank-Maske wieder über den Menüpunkt **Ende**, wobei Sie die darauffolgende Frage „Sollen die ...-Werte initialisiert werden?“ mit <Ja> quittieren.

6.2 Das Menü Datenbank

6.2.1 Der Menüpunkt Datenbank

In dieser Maske erfassen Sie alle für die Konstruktion von Lautsprechersystemen benötigten Lautsprecherdaten. Eine Eingabe in den jeweiligen Berechnungs- bzw. Simulationsmasken ist nicht möglich.

Um alle Möglichkeiten des Programms nutzen zu können müssen Sie neben den Messdaten (Amplitude, Impedanz und Phase) mindestens die Datenfelder LS-Bezeichnung (**LS-Bez.**), **LS-Typ**, **Re**, **Pe**, **fs**, **Qms**, **Qes**, **Qts**, **Vas**, **Le**, **Mms**, **Chassis-Form**, **Chassis-Durchmesser**, **Membran-Durchmesser**, **Membran-Hub**, **akustisches Zentrum** und **SPL** hinterlegen. Die restlichen Angaben können Sie informationshalber eintragen. Sie werden aber nicht ausgewertet.

6.2.1.1 Das Menü Auswahl

Auswahl: Geben Sie eine Lautsprecherbezeichnung ein. Die Angabe kann auch teilqualifiziert (z.B. nur ein Buchstabe) erfolgen. Z.B. zeigt die Eingabe von **ISO** alle Lautsprecher ab dem ersten an, deren Bezeichnung mit **ISO** beginnt. Treffen Sie Ihre Wahl mit der linken Maustaste und Klicken Sie auf **<OK>** oder wählen Sie mit den Cursor-Tasten aus und betätigen Sie die Return-Taste.

Vorwärts, Rückwärts, Erster Satz, Letzter Satz: Diese Menüpunkte blättern je einen Datensatz vorwärts oder rückwärts bzw. zeigen den ersten oder letzten Datensatz in Reihenfolge der Sortierung der Datenbank an.

Anmerkung: Der erste Datensatz in der Sortierungsreihenfolge hat in aller Regel genausowenig die Datensatz-Nr. 1 wie der letzte Datensatz nicht die höchste Datensatznummer der Datenbank hat. Dies ist in der Verarbeitungsform von Datenbanken begründet, in der die Indizierung (Sortierkriterium Lautsprecherbezeichnung) die logische Reihenfolge definiert. Die physikalischen Datensatznummern sind dagegen von der Reihenfolge der Datensatzeingabe abhängig.

Graphik: Die Messdaten eines Lautsprechers werden graphisch angezeigt. Falls zu dem Lautsprecher keine Meßdaten gespeichert sind werden sie simuliert. Dazu ist allerdings ein Mindestmaß an Thiele/Small-Parametern notwendig. Bei Fehlen eines oder mehrerer Parameter gibt das Programm eine entsprechende Meldung aus.

6.2.1.2 Das Menü Bearbeiten

Neuanlage Datensatz: Der Bildschirminhalt wird gelöscht und die Schreibmarke auf das erste Eingabefeld der Maske positioniert. Erfassen Sie die gewünschten Daten und betätigen Sie nach Abschluß der Eingabe an beliebiger Stelle die Taste PageDown oder tippen Sie solange die Return-Taste, bis Sie das letzte Eingabefeld verlassen haben.

Ändern Datensatz: Der Bildschirminhalt bleibt bestehen und die Schreibmarke wird auf das erste Eingabefeld positioniert. Fahren Sie mit Hilfe der Cursor-Tasten das gewünschte Datenfeld an und verändern Sie den Wert.

Speichern Datensatz und Verwerfen Änderung / Neuanlage: Die oben neu erfaßten oder geänderten Werte sind noch nicht gespeichert. Sie müssen jetzt **Speichern...** oder **Verwerfen...** anwählen, um zu entscheiden, was mit den Daten geschehen soll. Diese Vorgehensweise kommt einem am Anfang etwas umständlich vor, trägt aber wesentlich zur Datensicherheit bei. Z.B. kann man, wenn einem gerade *"ein Ordner auf die Tastatur gefallen ist"* durch Anwahl von **Verwerfen ...** den alten Zustand wieder herstellen, ohne zu wissen was in den einzelnen Datenfeldern gestanden hat.

Löschen / Entlöschen Datensatz: Durch diese Funktion wird eine Löschmarkierung gesetzt oder wieder entfernt. Physikalisch werden alle markierten Datensätze erst bei Durchführung einer **Datenbankreorganisation**

(Menüpunkt im Hauptmenü) gelöscht. Solange der Datensatz auf dem Bildschirm steht kann er wieder gelöscht werden.

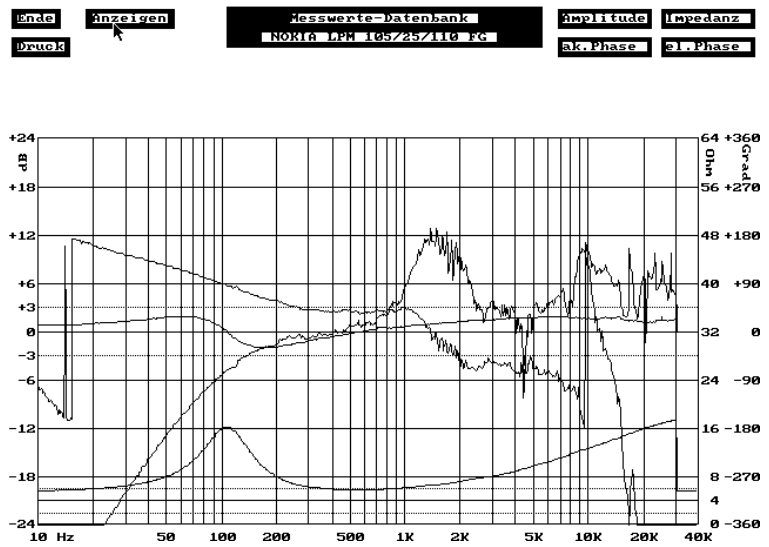
Nach dem Setzen einer Löschmarkierung werden Sie gefragt, ob die Meßwerte zu diesem Lautsprecher mit gelöscht werden sollen. Beantworten Sie diese Frage nur mit <JA>, wenn Sie sich Ihrer Sache ganz sicher sind, da das Entlöschen der Meßwerte nicht möglich ist.

DAAS + DSA: Import Thiele/Small: Falls Sie mit einem der Audio-Meßsysteme DAAS 3.L, DAAS 3 NT oder DSA Thiele/Small-Parameter gemessen haben können Sie diese im ASCII-Format exportieren und mittels dieses Menüpunktes in AudioCad importieren.

6.2.1.3 Das Menü Meßwerte

Graphik: Die Messdaten eines Lautsprechers werden graphisch angezeigt. Falls zu dem Lautsprecher keine Meßdaten gespeichert sind werden sie simuliert. Dazu ist allerdings ein Mindestmaß an Thiele/Small-Parametern notwendig. Bei Fehlen eines oder mehrerer Parameter gibt das Programm eine entsprechende Meldung aus.

Import: Hier können Amplituden- Impedanz- und Phasenmessdaten, die mit einem Lautsprechermeßsystem oder mit dem Meßdateneditor (siehe unten) erstellt wurden eingelesen werden. Nach Anwahl des Menüpunkts erscheint eine Dateiauswahlbox mit den vorhandenen Messwertedateien. Wählen Sie eine davon mit den **Cursor-Tasten** und **RETURN** oder der Maus aus. Bei Amplitudenmeßdaten wird zunächst die Eingabedatei in einem Auswahlfenster angezeigt. Suchen Sie hier die Amplitude heraus, die dem 0-dB-Pegel entsprechen soll (Z.B. kann man bei Baßlautsprechern davon ausgehen, daß sie bei ca. 150 Hz spätestens ihren 0-dB-Pegel erreicht haben.). Markieren Sie den gewünschten Wert mit der Maus oder den **Cursor-Tasten** und klicken Sie auf <OK> oder betätigen Sie die **Return-Taste**. In der daraufhin erscheinenden Eingabebox können Sie, falls gewünscht, den Wert nochmals verändern. Falls Sie diese Funktion für einen Treiber schon einmal durchgeführt haben löscht das Programm zunächst alle "alten" Messwerte zu diesem Treiber und Meßwerttyp. Danach werden die neuen Daten eingelesen. Wiederholen Sie diese Vorgehensweise für alle Meßwertarten (Amplitude, Impedanz und elektrische sowie akustische Phase).



Hinweis: Falls Sie alle Meßdaten eines Lautsprechers auf einmal einlesen möchten müssen diese gleiche Dateinamen (z.B: TEST.AMP, TEST.IMP, TEST.PHE und TEST.PHA) haben.

Import für T/S-Berechnung: Siehe unten - Menü **Sonstiges** - Menüpunkt **T/S-Parameter-Berechnung**.

Export: Hier können Amplituden- Impedanz- und Phasenmessdaten, die in der Messwertedatenbank (Datei BOXM.DB) gespeichert sind, im AudioCad-Datenformat exportiert werden. Dadurch können sie z.B. mit dem Messdateneditor bearbeitet und wieder in AudioCad Pro eingelesen werden.

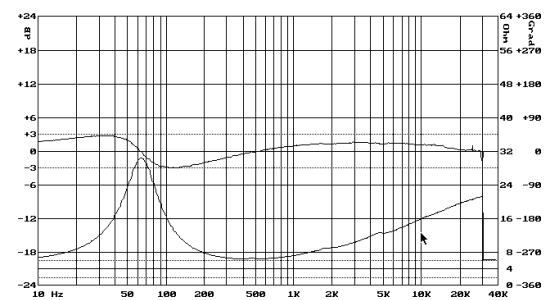
2 Dateien -> 1 Datei: Besonders bei Basstreibern ist es von Vorteil mit zwei verschiedenen Samplingraten zu messen. Man erhält dadurch exakte Messungen im Bassbereich (z.B. Messbereich von 20 Hz - 2 KHz) und durch die zweite Messung (z.B. Messbereich 20 Hz - 20 KHz) trotzdem den kompletten Frequenzbereich. Die beiden Messungen exportiert man im AudioCad-Format. Die zwei Dateien kann man in der AudioCad-Datenbankmaske mit dem Menüpunkt 2 Dateien -> 1 Datei des Menüs Messwerte in eine Datei „zusammenlesen“. Nach dem „Zusammenlesen“ kann die komplette Kurve in die Messwerte-Datenbank importiert werden. Diese Vorgehensweise ist für alle FFT-basierenden Meßsysteme (DAAS, DAAS 3L, DSA, MLSSA, IMP, etc.) anwendbar.

6.2.1.4 Das Menü Sonstiges

Parameter nachrechnen: Verschiedene Werte werden nachgerechnet. Dadurch können Sie überprüfen, ob die Thiele/Small-Parameter des Lautsprechers plausibel sind. Diese Funktion ist von der Anzahl Ihrer Eingabedaten abhängig. Welche Werte nachgerechnet wurden können Sie einer entsprechenden Meldung entnehmen. Diese Meldung bleibt 6 Sekunden lang auf dem Bildschirm. *Ungeduldige* können die Wartezeit durch Betätigung der Leertaste abkürzen. Wenn Sie die errechneten Daten in der Datenbank speichern möchten wählen Sie den Menüpunkt **Speichern Datensatz** im Menü **Bearbeiten** an.

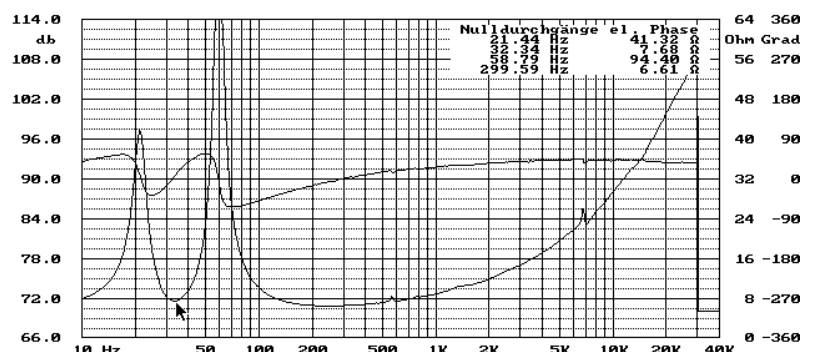
BERECHNEN CMS, MMS UND VAS AUS BL: Wenn Sie ein BL-Meßgerät haben können Sie obige Parameter aus dem Wert BL berechnen lassen.

Le berechnen: Dieser Menüpunkt berechnet die Schwingspuleninduktivität **Le**, vorausgesetzt Sie haben zuvor den Impedanzverlauf des Treibers in der Messwerte-Datenbank und den Gleichstromwiderstand **Re** in der Datenbank gespeichert. Falls einer der Werte fehlt wird eine Fehlermeldung ausgegeben und **Le** behält den alten Wert. Nach dem Berechnen von **Le** können Sie den Wert durch Anwahl des Menüpunkts **Speichern Datensatz** im Menü **Bearbeiten** in der Datenbank sichern. Als Frequenz zur Berechnung von **Le** sollte man ca. 20 KHz vorgeben.



Q-Faktoren Berechnen: Dieser Menüpunkt ermittelt **fs**, **Qms**, **Qes** und **Qts**, vorausgesetzt Sie haben zuvor den Impedanzverlauf des Treibers in der Messwerte-Datenbank und den Gleichstromwiderstand **Re** in der Datenbank gespeichert. Falls ein Wert fehlt wird eine Fehlermeldung ausgegeben und die Berechnung abgebrochen. Falls der elektrische Phasenverlauf nicht gespeichert ist ermittelt das Programm die Resonanzfrequenz aus dem Impedanzverlauf. Dazu wird als zusätzlicher Parameter die Schwingspuleninduktivität **Le** benötigt. Wenn der elektrische Phasenverlauf gespeichert ist wird dieser zur Ermittlung der Resonanzfrequenz herangezogen (erster Nulldurchlauf der Phase), was in der Regel zu genaueren Ergebnissen als die alleinige Auswertung des Impedanzverlaufs führt. Nach der Berechnung können Sie die Werte durch Anwahl des Menüpunkts **Speichern Datensatz** im Menü **Bearbeiten** in der Datenbank speichern. Aufgrund des in AudioCad verwendeten logarithmischen Frequenzrasters ist diese Funktion hauptsächlich für Tief- und Mitteltöner geeignet.

Wenn Sie die Impedanz und elektrische Phase eines Lautsprechers in der Datenbank gespeichert haben können Sie die Frequenz und Gütefaktoren beliebiger Resonanzstellen (z.B. bei Messdaten einer Baßreflex- oder Bandpassbox) berechnen lassen. Beantworten Sie dazu nach Start des Menüpunkts **Q-Faktoren berechnen** die Frage „Automatische Frequenzbereichswahl?“ mit <Nein> und wählen Sie in der Graphik den gewünschten Frequenzbereich aus.



T/S-Parameter-Berechnung: In der Maske **Datenbank** können auch Thiele/Small-Parameter aus Messungen nach der Gewichtsmethode berechnet werden.

1. Messungen:

Messen Sie Impedanz und elektrische Phase des Treibers mit und ohne Zusatzgewicht, wie unter Thiele/Small-Parametermessungen beschrieben.

2. Neuanlage Lautsprecher in Datenbank:

Legen Sie einen neuen Lautsprecher in der Datenbank an. Tragen Sie für LS-Typ zunächst **T** ein, dann verlangt das Programm nicht so viele Parameter, die Sie ja noch nicht wissen. Erfassen Sie folgende Parameter:

- Re (nachmessen!)
- Membran-Durchmesser (nachmessen!)

F_s und **SPL** belegen Sie mit **1**. Tragen Sie das für die Messung verwendete Zusatzgewicht im Feld **BEMERK** ein, falls Sie es später nochmals benötigen sollten.

3. Import der Messdaten:

Importieren Sie Impedanz und elektrische Phase wie gewohnt. Importieren Sie die mit Zusatzgewicht gemessene Impedanz und elektrische Phase mit dem Menüpunkt **IMPORT FÜR T/S-Berechnung**.

4. Berechnung der Thiele/Small-Parameter:

Starten Sie im Menü **SONSTIGES** den Menüpunkt **T/S-PARAMETER-BERECHNUNG**. Sie können hier, wie auch im Menüpunkt **Q-FAKTOREN BERECHNEN** den Frequenzbereich automatisch wählen lassen oder dies selbst tun. Falls die automatische Frequenzbereichswahl nicht funktioniert machen Sie es selbst.

Als nächstes geben Sie die Masse des verwendeten Zusatzgewichts in Gramm und dann den Luftdruck in Millibar ein. Falls Sie den Luftdruck nicht messen können nehmen Sie die Vorbelegung. Das Programm rechnet jetzt alle interessanten Thiele/Small-Parameter aus. Berechnen Sie jetzt noch **Le** mit dem Menüpunkt **LE BERECHNEN** und speichern Sie dann die Daten durch Anwahl von **SPEICHERN DATENSATZ** im Menü **BEARBEITEN**.

Denken Sie daran, den LS-Typ noch zu korrigieren!

Compound-Treiber berechnen: Eine Möglichkeit die erforderliche Gehäusegröße einer Box um ca. die Hälfte zu verkleinern ist die Verwendung von zwei Basslautsprechern in einem sogenannten Compound-Gehäuse. Dabei wird aus zwei, durch ein Luftvolumen gekoppelten, Treibern ein *neuer Treiber* mit veränderten Parametern gebaut. Die wesentliche Veränderung des Compound-Treibers gegenüber einem Einzeltreiber ist die Reduzierung des Vergleichsvolumens **V_{as}** um ca. die Hälfte. Dadurch kann man das Gehäuse etwa halb so groß auslegen, als bei Verwendung eines einzelnen Treibers. Hinzu kommt natürlich noch das Koppelvolumen für die zwei Lautsprecher. Aus diesem Grund lohnt sich der Aufwand auch nur bei verhältnismäßig großen Lautsprechern bzw. Lautsprechern mit großem **V_{as}**. Das Ganze hat außer dem finanziellen (man benötigt schließlich 4 statt 2 Basslautsprecher) auch noch den Nachteil eines um ca. 3 dB verminderten Referenz-Wirkungsgrades. Das ist der Preis für das ansprechend kleine Gehäuse. Der durch die Compoundkonstruktion verminderte Wirkungsgrad ist bei der Auswahl der Mittel- und Hochtöner bzw. der Weichenschaltung zu beachten. Man wählt hier entweder Mittel- und Hochtöner mit kleinerem Wirkungsgrad oder korrigiert die Lautstärke über Spannungsteiler in der Frequenzweiche. Das Programm errechnet nur Compound-Lautsprecher aus zwei identischen Treibern. Wählen Sie den Menüpunkt **Compound-Treiber berechnen** an und geben Sie das **Koppelvolumen** in Litern ein. Durch Wahl eines verhältnismäßig großen Koppelvolumens kann die Resonanzfrequenz abgesenkt werden. Dabei fällt aber der Wirkungsgrad (**SPL**) stärker als bei Wahl eines kleinen Koppelvolumens ab. Das Programm legt einen neuen Datensatz für den Compound-Treiber in der Datenbank an, simuliert die neuen Meßdaten und speichert diese in der Meßwertedatenbank. Zu einem Einzellautsprecher können bis zu 9 Compound-Treiber mit unterschiedlichen Koppelvolumina berechnet werden. Falls Sie diese Grenze überschreiten müssen Sie zunächst einen nicht mehr benötigten Compound-Treiber löschen.

6.2.1.5 Das Menü Ende

Initialisierung von Lautsprecherdaten für die Berechnung: Wählen Sie wie oben beschrieben im Hauptmenü den Treibertyp (**TT**, **MT/TMT**,...) aus und rufen Sie dann die Lautsprecherdatenbank auf. Wählen Sie durch den Menüpunkt **Auswahl** im Menü **Auswahl** den gewünschten Treiber aus und verlassen Sie die Maske über den Menüpunkt **Ende**. Das Programm fragt Sie jetzt, ob die Daten für die Berechnung übernommen werden sollen. Bestätigen Sie diese Frage mit **<Ja>**. Das Programm holt jetzt alle für die Konstruktion benötigten Daten des Lautsprechers aus der Datenbank und verlässt dann die Maske. Wiederholen Sie den gleichen Vorgang für alle anderen Treibertypen (**TT**, **MT/TMT**, ...). Falls zu einem Treiber keine Messdaten in der Datenbank gespeichert sind werden sie bei ausreichend vorhandenen Thiele/Small-Parametern simuliert.

Anzahl Treiber: Der Wunsch nach schlanken Säulen steht oftmals der Verwendung eines großen Baßtreibers entgegen. Will man trotzdem einen hohen Schalldruck erhalten ist dies oft nur durch Einsatz von zwei kleineren statt einem großen Baßtreiber möglich. Die Baßlautsprecher werden in der Regel parallelgeschaltet. Es werden nur Doppelbaßsysteme aus identischen Treibern berechnet. Falls Sie zwei oder mehrere Bässe in Parallelschaltung einsetzen möchten geben Sie hier die Anzahl der Treiber an, die Sie parallelschalten möchten. Sie können auch mehrere Lautsprecher in Serie schalten.

Bei Parallelschaltung mehrerer Lautsprecher wird eine falsche SPL-Eingabe in der Datenbank toleriert. Zur Berechnung des neuen SPL wird die in der Datenbank vorgegebene SPL-Angabe herangezogen. Eine Dialogmeldung weist darauf hin.

Z.B.:

SPL(DB):90.9 SPL(calc):90.86 SPL(gain):2.58 SPL(new):93.48

In dieser Meldung bedeutet:

- **SPL(DB)** : Der in der Datenbank eingetragene SPL
- **SPL(calc)** : Der aus den Thiele-/Small-Parametern berechnete SPL
- **SPL(gain)** : Der Schalldruckzuwachs durch die Parallelschaltung
- **SPL(new)** : Der SPL der parallelgeschalteten Lautsprecher

Falls zum Lautsprecher kein Vas in der Datenbank hinterlegt ist (z.B. bei Kalotten) kann der SPL nach Thiele/Small nicht berechnet werden. Die Berechnung erfolgt dann nach einer Tabelle für bis zu 20 parallelgeschaltete Chassis. Die Tabellenwerte fuer SPL(gain) wurden empirisch ermittelt.

6.2.1.5.1 Tip zur Impedanzsimulation:

Impedanzmaximum bei der Grundresonanz : Die Impedanzsimulation der Treiber-Grundresonanz erfolgt mit hinreichender Genauigkeit. Hier ist, korrekte Thiele/Small-Parameter vorausgesetzt, kaum ein Unterschied zu gemessenen Daten feststellbar.

Induktiver Impedanzanstieg: Das Problem bei der Simulation ist hier, daß dieser eine konstante Schwingspuleninduktivität zugrunde liegt. Die Induktivität eines realen Treiber ist aber frequenzabhängig. Die von Lautsprecherherstellern angegebene L_e ist meist bei 20 KHz gemessen. Wenn man die Impedanzsimulation mit einer bei 20 KHz gemessenen L_e nachvollzieht wird man feststellen, daß die Impedanz bei 20 KHz korrekt ist, zu höheren Frequenzen hin aber übermäßig ansteigt. Umgekehrt verhält es sich, wenn L_e bei 40 KHz gemessen wird. Der Impedanzwert bei 40 KHz ist dann korrekt, aber der Impedanzverlauf unterhalb dieser Frequenz ist zu flach. Aus obigen Ausführungen wird wohl ersichtlich, daß die Simulation des durch L_e bedingten Impedanzanstiegs trotz korrekter Formeln nur eine Notlösung bleibt. (Andere Programme macht das auch nicht anders. Bei diesen ist die Problematik nur meistens im Manual nicht erwähnt.) Falls möglich sollte man deshalb den realen Impedanzverlauf eines Treibers in die Messwertedatenbank eintragen. Sollte dies aufgrund fehlender Daten nicht möglich sein empfiehlt der Autor die Induktivität bei der gewünschten Frequenzweichtrennfrequenz zu ermitteln und diese in die Lautsprecherdatenbank einzutragen.

6.2.2 Der Menüpunkt Lade Datenbank

Mit diesem Menüpunkt können Sie eine andere Datenbank laden. Beim Verlassen des Programms wird die zuletzt geladene Datenbank in der Konfigurationsdatei gespeichert. Wenn Sie das Programm später wieder starten wird die zuletzt geladene Datenbank initialisiert.

6.2.3 Der Menüpunkt Erstelle Datenbank

Dieser Menüpunkt erstellt eine neu, leere Datenbank. Sie können so z.B. die von Ihnen selbst gemessenen Lautsprecher in einer separaten Datenbank verwalten. Durch die Verwaltung mehrerer Datenbanken können Fremdherstellereinträge, wie z.B. die HiFiSound-Datenbank ohne zeitraubendes Laden verwendet werden. Zur Erstellung der neuen Datenbank geben Sie eine bis zu 7-stellige Dateibezeichnung ohne Punkt ein.

Z.B.:

Eingebener Dateiname: TEST

Das Programm erzeugt die folgenden Dateien

Lautsprecherdatenbank : TEST.DBF
Indexdatei der Lautsprecherdatenbank : TEST.NDX
Messwertedatenbank : TESTM.DB
Indexdatei der Messwerte-Datenbank : TESTM.NDX

Wie aus obigem Beispiel hervorgeht bildet sich der Name der Messwertedatenbank aus dem der Lautsprecherdatenbank, wobei hier ein **M** angehängt wird.

6.2.4 Der Menüpunkt Lösche Datenbank

Dieser Menüpunkt löscht die ausgewählte Datenbank nach zweimaliger Rückfrage von Ihrer Festplatte. Die Daten sind in diesem Fall unwiederbringlich verloren!

6.2.5 Der Menüpunkt Recherchiere Datenbank

Diese Funktion erlaubt ein automatisches Suchen nach Lautsprechern mit bestimmten Parametern. Das Konzept der Lautsprecherdatenbank geht dabei davon aus, daß Sie nicht zu einem bestimmten Lautsprecher ein Gehäuse suchen sondern als Vorgabe Zielgrößen haben (Gehäusegröße, untere Grenzfrequenz, etc.) nach denen Sie einen geeigneten Lautsprecher auswählen.

Der Menüpunkt Eingabe Auswahlkriterien: Geben Sie nur die Werte ein, nach denen Sie auswählen wollen. Wenn Sie z.B. alle Lautsprecher mit einem Qts von 0,3 bis 0,4 angezeigt haben wollen geben Sie nur diese zwei Werte ein. Die Auswahlkriterien sind mit einem **logischen UND** verknüpft, d.h. durch Eingabe mehrerer Auswahlkriterien schränken Sie die Ergebnismenge immer weiter ein. Falls Sie alle in der Datenbank gespeicherten Datensätze sehen wollen nehmen Sie einfach die Vorbelegung. Wenn Sie z.B. alle Lautsprecher mit Doppelschwingspule auswählen wollen geben Sie im Feld **Bemerkung** den Text **DOP** ein.

Durch Anwahl des Menüpunktes **Anzeige am Bildschirm** starten Sie die Ausgabe auf dem Bildschirm. Ausdrucken können Sie die Werte durch Betätigung der Druck-Taste oder durch Anwahl von **Drucken Liste**.

Der Menüpunkt Ausgewählte Datensätze in andere Datenbank kopieren: Durch diesen Menüpunkt können Sie die selektierten Datensätze in eine andere Datenbank kopieren. Diese müssen Sie, falls nicht schon vorhanden, mit dem Menüpunkt **Erstelle Datenbank** zuvor aufbauen.

6.2.6 Der Menüpunkt Reorganisiere Datenbank

Das Programm entfernt alle zum Löschen markierten Datensätze der ausgewählten Datenbank physikalisch von der Festplatte, gibt den belegten Festplattenspeicherplatz frei und baut die Indexdateien neu auf. Eine Reorganisation kann einen Performance-Gewinn bringen, wenn Sie zuvor viele Sätze (Lautsprecher, Messwerte) in der Datenbank gelöscht haben. Die Funktion ist auch bei Fehlerfällen (z.B. Rechnerabsturz wegen Stromausfall bei Datenbankvorgängen) sehr hilfreich, da dadurch eine defekte Datenbank in nahezu allen Fällen wieder repariert werden kann.

6.2.7 Der Menüpunkt Export

Hier können sämtliche Amplituden-, Impedanz- und Phasenverläufe, die das Programm in der Datenbank gespeichert oder im Gehäuseteil simuliert hat im AudioCad-Format exportiert werden. Diese Kurven können zur Weiterverarbeitung wieder in die Datenbank eingelesen oder z.B. auch als Zielfunktion für die Frequenzweichenoptimierung verwendet werden. Die Kurvenverläufe können auch in den Messdateneditor geladen und verändert werden. Zum Export der Frequenzweichensimulationen existiert ein eigener Menüpunkt in der Frequenzweichen-Maske.

6.2.8 Der Menüpunkt Ende

Nach positiver Quittierung einer Sicherheitsabfrage wird das Programm verlassen und zum Hauptmenü zurückgekehrt.

6.3 Das Menü Gehäuse

Hier erfolgt die Ermittlung von Lautsprechergehäuseabstimmungen und zwar für jeden Treiber im System getrennt. Sie können z.B. ein Baßreflexgehäuse für den Tieftöner und ein geschlossenes Gehäuse für den Mitteltöner konstruieren. Darüber hinaus kann durch die Funktion **Skizze** ein Gehäuse mit bis zu 4 Lautsprechern und Baßreflexkanal skizziert werden. Dieser Menüpunkt berechnet auch die Holzzuschnitte.

Für **geschlossene**, **Baßreflex**- und **Bandpaß-Gehäuse** erfolgt eine Simulation des Amplituden-, Impedanz- und Phasenverhaltens von in Gehäuse eingebauten Treibern. Auch die Membranauslenkung und das Ein-/Ausschwingverhalten kann graphisch dargestellt werden.

Transmission-Line-Boxen und **Hörner** können mit dem Programm zwar berechnet werden, müssen dann aber zunächst aufgebaut und mit einem Audio-Meßsystem gemessen werden, um die Daten in die Frequenzweichensimulation einfließen zu lassen.

Wie schon erwähnt, besteht die Möglichkeit, die Gehäusekonstruktion wegzulassen und eine Frequenzweiche für bereits in ein Gehäuse eingebaute Lautsprecher zu konstruieren. Messen Sie dazu die in ein fertiges Gehäuse eingebauten Lautsprecher einzeln mit einem Audio-Meßsystem und geben Sie diese Daten in die Messwertedatenbank ein. Dann initialisieren Sie die einzelnen Wege der Box, wie unter **Lautsprecherdatenbank** beschrieben und gehen ohne Umweg über die Gehäusesimulation direkt zur Frequenzweichenkonstruktion über.

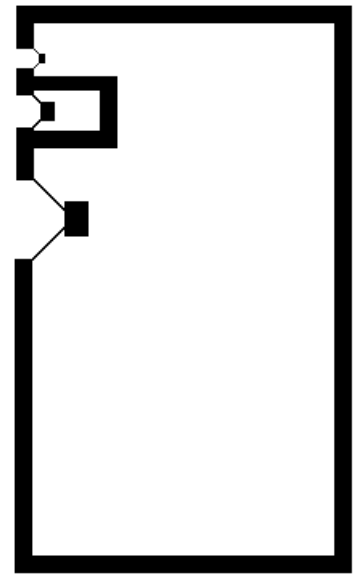
6.3.1 Geschlossene Gehäuse

Der Programmteil berechnet geschlossene Boxen nach Thiele-Small. Diese zeichnen sich bei richtiger Abstimmung durch ein geradezu *ideales* Impulsverhalten aus. Der Bass kommt in der Regel *sauber* und weniger *bumsig* als bei einer Baßreflexkonstruktion. Als Nachteil ist der geringer ausgeprägte Tiefbaß einer geschlossenen gegenüber einer Baßreflexbox zu nennen.

Das Menü Bearbeiten

Der Menüpunkt Eingabe: Den Verlustwiderstand, der sich aus dem Innenwiderstand des Verstärkers und den Verlusten von Lautsprecherkabel und Frequenzweiche (Spulen) zusammensetzt sollte man unbedingt in die Konstruktion einbeziehen, da er einen wesentlichen Einfluß auf die Güte des Chassis nimmt. Geben Sie den Wert in Ohm ein.

Zur Berechnung der Box kann man entweder die Systemgüte (Q_{tc}), das Gehäusevolumen (V_b) oder die Resonanzfrequenz (f_c) vorgeben. Die übrigen Eingabewerte setzt man auf Null. Gibt man gar nichts vor wird ein Q_{tc} von 0,707 (Butterworth-Fall) angenommen. Nach Verlassen der Eingabemaske (evtl. durch Taste PageDown) werden die Ausgabewerte berechnet und angezeigt.

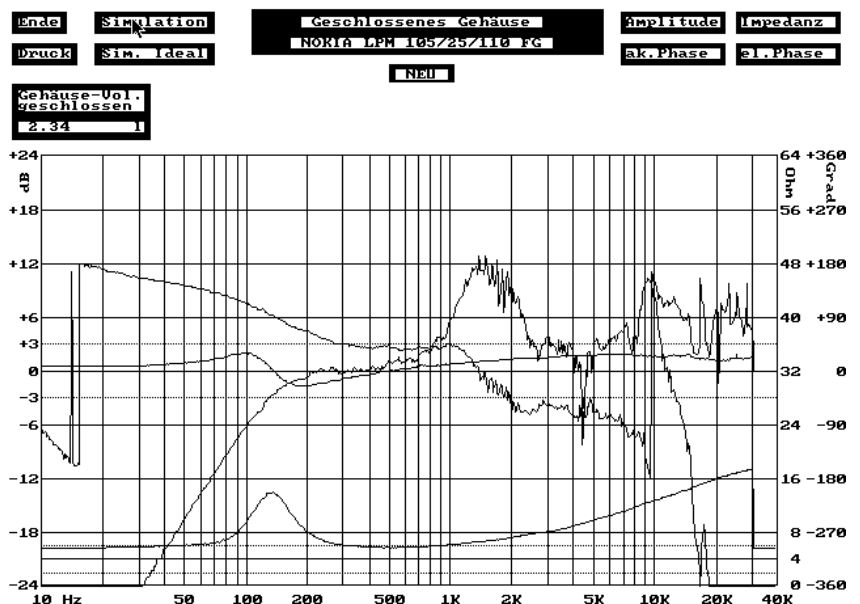


Skizze: Geschlossenes Gehäuse

Der Menüpunkt Frequenzgang: Diese Funktion zeigt den Amplituden-, Phasen- und Impedanzverlauf des in das berechnete Gehäuse eingebauten Treibers an. Die weiteren Möglichkeiten dieser graphischen Darstellung lesen Sie bitte unter **Programmbedienung in Graphiken** nach.

Das Menü Ende:

Der Menüpunkt Ende: Nach Verlassen der Maske werden die Werte der letzten Gehäusesimulation für die Frequenzweichenkonstruktion übernommen. Achten Sie bitte darauf, daß Sie für die letzte Simulation in der Graphik **Simulation** und nicht **Sim. ideal** verwenden, um realistische Werte zu erhalten.



6.3.1.1 Einfluß von Dämm-Material

Bei Einsatz von Dämm-Material kann das Gehäuse kleiner als berechnet dimensioniert werden. Die beste Wirkung erzielt man mit ca. 6 Zentimeter starkem Pritex (Noppenschaumstoff). Wenn man die Innenwände der Box komplett mit Pritex auskleidet kann man von einer Volumenvergrößerung von ca. 10 bis 15 Prozent ausgehen. Die vollständige Füllung der Box bringt etwa 30 Prozent.

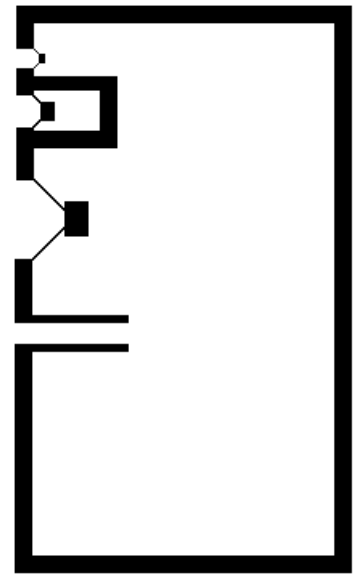
6.3.2 Baßreflexgehäuse

Die Baßreflexbox stellt den besten Kompromiß zwischen Gehäusegröße und erzielter Baßwiedergabe dar. Ein Baßreflexgehäuse wird zwar in der Regel größer als ein geschlossenes Gehäuse für den gleichen Treiber, die mögliche untere Grenzfrequenz (f_3) liegt aber meist wesentlich unter der von geschlossenen Gehäusen.

Das Menü Bearbeiten:

Der Menüpunkt Eingabe: Hier werden die zur Konstruktion notwendigen Vorgaben gemacht. Den Verlustwiderstand, der sich aus dem Innenwiderstand des Verstärkers und den Verlusten von Lautsprecherkabel und Frequenzweiche (Spulen) zusammensetzt sollte man unbedingt in die Konstruktion einbeziehen, da er einen wesentlichen Einfluß auf die Güte des Chassis nimmt. Geben Sie den Wert in Ohm ein.

Als nächsten Wert gibt man die Verlustgüte (Ql) ein. Dieser Wert ist vom Gehäusevolumen abhängig. Für Gehäuse bis 30 Liter wählt man 10, bis 70 Liter 7 und über 70 Liter 5. Probieren Sie es einfach einmal mit 10. Das Programm paßt den QL-Wert automatisch der Gehäusegröße entsprechend an.



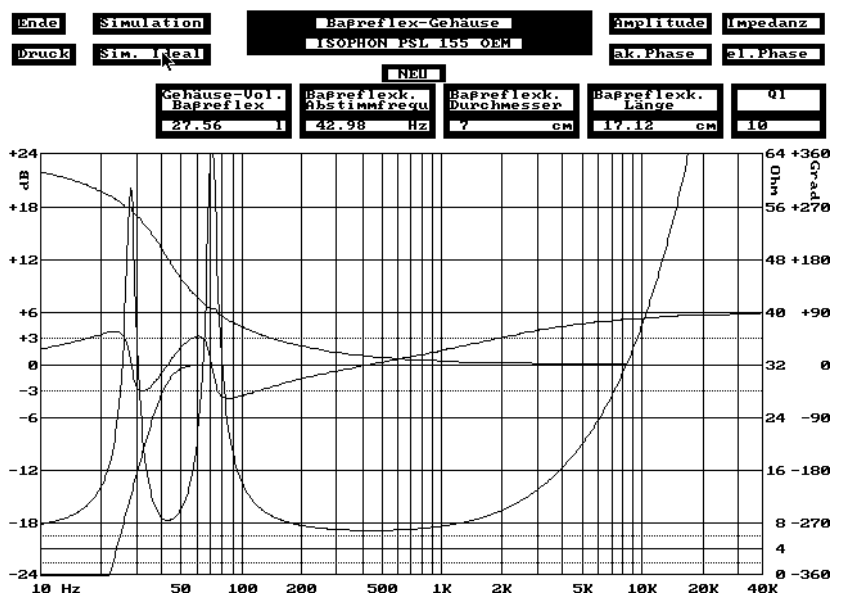
Skizze: Baßreflexgehäuse

Den Baßreflexkanaldurchmesser kann man vorgeben. Bei Eingabe von Null kann man die Fläche des Baßreflexkanals eintragen, falls ein rechteckiger Kanal aufgebaut werden soll. Wenn man alle Angaben wegläßt nimmt das Programm einen runden Kanal mit 7 cm Durchmesser an. Nach Verlassen der Eingabemaske (evtl. durch Taste PageDown) werden die Ausgabewerte berechnet und angezeigt.

Der Menüpunkt Frequenzgang: Diese Funktion zeigt den Amplituden-, Phasen- und Impedanzverlauf des in das berechnete Gehäuse eingebauten Treibers an. Die weiteren Möglichkeiten dieser graphischen Darstellung lesen Sie bitte unter **Programmbedienung in Graphiken** nach.

Das Menü Ende:

Der Menüpunkt Ende: Nach Verlassen der Maske werden die Werte der letzten Gehäusesimulation für die Frequenzweichenkonstruktion übernommen. Achten Sie bitte darauf, daß Sie für die letzte Simulation in der Graphik **Simulation** und nicht **Sim. ideal** verwenden, um realistische Werte zu erhalten.



6.3.3 Bandpaßgehäuse, einseitig ventiliert (Bandpass 1)

Das Bandpaßgehäuse eignet sich vorwiegend für den Einsatz als Subwoofer mit niedriger Trennfrequenz. Die Konstruktion beinhaltet einen steilflankigen mechanischen Tiefpass (den Baßreflexkanal), der den Aufbau von einfachen Weichenschaltungen ermöglicht. Theoretisch könnte man auf den elektrischen Tiefpass sogar komplett verzichten. In der Praxis sollte man aber zumindest einen 6-dB-Tiefpass (eine Spule) vor den Bandpaßsubwoofer schalten, da dadurch das Amplituden- und Impedanzverhalten der Box im Mittel-Hochton-Bereich verbessert wird.

Das Menü Bearbeiten

Der Menüpunkt Eingabe: Hier werden die zur Konstruktion notwendigen Vorgaben gemacht. Den Verlustwiderstand, der sich aus dem Innenwiderstand des Verstärkers und den Verlusten von Lautsprecherkabel und Frequenzweiche (Spulen) zusammensetzt sollte man unbedingt in die Konstruktion einbeziehen, da er einen wesentlichen Einfluß auf die Güte des Chassis nimmt. Geben Sie den Wert in Ohm ein.

Als nächsten Wert geben Sie die Güte des geschlossenen Gehäuseteils ein. Falls Sie hier nichts eingeben wird 0,707 vorbelegt.

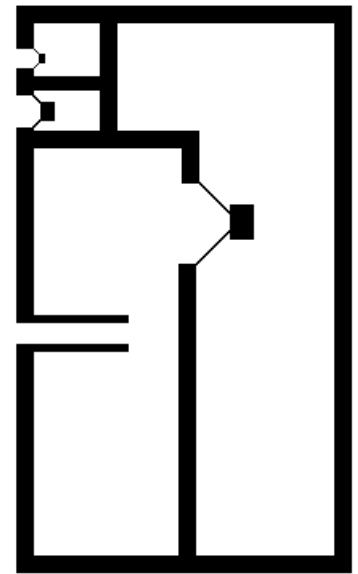
Dann geben Sie die Güte des ventilierten Gehäuseteils vor. Falls Sie hier nichts eingeben wird 0,707 angenommen.

Den Baßreflexkanaldurchmesser kann man vorgeben. Bei Eingabe von Null kann man die Fläche des Baßreflexkanals eintragen, falls ein rechteckiger Kanal aufgebaut werden soll. Wenn man alle Angaben wegläßt nimmt das Programm einen runden Kanal mit 7 cm Durchmesser an. Nach Verlassen der Eingabemaske (evtl. durch Taste PageDown) werden die Ausgabewerte berechnet und angezeigt.

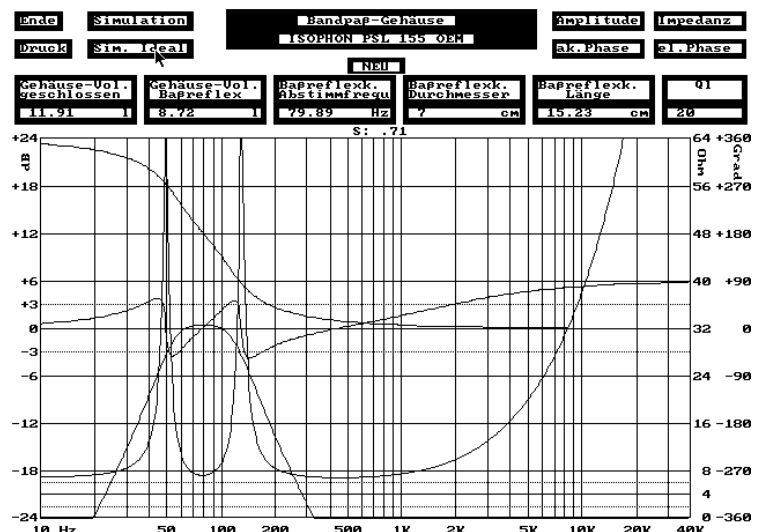
Der Menüpunkt Frequenzgang: Diese Funktion zeigt den Amplituden-, Phasen- und Impedanzverlauf des in das berechnete Gehäuse eingebauten Treibers an. Die weiteren Möglichkeiten dieser graphischen Darstellung lesen Sie bitte unter **Programmbedienung in Graphiken** nach.

Die Simulation erfolgt für symmetrische Bandpaßgehäuse. Bei diesen wird die Resonanzfrequenz des Baßreflexkanals (fb) auf die Resonanzfrequenz des geschlossenen Gehäuses abgestimmt. Deshalb sind die BRK-Resonanzfrequenz und Länge in der Graphik nicht änderbar.

Da hier sehr große Phasenwinkel auftreten kann es bei größeren Fehlabbildungen der BRK-Resonanzfrequenz zu Phasensprüngen im Diagramm kommen. Dies ist prinzipbedingt und kein Programmfehler.



Skizze: Bandpaßgehäuse

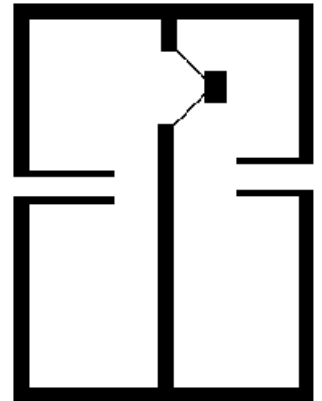


Das Menü Ende:

Der Menüpunkt Ende: Nach Verlassen der Maske werden die Werte der letzten Gehäusesimulation für die Frequenzweichenkonstruktion übernommen. Achten Sie bitte darauf, daß Sie für die letzte Simulation in der Graphik **Simulation** und nicht **Sim. ideal** verwenden, um realistische Werte zu erhalten.

6.3.4 Bandpaßgehäuse, beidseitig ventiliert (Bandpass 2)

Das beidseitig ventilierte Bandpaßgehäuse eignet sich vorwiegend als Subwoofer mit niedriger Trennfrequenz für den Car-HiFi-Einsatz. Dieser Gehäusotyp hat, abgesehen von Hörnern, den besten Wirkungsgrad im Tieftonbereich. Erkauft wird dies in aller Regel aber durch ein gegenüber Baßreflexsystemen oder einseitig ventilierten Bandpässen schlechteres Ein- bzw. Ausschwingverhalten des Systems. Trotz der Bandpaßcharakteristik des Gehäuses sollte man zumindest einen 6-dB-Tiefpass (eine Spule) vor den Subwoofer schalten, um Verfärbungen im Mitteltonbereich entgegenzuwirken.



Die Abstimmung eines beidseitig ventilierten Bandpasses durch AudioCad ist nur empirisch möglich. Eine Berechnung des Gehäuses nach bestimmten Filtercharakteristiken ist aufgrund der Komplexität des Verfahrens auf einem PC mangels Rechenleistung heute noch nicht sinnvoll. Die Abstimmung nach der **Faustformel:**

1. Gehäuse: Konventionelle Baßreflexabstimmung
2. Gehäuse: Halbes Gehäusevolumen von 1., doppelte BRK-Abstimmungsfrequenz von 1.

führt aber schon zu guten Ergebnissen und kann mit Hilfe der grafischen Simulation im Trial- and Error-Verfahren innerhalb kurzer Zeit optimiert werden. Hüten sollte man sich vor

- zu großen Abweichungen der Gehäusevolumina,
- zu großen Abweichungen der Resonanzfrequenzen der beiden Kammern,
- annähernd gleichen Gehäusevolumina,
- annähernd gleichen Resonanzfrequenzen der beiden Kammern und
- zu großer Bandbreite (2 bis höchstens 3 Oktaven sollten genügen!) des Systems.

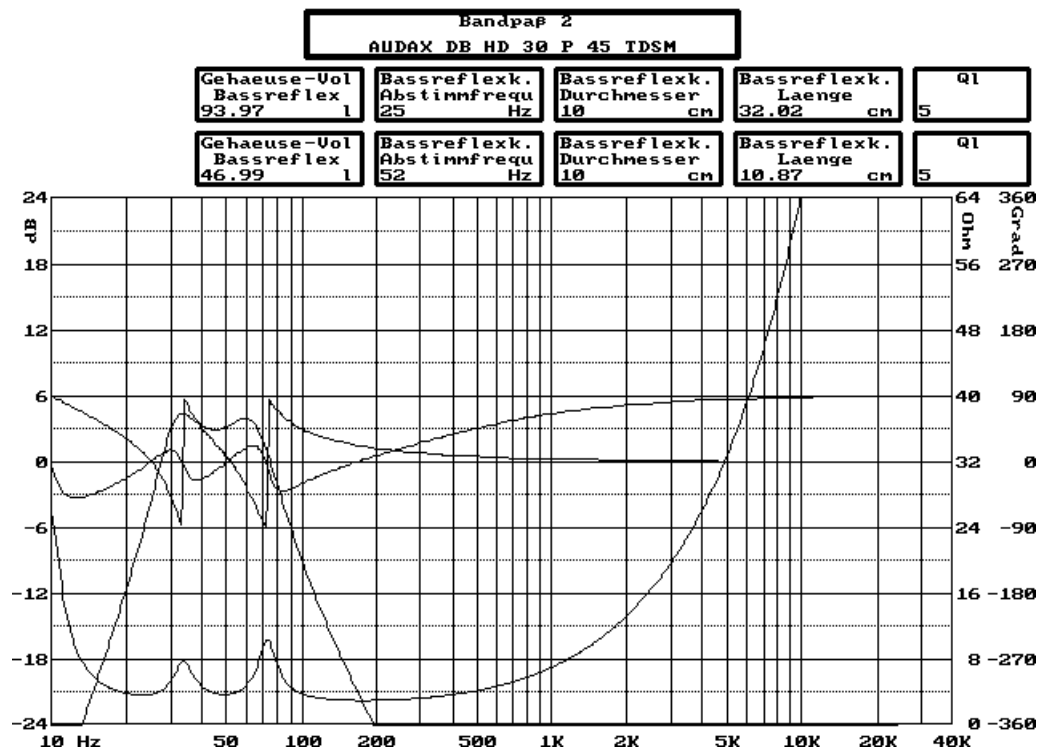
Ein unkontrolliertes Schwingen des Gesamtsystems könnte die Folge sein. Diese Einflüsse sind in dem der Simulation zugrunde gelegten Modell nicht enthalten, aber außerordentlich wirksam!

Das Menü Bearbeiten

Der Menüpunkt Eingabe: Hier werden die zur Konstruktion notwendigen Vorgaben gemacht. Den Verlustwiderstand, der sich aus dem Innenwiderstand des Verstärkers und den Verlusten von Lautsprecherkabel und Frequenzweiche (-Spulen) zusammensetzt sollte man unbedingt in die Konstruktion einbeziehen, da er einen wesentlichen Einfluß auf die Güte des Chassis nimmt. Geben Sie den Wert in Ohm ein.

Die Durchmesser der beiden Baßreflexkanäle kann man vorgeben. Bei Eingabe von Null kann man die Fläche des jeweiligen Baßreflexkanals eintragen, falls ein rechteckiger Kanal aufgebaut werden soll. Wenn man alle Angaben wegläßt nimmt das Programm runde Kanäle mit 10 cm Durchmesser an. Nach Verlassen der Eingabemaske (evtl. durch Taste PageDown) werden die Ausgabewerte berechnet und angezeigt. Falls das Programm eine Fehlermeldung "**BRK-Durchmesser zu klein**" ausgibt kann das ein Indikator dafür sein, daß der Treiber nicht für diesen Gehäusotyp geeignet ist.

Der Menüpunkt Frequenzgang: Diese Funktion zeigt den Amplituden-, Phasen- und Impedanzverlauf des in das berechnete Gehäuse eingebauten Treibers an. Die weiteren Möglichkeiten dieser graphischen Darstellung lesen Sie bitte unter **Programmbedienung in Graphiken** nach.



Das Menü Ende:

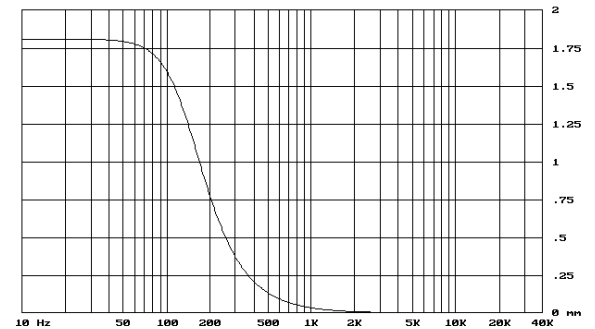
Der Menüpunkt Ende: Nach Verlassen der Maske werden die Werte der letzten Gehäusesimulation für die Frequenzweichenkonstruktion übernommen. Achten Sie bitte darauf, daß Sie für die letzte Simulation in der Graphik **Simulation** und nicht **Sim. ideal** verwenden, um realistische Werte zu erhalten.

6.3.5 Simulation Membranauslenkung

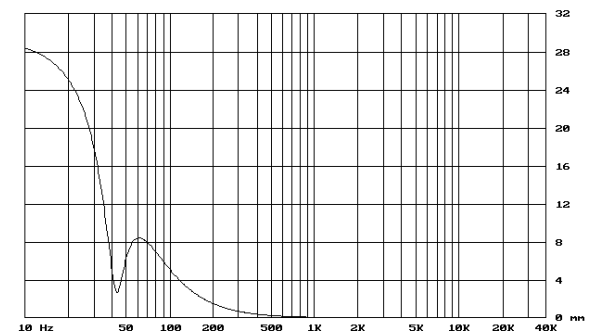
Für geschlossene, Baßreflex- und einseitig ventilierte Bandpaßgehäuse wird die Membranauslenkung des Treibers im Gehäuse abhängig von der zugeführten elektrischen Leistung des angeschlossenen Verstärkers simuliert. Die Skalierung wird der jeweiligen Kurve automatisch angepaßt, falls in der Installationsmaske nichts abweichendes hinterlegt wurde. Betrachten Sie deshalb bitte nicht nur den Kurvenverlauf, sondern beachten Sie auch den Maximalwert der Y-Achse (Membranauslenkung in mm).

Tip zur Simulation von Mitteltönern: Bei Mitteltönern wird oftmals eine Belastbarkeit von 50, 100 oder sogar mehr Watt angegeben. Tatsächlich verkraftet ein Mitteltöner eine solche Leistung aber nur über eine vorgeschaltete Frequenzweiche, d.h. er "sieht" in der Regel nur ein paar Watt. Wenn Sie hier 100 Watt als zugeführte Leistung eingeben bekommen Sie natürlich völlig irrelevante Werte in der Membranauslenkungssimulation. Als für einen Mitteltöner vernünftigen Wert kann man ca. 5 bis 25 Watt eingeben.

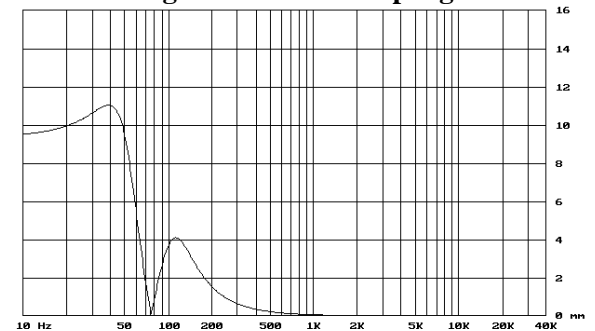
Geschlossenes Gehäuse



Baßreflexgehäuse



Einseitig ventiliertes Bandpaßgehäuse

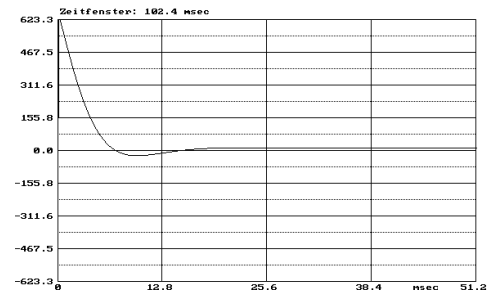


6.3.6 Simulation Ein-/Ausschwingverhalten (IFFT)

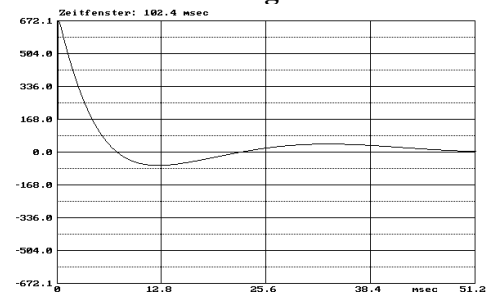
Die Fast-Fourier-Transformation, im folgenden kurz FFT genannt, stellt eine sehr präzise mathematische Methode zur Transformation des Verhaltens eines Lautsprechers vom Zeit- in den Frequenzbereich dar, d.h. das Impulsverhalten kann in einen Frequenzgang umgerechnet werden. In AudioCad wird die inverse FFT (Transformation vom Frequenz- in den Zeitbereich) mit 1024 Stützstellen genutzt um das Ein- und Ausschwingverhalten von Treibern im Gehäuse darzustellen. Da 1024 Punkte nicht mit entsprechender Auflösung auf einem Standard-VGA-Monitor darstellbar sind werden nur die ersten 512 Punkte angezeigt. Allerdings zeigen sich alle wichtigen Effekte innerhalb dieses Bereichs, so daß diese Darstellung vollkommen ausreichend und sinnvoll ist. Die Frequenzschrittweite kann man zwischen einem und 20 Hz variieren. Die aussagefähigste Darstellung erhält man zwischen 5 und 10 Herz.

Damit Sie jetzt ein Gefühl für ein "gutes" bzw. ein "schlechtes" Einschwingverhalten bekommen sind im folgenden einige Beispiele aufgeführt. Wie hinlänglich bekannt ist haben geschlossene Boxen das beste Impulsverhalten. Zum Vergleich wird das Verhalten von Baßreflexgehäusen, einseitig und beidseitig ventilierten Bandpässen gezeigt. Alle Simulationen erfolgten bei einer Butterworth-Abstimmung ($Q_{tc} 0.707$) mit dem gleichen Treiber und Zeitfenster.

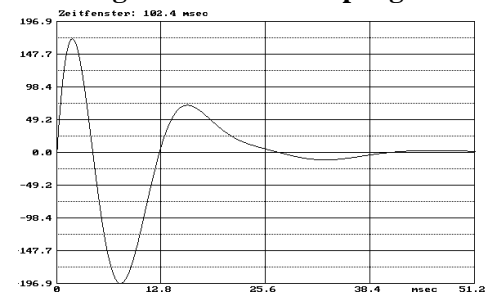
Geschlossenes Gehäuse



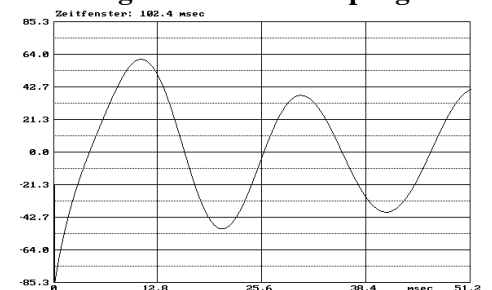
Baßreflexgehäuse



Einseitig ventiliertes Bandpaßgehäuse



Beidseitig ventiliertes Bandpaßgehäuse



6.3.7 Transmission-Line-Boxen

Mit die größte Herausforderung für den Boxenbauer stellt das Transmission-Line-Gehäuse (TML) dar. Durch diese Gehäuseart ist ein -3dB-Punkt bis hinab zu der Freiluft-Resonanzfrequenz (f_s) des Baßlautsprechers möglich. Das schlägt sich allerdings in einigem Aufwand für den Gehäuseaufbau und insbesondere die Bedämpfung nieder. Aber fangen wir doch einfach mal mit der Auswahl des Treibers an. Bezüglich des optimalen Q_{tc} -Wertes streiten sich die Gelehrten. Die meisten sind der Auffassung, ein optimaler TML-Treiber müßte ein $Q_{tc} > 0,9$ haben. Das darf man aber „nicht so eng sehen“. Die wichtigsten Auswahlkriterien sind große Membranfläche, größtmöglicher Membranhub und niedrige Resonanzfrequenz (f_s).

Das Menü Bearbeiten:

Der Menüpunkt Eingabe: Eingabe der Innenbreite der Box. Diese wird bei der Berechnung der Line-Abmessungen berücksichtigt.

Programmausgaben:

Line-Öffnungsquerschnitt (LS-Line): Der Querschnitt der Line am Einbauort des Lautsprechers (Line-Beginn); Falls Sie die Line quadratisch auslegen können Sie die "Line-Abmessungen" zugrunde legen.

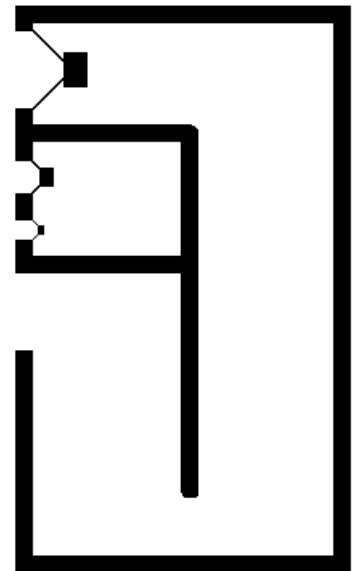
Line-Öffnungsquerschnitt (nach außen): Der Querschnitt der Line an der Boxenwand (Austrittsöffnung). Falls Sie die Line quadratisch auslegen können Sie die "Line-Abmessungen" zugrunde legen.

Netto-Innenvolumen: Das Netto-Innenvolumen stellt das Line-Innenvolumen dar. Es ist nur als Maßstab zur Abschätzung der Gehäusegröße gedacht. Um die wirkliche Gehäusegröße festzulegen müssen natürlich die Volumina aller Spanplatten für Innen- und Außenwände dazu addiert werden.

Line-Länge: Die Länge der gefalteten Line ab Lautsprecher bis zur Line-Öffnungsfläche an der Gehäuse-Außenseite. Falls Sie eine ungefaltete Line bauen möchten addieren Sie zur Line-Länge 15 cm.

Bedämpfung: Das Bedämpfungsmaterial sollte ein spez. Gewicht von mindestens 30 Kilogramm je Kubikmeter haben. Hierzu kann man z.B. Pritex (Noppenschaumstoff 50 mm), Steinwolle oder langfaserige Naturwolle, auch Bailey-Wolle genannt, verwenden. Polyesterwatte (BAF-Wadding) und Glaswolle haben in der Line nichts zu suchen! Ihre Dämpfungseigenschaften reichen bei weitem nicht aus. Die Line sollte man mit etwa 6 Kilo Dämm-Material je Kubikmeter (1000 Liter) bedämpfen. Das Material muß durch geeignete Mittel am Verrutschen gehindert werden, damit es sich nicht am Gehäusefuß verdichtet.

Tip zur Position der Line-Öffnung: Die Line-Öffnung sollte bei großen Gehäusen auf jeden Fall in die Schallwand münden (Abstrahlung nach vorn). Bei in die Gehäuse-Oberseite mündenden Line-Öffnungen kommt es in normalen Wohnräumen in der Regel zu Problemen bei der Baßübertragung, da der Abstand zur nächsten Wand (Zimmerdecke) zu gering für die Übertragung tiefster Frequenzen ist.



Skizze: Transmission-Line-Gehäuse

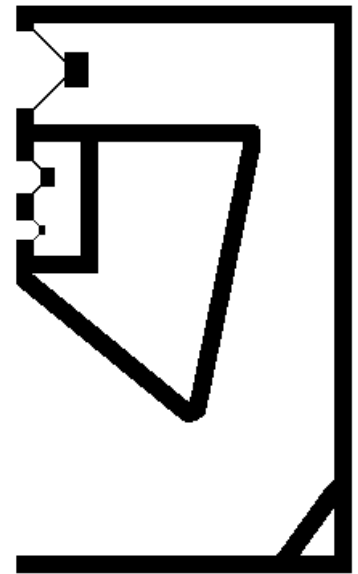
6.3.8 Hornlautsprecher

Warum Hornlautsprecher? Hornlautsprecher besitzen bei korrekter Dimensionierung die folgenden Vorteile:

- Hoher Wirkungsgrad: Bis zu 50 % gegenüber 1 - 5 % bei geschlossenen oder Baßreflexboxen.
- Exzellente Impulswiedergabe
- hohe Strahlungsdämpfung
- geringe Membranauslenkungen
- keine Dynamikkompression
- geringe Verzerrungen (Klirrfaktor)

Warum sind also angesichts dieser vielen Vorteile so wenige Hornkombinationen auf dem Fertigboxen- bzw. Selbstbaumarkt ?

Zur Beantwortung dieser Frage gehen wir etwas näher auf die Grundlagen von Hornlautsprechern ein. Der Trick beim Aufbau eines Hornsystems liegt in der Erhöhung des Strahlungswiderstandes, den der Lautsprecher *sieht*. Bei einem direktstrahlenden Lautsprecher kann die vor der Membran befindliche Luftmenge zur Seite hin ausweichen. Da diese demnach von der Treibermembran nicht in Richtung Hörer abgestrahlt werden kann vermindert sich der Wirkungsgrad extrem. Zur besseren Erklärung gehen wir nun von einem nicht in ein Gehäuse eingebauten Lautsprecher aus. Ein solches Lautsprecherchassis kann nur bis zu einem Frequenzbereich, dessen Wellenlänge dem Membranumfang des Lautsprechers entspricht, eine vernünftige Wiedergabe erbringen. Diese Frequenz läßt sich nach der folgenden Formel errechnen.



Skizze: Horn

$$\text{untere Grenzfrequenz} = \text{Schallgeschwindigkeit} / \text{Membranumfang}$$

wobei die Schallgeschwindigkeit = 343 Meter / Sekunde bei 20 Grad Celsius und der Membranumfang in Metern angegeben wird. Diese Formel ergibt bei einem 300-mm-Tieftonchassis eine untere Grenzfrequenz von 364 Hz. Die Idee bei der Konstruktion von Hörnern ist nun die virtuelle Vergrößerung der Membranfläche des Lautsprechers auf die für die untere Grenzfrequenz notwendige Größe. Aus der obigen Formel ergibt sich nach entsprechender Umformung die für die gewünschte untere Grenzfrequenz notwendige Hornöffnungsfläche (A_m), die im folgenden Hornmund genannt wird. Rechnet man das für ein Horn mit einer unteren Grenzfrequenz von 30 Hz nach, so kommt man bei einem runden Horn auf einen Durchmesser von 364 Zentimeter. Das sind 10,4 m². *"Da liegt der Hase im Pfeffer"*. Diese Maße passen in keinen normalen Wohnraum! Allerdings gibt es durchaus Möglichkeiten die notwendige Mundfläche eines Horns zu verkleinern. Für jede angrenzende Fläche des Hörraums kann die Hornöffnungsfläche um die Hälfte reduziert werden. Das bedeutet in der Praxis folgendes:

- Bei Bodenaufstellung : Hornmund / 2
- Bei Bodenaufstellung und an einer Wand : Hornmund / 4
- Bei Bodenaufstellung in einer Raumecke : Hornmund / 8

Bei Eckaufstellung ergibt sich für ein 30 Hz-Horn eine Öffnungsfläche von 1,3 m². Dies entspricht einem Durchmesser von 64 Zentimetern. Diese Öffnungsfläche ist in einem großen Wohnzimmer gerade noch unterzubringen, womit die Sache wieder interessanter wird. Eines verdeutlicht dieses einfache Rechenbeispiel aber ganz deutlich - man kann ein Hornsystem nicht irgendwohin stellen! Bereits bei der Entwicklung wird die Aufstellung der fertigen Box festgelegt. Eine nicht korrekte Aufstellung kann deshalb nur zu kläglichen Ergebnissen führen. Der Autor möchte Ihnen aber an dieser Stelle den abgesehen vom Platzbedarf größten Nachteil (Vorteile sind ja genug genannt worden) nicht verheimlichen. Der praktische Bau von Hörnern gestaltet sich äußerst schwierig. Das vorliegende Programm nimmt Ihnen zwar sämtliche anfallenden Berechnungsarbeiten ab, aber die Konstruktion und Ausführung eines Gehäuses mit der entsprechenden Hornkontur kann Ihnen kein

noch so gutes Programm durchführen. Bei Exponentialhörnern geht das vielleicht noch an, aber bei Tractrix- (Kugelwellen-) Hörnern grenzt das Ganze schon an eine für den Privatmann schiere Unmöglichkeit. Die einzig sinnvolle Vorgehensweise zur Herstellung von Tractrix-Hörnern sieht der Autor in der Herstellung einer Form z.B. aus Holz, Gips o.a.) und dem Laminieren des Horns aus Glasfasermatten.

6.3.8.1 Hornsysteme

Mit diesem Programmteil kann entschieden werden, ob ein Treiber für den Horneinsatz geeignet ist. Darüber hinaus werden hier die wichtigen Kammer- und Vorkammervolumen berechnet.

Geben Sie die gewünschte Resonanzfrequenz der Kammer (Rear-Volume) und obere Horn-Grenzfrequenz ein.

Ausgabedaten: Es wird auch gerechnet, wenn nicht sämtliche Eingabedaten zur Verfügung stehen. In diesem Fall können verschiedene Ausgabewerte natürlich nicht berechnet werden.

Falls nun das gewünschte Horn durch die Angaben

- **Kammervolumen,**
- **Vorkammervolumen,**
- **Halsfläche,**
- **Hornlänge und**
- **Mundfläche**

definiert ist kann man sich mit Hilfe des nächsten Programmteils an die Ermittlung der Hornkontur machen. Die Ermittlung der Hornlänge in **Hornsysteme-Treiberauswahl** erfolgt nur für Exponential-Hörner. Die Hornlänge für Tractrix-Hörner ersehen Sie aus dem Programmteil **Hornkontur**.

6.3.8.2 Hornkontur

Mit diesem Programmteil kann die Kontur von Exponential- oder Tractrix-Hörnern bestimmt werden. Da hierzu in der Regel viele Einzelwerte benötigt werden erfolgt die Ausgabe hier nur auf Ihrem Drucker. Die meisten Eingabedaten werden aus **Hornsysteme** übernommen, wenn man diese Maske unmittelbar vorher bearbeitet hat.

Der Menüpunkt Eingabe: Die meisten Eingabedaten werden schon aus der Maske **Horntreiberauswahl** übernommen.

Der Menüpunkt Drucken: Durch diesen Menüpunkt wird die Berechnung und die Ausgabe der Daten auf Ihrem Drucker angestoßen.

Der Menüpunkt Horntyp: Hier wählen Sie den zu berechnenden Horntyp (Exponential- oder Tractrix-Horn) aus.

6.3.9 Skizze

Dieser Programmteil zeichnet ein Gehäuse incl. Lautsprecher und Baßreflexkanal. Die Daten der Lautsprecher (Chassisaussen/Innen-Durchmesser, Einbautiefe, etc.) werden der Datenbank, die Gehäuseparameter den zuvor konstruierten Gehäusen entnommen. Die Gehäusegröße ergibt sich aus der Summe der Volumina der zuvor konstruierten Gehäuse plus den Volumina von Treibern (Magnet, etc.) und evtl. Baßreflexkanal. Die virtuelle Volumenvergrößerungen durch Dämm-Material in geschlossenen Gehäusen wird berücksichtigt.

Das Menü Bearbeiten:

Der Menüpunkt Eingabe: Durch ihn kommt man in die Maske und kann alle für die Skizze benötigten Angaben machen. Wenn man nicht alle Eingabefelder durchtippen will kann man die Maske über die Taste PageDown verlassen. Bei manchen Datenfeldern erfolgt eine automatische Berechnung, wenn man diese auf Null setzt. Welche dies sind entnehmen Sie bitte der entsprechenden Meldung in der untersten Bildschirmzeile.

Die **Brutto-Gehäusehöhe** und **Brutto-Gehäusebreite** kann man vorgeben. Die Gehäusetiefe wird berechnet.

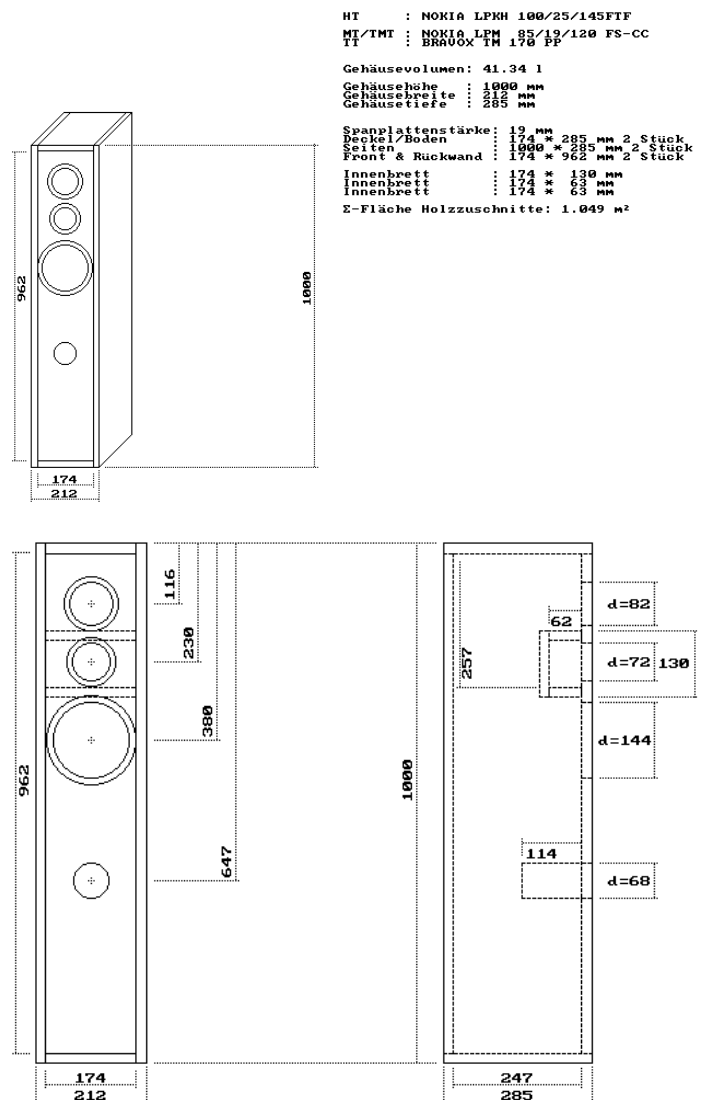
Die **Spanplattenstärke** wird der Installationsmaske entnommen und kann hier verändert werden.

Durch Einbringung von Dämm-Material wird ein geschlossenes Gehäuse virtuell vergrößert. Der **Einfluss Dämmung** wird hier in Prozent eingegeben. Er ist abhängig vom verwendeten Material (Pritex, Polyesterwatte, Stein- oder Glaswolle) und vom Füllgrad des Gehäuses. Der Prozentsatz schwankt zwischen 10 und 30 Prozent. Bei Baßreflexgehäusen bringt eine Dämmung praktisch keine Volumenvergrößerung. Das Programm berücksichtigt deshalb nur die Dämmung von geschlossenen Gehäusen.

Das in der Maske für jeden einzelnen Lautsprecher angegebene **Gehäusevolumen** enthält das jeweils zugehörige Zusatzvolumen.

Das **Zusatzvolumen** errechnet sich aus dem Volumen des Treibers und eines evtl. vorhandenen Baßreflexkanals. Das Programm „schätzt“ diese Volumina anhand des Einbaudurchmessers und der Einbautiefe ab. Sie können die Zusatzvolumina auch manuell exakt berechnen und in die Maske eintragen.

Abstand oben: Die Abstände des Hochtöners von der oberen Gehäuse- (-Innen) Kante und der restlichen Lautsprecher vom jeweiligen oberen Treiber können eingegeben werden.



Als **Baßreflexkanalform** können Sie **r** für rund oder **q** für rechteckig eintragen. **Berücksichtigen Sie beim Bau des Gehäuses, daß das Programm den Innendurchmesser des Baßreflexkanals ausgibt. Der Schallwandausschnitt für den BRK ist demnach, je nach verwendetem Rohr immer größer, als in den Graphiken angegeben.**

Abstand unten: Der Abstand des Baßreflexkanals berechnet sich von der unteren Gehäuse- (-Innen) Kante. Die Menüpunkte **2D-Graphik** und **3D-Graphik** zeigen obige Skizzen am Bildschirm an.

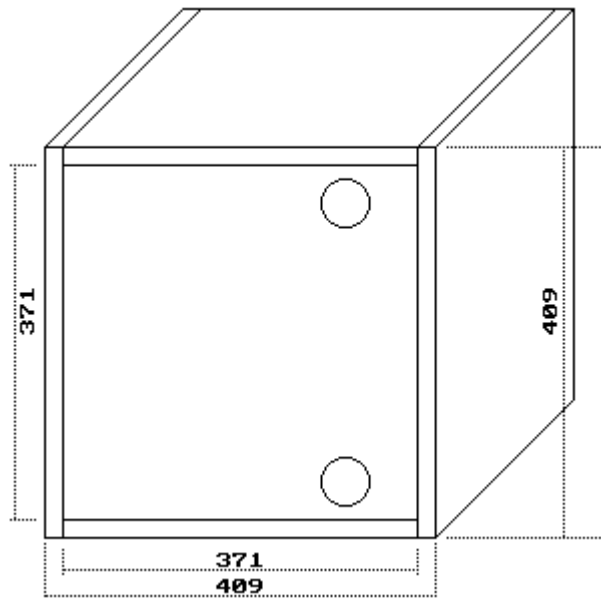
Der Baßreflexkanal kann auch in die Rückwand „eingebaut“ werden. Dazu geben Sie im Eingabefeld **FR** der Skizze-Maske (vor dem Eingabefeld **Abstand-unten**) eine **1** ein.

Das Menü TreiberAnzeige:

Hier können Sie die Skizzierung der Lautsprecher in der 2D-Ansicht an- und abschalten. Gerade bei Boxen mit Innengehäusen und/oder Baßreflexkanälen kann es vorkommen, daß Lautsprecher oder Baßreflexkanäle (Länge!) nicht in das Gehäuse passen oder kollidieren. Dies kann so leicht überprüft werden.

6.3.10 Skizze Bandpass

Die Skizze Bandpass wird sinngemäß genauso bedient wie die Skizzierung von geschlossenen und Baßreflexboxen. Achten Sie hier insbesondere darauf, daß Baßreflexkanal und Lautsprecher nicht kollidieren und der Baßreflexkanal in der Länge auch in das Gehäuse passt!



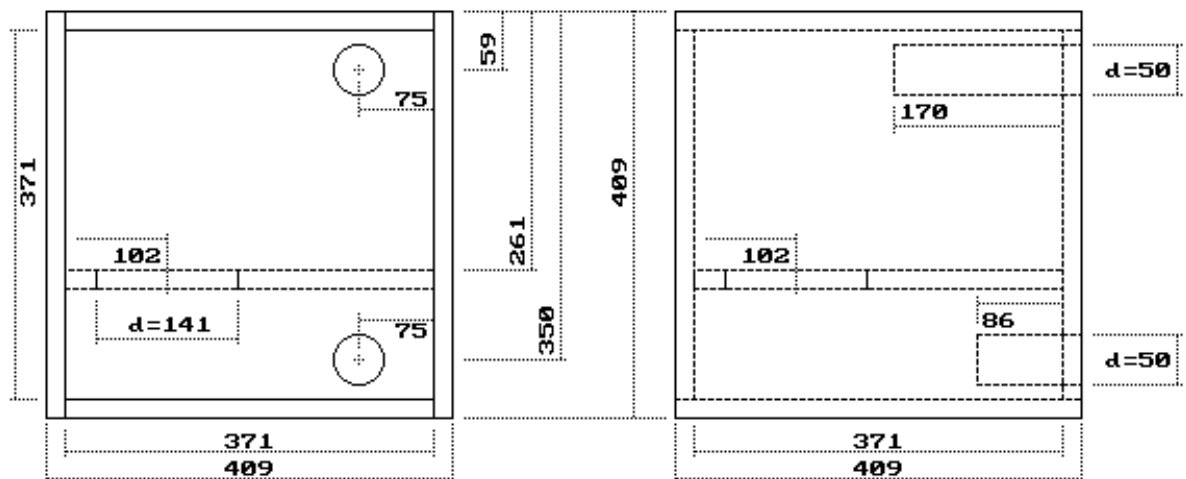
TT : MONACOR SPH 165 CP COMP1

Gehäusevolumen: 51.01 l

Gehäusehöhe : 409 mm
 Gehäusebreite : 409 mm
 Gehäusetiefe : 409 mm

Spanplattenstärke: 19 mm
 Deckel/Boden : 371 * 409 mm 2 Stück
 Seiten : 409 * 409 mm 2 Stück
 Front & Rückwand : 371 * 371 mm 2 Stück
 Innenbrett : 371 * 371 mm

Σ-Fläche Holzzuschnitte: 1.051 m²

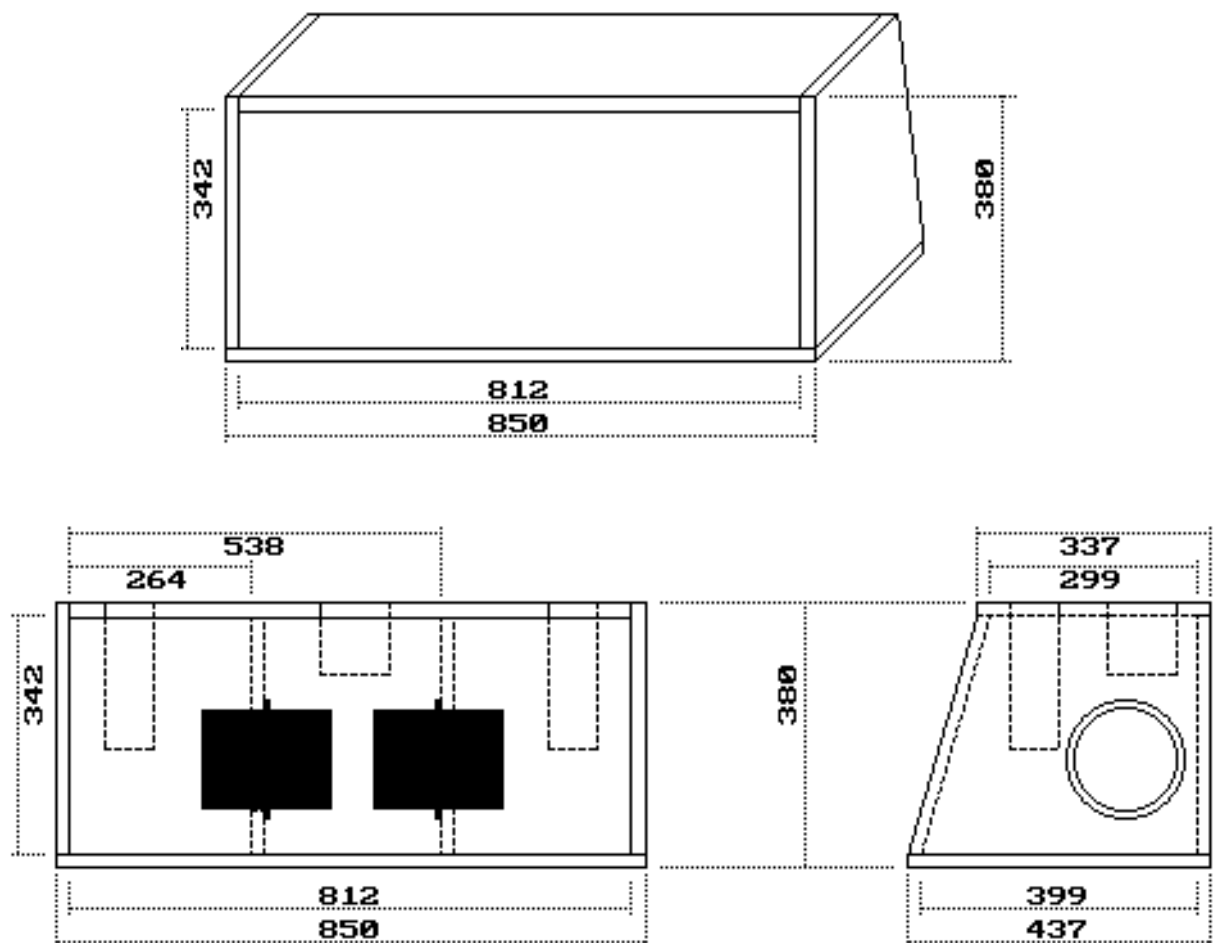


6.3.11 Skizze Car-Subwoofer

Ähnlich wie die oben beschriebenen Gehäusezeichner funktioniert die Skizze Car-Subwoofer. Die in der Zeichnung enthaltenen Bemaßungen beziehen sich hier allerdings nur auf den reinen Gehäusebau. Die Einbaumaße der Lautsprecher und Baßreflexkanäle werden nicht angegeben. Sie wären allerdings bei der möglichen Komplexität der Zeichnungen auch kaum noch lesbar. Deshalb wurde bewußt darauf verzichtet. In der Praxis stellt das aber kein Problem dar, da in der Gehäuseskizze leicht ausprobiert werden kann, ob Treiber und Baßreflexkanäle an den gewünschten Stellen platziert werden können. Experimentieren Sie ruhig ein bißchen mit dem Programmteil herum. Sie werden erstaunt über die Möglichkeiten sein. Abhängig von der Gehäusebauart sind Ein-, Zwei- oder Dreikammergehäuse realisierbar. Es können aber maximal 2 Lautsprecher (bei Verwendung von Compound-Treibern 4 Lautsprecher) eingezeichnet werden. Trotzdem bleibt es Ihnen unbenommen, mehr als zwei Lautsprecher in einem solchen Gehäuse einzusetzen. Sie werden zwar nicht alle eingezeichnet, aber alle sonstigen Angaben stimmen. Noch eine Einschränkung - in der 3D-Skizze werden keine Lautsprecher eingezeichnet, da der Ertrag hier in einem starken Mißverhältnis zum Programmieraufwand steht. Die Eingabemaske ist weitestgehend selbsterklärend, deshalb soll hier nur auf zwei Eingabewerte näher eingegangen werden.

Winkel: Der Winkel der Auto-Rücksitzbanklehne

Alternativ kann der **Brutto-Überhang unten** eingegeben werden. Dieser gibt an, um wieviel das Gehäuse unten tiefer ist als oben.



6.3.12 Skizze Kugelgehäuse

Dieser Gehäusezeichner ermöglicht die Konstruktion von Kugelgehäusen für geschlossene und Baßreflexgehäuse, welche verschiedene Nachteile rechteckiger Gehäuse nicht aufweisen. Bündelungseffekte, die normalerweise ab der Frequenz einsetzen, deren Wellenlänge kleiner als die Schallwandbreite ist, treten nicht auf. Das Rundstrahlverhalten der Box verbessert sich, da es keine Kantenreflektionen gibt. Dies kommt allerdings "in voller Schönheit" nur zum tragen, wenn es sich um eine Kugel handelt, die mehr oder weniger frei in der Luft hängt. Da in aller Regel von einem Chassis nicht der komplette Frequenzbereich abgedeckt werden kann, also ein Mehrwegesystem aufzubauen ist, müssen auch mehrere Einzelgehäuse gebaut werden. An den Gehäusekanten der anderen Treiber des Systems treten natürlich auch wieder Reflektionen auf. Diesen Effekt kann man vermindern, indem man die Gehäuse möglichst weit voneinander (übereinander) aufstellt. Als Grenze ist hier die halbe Wellenlänge der FW-Trennfrequenz anzusehen. Diese wird wie folgt berechnet:

$$\text{Abstand (Meter)} = 343 / \text{FW-Trennfrequenz} / 2$$

Der errechnete Abstand gibt den der akustischen Zentren der beiden Treiber, nicht den von Korb zu Korb an! Bei Kugelgehäusen ist der minimal mögliche Abstand zum nächsten Treiber verhältnismäßig groß! Dies zwingt zur Wahl einer niedrigen Trennfrequenz. Daraus können die folgenden Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Kugelgehäuse sind prädestiniert für Breitbandlautsprecher, die eine sehr niedrige Trennfrequenz ermöglichen.
- Der Einsatz ist auch für Hochtöner sinnvoll, die auf ein rechteckiges Gehäuse für Tief- (und Mitteltöner) gesetzt werden, da hier die Kugel sehr klein wird und der maximale Abstand zum nächsten Treiber eingehalten werden kann.

Damit sich der Bauaufwand für das Kugelgehäuse lohnt sollten vorzugsweise hochwertige Breitbandtreiber, wie z.B. DDD-BiegeWellenwandler, MANGER, E.T. JORDAN oder BANDOR verwendet werden. Diese Chassis ermöglichen, je nach Typ, eine untere Grenzfrequenz von 150 - 400 Hz und sind üblicherweise bis 20 KHz einsetzbar. Die niedrige Übernahmefrequenz ermöglicht es, für den Bassteil ein konventionelles, rechteckiges, Gehäuse zu verwenden, da durch die großen Wellenlängen der vom Baß bestrichenen Frequenzen kein Bündelungseffekt zustande kommt. Schöner sieht natürlich eine aus zwei Kugeln bestehendes Gehäuse aus - aber der Bauaufwand und die Kosten.

Im folgenden werden die Eingabefelder der Maske erklärt.

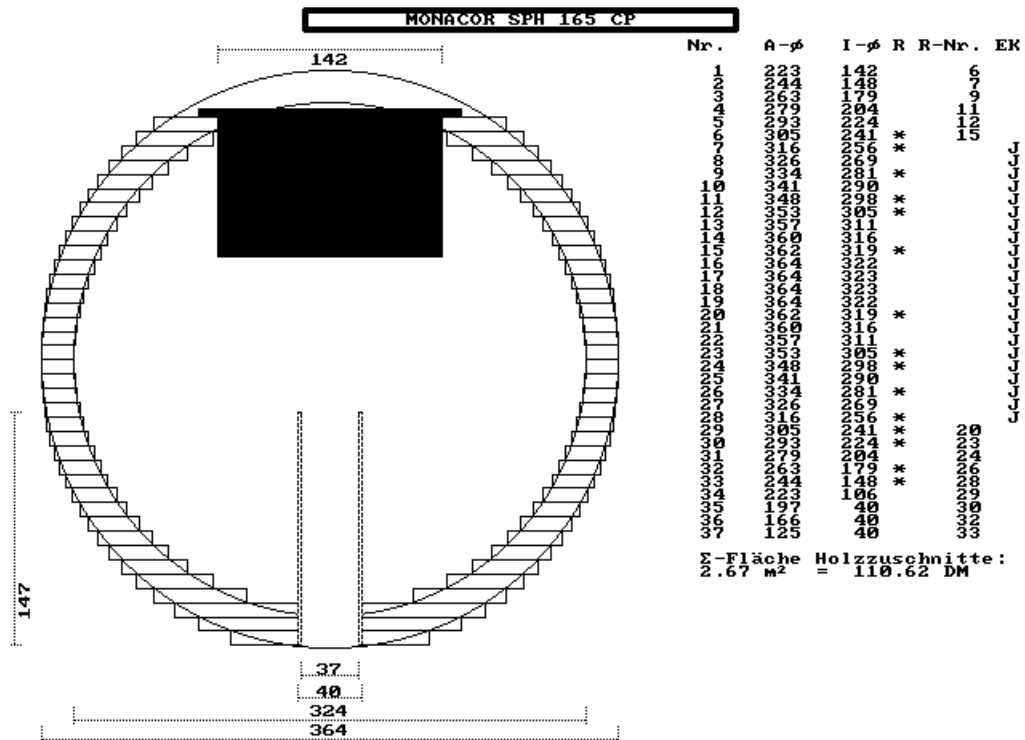
- **Spanplattenstärke:** Die Stärke der verwendeten Spanplatten in Millimetern. Wenn man dünne Platten (ca. 8 mm) verwendet muß man nach dem Zusammenleimen nicht soviel schleifen, aber zuvor mehr Scheiben fräsen.
- **Preis Holz je m²:** Hier geben Sie den Quadratmeterpreis des verwendeten Holzes ein. Das Programm errechnet dann die Kosten für ein Gehäuse und zeigt diese in der Graphik an.
- **Wandstärke:** Das Kugelgehäuse erlaubt die Wahl der Wandstärke unabhängig von der Stärke der verwendeten Holzplatten. Geben Sie die gewünschte Wandstärke in Millimetern ein.
- **Fräser-Durchmesser:** Das Programm geht davon aus, daß Sie die einzelnen Scheiben, aus denen die Kugel zusammengeleimt wird mit einer Oberfräse ausfräsen. Bei dieser Fertigungstechnik bleibt bei jeder Scheibe wieder eine kleinere übrig, die eventuell wiederverwendet werden kann. Um den Außendurchmesser des Abfalls feststellen zu können wird der Durchmesser des von Ihnen verwendeten Fräasers benötigt. Geben Sie diesen in Millimetern (üblicherweise 6 oder 8 mm) an.
- **Zugabe Schallwand:** Geben Sie hier an, um wieviele Millimeter die Schallwand größer als der LS-Außendurchmesser sein soll.

- **Zugabe BRK aussen:** Geben Sie hier an, um wieviele Millimeter die Rückwand größer als der Baßreflexkanal-Innendurchmesser sein soll.

- **Zugabe BRK innen:** Geben Sie hier die Differenz zwischen BRK-Außen und Innendurchmesser in Millimetern ein.

- **incl. Zusatzvolumen:** Das Zusatzvolumen (Volumen des Treibers und evtl. Volumen des Baßreflexkanals) wird vom Programm „geschätzt“. Falls Sie es genau berechnen möchten können Sie hier auch einen beliebigen Wert eingeben. Dieser wird dann dem zuvor berechneten Gehäuse-Nettovolumen, evtl. unter Berücksichtigung des Dämm-Materialeinflusses zugeschlagen.

Nach Anwahl von **2D-GRAPHIK** wird die Zeichnung angezeigt. Falls die Zuschnittsliste auf den Bildschirm passt ist sie auch gleich in der Graphik enthalten. Wenn es zu viele Teile werden können Sie die Liste durch Anklicken des Knopfs **LISTE DRUCKEN** auf Ihrem Drucker ausdrucken oder durch Anwahl des Menüpunkts **STÜCKLISTE** am Bildschirm ansehen.



Die Bedeutung der einzelnen Listenspalten ist wie folgt:

- **Nr.:** Laufende Numerierung der Teile. Die Schallwand ist Nummer 1.
- **A:** Aussendurchmesser in Millimetern
- **I:** Innendurchmesser in Millimetern
- **R:** Ein * bedeutet, daß der beim Fräsen entstehende Abfall weiterverwendet (recycled) wird.
- **R-Nr.:** Die eventuell aufgeführte Zahl gibt die Scheiben-Nr. an, aus deren Abfall das Teil gefräst wird.
- **EK:** Für alle Teile, bei denen hier ein **J** steht, muß das Holz beschafft werden. Steht in der Spalte nichts, dann besteht das Teil aus dem Abfall der in der Spalte **R-Nr.** angegebenen Scheibe.

Noch ein Tip zum Aufbau des Gehäuses: Es bietet sich an, erst einmal zwei Halbkugeln anzufertigen, die dann besser zum Schleifen auf der Werkbank fixiert werden können als eine Vollkugel. Das Schleifen kann, je nach handwerklicher Fertigkeit, mit einem Band- oder Schwingschleifer oder auch von Hand erfolgen. Nachdem die zwei Hälften geschliffen sind werden sie dann verleimt und die Nahtstelle nochmals nachbearbeitet. Falls Ihnen eine Drexelbank zur Verfügung steht ist das Ganze natürlich wesentlich einfacher.

6.4 Das Menü Frequenzweiche

6.4.1 Frequenzweichen

Es können Frequenzweichen 1. bis 4. Ordnung (6 bis 24 dB Flankensteilheit) mit den Charakteristiken Butterworth, Bessel, Tschebyscheff, Linkwitz und Compromise berechnet werden. Wirkungsgradunterschiede zwischen den einzelnen Treibern können durch den Einsatz von Spannungsteilern ausgeglichen werden. Die Impedanzverläufe von Treibern können durch RC- und RCL-Glieder entzerrt werden. Der Wert jedes einzelnen Bauelements kann in der graphischen Darstellung des Frequenzweichenschaltbilds verändert werden, so daß nahezu beliebige Schaltungen simulierbar sind. Komfortable Optimierungsroutinen runden den Funktionsumfang ab.

Anmerkung zu der Meldung **Swapping**: Das Programm lagert beim Aufruf der Frequenzweichenmaske nicht für die Weichenkonstruktion benötigte Daten auf die Festplatte aus und liest sie nach Verlassen der FW-Simulation wieder ein. Diesen Vorgang bezeichnet man als Swapping.

6.4.1.1 Das Menü Bearbeiten

Hier wird die Ausgangsabstimmung der Weiche berechnet. Sie stellt die Grundlage für die Feinabstimmung über den Simulations- und Optimierungsteil dar.

6.4.1.1.1 Der Menüpunkt Trennfrequenzen

Nach Auswahl von **Trennfrequenzen** fragt das Programm in einer Auswahlbox nach dem zu bearbeitenden Treiber. Wählen Sie z.B. den Tieftöner aus.

Dann erfolgt eine Abfrage, ob zur Berechnung des Bauteilwerts der Gleichstromwiderstand (R_e) des Chassis oder die Impedanz (Z_f) bei der gewünschten Trennfrequenz herangezogen werden soll. Was man hier auswählt beruht auf persönlichen Präferenzen und der Erfahrung in der Frequenzweichenkonstruktion. Beide Vorgehensweisen haben Vor- und Nachteile.

Wenn die Impedanz des Chassis bei der Trennfrequenz gewählt wird ist dies die Impedanz aus der Gehäusekonstruktion bzw. aus der Datenbank, wenn zuvor keine Gehäuse konstruiert worden sind. Eventuell eingefügte Spannungsteiler, RC und RCL-Glieder gehen ebenfalls mit ein. Berücksichtigt werden die ersten 3 Parallelglieder (im Maximalausbau bestehend aus Widerstand, Kondensator und Spule) und das erste Serienglied vom Lautsprecher aus gesehen, d.h. im Schaltbild auf der rechten Seite. **Hintergrund:** Eventuell im Schaltbild enthaltene Hoch-, Tief- und Bandpässe würden das Ergebnis verfälschen, da sie ja durch die neu zu berechnende Schaltung ersetzt werden. Aus diesem Grund werden nur zur Pegelabsenkung eingesetzte Spannungsteiler und zur Impedanzlinearisierung genutzte RC- und RCL-Glieder für die Ermittlung der Impedanz bei der gewünschten Trennfrequenz einbezogen.

Hinweis: In AudioCad ECNC funktioniert dies wie oben beschrieben nur, wenn Sie zum Zeitpunkt der Berechnung lediglich den Standardausbau des Weichenschaltbildes, d.h. wie in AudioCad Pro, nutzen. Falls Sie zusätzliche Parallelglieder und/oder Serienglieder ("oben" und "unten") in der Schaltung nutzen werden diese bei der Ermittlung der Impedanz bei der gewünschten Trennfrequenz mitberücksichtigt, was eventuell nicht beabsichtigt ist. Falls Sie das nicht möchten müssen Sie die betreffenden Bauelemente vor einer neuen Filterberechnung aus der Schaltung entfernen.

Im nächsten Schritt wählen Sie die gewünschte Schaltungsart (Tief-, Hoch, Bandpass oder hintereinandergeschalteter Hoch- und Tiefpass).

Jetzt befindet sich die Schreibmarke in dem Eingabefeld für die Trennfrequenz. Geben Sie hier die gewünschte Frequenz ein.

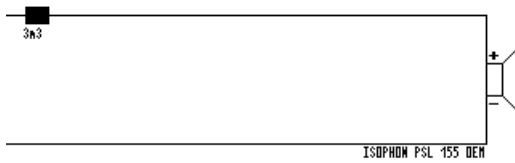
Als nächstes wählen Sie in der dann erscheinenden Auswahlbox die gewünschte Flankensteilheit (6, 12, 18 oder 24 dB) aus.

In der nächsten Auswahlbox spezifizieren Sie dann noch die Weichencharakteristik (Butterworth, Bessel, Tschebyscheff, Linkwitz oder Compromise).

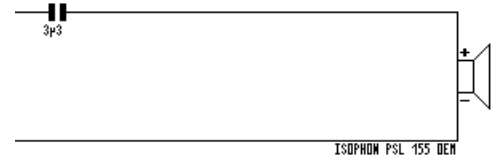
Wiederholen Sie diesen Vorgang für alle Lautsprecher.

Im folgenden werden einige Frequenzweichengrundsaltungen skizziert.

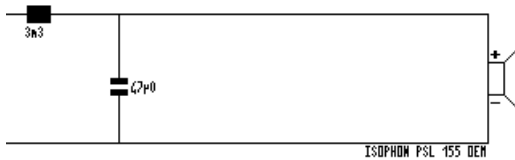
6 dB Tiefpass



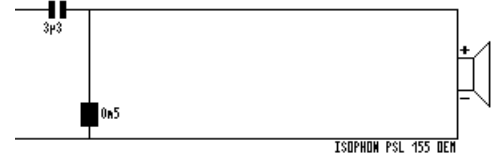
6 dB Hochpass



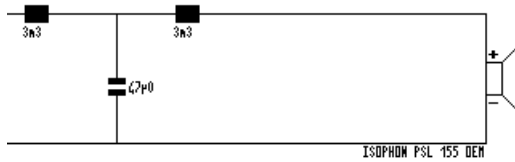
12 dB Tiefpass



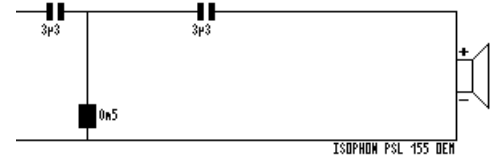
12 dB Hochpass



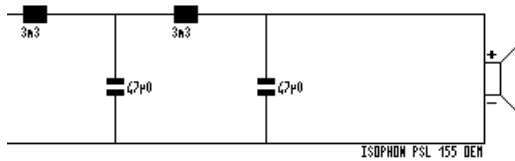
18 dB Tiefpass



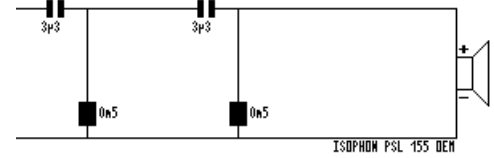
18 dB Hochpass



24 dB Tiefpass

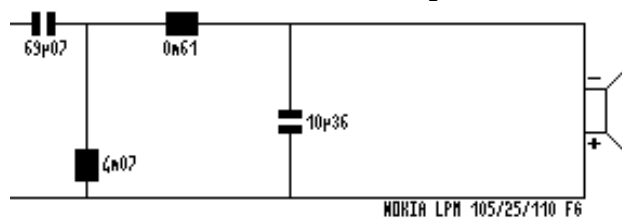


24 dB Hochpass

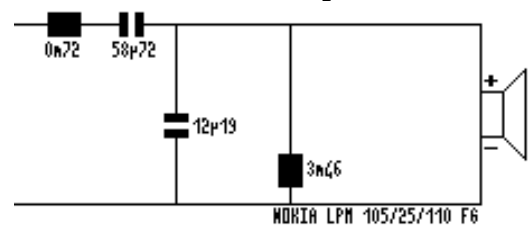


Bei einem Mitteltöner wird entweder ein Hoch- und ein Tiefpass hintereinander geschaltet oder es wird die Bandpaßschaltung verwendet.

12 dB-Hoch- und Tiefpass



12 dB-Bandpaß



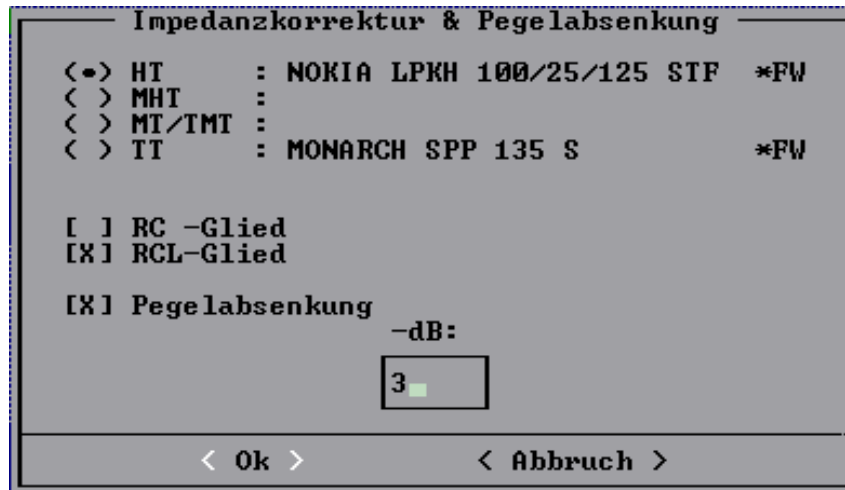
6.4.1.1.2 Der Menüpunkt Impedanzentzerrung & Pegelabsenkung

Für die Impedanzentzerrung müssen zum jeweiligen Treiber die folgenden Angaben in der Lautsprecherdatenbank eingetragen sein:

- Gleichstromwiderstand (R_e),
- Resonanzfrequenz (f_s),
- mechanische Güte (Q_{ms}),
- elektrische Güte (Q_{es}) und
- Schwingspuleninduktivität (L_e).

Falls nur der Impedanz- und elektrische Phasenverlauf, aber nicht obige Thiele/Small-Parameter zur Verfügung stehen kann die Entzerrung durch die Impedanzoptimierung empirisch ermittelt werden. Tragen Sie dazu im Weichenschaltbild das gewünschte Entzerrglied (RC- oder RCL-Glied) ein, belegen Sie es mit Standardwerten vor (z.B.: **RCL-Glied**: 10 Ohm, 100 MikroFarad, 50 MilliHenry, **RC-Glied**: 10 Ohm, 50 MikroFarad) und lassen den Impedanzverlauf dann im gewünschten Bereich optimieren.

Nach Anwahl des Menüpunktes erscheint folgende Eingabebox:



```

Impedanzkorrektur & Pegelabsenkung

<•> HT      : NOKIA LPKH 100/25/125 STF  *FW
< > MHT     :
< > MT/TMT  :
< > TT      : MONARCH SPP 135 S          *FW

[ ] RC -Glied
[X] RCL-Glied

[X] Pegelabsenkung      -dB:
                        3
                        [ ]

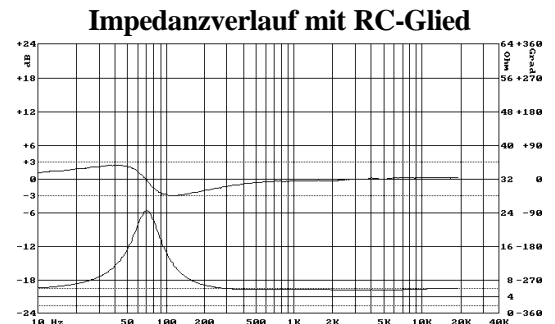
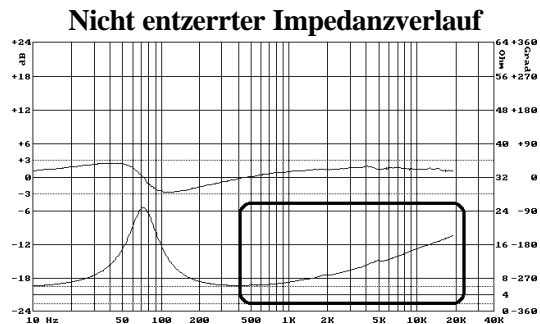
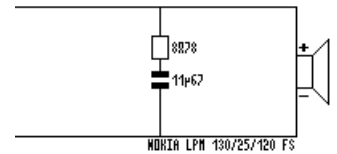
< Ok >                < Abbruch >
  
```

Im obigen Beispiel wird für den Hochtöner ein RCL-Glied und ein Spannungsteiler berechnet.

Im oberen Bereich der Eingabebox wählen Sie den gewünschten Frequenzweichenweig aus. Im unteren Bereich wählen Sie die Entzerrungsart(-en).

RC-GLIED

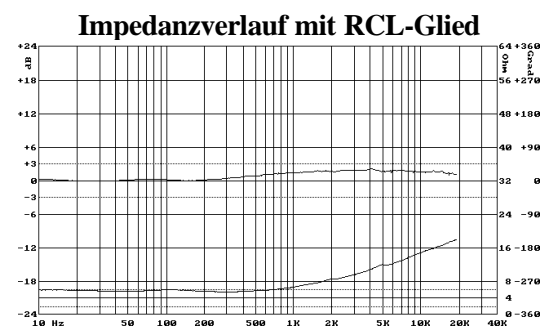
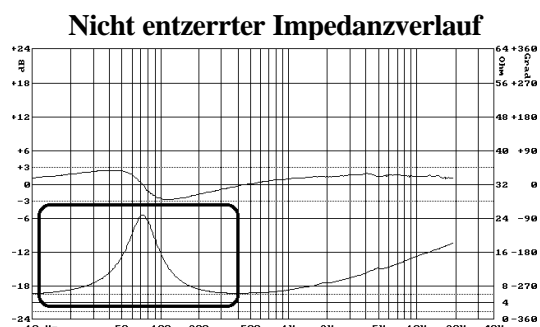
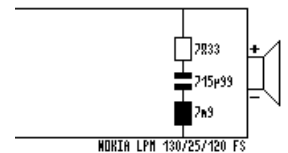
Es wird ein RC-Glied zur Korrektur des durch die Schwingspuleninduktivität verursachten Impedanzanstiegs zu höheren Frequenzen hin berechnet. Für diese Berechnung wird der Gleichstromwiderstand (R_e) und die Schwingspuleninduktivität (L_e) benötigt.



RC-Glieder werden üblicherweise nur für Tief- und Mitteltöner eingesetzt. Bei Hochtönern kann die Entzerrung des induktiven Impedanzanstiegs in der Regel unterbleiben.

RCL-Glied

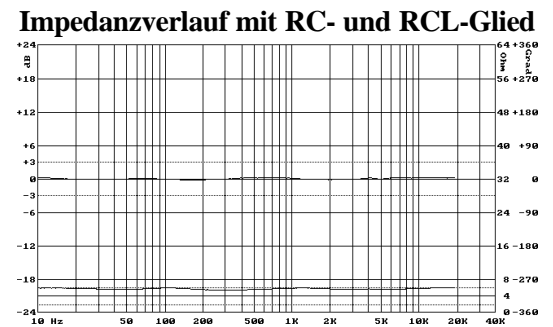
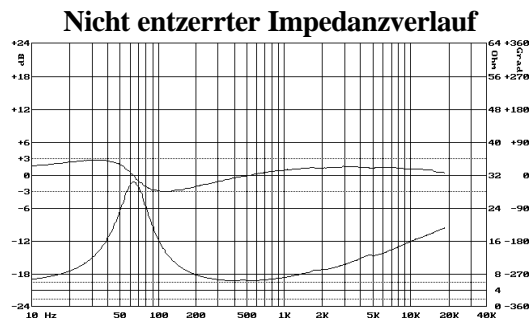
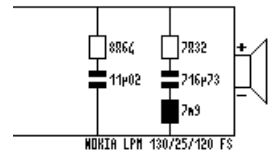
Es wird ein RCL-Glied (Saugkreis) zur Korrektur des Impedanzanstiegs bei der Grundresonanz (f_s) berechnet und der neue Impedanzverlauf wird angezeigt. Das RCL-Glied wird aus den Eckfrequenzen (f_1 , f_0 und f_2) nach Thiele/Small berechnet. Falls dies aufgrund inkonsistenter Daten (Impedanzverlauf nicht korrekt eingegeben) nicht möglich ist ermittelt das Programm das Entzerrglied mit Hilfe der Thiele/Small-Parameter. Die damit erzielten Ergebnisse sind in der Regel aber wesentlich ungenauer.



RCL-Glieder werden für Mittel- und Hochtöner eingesetzt. Die Grundresonanz des Tieftöners muß in aller Regel nicht entzerrt werden.

RC- und RCL-Glied

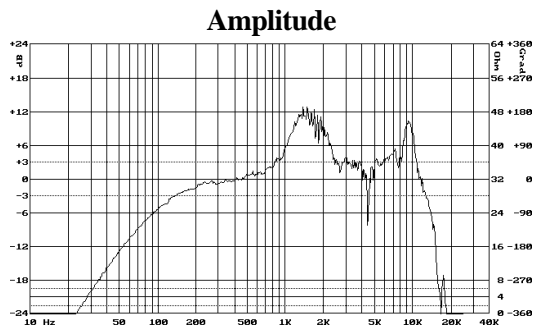
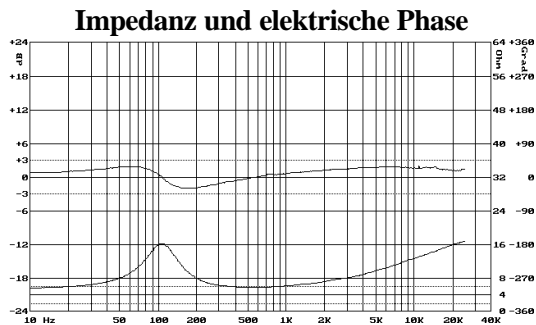
Bei Einsatz beider Entzerrungsglieder kann der Impedanzverlauf komplett linearisiert werden.



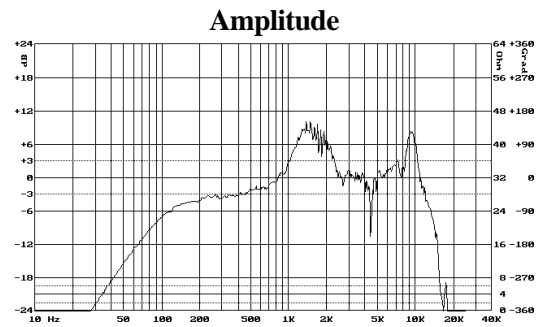
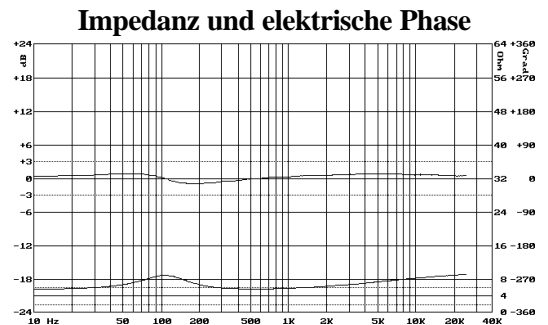
Pegelabsenkung

Einen gegenüber dem Baßtreiber zu lauten Mittel- oder Hochtöner kann man durch Einsatz eines Spannungsteilers in seiner Amplitude absenken. Klicken Sie dazu auf [] **Pegelabsenkung** und geben Sie in der Eingabebox **-dB** die gewünschte Pegelabsenkung in dB ein. Bei Einsatz eines Spannungsteilers kann meist auf weitere Impedanzkorrekturglieder verzichtet werden.

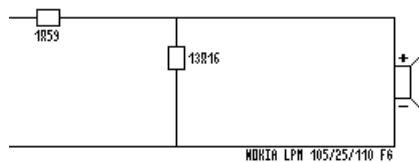
Kurvenverläufe ohne Spannungsteiler



Kurvenverläufe mit Spannungsteiler



Die zugehörige Schaltung



6.4.1.1.3 Der Menüpunkt Akustische Zentren

Als akustisches Zentrum bezeichnet man den virtuellen Schallentstehungsort. Dieser ist von Treiber zu Treiber unterschiedlich. Annäherungsweise könnte man sagen, daß das akustische Zentrum in etwa bei der Schwingspule liegt.

Bei Mehrwegelautsprechern muß die relative Position der akustischen Zentren der Einzeltreiber zueinander bei der Frequenzweichenentwicklung berücksichtigt werden. Dies kann man durch Messung aller Lautsprecher im Gehäuse unter Beibehaltung der Mikrofonposition bewerkstelligen oder man misst die Lage der akustischen Zentren der einzelnen Treiber, was allerdings mit den üblichen PC-gestützten Audio-Meßsystemen im Hörraum nahezu unmöglich ist. Manche Hersteller geben in ihren Datenblättern das akustische Zentrum an. Falls die Daten nicht zur Verfügung stehen kann man sich mit der oben erwähnten Meßmethode oder mit der Annahme, daß das akustische Zentrum an der Schwingspule liegt behelfen.

In AudioCad stehen verschiedene Eingabemöglichkeiten zur Verfügung:

- Hinterlegung des akustischen Zentrums eines Treiber in der Lautsprecherdatenbank
- Eingabe der relativen Lage der Lautsprecher in der Frequenzweichenmaske

Das Programm arbeitet wie folgt:

Das akustische Zentrum aus der Datenbank und das aus der Frequenzweichenmaske werden je Weichenzweig (Treiber) addiert. Der kleinste Wert (was in der Praxis wohl der Hochtöner sein dürfte) wird als Bezugspunkt gewählt, d.h. von allen Weichenzweigen subtrahiert. Diese Angaben gehen in die **Simulation Summenkurve** ein. Unter **Simulation** sind die Auswirkungen der ak. Zentren nicht zu sehen! Machen wir am Besten einmal ein Beispiel:

- Eintragung im Feld **ak. Zentrum** der Lautsprecherdatenbank:

Das akustische Zentrum misst man von der Vorderkante des Korbs. Liegt das ak. Zentrum von vorne her gesehen in Richtung Schwingspule, wird der Wert positiv eingegeben. Liegt es quasi vor dem Lautsprecher, was so gut wie nie vorkommt, wird es negativ eingegeben.

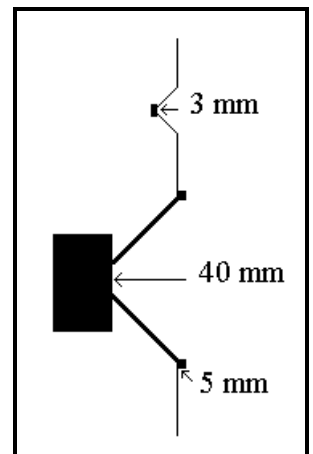
Hochtöner: 3 mm (gemessen von der Korb-Vorderkante)

Tieftöner: 40 mm (gemessen von der Korb-Vorderkante)

- Eintragung im Feld Versatz der Frequenzweichenmaske:

Hochtöner: 0 mm (der Hochtöner ist in die Schallwand eingefräst)

Tieftöner: -5 mm (der Tieftöner ist nicht eingefräst, die 5 mm bezeichnen die Stärke des Korbes, sie werden mit negativem Vorzeichen eingegeben, da der Treiber damit ja näher an das Messmikrophon heranrückt als der Hochtöner)



Das Programm addiert die Werte jetzt:

Hochtöner (3 + 0): 3 mm

Tieftöner (40 - 5): 35 mm

und subtrahiert den kleinsten Wert von allen Werten

Hochtöner (3 - 3): 0 mm (Bezugsebene)

Tieftöner (35 - 3): 32 mm

Das Ganze liest sich zwar sehr kompliziert, heißt aber in der Praxis nichts anderes, als daß das ak. Zentrum des Tieftöners 32 mm hinter (von der Mikrofonposition des Audio-Meßsystems aus gesehen) dem des Hochtöners liegt. Die etwas umständlich anmutende Eingabeform an mehreren Stellen des Programms (in der Datenbank und in der FW-Maske) ist notwendig, da sonst von Lautsprecherherstellern gemessene Daten nicht

einfließen könnten, bzw. der User diese immer selbst zu der Einbaulage der einzelnen Treibern addieren müßte. Falls Sie die ak. Zentren der einzelnen Treiber, wie oben beschrieben, schätzen können Sie die Daten selbstverständlich auch gleich in der Frequenzweichenmaske eintragen, ohne zum einzelnen Treiber etwas in der Datenbank hinterlegen zu müssen. In obigem Beispiel würden Sie in das Feld Versatz für den Hochtöner 0 und für den Tieftöner 32 eintragen.

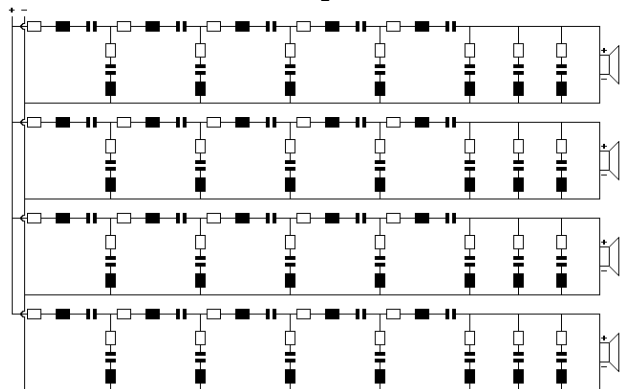
6.4.1.2 Das Menü Simulation

Hier kann man nahezu beliebige Weichenschaltungen realisieren, Bauteilwerte im Schaltbild ändern, das Weichenschaltbild drucken und die Übertragungsfunktionen der einzelnen Weichenzweige oder des Gesamtsystems unter Idealbedingungen oder unter Einbezug des Messdaten simulieren.

Der Menüpunkt Weichenschaltbild

Hier kann man sich das Schaltbild der Weiche als Graphik ansehen, ausdrucken, die Werte beliebiger Bauelemente und die Polarität der einzelnen Treiber ändern sowie neue Bauelemente in das Schaltbild einfügen oder einzelne Bauteile löschen. Die Möglichkeiten der Weichenschaltbildgrafik lesen Sie bitte unter **Programmbedienung in Graphiken** nach.

Maximalausbau des Frequenzweichenschaltbilds



Die Bauteilwerte werden in folgendem Format angezeigt:

Widerstände	: 8Ω2	entsprechend 8,2 Ohm
Kondensatoren	: 3μ3	entsprechend 3,3 MikroFarad
Spulen	: 1m5	entsprechend 1,5 MilliHenry

Der Menüpunkt Simulation Ideal

Das Amplituden-, Impedanz- und Phasenverhalten der einzelnen Weichenzweige wird ohne Einbezug der Messdaten simuliert. **Diese Funktion wird hauptsächlich zur Zieldefinition für die Amplitudenoptimierung benötigt.** Sie kann zur Demonstration des prinzipiellen Verhaltens von Frequenzweichen herangezogen werden, bringt aber für die konkrete Konstruktion einer Frequenzweiche keine verwertbaren Ergebnisse! Die Graphik enthält nicht die Einflüsse von Treiber-Polarität und akustischen Zentren! Die Möglichkeiten der grafischen Darstellung lesen Sie bitte unter **Programmbedienung in Graphiken** nach. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist die Simulation von Ersatzschaltbildern. Näheres dazu erfahren Sie in den Anhängen.

Der Menüpunkt Simulation Weichenzweige

Das Amplituden-, Impedanz- und Phasenverhalten der einzelnen Weichenzweige wird unter Einbezug der Messdaten simuliert. Die Graphik enthält nicht die Einflüsse von Treiber-Polaritäten und akustischen Zentren! Die Möglichkeiten der grafischen Darstellung lesen Sie bitte unter **Programmbedienung in Graphiken** nach.

Der Menüpunkt Simulation Summenkurve

Dieser Menüpunkt simuliert das Verhalten des Gesamtsystems. Das Ergebnis ist davon abhängig, ob zuvor der Menüpunkt **Simulation Ideal** oder der Menüpunkt **Simulation Weichenzweige** angewählt wurde. Die Einflüsse der Treiberpolaritäten und der akustischen Zentren gehen in die Simulation ein. Die Möglichkeiten der grafischen Darstellung lesen Sie bitte unter **Programmbedienung in Graphiken** nach.

Der Menüpunkt Export

Hier können die simulierten Daten (Kurvenverläufe) im AudioCad-Format exportiert werden. Diese Dateien können zur Weiterverarbeitung wieder in die AudioCad-Messwerte-Datenbank eingelesen werden.

Eine Anwendung dafür ist z.B. die „Über-Alles-Impedanzentzerrung“ einer kompletten Box incl. Weiche, die mit AudioCad konstruiert wurde. Entwickeln Sie Ihre Weiche, exportieren Sie den Impedanz- und elektrischen Phasenverlauf (Summenkurven), legen Sie in der Datenbank einen Pseudo-Lautsprecher, der für die komplette Box steht an, lesen Sie zu diesem die exportierten Kurven ein und initialisieren Sie ihn z.B. als Tieftöner. Dann können Sie mit Hilfe des Optimierers (siehe Beispiel in den Anhängen) eine Entzerrung ermitteln.

6.4.1.3 Das Menü Optimierung

In diesem Menü können Impedanz- und Amplitudenverläufe nach verschiedenen Zielfunktionen optimiert werden. Durch die freie Definitionsmöglichkeiten der jeweiligen Zielfunktionen sind der Anwendung des Optimierers fast keine Grenzen gesetzt.

Die Hauptanwendungsgebiete sind:

- die Optimierung von Impedanzkorrekturgliedern (RC- bzw. RCL-Glieder),
- die „Über Alles - Impedanzentzerrung“ einer schon bestehenden Box und
- die Optimierung des Amplitudenverhaltens einzelner Weichenzweige und des Gesamtsystems

Darüber hinaus sind, insbesondere unter Nutzung des Datenexports (Menüpunkte **Export** im Hauptmenü und in der Frequenzweichenmaske) noch vielfältige Anwendungsmöglichkeiten denkbar, die an dieser Stelle aber nicht näher erläutert werden sollen, da es den Umfang dieser Programmbeschreibung sprengen würde. Sollten Sie ein spezielles Anwendungsproblem haben können Sie gerne während der Support-Zeiten beim Programmautor nachfragen.

Die Anwendung des Optimierers ist nicht unbedingt in allen Punkten selbsterklärend und setzt auch gute Kenntnisse der Frequenzweichenkonstruktion voraus. **Bitte lesen Sie dieses Kapitel vor der ersten Anwendung komplett durch.** Nur dann können Sie die umfangreichen Möglichkeiten der Optimierung effektiv nutzen. Vor der ersten Nutzung des Optimierers sollten Sie auch die Anhänge mit den entsprechenden Beispielen durchlesen bzw. an Ihrem PC nachvollziehen.

Zur Arbeitsweise des Optimierers: Eine nichtlineare Optimierung erfolgt in der Praxis durch die schrittweise Veränderung von Eingangsgrößen (Bauteilwerten) und der Beurteilung des dadurch erzielten Ergebnisses. Das Programm prüft, ob dieses besser oder schlechter wurde. Falls eine Verbesserung auftrat wird weiter in dieser Richtung optimiert. Bei einer Verschlechterung wird die Veränderung zurückgenommen. Die Beurteilung erfolgt anhand der Summe aller Fehlerquadrate (negative Abweichungen sollen mit der gleichen Wichtung wie positive eingehen) im betrachteten Frequenzbereich. Je kleiner die Fehlerquadratsumme ist, desto mehr ist der aktuelle Kurvenverlauf der Zielfunktion angenähert.

Der AudioCad-Optimierer arbeitet das Weichenschaltbild von links (Verstärkerseite) nach rechts (Lautsprecherseite) und von unten (Baß) nach oben (Hochtöner) ab. Die zu optimierenden Bauelemente sind frei wählbar, indem man sie im Weichenschaltbild markiert. Nicht markierte Bauelemente werden vom Optimierer nicht verändert!

Genauso kann der zu betrachtende Frequenzbereich vorgegeben werden. Durch geschickte Wahl des Frequenzbereichs (dieser sollte nicht unnötig groß sein) kann Rechenzeit eingespart werden. Grundsätzlich führt eine Optimierung wesentlich schneller zum Ziel, wenn man nur wenige Bauelemente vom Optimierer verändern läßt. Wenn man z.B. in einem Weichenzweig ein RC- und ein RCL-Glied einsetzt sollte die Optimierung für beide Entzerrungsglieder getrennt erfolgen. Das Ergebnis ist zwar in der Regel das Gleiche, man spart bei dieser Vorgehensweise aber viel Rechenzeit!

6.4.1.3.1 Impedanzoptimierung

Die durch die Berechnungsformeln ermittelten Impedanzkorrekturnetzwerke sind in der Regel noch verbesserungsbedürftig. Dies liegt z.B. bei RC-Gliedern daran, daß die Schwingspuleninduktivität frequenzabhängig ist. Bei RCL-Gliedern sind meistens ungenaue Thiele/Small-Parameter an der nicht optimalen Entzerrung schuld. Die Impedanzoptimierung erlaubt unter anderem auch die Ermittlung einer „Über-Alles-Impedanzentzerrung“ einer kompletten Box.

Die Impedanzoptimierung erfolgt jeweils nur für einen Weichenzweig (Lautsprecher). Wenn Sie mehrere Weichenzweige optimieren möchten führen Sie dies nacheinander durch. Falls Sie für einen Lautsprecher ein RC- und ein RCL-Glied einsetzen dann optimieren Sie die zwei Korrekturglieder nacheinander und nicht in einem Durchgang. Bei korrekten Startwerten klappt es zwar meist auch in einem Durchgang aber die Optimierung dauert wesentlich länger als wenn Sie einzeln durchgeführt wird. **Da der Optimierer den kompletten Weichenzweig einbezieht ist es auch von tragender Bedeutung, daß in dem betreffenden Weichenzweig zum Zeitpunkt der Impedanzoptimierung nur Spannungsteiler, RC- und RCL-Glieder (parallel zum Lautsprecher!) „eingebaut“ sind. Evtl. vorhandene Hoch- und Tiefpässe verhindern eine wirksame Impedanzoptimierung!**

Als Zielfunktion kann entweder ein linearer Impedanzverlauf (wird mit **Re** vorgelegt und ist beliebig änderbar) oder ein mit dem Meßdateneditor erfaßter, mit einem Audio-Meßsystem gemessener oder mit einer der AudioCad-Exportfunktionen erstellter Impedanzverlauf (Messen und mit dem Schnittstellenprogramm in AudioCad-Format umwandeln) zugrunde gelegt werden.

Ausführliche Anwendungsbeispiele finden Sie in den Anhängen.

6.4.1.3.2 Amplitudenoptimierung

Die Amplitudenoptimierung kann, abhängig von der jeweiligen Zielfunktion, für einen oder mehrere Treiber des Systems erfolgen.

Zielfunktion Linearer Amplitudenverlauf:

Die Optimierung sollte für alle Treiber des Systems erfolgen. Theoretisch können Sie aber auch einen einzelnen oder z.B. zwei Treiber in einem Dreiwegsystem optimieren lassen. Zur Optimierung eines Treibers wählen Sie **<Einzelnen Treiber>** an, zur Optimierung mehrere Treiber **<Alle Treiber>**. Alle Treiber muß aber nicht zwingend alle Treiber des Systems bedeuten. Wenn Sie z.B. im Weichenschaltbild einer Dreiweg-Box nur Bauelemente des Tief- und Mitteltöners markieren werden auch nur diese zwei Treiber optimiert.

Zielfunktion Amplitudenverlauf aus Meßdateneditor

Die Zielfunktion wird durch eine Meßdatendatei im AudioCad-Format definiert. Diese kann

- mit dem Meßdateneditor erstellt werden,
- mit einem Audio-Meßsystem gemessen und mit dem Konvertierungsprogramm in das AudioCad-Format überführt werden oder
- mit Hilfe einer der AudioCad-Exportfunktionen erstellt werden.

Durch die freie Definitionsmöglichkeit dieser Zielfunktion sind nahezu beliebige Optimierungen möglich. Die Beschreibung aller Möglichkeiten würde allerdings den Umfang dieser Dokumentation sprengen. Falls Sie ein spezielles Anwendungsproblem haben, von dem Sie denken, daß man es mit Hilfe des Optimierers lösen könnte fragen Sie bitte während der Support-Zeiten beim Autor telefonisch an.

Zielfunktion Amplitudenverlauf nach Simulation Ideal

Mit dieser Zielfunktion können Sie die Frequenzweichentrennfrequenzen selbst festlegen (Bei **Linearer Amplitudenverlauf** bestimmt der Optimierer die Trennfrequenzen.). Zur Vorbereitung geben Sie vor dem Start des Optimierers die gewünschten Trennfrequenzen wie oben beschrieben ein und führen die **Simulation Ideal** durch. Diese Optimierungsart erfolgt jeweils nur für einen Weichenzweig. Optimieren Sie alle Weichenzweige der Box nacheinander.

Beispiele für die Anwendung der Amplitudenoptimierung finden Sie in den Anhängen.

6.4.2 Feedforward-Filter

Mit Hilfe eines Feedforward-Filters kann der Baßbereich einer geschlossenen Box oder eines Auto-Freeair-Woofers, welcher ja auch eine mehr oder weniger geschlossene Box darstellt, nach unten erweitert werden. Im Zuge dessen kann durch das Filter auch die Güte des korrigierten Lautsprechers nahezu beliebig eingestellt werden. Die Schaltung kann dadurch auch eine zu hohe Einbaugüte (**Qtc**), die zu einer "schwammigen" Baßwiedergabe führt, ausgleichen. Dies wird dadurch erreicht, daß dem Treiber frequenzabhängig definiert mehr oder weniger Verstärkerleistung zugeführt wird. Dem durch die Korrekturschaltung zu tiefen Frequenzen hin stark ansteigenden Membranhub wird durch ein aktives Hochpassfilter (Subsonic-Filter) entgegengewirkt. Erreicht wird das Ganze durch eine elektronische Korrekturschaltung, die zwischen Vor- und Endverstärker eingeschleift wird. Soll die Schaltung in Verbindung mit einem Vollverstärker betrieben werden, dessen Vor- und Endstufe nicht auftrennbar sind, dann wird sie zwischen Tape-Aufnahme (Eingang der Entzerrung) und Tape-Monitor (Ausgang der Entzerrung) angeschlossen. **Die Methode eignet sich auch sehr gut zur nachträglichen Verbesserung bereits bestehender Boxen bzw. Auto-Anlagen.**

Die benötigten Kenndaten des Lautsprechers im Gehäuse sind

- die Resonanzfrequenz (**fc**)
- die Güte der Resonanzstelle (**Qtc**)

Diese können mit AudioCad Pro berechnet werden, wenn die Thiele/Small-Parameter des Lautsprechers bekannt sind. Besser ist aber die Messung unter Verwendung eines Audio-Meßsystems, da hier die exakten Thiele/Small-Parameter (Serienstreuungen!) des verwendeten Lautsprechers eingehen.

Messung

Die Daten können durch eine einfache Thiele/Small-Parametermessung ermittelt werden. Im folgenden wird dies exemplarisch anhand einer bestehenden 2 Wege-Box gezeigt.

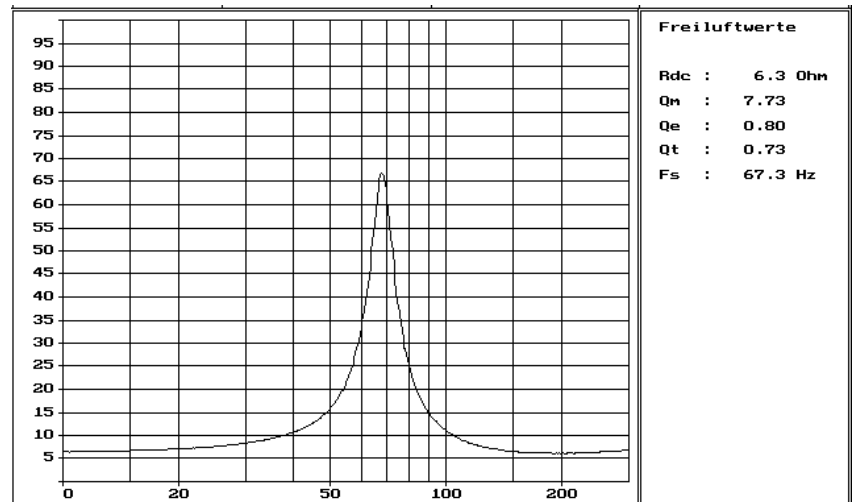
Hinweis: Der Treiber sollte vor der Messung „eingefahren“ werden, da sich die Thiele/Small-Parameter eines Lautsprechers in den ersten paar Betriebsstunden nicht unerheblich verändern. Bei einem Baßtreiber kann dazu bis zu 24-stündiger Betrieb mit einem 10 bis 20 Hz - Sinussignal erforderlich sein.. Der Pegel ist so einzustellen, daß die Membran sich sichtbar bewegt, der maximale Hub des Chassis aber nicht überschritten wird.

Zunächst misst man den Impedanzverlauf der Lautsprecherbox incl. Frequenzweiche. Diese Messung dient dazu, sich einen Überblick über den Resonanzverlauf und die Lage der zu korrigierenden Resonanzstelle zu verschaffen. Sie kann mit sehr niedriger Frequenzauflösung (z.B. 100 Werte je Kurve) erfolgen, da die Daten zur eigentlichen Berechnung nicht benötigt werden. Der für die Thiele/Small-Parametermessung relevante Frequenzbereich ist hier in dem Kasten markiert. Als nächstes wird der Gleichstromwiderstand (**Re**) der Box mit einem hinreichend genauen Multimeter oder ähnlichem gemessen. Im Beispiel beträgt er 6,3 Ohm. Jetzt geht es an die Thiele/Small-Parametermessung. Diese Messart bieten alle PC-gestützten Meßsysteme mit hinreichender Genauigkeit an. Die komplette Box wird gemessen, als ob es ein Treiber ohne Gehäuse wäre. Da nur Resonanzfrequenz (**fc** bzw. bei T/S-Messung **fs** genannt) und die Einbaugüte (**Qtc** bzw. bei T/S-Messung **Qts** oder **Qt** genannt) benötigt werden reicht eine Messung. Die Messung sollte mit der maximal möglichen Auflösung des verwendeten Meßsystems erfolgen, um möglichst genaue Ergebnisse zu erhalten. Die Referenzmessung zur Ermittlung des Vergleichsvolumen **Vas** nach der Gehäuse- oder Gewichtsmethode entfällt. Zur Vorgehensweise der Thiele/Small-Parametermessung wird hier auf das Handbuch Ihres Audio-Meßsystems verwiesen. Falls Sie kein Audio-Meßsystem besitzen kann evtl. Ihr Händler die Messung für Sie durchführen.

Nach erfolgter Thiele/Small-Parametermessung stehen alle Eingabedaten fest.

- Resonanzfrequenz (**fc**) : 67,3 Hz
- Einbaugüte (**Qtc**) : 0,73

Wichtiger Hinweis: Falls zwei Boxen korrigiert werden sollen müssen beide gemessen werden, um eventuelle Parameterabweichungen der Chassis zu berücksichtigen. Die Korrekturschaltung arbeitet nur dann mit hoher Genauigkeit wenn die Eingabedaten **fc** und **Qtc** exakt dem zu korrigierenden Lautsprecher entsprechen!



Berechnung der Entzerrung

Tragen Sie in der Eingabemaske die gewünschte Güte und Resonanzfrequenz ein, die der Lautsprecher nach der Entzerrung haben soll. Die mittels obiger Messung ermittelten Parameter werden jetzt in der Eingabemaske unter "**Gemessene Daten ohne Entzerrung**" hinterlegt. Den Subsonic-Filter legt man, je nach Treiber, auf 15 - 30 Hz. Die benötigten Bauteilewerte werden jetzt berechnet. Aus den Werten und dem Schaltbild kann die Korrekturschaltung aufgebaut werden.

Die Bauelemente

- | | |
|--|---|
| 100 µF | : Elko, 40 Volt, auf korrekte Polarität achten |
| 100 µF | : Elko, 16 Volt, auf korrekte Polarität achten |
| 10 µF | : Elko, 16 Volt, auf korrekte Polarität achten |
| alle anderen Kondensatoren | : Siemens MKT, 5 % Toleranz |
| alle Widerstände | : Metallfilm, 0,25 Watt, 1 % Toleranz |
| Operationsverstärker AD711 | |
| Lochplatine, Gehäuse, Chinch-Buchsen, Montagematerial, etc. | |

Die berechneten Bauteilewerte sind in der Regel nicht marktgängig. Man setzt sie aus mehreren Kondensatoren (parallelschalten, Einzelkapazitäten addieren) und Widerständen (hintereinanderschalten, Einzelwerte addieren) zusammen.

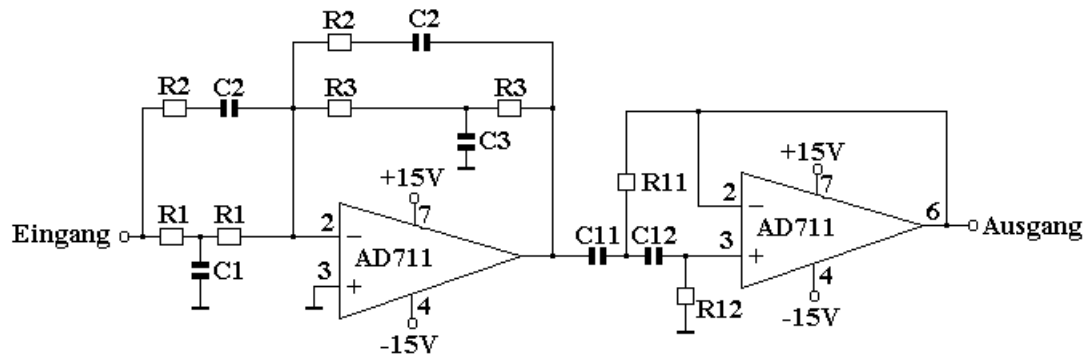
Die 100 nF - Kondensatoren müssen nahe an Pin 7 des jeweiligen Operationsverstärkers angebracht werden.

Den Operationsverstärker AD711 (ca. 4,- DM) bekommt man z.B. bei Mayer-Elektronik, Nelkenweg 1,87751 Heimertingen, Tel. 08335-1214

Als Doppel-Operationsverstärker ist er unter der Bezeichnung AD712 für ca. 6,- DM zu haben. Mayer-Elektronik führt in der Regel auch alle anderen benötigten Bauelemente.

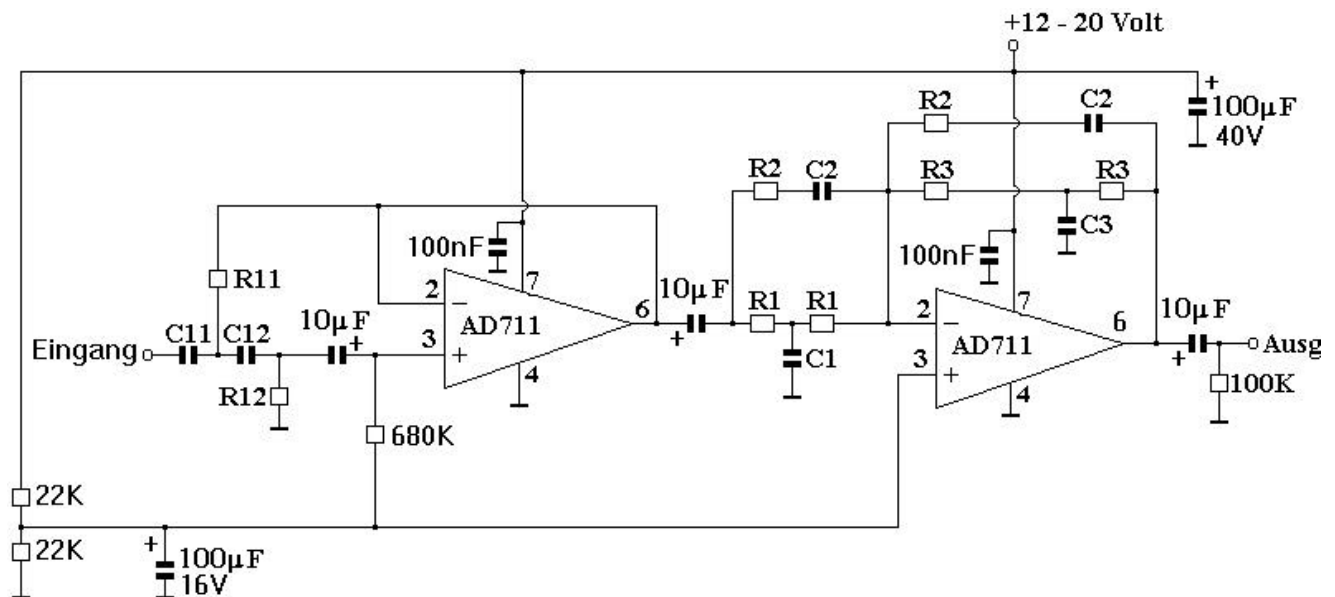
Schaltbild für Home-HiFi (220 Volt)

Die folgende Schaltung zeigt einen Kanal. Für zwei Boxen wird sie selbstverständlich doppelt benötigt. Als Stromversorgung wird ein Doppelspannungsnetzteil (symetrische Spannung ± 15 Volt) verwendet. Davon reicht eines für beide Kanäle. Dieses ist z.B. bei Conrad-Elektronik (Klaus-Conrad-Straße 1, 92240 Hirschau, Tel. 09622-30111) für ca. 40,- DM incl. Trafo fertig aufgebaut erhältlich.



Schaltbild für Car-HiFi (12 Volt)

Die folgende Schaltung ist in erster Linie für den Car-HiFi-Einsatz gedacht. Sie wird mit der 12 Volt-Spannung der Autobatterie betrieben, kann aber selbstverständlich auch für Home-HiFi eingesetzt werden, wenn ein stabilisiertes Netzteil mit einer Spannung zwischen 12 und 20 Volt zur Verfügung steht. Da der Strombedarf sehr gering ist kann auch ein gutes Steckernetzteil verwendet werden.



6.5 Das Menü Projekte

Was tut man, wenn man nicht die Zeit hat eine Box mit dem Programm in einem Arbeitsgang komplett zu konstruieren ? Man speichert eine Projektdatei und verlässt das Programm. In der Projektdatei sind sämtliche für das erneute automatische Berechnen der schon durchgeführten Konstruktionsschritte notwendigen Parameter gespeichert. Die Funktionen sind selbsterklärend, deshalb wird hier nur ein kurzer Abriß gegeben.

Der Menüpunkt Laden: Mit diesem Menüpunkt wird ein zuvor gespeichertes Projekt eingelesen. Zum Programmtest werden verschiedene Projektdateien mit ausgeliefert. Damit können Sie die Funktion der Projektbearbeitung ausprobieren.

Der Menüpunkt Speichern: Dieser Menüpunkt speichert eine Projektdatei.

Der Menüpunkt Löschen: Dieser Menüpunkt löscht nach vorheriger Sicherheitsabfrage eine Projektdatei.

Der Menüpunkt Stückliste: Hier kann eine Stückliste für das aktuelle Projekt erstellt werden. Die Stücklisten haben die Dateierweiterung **.STL** und werden im Projekte-Directory als ASCII-Datei gespeichert. Dadurch können sie auch mit einer Textverarbeitung oder mit dem MS-DOS-Editor verändert werden und können zur Bestellung der Bauteile umfunktioniert werden.

6.6 Das Menü Sonstiges

6.6.1 Thiele/Small - Parametermessungen

Thiele/Small-Parameter mißt man am einfachsten mit einem Audio-Meßsystem. Falls ein solches nicht zur Verfügung steht geht es mit einigem Mehraufwand aber auch auf die konventionelle Methode. Zur Messung der Thiele/Small- Parameter f_s , Q_{es} , Q_{ms} , Q_{ts} und V_{as} benötigen Sie die folgende Meßgeräteausstattung.

Funktionsgenerator

Der Generator sollte Spannungen bis zu 10 Volt unverzerrt abgeben können. Falls Ihr Generator das nicht leistet können Sie auch Ihren Verstärker zwischen Generator und Lautsprecher schalten. In diesem Fall müssen Sie bei der Berechnung des Widerstandes natürlich statt der Ausgangsimpedanz des Generators die des Verstärkers einsetzen.

Spannungsmeßgerät bzw. **Multimeter** mit im relevanten Frequenzbereich (20 - 200 Hz Wechselspannung) brauchbarer Anzeigegenauigkeit.

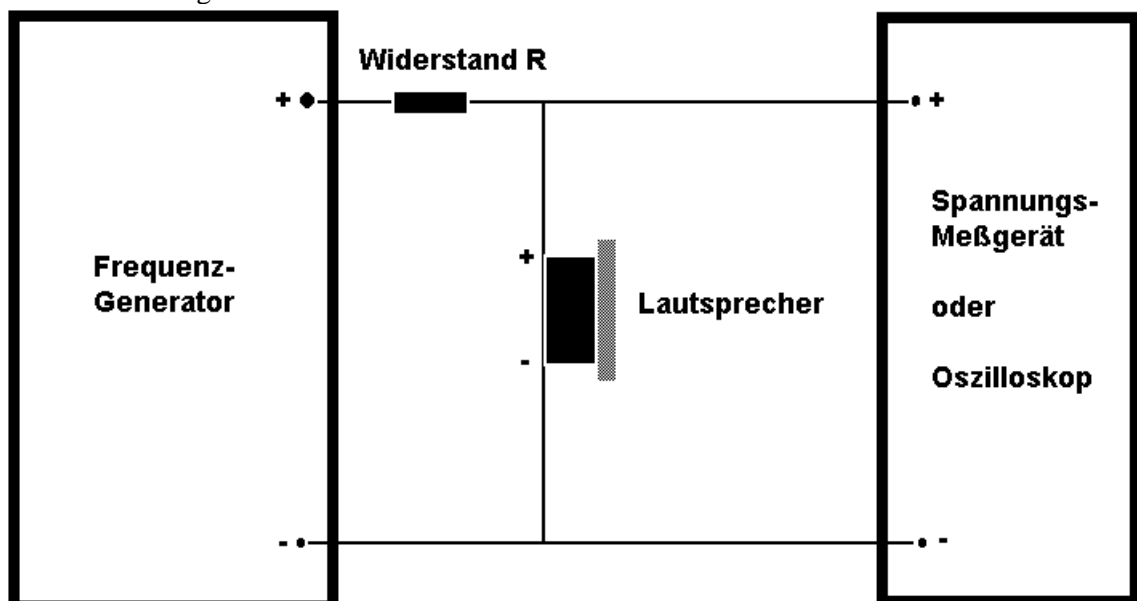
Frequenzzähler: nicht unbedingt notwendig, wenn der Generator eine ausreichende Genauigkeit der Frequenzeinstellskala aufweist.

Statt des Spannungsmeßgerätes kann selbstverständlich auch ein **Oszilloskop** verwendet werden. Wenn dieses ein geeichtes Zeitraster hat kann darüber auch die Meßfrequenz überprüft werden.

Erläuterung der Vorgehensweise

Die Messung kann nach der Gewichts- und nach der Gehäusemethode erfolgen. Die Gehäusemethode ist im folgenden beschrieben. Bei der Gewichtsmethode wird statt dem Einbau in ein Gehäuse die Membrane mit einer definierten Masse beschwert. Der Autor verwendet dazu einen Ring aus Knetmasse, der um die Staubschutzkalotte gelegt wird.

1. Messen des Gleichstromwiderstandes (mit einem sehr guten Multimeter schon möglich)
2. Erstellen Sie den folgenden Meßaufbau.



Der Widerstand wird nach folgender Formel dimensioniert:
 $R = 1000 \text{ Ohm} - \text{Ausgangswiderstand des Generators in Ohm}$

Z.B.: Ausgangswiderstand des Generators = 50 Ohm $\rightarrow R = 953$ Ohm (950 Ohm gibt es nicht). Man sollte dazu einen Metallfilmwiderstand mit 1 Prozent Toleranz verwenden.

Am Spannungsmeßgerät stellt man den Bereich bis 200 mV ein. Der vom Multimeter über dem Lautsprecher gemessene Spannungsabfall entspricht dann dem Betrag der Impedanz in Zehntel Ohm (200 mV entsprechen 20 Ohm). Wenn die zu messende Impedanz 20 Ohm übersteigt tauscht man den Widerstand gegen einen 10 KOhm (10.000 Ohm) aus und erhält so einen Meßbereich bis 200 Ohm. Den Messaufbau *leicht* man mit einem Metallfilm-Präzisionswiderstand von 10 Ohm mit 0,1 Prozent Toleranz.

Ermitteln Sie jetzt die Resonanzfrequenz des Lautsprechers im Freifeld, d.h. im nicht eingebauten Zustand. Die Resonanzfrequenz ist die Frequenz, an der der Lautsprecher sein Impedanzmaximum erreicht. Typische Impedanzverläufe steigen zunächst bis zur Resonanzfrequenz an, um dann wieder etwa auf den Gleichstromwiderstand abzufallen. Gegen höhere Frequenzen zu bewirkt die Induktivität der Schwingspule in der Regel einen Impedanzanstieg über den Wert der Resonanzfrequenz hinaus, wenn diese nicht durch geeignete Maßnahmen (siehe. **Impedanzkorrektur & Pegelabsenkung**) bedämpft wird.

3. Suchen Sie jetzt die Frequenz unterhalb der Resonanzfrequenz die in der Maske angegebene Impedanz R1 hat.

4. Suchen Sie jetzt die Frequenz oberhalb der Resonanzfrequenz die in der Maske angegebene Impedanz R1 hat. Das Programm berechnet jetzt die Parameter **Qes**, **Qms** und **Qts**. Damit stehen die Parameter **fs**, **Qes**, **Qms** und **Qts** fest. Drucken Sie die Ergebnisse durch Betätigung der Taste DRUCK (bzw. PRINT) aus.

5. Bauen Sie ein geschlossenes Testgehäuse mit z.B. 20 Litern Nettovolumen. Hierbei muß besonders auf Dichtigkeit geachtet werden. Das Volumen der Testbox muß sehr genau bekannt sein, da es die Berechnung des wichtigen Parameters **Vas** beeinflusst. Den Treiber baut man am besten mit dem Magnet nach außen ein. Dadurch ist die Volumenänderung des Gehäuses besser berechenbar und man erspart sich die Kabeldurchführung. Führt bei sehr kleinen Lautsprechern das 20-Liter-Gehäuse nicht zu einem signifikanten Anstieg der Resonanzfrequenz, so kann das Gehäusevolumen durch eine im Volumen genau definierte Ziegelstein- oder Holzfüllung reduziert werden.

Führen Sie jetzt die Schritte 1 bis 4 nochmals am eingebauten Treiber durch und drucken Sie die Ergebnisse aus. Berechnen Sie mit dem Programmteil **Vas berechnen** das Vergleichsvolumen.

6.6.2 Vas berechnen

Nachdem Sie die Thiele/Small-Parameter **fs**, **Qes**, **Qms** und **Qts** ermittelt haben können Sie mit diesem Programmteil das Vergleichsvolumen **Vas** berechnen. Die Maske ist selbsterklärend. Deshalb wird hier keine weitere Beschreibung gegeben. Nach Abschluß der Thiele/Small-Parametermessungen tragen Sie die ermittelten Werte in die Lautsprecherdatenbank ein.

Dem an der Thiele/Small-Parametermessung interessierten Benutzer seien hier noch die folgende Literaturquellen empfohlen.

- Fachzeitschrift KLANG & TON , Heft Oktober-November 1990
- Fachzeitschrift KLANG & TON , Heft Dezember 1990-Januar 1991
- Michael Gaedtke: **Parametermessungen an Lautsprecher-Chassis**, Franzis-Verlag 1985
ISBN 3-7723-7821-8 (Ein auch für den Laien sehr gut verständlich geschriebenes Werk, welches leider seit Jahren vergriffen ist. Evtl. finden Sie es in einer Bibliothek.)

6.7 Das Menü AudioCad

In diesem Menü erhalten Sie Informationen über Programmversion, Copyright und die Adresse des Programmautors.

7 Audio-Meßsystem-Schnittstellen (KONVERT.EXE)

AudioCad Pro hat derzeit zu den folgenden Audio-Meßsystemen Schnittstellen:

- | | |
|------------------|---------------------------------------|
| - AMS-PC | (Fa. Kemsonic / Bielefeld) |
| - AudioLab | (Fa. Kemsonic / Bielefeld) |
| - AudioTestBoard | (Fa. Kirchner HiFi / Braunschweig) |
| - CLIO | (Fa. IT. Elektronik / Kerpen) |
| - DAAS3 | (Fa. HiFiSound / Münster) |
| - DSA | (Fa. ADM-Engineering / Nordhorn) |
| - IMP | (Fa. RCM-Akustik) |
| - LMS | (Fa. Audiomax / Heilbronn) |
| - MEPEG | (Fa. AES, Krefeld) |
| - MLSSA | (Fa. Harmonic Design / Vaihingen/Enz) |

Diese ermöglichen die maschinelle Übernahme von Amplituden-, Impedanz- und Phasenmessdaten (akustisch und elektrisch) in die AudioCad Pro - Meßwertedatenbank. Das Schnittstellenprogramm KONVERT.EXE funktioniert folgendermaßen: Die vom Meßsystem erzeugten ASCII-Exportdateien werden von KONVERT.EXE gelesen und in das AudioCad-kompatible ASCII-Datenformat umgewandelt. Dieses Datenformat kann dann im Programm ACPRO.EXE (Menüpunkt IMPORT in der Lautsprecherdatenbankmaske) in die Meßwertedatenbank geladen werden. Die AudioCad-ASCII-Dateien mit den Dateierweiterungen

- .AMP (Amplitude),
- .IMP (Impedanz),
- .PHA (akustische Phase) und
- .PHE (elektrische Phase)

werden nach erfolgter Übernahme in die Meßwertedatenbank nicht mehr benötigt und können vom Anwender gelöscht werden. Falls Sie aus irgendeinem Grund doch wieder gebraucht werden können sie vom Programm ACPRO.EXE durch den Menüpunkt EXPORT wieder erzeugt werden. Hierbei wird allerdings das AudioCad interne Frequenzraster (512 Stützpunkte von 10 Hz bis 40 KHz mit logarithmischer Einteilung) und nicht das dem jeweiligen Meßsystem eigene Format zugrunde gelegt.

7.1 AudioMeßsysteme mit integrierter AudioCad-Schnittstelle

Bei folgenden Audio-Meßsystemen wurde die AudioCad-Schnittstelle vom Hersteller in die Meßsystemsoftware integriert:

- | | |
|------------------|------------------------------------|
| - AudioLab | (Fa. Kemsonic / Bielefeld) |
| - AudioTestBoard | (Fa. Kirchner HiFi / Braunschweig) |
| - DAAS 3.L | (Fa. ADM-Engineering / Nordhorn) |
| - DAAS 3 NT | (Fa. ADM-Engineering / Nordhorn) |
| - DSA | (Fa. ADM-Engineering / Nordhorn) |

Da diese Meßsysteme direkt das AudioCad-Importdatenformat erzeugen wird das Schnittstellenprogramm KONVERT.EXE nicht benötigt. Die Meßdaten können im AudioCad-Hauptprogramm (Hauptmenü: **Datenbank**, Maske: **Datenbank**, Menü: **Messwerte**, Menüpunkt: **Import**) direkt eingelesen werden. Für Benutzer eines der oben aufgeführten Audio-Meßsysteme bedeutet dies eine nicht unerhebliche Komfort-Verbesserung. An dieser Stelle möchte der Autor deshalb auch alle Herstellern, die eine AudioCad-Schnittstelle in Ihr Meßsystem integriert haben, für ihr Entgegenkommen vielmals danken.

7.2 Anschluß beliebiger Audio-Meßsysteme

Da AudioCad Pro zur Eingabe von Messdaten kein festgelegtes Frequenzraster hat, die Anzahl der einzugebenden Meßwerte keine Rolle spielt und die AudioCad-ASCII-Dateien denkbar einfach aufgebaut sind ist theoretisch ein Anschluß an jedes beliebige PC-gestützte Audio-Meßsystem denkbar. Die oben angeführten Schnittstellen decken derzeit den kompletten deutschen Audio-Meßsystemmarkt für PC-gestützte Systeme ab. Falls nun ein neues System dazukommt können Sie aber gerne den Autor (siehe **Support & Updates**) ansprechen. Wenn Sie ihn mit den notwendigen Informationen versorgen wird er die AudioCad-Schnittstelle zu Ihrem Meßsystem programmieren.

7.3 Installation des Schnittstellenprogramms

Starten Sie im Menü **Sonstiges** den Menüpunkt **Installation**. Es öffnet sich ein Fenster, in dem Sie zunächst Ihr Audio-Meßsystem mit der Maus oder den Cursor-Tasten auswählen. Klicken Sie jetzt auf **<Weiter>** oder betätigen Sie die Tabulatortaste solange, bis **<Weiter>** hell dargestellt wird und betätigen dann die Return-Taste.

Im folgenden Fenster spezifizieren Sie die Zugriffspfade und die Mikrophonempfindlichkeit.

Meßsystem-Directory (alle Typen) : Geben Sie das Directory ein, in dem Ihr Meßsystem die ASCII-Export-Dateien ablegt. z.B. bei AudioTestBoard: C:\ATB\AC\

Datenbank-Directory (nur DAAS3) : wird nicht mehr benötigt

Mikro-Empfindlichkeit (mV/Pa): Im Eingabefeld Mikro-Empfindlichkeit hinterlegen Sie die Mikrophonempfindlichkeit in Millivolt/Pascal. Diese Eingabe wird derzeit nur für das Meßsystem **AMS-PC** (Fa. Kemsonic) benötigt. Bei Verwendung eines anderen Meßsystems kann man das Feld unbelegt lassen. Achten Sie bitte darauf, daß Sie statt eines Kommas einen Dezimalpunkt eingeben. Man sollte auch nur Ziffern und den Dezimalpunkt eingeben, da der Feldinhalt nicht plausibilitiert wird und Sonderzeichen oder Buchstaben zu fehlerhaftem Programmablauf führen würden. z.B.: **42.80**

AudioCad-Directory: Abschließend definieren Sie im Eingabefeld AudioCad-Directory den Zugriffspfad, in dem AudioCad die Meßdateien sucht. Das ist der Pfad, den Sie in der AudioCad-Installationsmaske im Eingabefeld **Meßsystem-Directory** eingetragen haben. Standardmäßig ist das **C:\AC8\MESS**.

Durch Anwahl von **<Speichern>** werden die Daten auf Festplatte gesichert. Der Menüpunkt **<Zurück>** geht zum Auswahlmenü Audio-Meßsystemtyp und **<Abbruch>** verwirft Ihre Eingaben.

7.4 Allgemeine Beschreibung der Dateikonvertierung

Im Menü **Konvertieren** sind abhängig vom Meßsystemtyp verschiedene Menüpunkte enthalten, in denen die zu konvertierenden Dateien ausgewählt werden. Danach fragt das Programm nach einem Dateinamen (ohne Datei-Extension - diese wird vom Programm zugesteuert), unter dem die AudioCad-kompatible Datei abgelegt wird. Achten Sie bitte darauf, daß Sie für die verschiedenen Meßwerttypen eines Lautsprechers immer den gleichen Dateinamen eingeben. Dann können Sie im Hauptprogramm alle Meßdaten auf einmal einlesen.

7.5 Erzeugung der Meßsystem-ASCII-Formate

Die Vorgehensweise ist vom jeweiligen Meßsystem abhängig und wird im folgenden kurz beschrieben.

7.5.1 AMS-PC (Kemsonic)

Die Amplituden-, Impedanz- und Phasenmessdaten werden mit dem Kemtec-Meßsystem AMSPC gemessen und mit dem Menüpunkt F1-F5 "Datei exportieren" im ASCII (Delimited)- Format gespeichert. Die mit AMSPC gespeicherten Dateien haben die Dateierweiterung

- .PEC (Amplitude),
- .IMC (Impedanz) und
- .PHC (akustische Phase).

Achten Sie bei der Konfiguration von KONVERT.EXE bitte darauf, welche AMS-PC-Softwareversion Sie im Einsatz haben. Unterstützt werden die AMS-PC-Versionen 1.32 und 1.33, welche sich im Datenformat der Amplituden- und Phasenmessdateien unterscheiden.

7.5.2 LMS

Die Dateien müssen vom Anwender mit dem Menüpunkt **Export** im **Utility-Menü** von LMS im **APS1-Format** gespeichert werden. Da LMS für Amplituden- und Impedanzmessdaten die gleiche Dateierweiterung (.DAT) vergibt sollte der Anwender bei der Dateinamensvergabe gleich eine Kennzeichnung vorsehen, an der er erkennen kann, um welche Messdatenart es sich handelt. Der Autor empfiehlt das folgenden Schema:

A_<Treiberbezeichnung>.DAT z.B.: A_ISO155.DAT : Amplitude
I_<Treiberbezeichnung>.DAT z.B.: I_ISO155.DAT : Impedanz

Das Konvertierungsprogramm KONVERT.EXE erkennt unabhängig vom Dateinamen das Format (Amplitude oder Impedanz) und erzeugt die jeweiligen Ausgabedateien, die im AudioCad - Hauptprogramm in die Messwertedatenbank geladen werden können.

LMS misst nur Amplitude und Impedanz, aber keine Phasen. Durch in LMS enthaltene Verarbeitungsfunktionen können aber die akustische (Phase der Amplitude) und elektrische Phase (Phase der Impedanz) über eine Hilbert-Transformation berechnet und in obigem Dateiformat mit abgespeichert werden. Im folgenden wird kurz die Vorgehensweise zur Berechnung der akustischen Phase für die Amplitude beschrieben. Die elektrische Phaseninformation gewinnen sie analog, wobei hier natürlich eine Impedanzmesskurve zugrunde gelegt wird. Diese Kurzbeschreibung erfolgt für die LMS-Softwareversion 3.05. Aufgeführt sind im folgenden nur die anzuwählenden Menüpunkte.

[L]ibrary Menu Mit den Cursor-Tasten Messkurve anfahren und mit F1 markieren
Esc-Taste
[P]rocess Menu
[F4]Minim_
Kurve mit Cursor-Tasten anfahren und Return-Taste
Esc-Taste
[U]tility Menu
[E]xport Data
[F2] APS1 (.DAT)
Kurve mit Cursor-Tasten anfahren und Return-Taste
Return-Taste
Dateinamen eingeben (Namensvergabe siehe oben)
zweimal die Esc-Taste zur Rückkehr in das Hauptmenü betätigen

7.5.3 MEPEG

Die Meßdateien mit der Dateierweiterung .MPG werden mit der MEPEG-Software erstellt. Es handelt sich dabei um das "normale" Datenformat von MEPEG zur Speicherung von Amplituden- und Impedanzmessdaten. Thiele/Small-Messdaten werden von der Schnittstelle nicht verarbeitet!

Da über die Dateierweiterung (.MPG) nicht erkennbar ist, ob es sich um eine Amplitude-, Impedanz- oder Thiele/Small-Messung handelt empfiehlt der Autor sich bei der Dateinamensvergabe ein bestimmtes Schema anzugewöhnen. Dieses könnte z.B. so aussehen:

I_<Treiberbezeichnung>.MPG	z.B.: I_ISO155.MPG	: Impedanz
A_<Treiberbezeichnung>.MPG	z.B.: A_ISO155.MPG	: Amplitude
T_<Treiberbezeichnung>.MPG	z.B.: T_ISO155.MPG	: Thiele/Small

Dadurch können die Dateien in der Dateiauswahlbox von KONVERT.EXE leicht unterschieden werden. Zur Messung der Amplitude verwenden Sie den MEPEG-Menüpunkt **2: SPL-Messung**. **Bei allen MEPEG-Messungen, die in AudioCad Pro übernommen werden sollen muß der Meßbereich 20 - 20.000 Hz betragen!**

7.5.4 MLSSA

Amplitude und akustische Phase: Für diese Datei muß vom Anwender in der MLSSA-Software die Dateierweiterung .PEC eingegeben werden, da KONVERT.EXE nach Dateien mit dieser Erweiterung sucht. Wenn die Dateierweiterung beliebig wäre könnte KONVERT.EXE Amplituden- und Impedanzdateien nicht auseinanderhalten. Z.B.: MESS.PEC

Beispiel-Datei:

```
"Sensitivity Bode Plot - dB SPL/watt (4.0 ohm load)"
"Hz" "Mag (dB)" "deg"
384.7064, 65.89388, -1.922165
399.5028, 69.28891, 9.898952
414.2992, 72.132, 10.57795
```

Impedanz und elektrische Phase: Für diese Datei muß vom Anwender in der MLSSA-Software die Dateierweiterung .IMC vorgegeben werden, da KONVERT.EXE nach Dateien mit dieser Erweiterung sucht. Wenn die Dateierweiterung beliebig wäre könnte KONVERT.EXE Amplituden- und Impedanzdateien nicht auseinanderhalten. z.B.: MESS.IMC

Beispiel-Datei:

```
"Impedance Bode Plot - ohms"
"Hz" "Mag" "deg"
9.765625, 3.472225, 0.07227466
19.53125, 3.475806, 0.2204187
29.29688, 3.472461, 0.2132831
```

Die Erzeugung dieser MLSSA-ASCII-Exportformate ist im MLSSA-Manual näher erläutert.

7.5.5 IMP

Das AudioCad-Schnittstellenprogramm unterstützt die IMP-Dateiformate

- ***.FRD** : Amplitude + akustische Phase
- ***.ZMA** : Impedanz + elektrische Phase
- ***.ZFR** : Impedanz + elektrische Phase und Amplitude + akustische Phase

Die Beschreibung der Vorgehensweise zur Erzeugung dieser Datenformate entnehmen Sie bitte dem IMP-Manual.

7.5.6 CLIO

Erstellen Sie mit Ihrem CLIO-Meßsystem eine ASCII-Exportdatei mit der Dateiendung **.TXT**. Die Vorgehensweise ist im CLIO-Handbuch im Kapitel **FILE IMPORT EXPORT** näher erläutert. Die Datei sollte etwa so aussehen:

Freq	Ohm	Phase
10.0	4.39	11.2
10.3	4.39	11.4

Installieren Sie das (AudioCad-) Audio-Meßsystemschnittstellenprogramm, wie oben beschrieben, wobei Sie als Meßsystem **CLIO** einstellen. Im Menü **KONVERTIEREN** erscheint daraufhin nur ein Menüpunkt **KONVERTIEREN**. Das Programm erkennt automatisch den CLIO-Dateityp (Amplitude + Phase oder Impedanz + Phase) und konvertiert ihn in das AudioCad-Format.

8 Universelle Audio-Meßsystem-Schnittstelle (KVU.EXE)

Da AudioCad Pro zur Eingabe von Messdaten kein festgelegtes Frequenzraster hat, die Anzahl der einzugebenden Meßwerte keine Rolle spielt und die AudioCad-ASCII-Dateien denkbar einfach aufgebaut sind ist theoretisch ein Anschluß an jedes beliebige PC-gestützte Audio-Meßsystem denkbar. Die oben angeführten Schnittstellen decken derzeit den kompletten deutschen Audio-Meßsystemmarkt für PC-gestützte Systeme ab. Falls nun ein neues System dazukommt können Sie aber gerne den Autor (siehe **Support & Updates**) ansprechen. Wenn Sie ihn mit den notwendigen Informationen versorgen wird er die AudioCad-Schnittstelle zu Ihrem Meßsystem programmieren.

Sie können sich in nahezu allen Fällen aber mittels der Universellen-Audio-Meßsystem-Schnittstelle selbst behelfen. Wie das funktioniert wird im folgenden beschrieben.

Falls für Ihr Audio-Meßsystem keine spezielle Schnittstelle in AudioCad enthalten ist können Sie mit dem vorliegenden Programm KVU.EXE die ASCII-Exportdateien nahezu aller Audio-Meßsysteme in das AudioCad-Importdatenformat konvertieren.

Das Programm konvertiert ASCII-Dateien mit bis zu 10 Spalten in das AudioCad-Import-Datenformat. Es ist so flexibel, daß es an nahezu alle Audio-Meßsystem-ASCII-Exportdatenformate angepasst werden kann. Die einzelnen Spalten müssen durch ein definiertes Zeichen (z.B.: Leerzeichen, Tabulator, Komma, Strichpunkt, etc.) getrennt sein.

Die von den verschiedenen Audio-Meßsystemen erzeugten Export-Dateiformate unterscheiden sich geringfügig voneinander, sind aber in aller Regel wie folgendes Beispiel aufgebaut:

```
* Messart :          Imp&Phase
* Number of Points : 1000
*   Graph x >                               : Ohms, Phase <
*       Frequency Hz                        Ohms      Phase
          10.0000                        9.4045      78.0857
          10.1617                        9.5130      40.1127
          10.3261                        9.5897      42.1817
              .                          .           .
              .                          .           .
              .                          .           .
          39407.6281                     47.4157      41.2930
```

- Im Beispiel sind 4 Kopfzeilen zu sehen, die für AudioCad uninteressant sind.

- In den folgenden Datenzeilen sind drei Spalten zu erkennen, die die Messfrequenz, die Impedanz und die elektrische Phase enthalten. Diese Daten werden von KVU.EXE in das AudioCad-Datenformat umgewandelt und sind dadurch in der Datenbankmaske des AudioCad-Hauptprogramms importierbar.

Vor der ersten Nutzung müssen Sie das/die Datenformate Ihres Audio-Meßsystems dem Programm bekanntmachen. Starten Sie das Programm vom AudioCad-Hauptmenü aus oder geben Sie auf der MS-DOS-Ebene folgende Befehle ein.

```
CD\AC8
KVU
```


Wählen Sie im Menü SONSTIGES den Menüpunkt INSTALLATION an. Starten Sie im Menü BEARBEITEN den Menüpunkt NEUANLAGE. Die Felder der Eingabemaske werden wie folgt ausgefüllt:

- Menüpunkt:

Das Datenfeld bezeichnet den Menüpunkt im Menü KONVERTIEREN. Es wird automatisch vom Programm zusammengesetzt. Der Aufbau ist wie folgt:

Mess-System:
FRQ: für Frequenz
AMP: für Amplitude
PHA: für akustische Phase
IMP: für Impedanz
PHE: für elektrische Phase
TXT: für Textfeld
*.Dateierweiterung

z.B. ergeben die Einstellungen für obige Beispieldatei den Menüpunkt: **MLSSA: FRQ IMP PHE *.BOD**

Diesen Menüpunkt finden Sie nach der Installation im Menü KONVERTIEREN.

- Mess-System:

die Kurzbezeichnung Ihres Audio-Meßsystems z.B.: MLSSA

- Dateierweiterung:

Die dreistellige Dateierweiterung ("das was im Dateinamen hinter dem Punkt steht") der ASCII-Exportdatei z.B.: BOD

- Anzahl Kopfzeilen:

Die Anzahl der Überschriftenzeilen, die keine verwertbaren Daten enthalten.

Z.B.: 4 (siehe obiges Beispiel)

- Umsortieren:

Manche Audio-Meßsysteme exportieren die einzelnen Messwerte mit absteigender Frequenz, d.h. die höchste Frequenz steht oben. AudioCad benötigt die Messwerte in aufsteigender Reihenfolge, d.h. die niedrigste Frequenz muß als erster Messwert in der Datei stehen. Sollte Ihr Audio-Meßsystem absteigend exportieren prüfen Sie zunächst, ob Sie nicht auch eine aufsteigende Sortierung in Ihrer Meßsystem-Software einstellen können. Sollte dies nicht der Fall sein kann das Programm KVVU.EXE die Messwerte auch selbst sortieren, was aber nur bis zu ca. 2000 Messwerten klappt, da dem Programm dann irgendwann der Stringspeicher (der Speicher für "Texte") ausgeht.

Machen Sie folgende Einstellungen:

0 : wenn KVVU.EXE nicht neu sortieren soll. In diesem Fall sind beliebig viele Messwerte verarbeitbar.

1 : wenn KVVU.EXE neu sortieren soll. In diesem Fall können ca. 2000 Messwerte verarbeitet werden.

- Trennzeichen:

Hier geben Sie das Zeichen ein, mit dem die einzelnen Spalten getrennt werden. Es spielt keine Rolle, wie oft dieses Trennzeichen zwischen den Spalten vorkommt! In obigem Beispiel ist es ein Leerzeichen. Leerzeichen und Tabulatorzeichen werden gleichbehandelt. Sollten die Spalten Ihrer Datei mit Leer- oder Tabulatorzeichen abgetrennt sein geben Sie im Feld TRENNZEICHEN einfach nichts ein. Ansonsten geben Sie das Trennzeichen (z.B.: , oder ;) ein.

- Die Eingabefelder SPALTE 1 bis SPALTE 10:

Hier definieren Sie den Aufbau einer Datenzeile. Jede Datenzeile muß die Messfrequenz und mindestens einen Messwert enthalten. Die Definition der Spalteninhalte geschieht durch Eingabe von Kennziffern, deren Bedeutung auch in der Installationsmaske angegeben ist. Die folgenden Kennziffern sind möglich:

0: Spalte existiert nicht:

Wenn eine Datei z.B. nur drei Spalten enthält (siehe obiges Beispiel) trägt man 0 für die Spalten 4 - 10 ein.

1: Amplitude:

Wenn Sie 1 in einer Spalte eintragen interpretiert das Programm diese Spalte als Amplitudenmessdaten.

2: Impedanz:

Wenn Sie 2 in einer Spalte eintragen interpretiert das Programm diese Spalte als Impedanzmessdaten.

3: akustische Phase:

Wenn Sie 3 in einer Spalte eintragen interpretiert das Programm diese Spalte als akustischen Phasenmessdaten.

4: elektrische Phase:

Wenn Sie 4 in einer Spalte eintragen interpretiert das Programm diese Spalte als elektrische Phasenmessdaten.

5: Frequenz:

Wenn Sie 5 in einer Spalte eintragen interpretiert das Programm diese Spalte als Messfrequenz.

6: Textfeld:

Wenn Sie 6 in einer Spalte eintragen interpretiert das Programm diese Spalte als Textspalte, d.h. es ignoriert sie. Dies ist aber nicht mit der Einstellung 0 zu verwechseln! Die Spalte selbst muß vorhanden sein!

Z.B.:

10.0000 Hz 9.4045 Ohm 78.0857 Grad

Obige Zeile würde wie folgt definiert:

Spalte 1:	5	(Frequenz)
Spalte 2:	6	(irrelevanter Text)
Spalte 3:	2	(Impedanz)
Spalte 4:	6	(irrelevanter Text)
Spalte 5:	4	(elektrische Phase)
Spalte 6:	6	(irrelevanter Text)
Spalte 7:	0	(Spalte existiert nicht)
Spalte 8:	0	(Spalte existiert nicht)
Spalte 9:	0	(Spalte existiert nicht)
Spalte 10:	0	(Spalte existiert nicht)

- Meßsystem-Directory:

Hier tragen Sie das Unterverzeichnis Ihrer Festplatte ein, in das Ihre Audio-Meßsystem-Software die ASCII-Export-Dateien speichert.

z.B.:

C:\MLSSA\EXPORT\

- AudioCad-Directory:

Hier tragen Sie das Unterverzeichnis Ihrer Festplatte ein, in dem das AudioCad-Hauptprogramm die Meßsystemdateien (die Ausgabedateien von KVVU.EXE) sucht. Die Angabe muß mit dem Feld MEßSYSTEM-DIRECTORY der Installationsmaske des AudioCad-Hauptprogramms übereinstimmen!

ACHTEN SIE DARAUF!!! DAS IST DER "STANDARDFEHLER", den die meisten AudioCad-User gemacht haben, wenn ihr Schnittstellenprogramm nicht funktioniert!

Falls Sie die Standard-Installation von AudioCad genutzt haben tragen Sie hier folgendes ein:

C:\AC8\MESS

Damit ist die Konfiguration (für einen Dateityp) abgeschlossen. Sie können bis zu 10 verschiedene Dateitypen definieren. Zu jedem Dateityp können Sie theoretisch verschiedene Zugriffspfade (Meßsystem-Directory und/oder AudioCad-Directory) einstellen. Dies wird aber nur benötigt, wenn man mehrere unterschiedliche Audio-Meßsysteme auf einem PC installiert hat.

Die Menüpunkte ÄNDERN, ANZEIGEN und LÖSCHEN sind wohl selbstdeklarierend. Es erscheint jeweils eine Auswahlbox, in der Sie das zu bearbeitende Importsript selektieren.

VORSICHT mit dem Menüpunkt LÖSCHEN - er löscht nach Auswahl des Importsripts dieses ohne weitere Rückfrage! Sollten Sie den Menüpunkt aus Versehen angewählt haben betätigen Sie nach Erscheinen der Auswahlbox die Esc-Taste.

Das Konvertieren der Audio-Meßsystem-Dateien können Sie im Menü KONVERTIEREN anstoßen. Es funktioniert genauso wie im "normalen" AudioCad-Schnittstellenprogramm KONVERT.EXE.

9 Der Messdaten-Editor (ACEDITOR.EXE)

Das Hauptprogramm ermöglicht keine manuelle Eingabe von Meßdaten sondern kann nur mit Lautsprechermeßsystemen gemessene Amplituden-, Impedanz- und Phasenverläufe einlesen. Damit auch User ohne Lautsprechermeßsystem das Programm nutzen können wurde der Meßdaten-Editor erstellt. Dieser ermöglicht die manuelle Eingabe von Meßdaten und speichert diese im AudioCad-kompatiblen Datenformat auf Festplatte. Die damit erstellten Kurvenverläufe können von AudioCad gelesen werden, als wären sie von einem Meßsystem erstellt.

Der Meßdaten-Editor wird über das Hauptmenü aufgerufen. Nachdem das Programm geladen wurde erscheint ein Auswahlménü in dem Sie den gewünschten Meßwerttyp anklicken. Daraufhin werden Sie gefragt, ob Sie eine neue Datei erstellen möchten.

Wenn Sie zum aktuellen Lautsprecher noch keine Meßdaten erfaßt haben wählen Sie hier **<JA>** an. Das Programm fragt Sie jetzt nach einem Dateinamen. Geben Sie hier einen beliebigen Dateinamen ohne Extension (*das was hinter dem Punkt steht*) an. Die Dateierweiterung wird vom Editor zugesteuert. Der Editor schaut jetzt nach, ob eine solche Datei schon besteht. Wenn dies der Fall ist werden Sie zur Eingabe eines anderen Dateinamens aufgefordert, damit Sie nicht aus Versehen Daten überschreiben.

Wenn Sie zum aktuellen Lautsprecher schon Meßdaten erfaßt haben und diese *verfeinern* möchten wählen Sie **<Nein>** an. Daraufhin erscheint eine Dateiauswahlbox, in der Sie die zu bearbeitende Datei markieren können. Diese wird dann in den Editor geladen.

Jetzt erscheint der eigentliche Editor. Der Editor enthält die folgenden Fenster:

Das Fenster Messdaten: In diesem Fenster werden Ihre Eingaben zur Kontrolle nach der Frequenz absteigend sortiert angezeigt.

Das Fenster Frequenz: Hier geben Sie die gewünschte Frequenz des Messwertes an. Betätigen Sie dann die Tabulatortaste, um die Schreibmarke in das Fenster Meßwert zu positionieren.

Das Fenster Meßwert: Hier geben Sie den Meßwert (Amplitude in dB, Phase in ± 180 Grad oder ± 360 Grad, Impedanz in Ohm) ein. Die Eingabe von Amplituden-Werten sollte relativ zum Wirkungsgrad (SPL) erfolgen. Ist z.B. der Wirkungsgrad (SPL) eines Chassis 90 dB, dann wird ein Meßwert von 87 dB als -3 dB erfaßt.

Bei der Eingabe der Messdaten ist man an kein festgelegtes Frequenzraster gebunden. Alle nicht eingegebenen Zwischenwerte werden vom Programm aus den vorhandenen Werten interpoliert. Die Daten für 10 Hz und für 40 KHz sollte man allerdings eingeben. Falls man dies nicht tut werden sie wie unten beschrieben vorbelegt. Wenn Sie diesen Meßbereich nicht einhalten (Sie messen z.B. von 20 Hz bis 20 KHz) nimmt das Programm für die fehlenden Frequenzen (10 Hz bis 20 Hz und 20 KHz bis 40 KHz) die folgenden Vorbelegungen vor.

Amplitude : -99 dB

Phase : 0 Grad

Impedanz : Gleichstromwiderstand (Re)

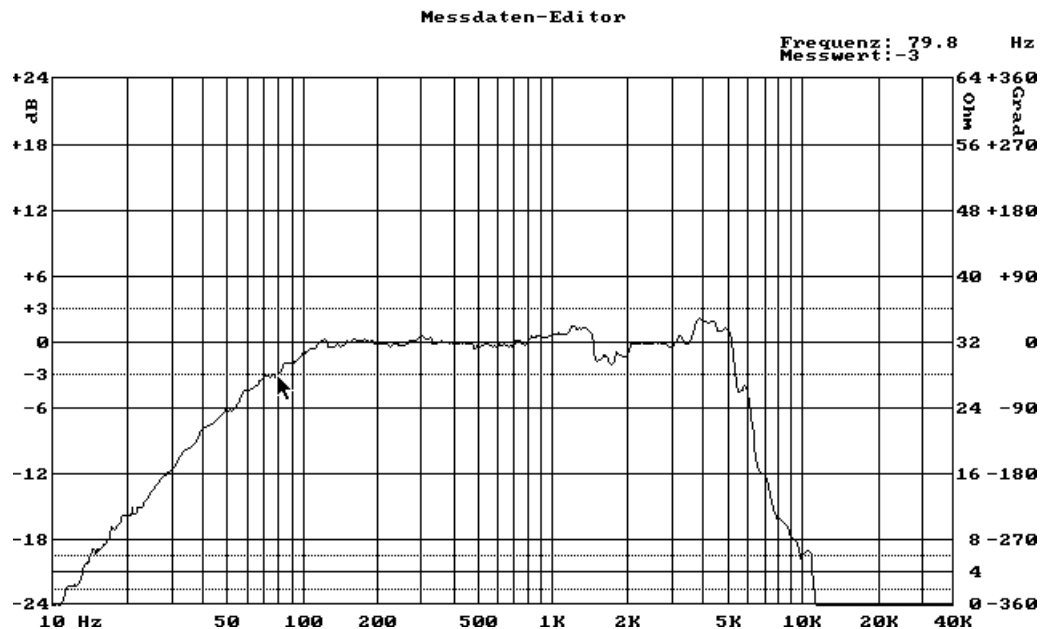
Der Menüpunkt Neu: Nach Eingabe eines Messwertes betätigen Sie einfach die Return-Taste oder klicken den Menüpunkt **<NEU>** mit der Maus an. Dadurch wird der gerade erfaßte Meßwert in das Fenster **MESSDATEN** eingetragen.

Der Menüpunkt Löschen: Klicken Sie mit der Maus den zu löschenden Meßwert an oder wählen Sie diesen mit den Cursor-Steuertasten an. Wählen Sie dann den Menüpunkt **LÖSCHEN** mit der Tabulator-Taste oder der Maus an. Der Meßwert wird aus dem Messdaten-Fenster gelöscht.

Der Menüpunkt Vorw: blättert im Fenster Messdaten eine Seite vorwärts.

Der Menüpunkt Rückw: blättert im Fenster Messdaten eine Seite zurück.

Der Menüpunkt Graph: Ihre Eingabedaten werden graphisch angezeigt. In der Graphik kann durch Klicken mit der rechten Maustaste die Frequenz und der zugehörige Meßwert angezeigt werden. Bei Amplitudenmessdaten können Sie die Kurve durch Eingabe eines entsprechenden SPL nach oben oder unten verschieben, was in der Regel aber nur bei Nachbearbeitung von mit einem Audio-Meßsystem ermittelten Kurven notwendig ist.



Der Menüpunkt Ende: Ihre Eingabedaten werden in der zuvor gewählten Datei gespeichert.

Der Menüpunkt Umbenennen: Nach Eingabe eines neuen Dateinamens werden die Meßdaten in dieser Datei gespeichert.

Der Menüpunkt Abbr: Damit *werfen Sie Ihre Eingabedaten weg*. Die ausgewählte Datei bleibt unverändert.

10 Abkürzungsverzeichnis

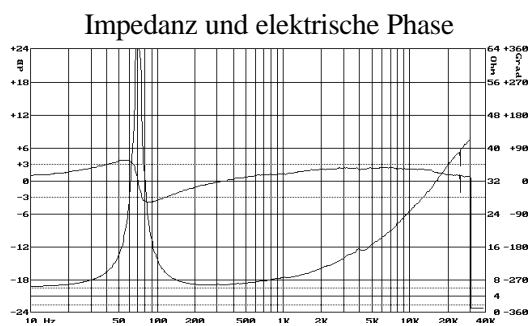
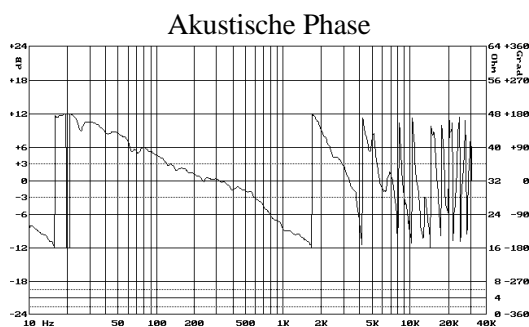
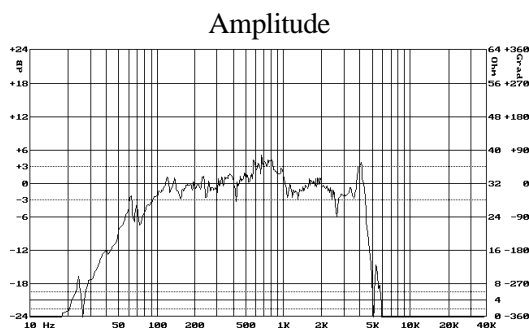
μF	Mikro-Farad (10 E-6 Farad) : Einheit der Kapazität von Kondensatoren
Bl:	Kraftfaktor in Newton/Ampere
cm	Zentimeter
Cms	Compliance in mm/Newton
EBP	Efficiency-Bandwidth-Product nach Small in Hz : Daraus kann die Eignung eines Treibers für eine bestimmte Gehäusebauart ermittelt werden. Geschlossene Gehäuse und Baßreflexboxen benötigen EBP zwischen 50 und 100 Hz. Bei guten Horntreibern sollte dieser Wert über 150 Hz liegen.
f3	Frequenz bei der die Lautstärke um 3 Dezibel unter dem Durchschnittspegel liegt
Fb	Abstimmungsfrequenz des Bassreflexkanals in Hz
fc	Resonanzfrequenz des in die Box eingebauten Lautsprechers
fs	Resonanzfrequenz des nicht eingebauten Lautsprechers in Hz
gr	Gramm
Hz	Herz (Schwingungen pro Sekunde)
l	Liter
Le	Schwingspuleninduktivität des Lautsprechers in mH
mH	Milli-Henry (10 E-3 Henry) : Einheit der Induktivität von Spulen
mm	Millimeter
Mms	Membranmasse eines Lautsprechers in Gramm
No	Referenz-Wirkungsgrad in Prozent
Qes	elektrische Güte des Lautsprechers
Ql	Gesamtgüte von Gehäuse und Bassreflexkanal (abhängig von der Boxengröße) bis 30 Liter: QL=10, bis 70 Liter: QL=7 über 70 Liter: QL=5
Qms	Mechanische Güte des Lautsprechers
Qtc	Gesamtgüte des in die Box eingebauten Lautsprechers; (0,707 anstreben)
Qts	Gütefaktor des Lautsprechers
Re	Gleichstromwiderstand des Lautsprechers in Ohm
SPL	Referenz-Schalldruck (Sound Pressure Level) in dB, bei 1 Watt Eingangsleistung in 1 Meter Abstand gemessen
Vas	Äquivalenzvolumen des Lautsprechers in Litern
Vb	Netto-Innenvolumen der Box in Litern

Hier wird die Entwicklung einer Frequenzweiche für ein Zweiwegesystem beschrieben. Vor der Weichenkonstruktion wurden die Lautsprecher ohne Weiche in das Gehäuse eingebaut und so beschaltet, daß sie einzeln von außen angesteuert werden können. Das Messmikro wurde in ca. 30 cm Abstand kurz unterhalb der Hochtönermembran platziert. Wichtig dabei ist, daß die Mikrofonposition während der ganzen Messreihe nicht verändert wird und beim Einlesen der Daten in AudioCad der Wert **SPL** und der **0 dB-Pegel** für beide Lautsprecher gleich angegeben wird. Bei dieser Vorgehensweise benötigt man die Angabe der akustischen Zentren der einzelnen Treiber nicht, da sie durch die Messung mit gleichbleibendem Mikrofonstandort automatisch mit eingehen!

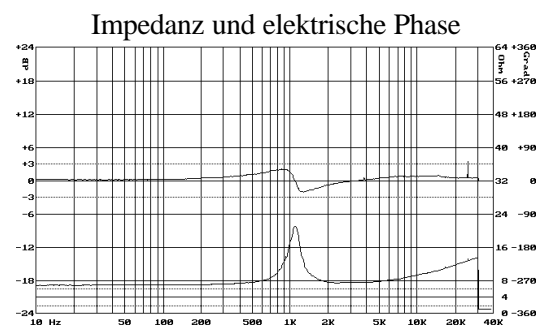
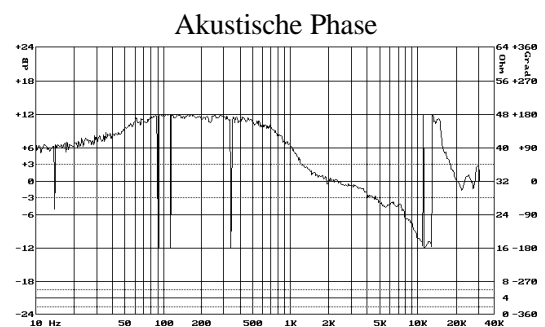
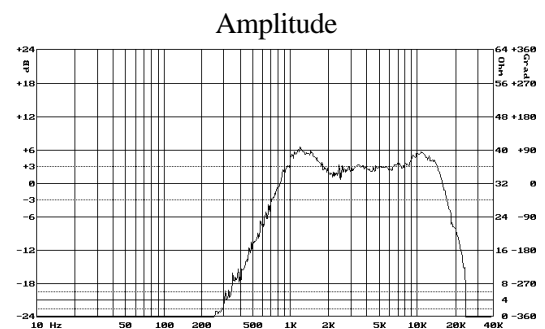
Anmerkung zum Mikrofonstandort: Da der Autor nicht über einen reflektionsarmen Raum verfügt (was er wohl mit den meisten AudioCad-Usern gemeinsam haben dürfte) mußte der Mikrofonstandort bei der Messung empirisch ermittelt werden. Es kommen alle die Standorte in Frage, bei denen die akustischen Phasenmessdaten beider Lautsprecher einigermaßen plausibel sind. Im Übertragungsbereich eines Lautsprechers (siehe unten) dürfen bei der Messung keine großen Phasensprünge auftreten. Das Ganze muß aber auch nicht übertrieben werden: Phasensprünge außerhalb des Übertragungsbereichs eines Chassis spielen keine große Rolle, da hier sowieso kein nennenswerter Schall mehr übertragen wird.

Es wurden folgende Daten gemessen:

Messdaten des Tieftöners



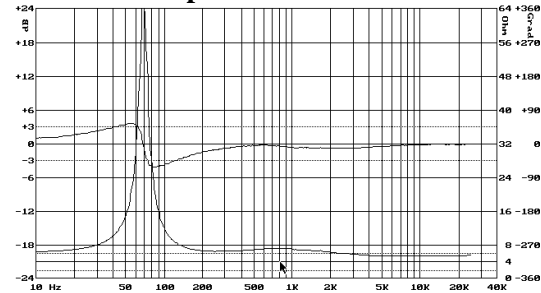
Messdaten des Hochtöners



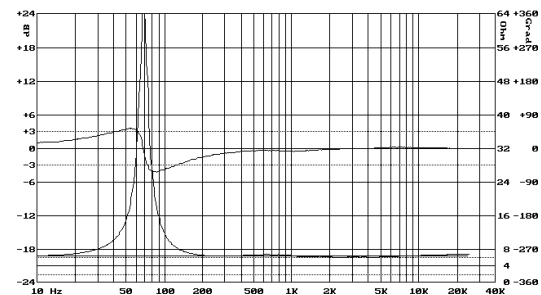
Die beiden Treiber werden jetzt für die Berechnung initialisiert (In der Datenbankmaske den jeweiligen Treiber auswählen, die Maske über **Ende** verlassen und die darauffolgenden Fragen mit **<Ja>** bestätigen) und die Frequenzweichensimulation wird aufgerufen.

Rufen Sie jetzt im Menü Bearbeiten den Menüpunkt **Impedanzentzerrung und Pegelabsenkung** auf. Klicken Sie den Tieftöner und **<OK>** an. Das Programm zeigt jetzt obige Messdaten des Tieftöners. Durch An- und Abschalten der jeweiligen Kurvenverläufe und Klick auf die Box **Anzeigen** können Sie diese einzeln betrachten, was sehr zur Übersicht beiträgt. Beim Tieftöner stört jetzt der zu hohen Frequenzen hin ansteigende Impedanzverlauf. Verlassen Sie deshalb jetzt die Graphik und rufen die Impedanzentzerrung nochmals auf, wobei Sie wieder den Tieftöner markieren und **RC-Glied** sowie **<OK>** anklicken. Es zeigt sich jetzt folgendes Bild:

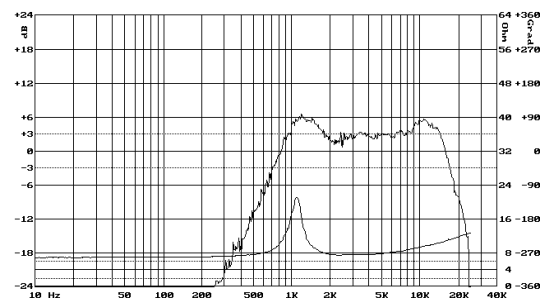
Entzerrter Impedanzverlauf des Tieftöners



Das stellt Sie natürlich nicht zufrieden, da die Entzerrung noch nicht besonders gut ausgefallen ist (siehe Pfeil). Optimieren Sie deshalb den Impedanzverlauf des Tieftöners wie oben beschrieben. Nach der Optimierung zeigt sich folgendes Ergebnis:

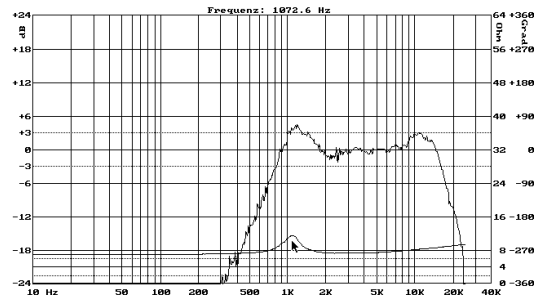


Als nächstes entzerren Sie die Impedanz des Hochtöners. Die Amplituden- und Impedanz-Messdaten zeigen sich wie folgt:

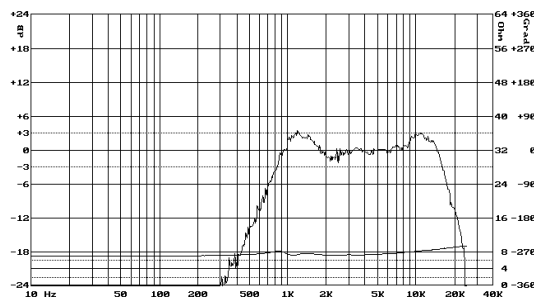


Hier fällt auf, daß der Hochtöner einen um ca. 3 dB höheren Schalldruck als der Tieftöner hat. Wählen Sie deshalb zunächst einmal ☐ **Pegelabsenkung** an und geben Sie im Eingabefeld **-dB** 3 ein, wobei es dem Programm „egal ist“, ob Sie diesen Wert positiv oder negativ angeben. Vergessen Sie nicht, den Hochtöner in der Auswahlbox zu markieren. Sonst führen Sie das Ganze für den Tieftöner durch und überschreiben sich die gerade optimierten Daten!

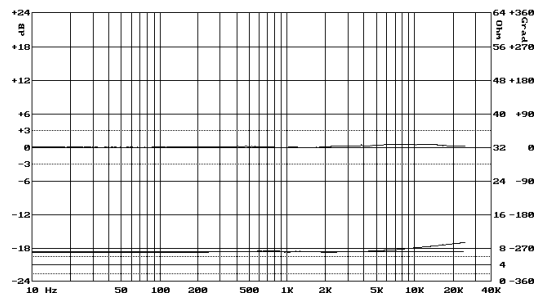
Nach der Pegelabsenkung sehen Amplitude und Impedanz des Hochtöners wie folgt aus



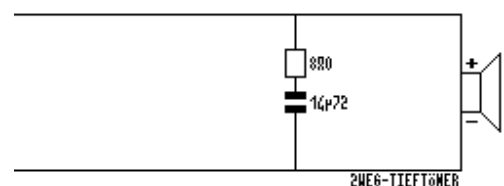
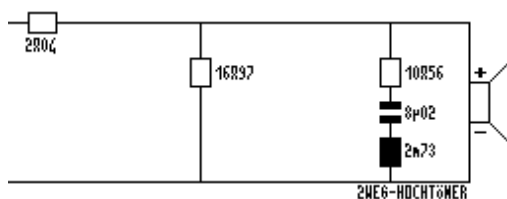
Der Impedanzbuckel bei ca. 1100 Hz stört noch etwas. Sie rufen deshalb die Entzerrung nochmals auf, markieren den Hochtöner, **RCL-Glied**, ☐ **Pegelabsenkung** und geben im Feld **-dB** nochmals 3 ein. Das Ergebnis:



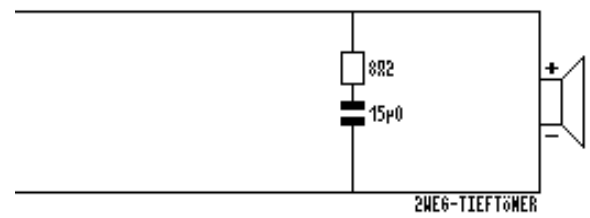
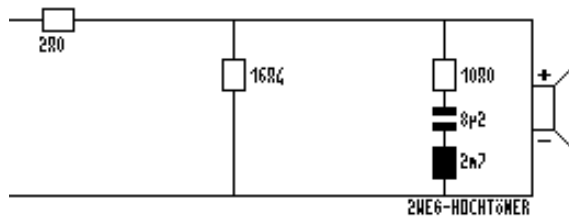
Da Sie ein Perfektionist sind lassen Sie das RCL-Glied jetzt noch optimieren, was zu folgendem Impedanzverlauf führt:



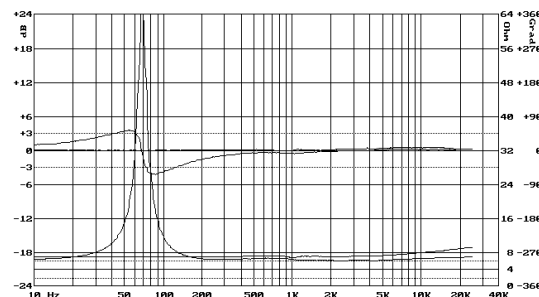
Das Schaltbild sieht jetzt so aus



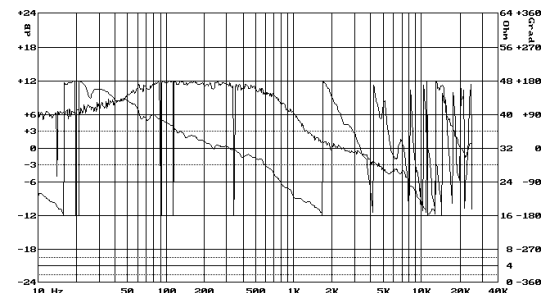
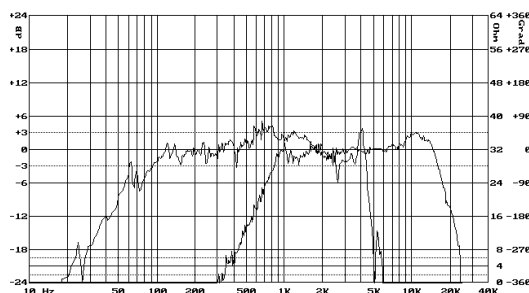
Da die Bauteilwerte nicht handelsüblich sind verändern Sie diese auf die unten gezeigten. Dabei können Werte durch Verwendung mehrerer Einzelwerte zusammengesetzt (Widerstände hintereinander-, Kondensatoren parallelschalten) werden:



Die sich durch die Veränderung ergebenden Kurvenverläufe sehen Sie sich jetzt mit dem Menüpunkt **Simulation Weichenzweige** im Menü **Simulation** an.

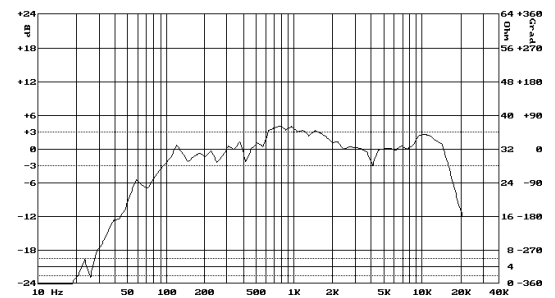
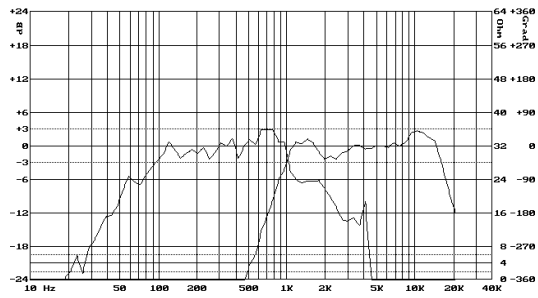


Dargestellt wurden hier nur die Impedanz- und elektrischen Phasenverläufe. Sie können selbstverständlich aber auch die Amplituden- und akustischen Phasen anschauen.



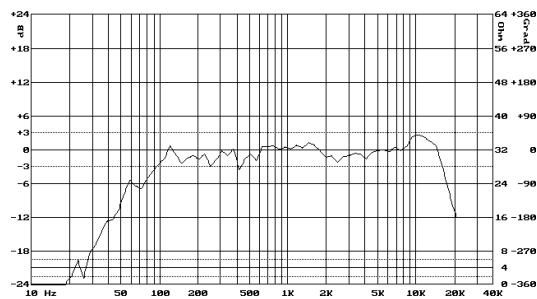
Damit ist die Impedanzentzerrung und Pegelabsenkung abgeschlossen. Das Ganze erledigt ein geübter Benutzer in ca. 5 Minuten. Wenden Sie sich jetzt der eigentlichen Weiche, sprich den Hoch- und Tiefpässen der Weiche zu.

Die an dieser Stelle konstruierte Box wird beim Autor an einem Stereo-Fernseher mit 2 mal 20 Watt-Endstufe betrieben, muß demnach nicht besonders pegelfest sein, soll aber einen linearen Übertragungsbereich aufweisen. Untere diesen Voraussetzungen kann für den Hochtöner eine sehr tiefe Trennfrequenz gewählt werden, ohne daß dieser die Gefahr läuft Schaden zu nehmen. Sollte diese Box an einer stärkeren Endstufe mit größeren Pegeln betrieben werden ist dies nicht angeraten! Als Frequenzweichentopologie wird deshalb eine einfache 6 dB - Schaltung gewählt. Starten Sie den Menüpunkt **Trennfrequenzen** im Menü **Bearbeiten** und geben Sie als Trennfrequenz des Tieftöners z.B. 1000 (Hz), als Flanke **<6 db>**, und als Charakteristik **<Butterworth>** vor. Wiederholen Sie selbiges für den Hochtöner und schauen Sie sich Simulation Weichenzweige an.

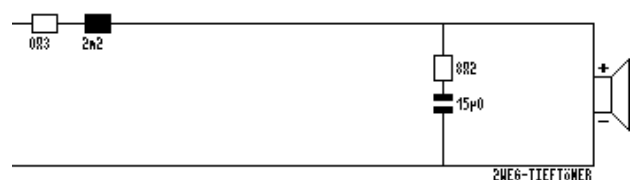
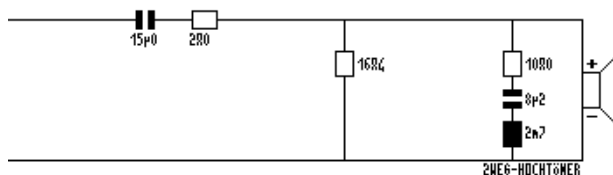


Nun gehen Sie an die Amplitudenoptimierung. Wählen Sie den Menüpunkt Optimierung im Menü Optimierung an, klicken Sie auf **<Amplitude>**, () **Linearer Amplitudenverlauf**, **<Alle Treiber>**, markieren Sie den Frequenzbereich von ca. 500 bis ca. 8000 Hz und klicken Sie im Weichenschaltbild den Kondensator (Hochpass des Hochtöners) und die Spule (Tiefpass des Tieftöners) an.

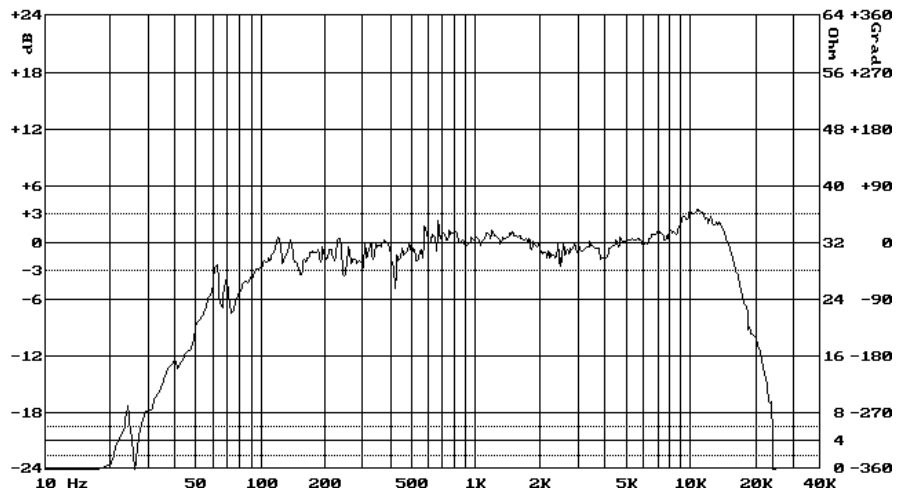
Die Optimierung startet jetzt und bringt nach kurzer Zeit folgendes Ergebnis.



Jetzt rufen Sie das Weichenschaltbild auf und verändern die Bauteilwerte wie folgt.



Damit ist die Frequenzweichenkonstruktion abgeschlossen. Speichern Sie diese als Projekt und drucken Sie die Ergebnisse aus. Zum Abschluß wird hier noch der Amplitudenverlauf obigen Systems in hoher Auflösung (512 Simulationspunkte je Kurve) dargestellt.



Die Messdaten der Einzeltreiber im Gehäuse sind in Ihrer Datenbank enthalten.

Auf geht's - starten Sie Ihren PC und machen Sie es besser!

Inhaltsverzeichnis

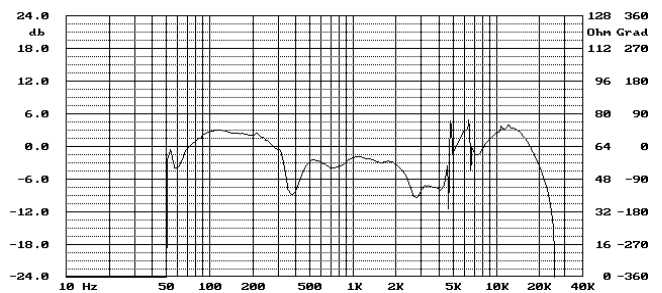
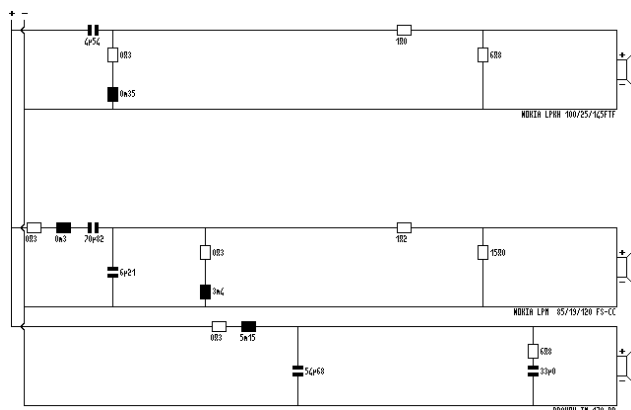
1	AMPLITUDEN-OPTIMIERUNG.....	2
1.1	ZIELFUNKTION LINEARER AMPLITUDENVERLAUF	2
1.2	ZIELFUNKTION AMPLITUDENVERLAUF AUS MESSDATENEDITOR	5
1.3	ZIELFUNKTION AMPLITUDENVERLAUF NACH SIMULATION IDEAL	6
2	IMPEDANZOPTIMIERUNG	7
2.1	ZIELFUNKTION LINEARER IMPEDANZVERLAUF.....	7
2.2	ZIELFUNKTION IMPEDANZVERLAUF AUS MESSDATENEDITOR.....	7
3	BEISPIEL: KOMPLETTE IMPEDANZENTZERRUNG EINES MITTELTÖNERS.....	8
4	BEISPIEL: ÜBER-ALLES-IMPEDANZLINEARISIERUNG EINER KOMPLETTEN BOX.....	11
5	BEISPIEL: SIMULATION VON ERSATZSCHALTBILDERN	16

1 Amplituden-Optimierung

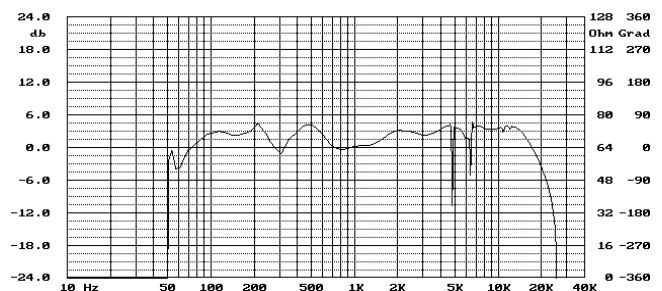
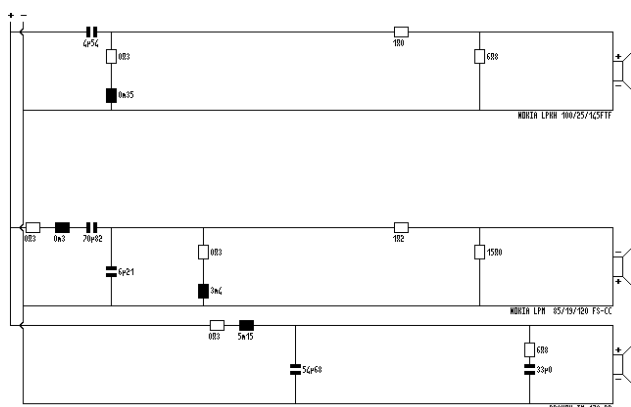
1.1 Zielfunktion Linearer Amplitudenverlauf

Ein linearer Amplitudenverlauf ist wohl das Ziel jeder Lautsprecherentwicklung. Vor dem Start des Amplitudenoptimierers mit dem Ziel eines linearen Amplitudenverlaufs müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

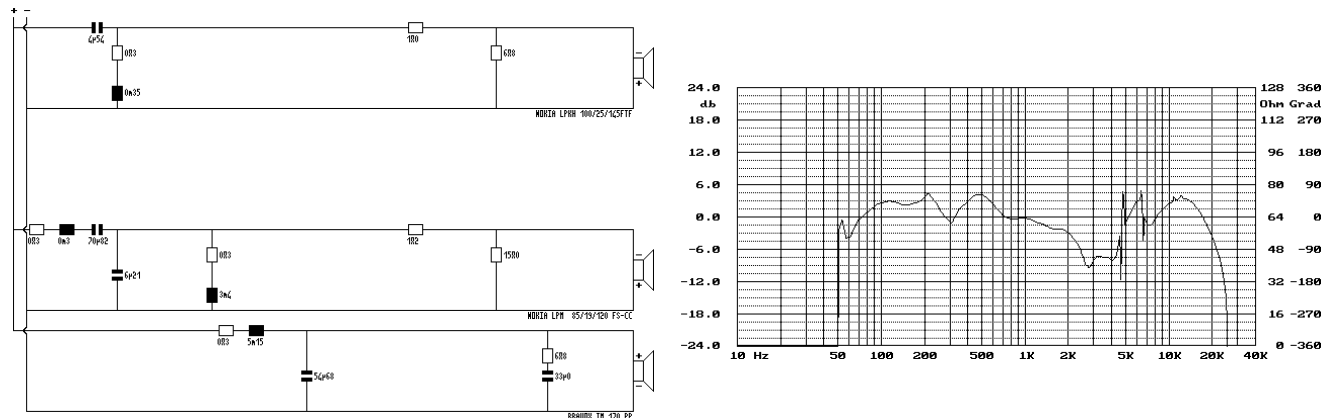
- Die Entzerrung der einzelnen Weichenzweige mittels RC- und/oder RCL-Gliedern sollte vorgenommen sein.
- Eventuell notwendige Spannungsteiler für Mittel- oder Hochtöner sollten eingebunden sein.
- Die Polarität der einzelnen Lautsprecher des Systems muß korrekt sein, so daß es nicht zu Amplitudenausschlägungen durch verkehrte Phasenlagen kommt. Diese kann man experimentell wie folgt ermitteln: Der Baß wird immer positiv gepolt, d.h. im Frequenzweichenschaltbild ist das + oben. Die restlichen Lautsprecher werden zunächst auch positiv gepolt. Jetzt lässt man sich die Ausgangswerte der Weichenschaltung durch den Menüpunkt **Trennfrequenzen** im Menü **Bearbeiten** berechnen und wählt dann im Menü **Simulation** den Menüpunkt **Simulation Weichenzeige** und dann **Simulation Summenkurve** an. Nun schaut man sich den Übergangsbereich von Baß- zu Mitteltöner an oder druckt ihn aus.



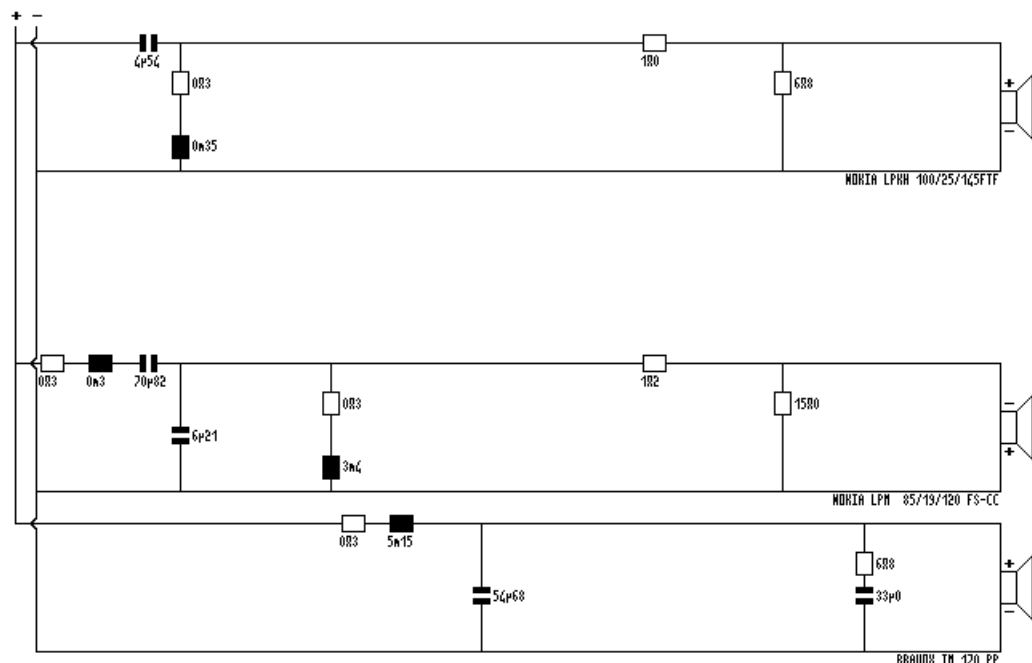
Im nächsten Zug wird die Polarität des Mitteltöners umgedreht. Man lässt wieder die Amplituden-Summenkurve anzeigen und vergleicht die zwei Amplitudenverläufe.



Wie man unschwer feststellen kann ist die zweite Variante (Mitteltöner verpolt) die korrekte. Nun wiederholt man diese Vorgehensweise für den Hochtöner.



Wie man feststellen kann führt die Verpolung des Hochtöners im Beispiel zu einer Phasenauslöschung. Die korrekte Polarität stellt sich demnach wie folgt dar:

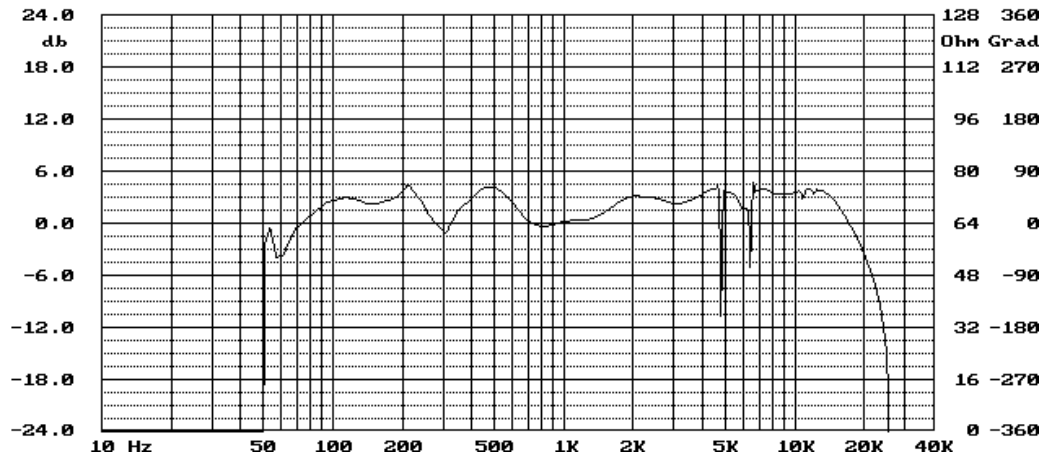


- Die einzelnen Weichenzweige sollten zuvor mit der Zielfunktion **Amplitudenverlauf nach Simulation Ideal** bzw. **sinngemäß nach Amplitudenverlauf aus Messdateneditor** (siehe unten) optimiert worden sein. Dies ist insbesondere bei 3- oder Mehrwegesystemen wichtig, da der Optimierer ansonsten in der Regel zu absolut irrelevanten Trennfrequenzen kommt. Bei Dreiwegesystemen kann es, wenn man diesen Schritt auspart, sogar dazu kommen, daß der Mitteltöner „ausgeblendet“ wird.

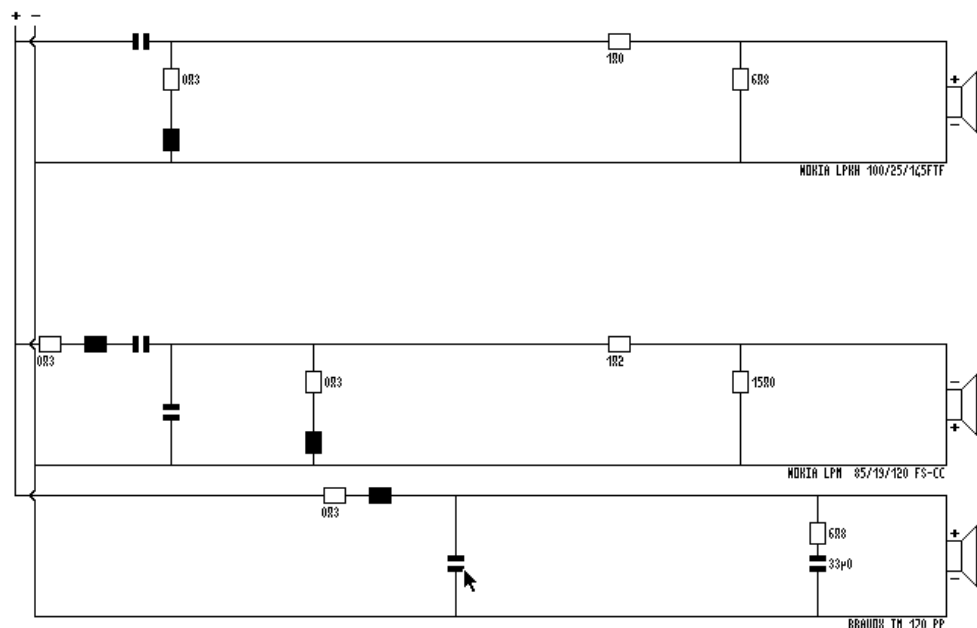
So, nun genug der Voraussetzungen - jetzt geht es an die Optimierung. Nach Anklicken der **Option () Linearer Amplitudenverlauf** fragt das Programm welche Weichenzweige optimiert werden sollen. Wählen Sie hier **< Alle Treiber >** an.

Daraufhin erscheint eine Eingabebox, in der das Programm die Amplitudenhöhe wissen möchte, nach der es optimieren soll. Die Eingabe **0** bezeichnet die Null-dB-Linie der Graphik, welche dem SPL der Tieftöners entspricht. Sie können selbstverständlich auch auf einen geringeren (z.B. -3 dB) oder höheren Pegel optimieren lassen.

Jetzt simuliert das Programm den aktuellen Amplitudenverlauf und zeigt ihn zusammen mit der Zielfunktion (rot) an.



Wie man hier feststellen kann ist die Zielfunktion **0 dB** in diesem Fall nicht der Weisheit letzter Schluß, da die Übertragungsfunktion schon um einiges über der Null-dB-Linie liegt. In obigem Fall wäre eine Amplitudenzielfunktion von ca. +2 dB angebracht. Die Vorgehensweise wird demnach nochmals wiederholt (die schon gestartete Optimierung kann man schnell beenden, wenn man im folgenden Weichenschaltbild kein Bauelement markiert.) und 2 dB als Zielfunktion eingegeben. In obiger Graphik wird jetzt der Frequenzbereich zwischen 100 und 8000 Hz markiert. Jetzt erscheint das Weichenschaltbild.



Hier markiert man die Bauelemente, die der Optimierer verändern soll. Alle markierten Bauelemente werden rot dargestellt und der Wert des Bauelements wird ausgeblendet. Beachten sollte man dabei, daß man die den ohmschen Innenwiderstand der Induktivitäten repräsentierenden Widerstände nicht in die Optimierung mit einbezieht. Genauso sollten selbstverständlich Spannungsteiler, RC- und RCL-Glieder nicht mit optimiert werden. Falls ein Weichenzweig vom Optimierer nicht verändert werden soll markiert man einfach kein Bauelement in diesem.

Zum Abschluß fragt das Programm noch nach der Simulationsgenauigkeit. Geben Sie 1 (sehr genau, lange Rechenzeit), 2, 4 oder 8 (grob, kurze Rechenzeit) ein. Nach dem Start der Optimierung können Sie diese jederzeit durch die Taste **F9** abbrechen. Das Ergebnis ist dann das bis dato ermittelte Optimum.

1.2 Zielfunktion Amplitudenverlauf aus Messdateneditor

Diese Zielfunktion besteht aus einer Datei im AudioCad-Format. Sie kann wie folgt erstellt werden.

- Messen eines Amplitudenverlaufs mit einem Audio-Meßsystem und Konvertierung in das AudioCad-Format mit dem Programm Audio-Meßsystem-Schnittstellen.

Diese Anwendung ist sehr theoretisch. Es wird dem Optimierer kaum gelingen, einen vorhandenen Mehrwege-Lautsprecher „nachzubauen“, dazu fehlt ihm die Intelligenz, die ein Computer nun mal nicht hat. Es klappt höchstens, wenn man einen einzelnen Lautsprecher, der mit einer einfachen Weiche (6- oder 12 dB) beschaltet ist simuliert.

- Erfassen eines Amplitudenverlaufs mit dem Messdateneditor.

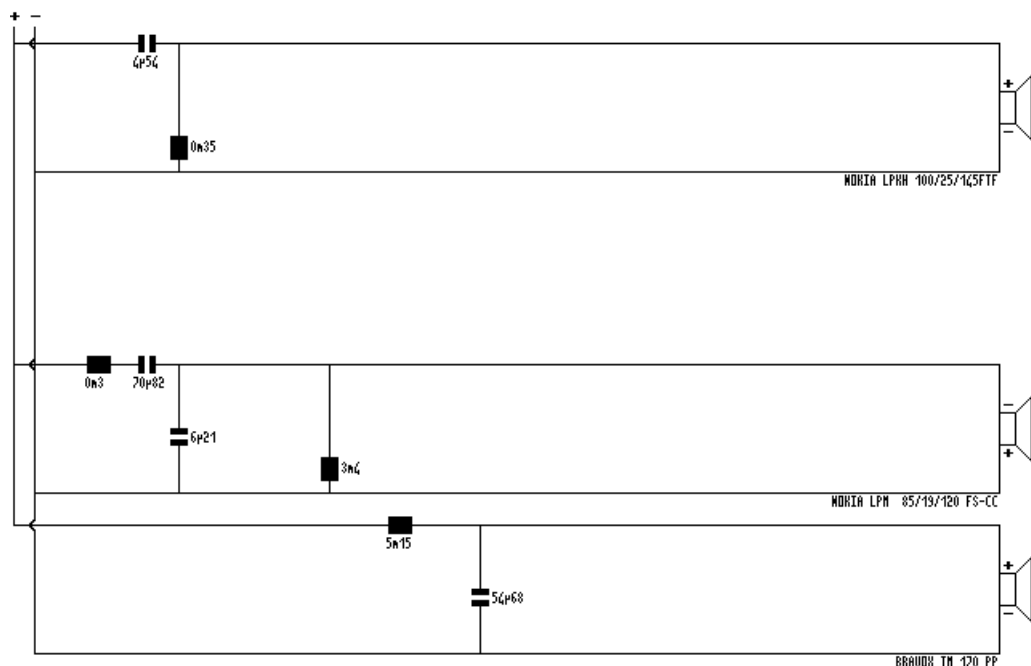
Siehe oben.

- Simulieren eines idealen Amplitudenverlaufs mit AudioCad und exportieren desselben.

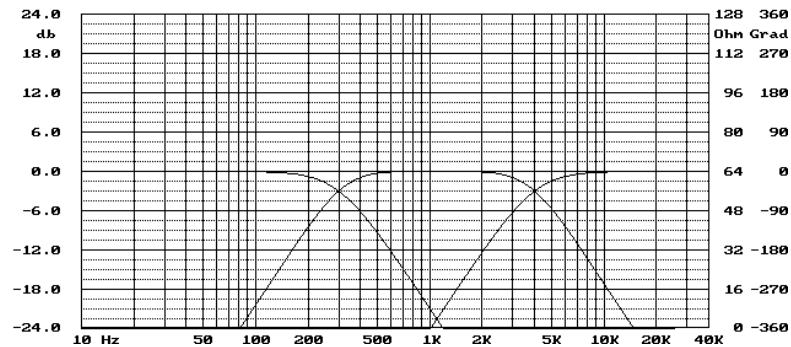
Dies ist die wichtigste Anwendung. Die Optimierung nach **Simulation Ideal** (siehe unten) klappt nämlich nicht mehr, sobald man in einen Weichenzweig einen Spannungsteiler eingefügt hat oder z.B. die 0 dB-Linie eines Mittel- oder Hochtöners über der 0 dB-Linie des Tieftöners liegt. Durch die folgende Vorgehensweise kann man eine Zielfunktion **Simulation Ideal** abspeichern.

- Vor dem Aufruf der Frequenzweichensimulation wird ein Projekt gespeichert.

- Nun ruft man die FW-Simulation auf und berechnet mit dem Menüpunkt **Trennfrequenzen** im Menü **Bearbeiten** die gewünschte Weichentopologie. Die korrekte Polarität der einzelnen Treiber spielt hier noch keine Rolle. In dem Beispiel wurden die Widerstände vor den Spulen manuell entfernt.



- Jetzt wählt man im Menü **Simulation** den Menüpunkt **Simulation Ideal** an.



Dies sind jetzt die Zielfunktionen, nach denen die einzelnen Weichenzweige später optimiert werden sollen. Man speichert sie wie folgt auf Festplatte.

- Zunächst wählt man den Menüpunkt **Simulation Summenkurve** im Menü **Simulation** an. Das Ergebnis ist uninteressant, aber diese Funktion schaltet den Menüpunkt **Export** im Menü **Simulation** frei.

- Nun ruft man den Menüpunkt **Export** im Menü **Simulation** auf.

Hier markiert man nun den Tieftöner, Amplitude (ak. Phase, Impedanz und elektrische Phase werden nicht benötigt), **FW-Simulation Weichenzweige** und trägt in der Eingabebox einen Dateinamen, z.B. **TT**, ein. Das Anklicken von **<OK>** speichert die Kurve. Das Ganze wiederholt man für Mittel- und Hochtöner. **Jetzt hat man die Zielfunktionen zur Optimierung der einzelnen Weichenzweige auf Festplatte gespeichert und kann an die Entwicklung der Weiche gehen.** Dazu verlässt man das Hauptprogramm kurz und lädt das zuvor gespeicherte Projekt (siehe oben) wieder.

1.3 Zielfunktion Amplitudenverlauf nach Simulation Ideal

Diese Funktion ist nur sinnvoll nutzbar wenn alle Treiber des Gesamtsystems den gleichen Wirkungsgrad haben und keine Spannungsteiler im Weichenschaltbild enthalten sind. Zur Fixierung von Zielfunktionen gehen Sie wie oben beschrieben vor.

2 Impedanzoptimierung

2.1 Zielfunktion Linearer Impedanzverlauf

Diese Funktion wird zur Optimierung von RC- und RCL-Gliedern verwendet. Als Impedanz gibt man sinnvollerweise den Gleichstromwiderstand des jeweiligen Treibers vor.

2.2 Zielfunktion Impedanzverlauf aus Messdateneditor

Wie bei der Amplitudenoptimierung kann diese Zielfunktion wie folgt definiert werden:

- Messen eines Impedanzverlaufs mit einem Audio-Meßsystem und Konvertierung in das AudioCad-Format mit dem Programm Audio-Meßsystem-Schnittstellen.

Anwendungen:

- Messen eines Treibers und empirische Ermittlung eines Impedanz-Ersatzschaltbilds
- Nachvollziehen einer Weichenschaltung, deren Topologie, aber nicht deren Bauteilewerte bekannt sind. Das funktioniert zwar mit einfachen Schaltungen - man kann die Bauteile aber auch einfach ausmessen!

- Erfassen eines Impedanzverlaufs mit dem Messdateneditor.

Anwendung: sehr theoretisch - der Autor hat das selbst noch nie benötigt.

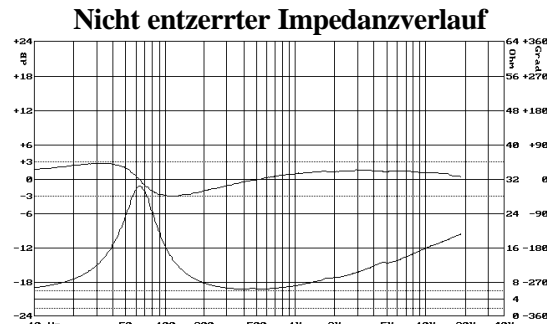
- Simulieren eines idealen Impedanzverlaufs mit AudioCad und exportieren desselben.

Anwendung: ebenfalls sehr theoretisch

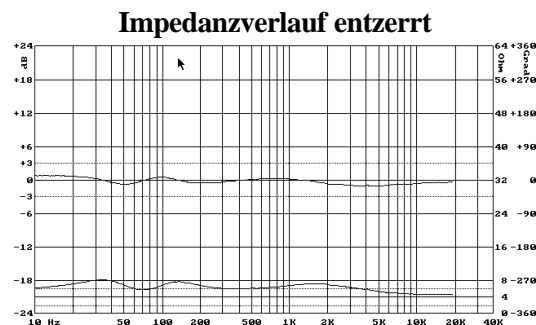
Im Menü **Datenbank** des Hauptmenüs gibt es ebenfalls einen Menüpunkt **Export**. Mit diesem kann man unter anderem die Simulation der Messdaten aus den Thiele/Small-Parametern als Datei abspeichern. Diese simulierten Daten kann man dann durch Start des Optimierers und Auswahl obiger Datei in einer Graphik vergleichen. Praktisch brauchbar ist das aber eigentlich nicht.

3 Beispiel: Komplette Impedanzentzerrung eines Mitteltöners

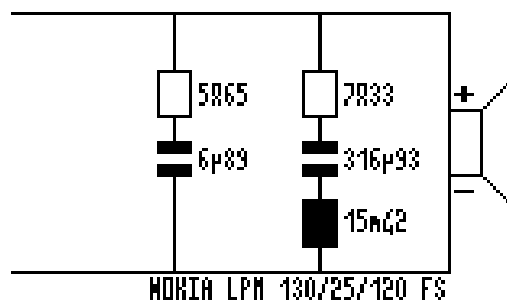
Hier wird die Entzerrung der Grundresonanz und die des induktiven Impedanzanstiegs eines Mitteltöners beschrieben. Die folgenden Graphiken zeigen jeweils die Impedanz und die Elektrische Phase. Es stellt sich die folgende Ausgangssituation:



Nach Berechnung der Impedanzkorrekturschaltung (RC- und RCL-Glied) mit Hilfe des Menüpunkts **Impedanzentzerrung & Pegelabsenkung** im Menü **Bearbeiten** zeigt sich der Impedanzverlauf wie folgt:



Schaltbild

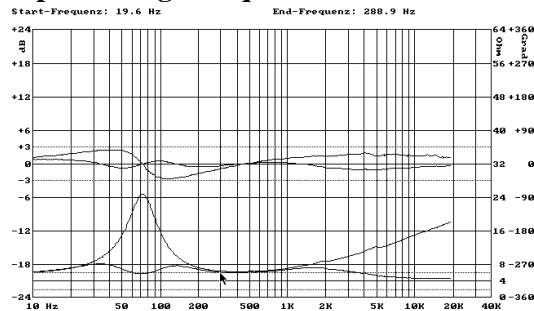


Jetzt starten Sie den Menüpunkt **Optimierung** im Menü **Optimierung**. Das Programm fragt nach der Optimierungsart. Sie wählen **<Impedanz>** an. Im nächsten Auswahlfenster markieren Sie den Mitteltöner. Als Optimierungszielfunktion klicken Sie im nächsten Fenster () **Linearer Impedanzverlauf** an. Im darauffolgenden Eingabefeld geben Sie den Impedanzwert vor, auf den optimiert werden soll. Dies ist üblicherweise der Gleichstromwiderstand des Treibers, der auch vorbelegt wird.

Jetzt erscheint eine Graphik, in der Sie den Frequenzbereich für die Optimierung mit der rechten Maustaste markieren. Zur besseren Erkennung der relevanten Bereiche werden zusätzlich zum aktuellen Impedanz- und elektrischem Phasenverlauf die nicht entzerrten Kurven grau angezeigt.

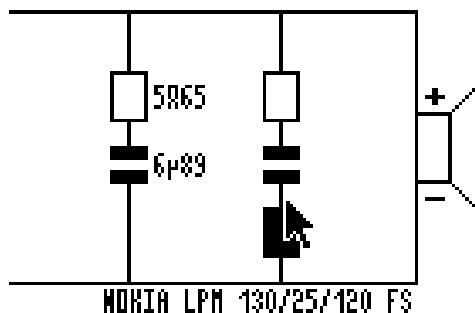
Da Sie zunächst das RCL-Glied optimieren möchten wählen Sie den Frequenzbereich von 20 bis 300 Herz.

Optimierungs-Frequenzbereich markieren



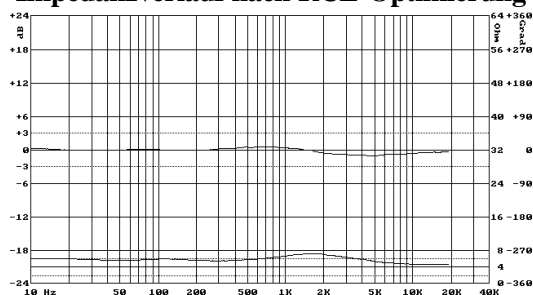
Im jetzt erscheinenden Weichenschaltbild klicken Sie sämtliche Bauteile des RCL-Glieds an. Die markierten Bauelemente werden rot dargestellt und der Wert verschwindet. Alle nicht markierten Bauelemente werden vom Optimierer nicht verändert!

Markieren Bauelemente

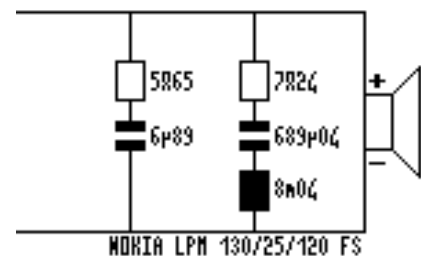


Nach Anklicken der Schaltfläche **Ende** fragt das Programm noch nach der Simulationsgenauigkeit. Bei Eingabe von 8 werden 64, bei 4 werden 128, bei 2 werden 256 und bei 1 werden 512 Punkte je Kurve simuliert. Eine Optimierung mit 64 Punkten hat schon eine so gute Genauigkeit, daß sich die wesentlich längerer Rechenzeit für die höheren Auflösungen in der Regel nicht lohnt. Behalten Sie deshalb die Vorbelegung bei und klicken Sie auf **<OK>** oder betätigen Sie die Return-Taste. Die Optimierung wird jetzt gestartet. Zunächst wird die Summe der Fehlerquadrate der Ausgangssituation angezeigt. Diese ist ein Maß für den Grad der Optimierung. Nach Abschluß der Optimierung sollte diese Zahl möglichst klein sein. Der Wert Null wird in aller Regel aber nie erreicht! Wenn der Optimierer Fertig ist zeigt er die Summe der Fehlerquadrate in einer Messbox an. Bestätigen Sie durch Anklicken von **<OK>**. Jetzt zeigt sich der Impedanzverlauf wie folgt:

Impedanzverlauf nach RCL-Optimierung



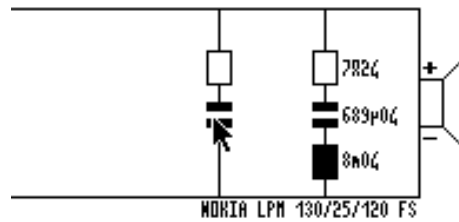
Schaltbild



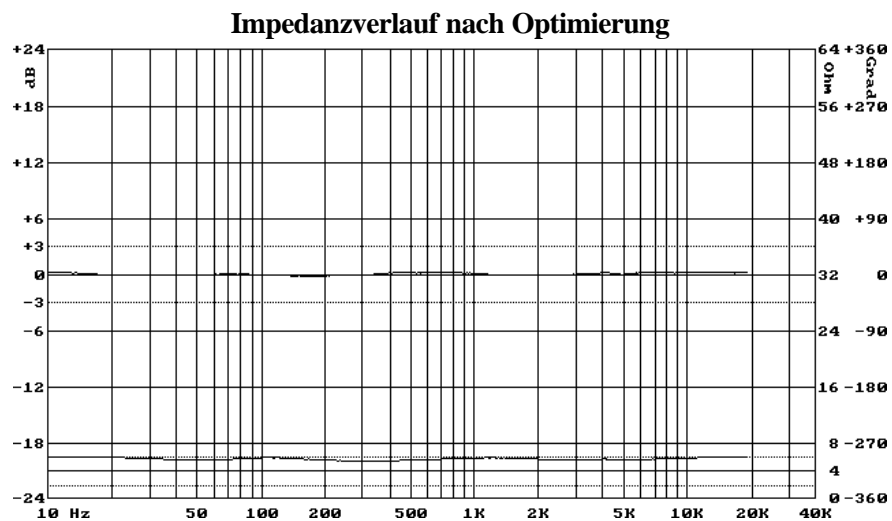
Im nächsten Schritt optimieren Sie das RC-Glied. Im folgenden wird dazu nur die von obigem Ablauf abweichenden Bedienungsschritte dargestellt.

Wahl des Frequenzbereichs: Markieren Sie zur RC-Optimierung den Bereich von ca. 400 bis 15000 Hz.

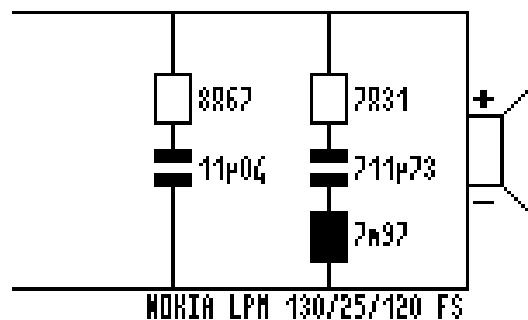
Markierung der Bauelemente: Markieren Sie den Widerstand und den Kondensator des RC-Glieds



Nach Beendigung der Optimierung zeigt sich der folgende Impedanzverlauf:



Die zugehörige Schaltung:

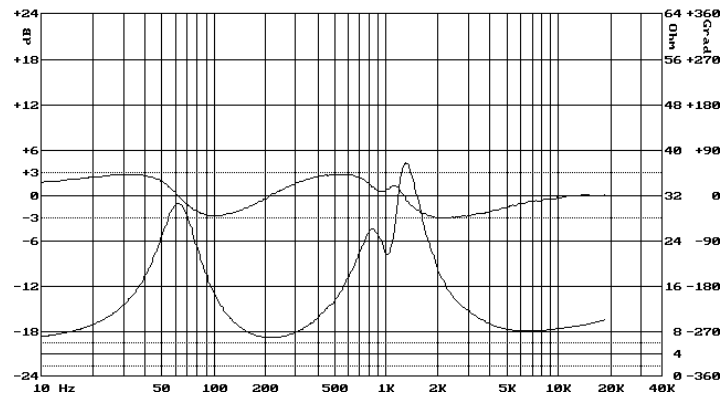


Die durch den Optimierer ermittelten Bauteilwerte sind üblicherweise nicht am Markt verfügbar. Sie können jetzt im Frequenzweichenschaltbild noch die Bauteilwerte entsprechend abändern und z.B. die Spule nochmals auf die veränderten Bauteile hin optimieren lassen, da Induktivitäten durch Abwickeln auf jeden beliebigen Wert konfektionierbar sind. Die benötigten Widerstände und Kondensatoren kann man durch Zusammensetzung mehrerer kleinerer Werte (Widerstände hintereinander-, Kondensatoren parallelschalten) zusammenbauen.

Das Ganze liest sich äußerst umständlich und langwierig. Mit ein bißchen Übung schafft man diese Vorgehensweise auf einem 80486-PC aber in ca. 2 Minuten - und dafür kann sich das erzielte Ergebnis ja schon sehen lassen.

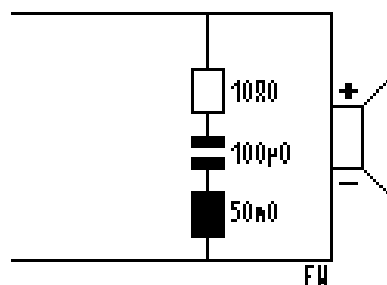
4 Beispiel: Über-Alles-Impedanzlinearisierung einer kompletten Box

Preiswerte Verstärker und auch (teure) Röhrenendstufen haben üblicherweise Probleme mit über den Frequenzbereich wechselnden Impedanzen und Phasenwinkeln. Dem kann durch eine nachträgliche Impedanzlinearisierung der kompletten Box incl. Frequenzweiche abgeholfen werden. Im Beispiel wird eine geschlossene Zweiwegebox mit Hilfe des Impedanzoptimierers entzerrt. Die resultierende Schaltung kann auch außerhalb des Gehäuses auf einer kleinen Platine aufgebaut werden und ist auf der Eingangsseite mit den Lautsprecherkabeln, auf der Ausgangsseite mit den Polklemmen der Box zu verbinden. Die Impedanz- und elektrischen Phasenmessdaten der Box zeigen sich wie folgt:

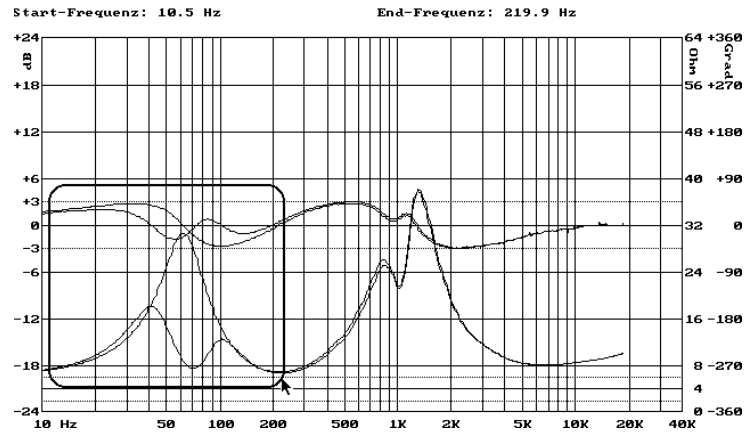


Die Daten können mit einem Audio-Meßsystem gemessen werden oder, wenn die Frequenzweiche mit AudioCad konstruiert wurde mit Hilfe des Menüpunkts **Export** im Menü **Simulation** der Frequenzweichensimulation (☐ **Impedanz**, ☐ **el.Phase**, ☐ **FW-Simulation: Summenkurven** anklicken und Dateinamen eingeben) erzeugt werden. Im folgenden legen Sie dann in der Lautsprecherdatenbank einen Pseudo-Treiber an, der für die komplette Box steht. Zu diesem Treiber lesen Sie die Messdaten ein und initialisieren ihn für die weiteren Berechnungen als Tieftöner.

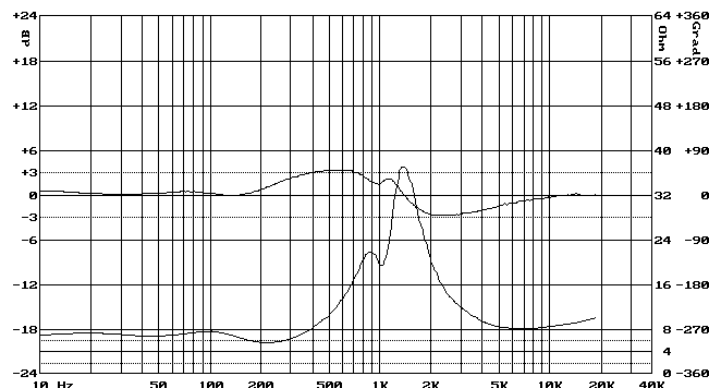
Dann rufen Sie die FW-Simulation auf und lassen das Frequenzweichenschaltbild anzeigen. Klicken Sie hier auf die Schaltfläche **Einblenden**. Jetzt tragen Sie ein RCL-Glied ein, wobei Sie z.B. folgende Werte vorbelegen: R: 10 Ohm, C: 100 MikroFarad, L: 50 Millihenry. Als nächstes klicken Sie dann auf Ausblenden. Das Schaltbild sollte jetzt so aussehen:



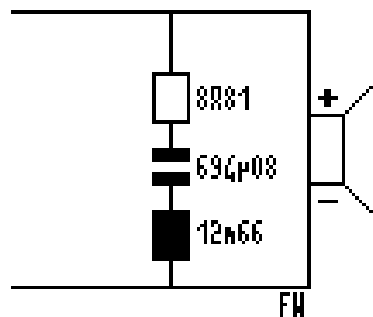
Dann gehen Sie wie oben beschrieben in die Impedanzoptimierung, geben als Zielfunktion einen linearen Impedanzverlauf von im Beispiel 7 Ohm ein und markieren den ersten Impedanzhöcker der Originalkurve (grau), wie folgendes Bild zeigt:



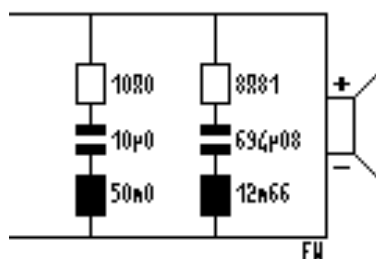
Markieren Sie im Weichenschaltbild alle Bauelemente des RCL-Glieds. Die nachfolgende Optimierung bringt das Ergebnis:



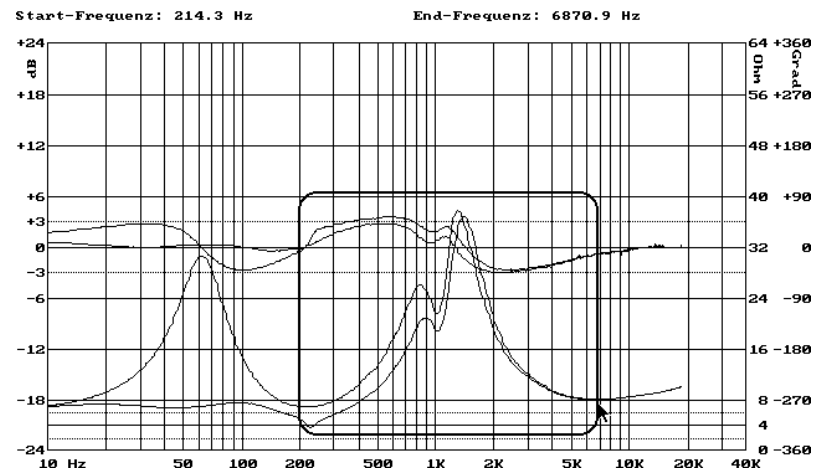
Der erste 'Höcker' ist jetzt verschwunden. Das Schaltbild der Entzerrung sieht so aus:



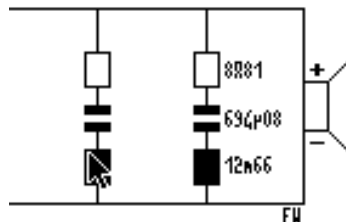
Im Weichenschaltbild fügen Sie jetzt ein weiteres RCL-Glied ein. Da die zu entzerrende Resonanzspitze jetzt bei einer höheren Frequenz liegt geben Sie z.B. für R 10 Ohm, für C 10 MikroFarad und für L 50 Millihenry vor.



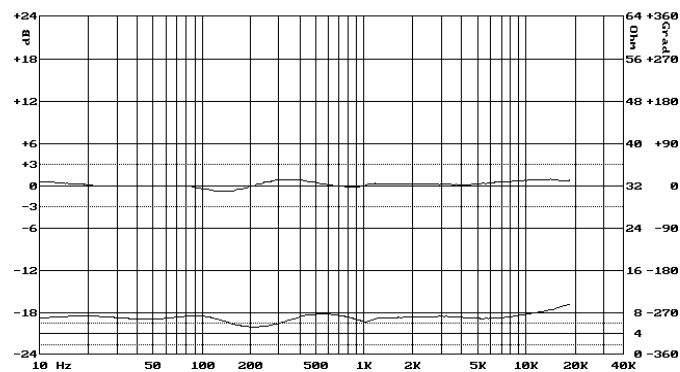
Jetzt geht es wieder an die Optimierung. Markieren Sie den folgenden Frequenzbereich:



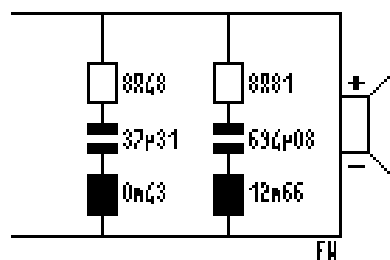
Markieren Sie nun nur das zweite RCL-Glied für die Optimierung:



Das Ergebnis sieht jetzt schon ganz gut aus.

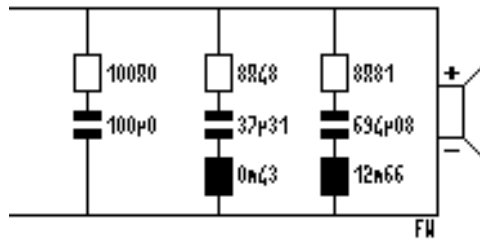


Die Schaltung

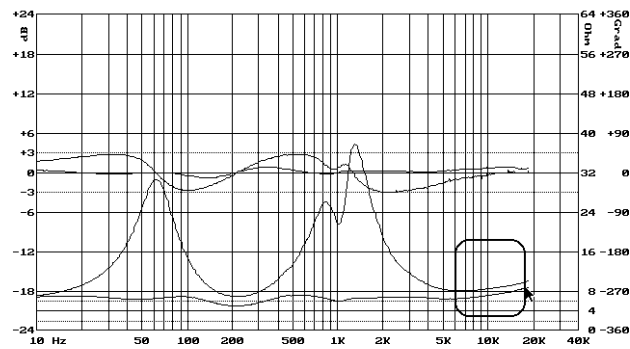


Perfektionisten können jetzt noch den kleinen Impedanzanstieg, der ab 6 KHz beginnt entzerren. Dazu fügt man ein RC-Glied in das Weichenschaltbild ein.

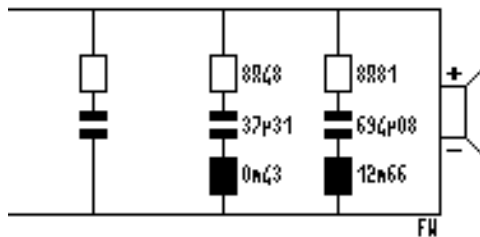
Als Vorbelegung kann man 100 Ohm und 100 MikroFarad nehmen.



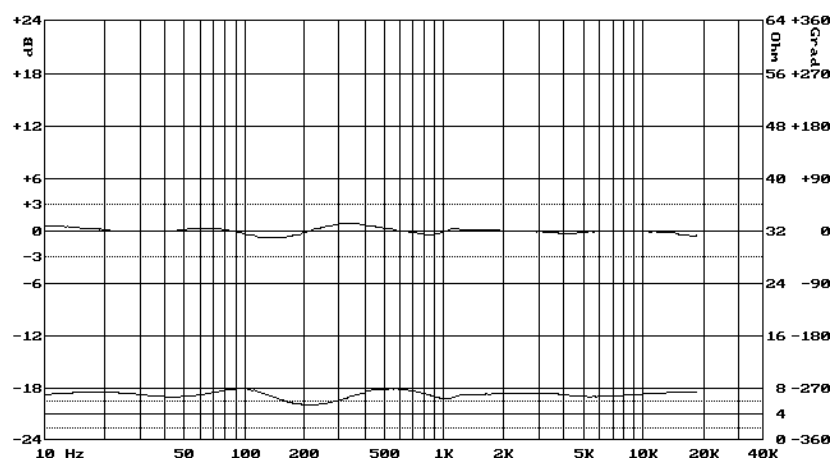
Danach optimiert man wieder und wählt dabei den Frequenzbereich:



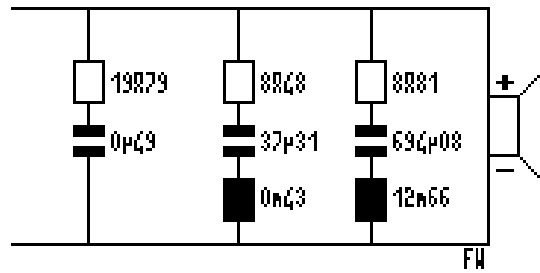
Im Weichenschaltbild markiert man nur das RC-Glied.



Als Ergebnis zeigt sich nun ein perfekt entzerrter Impedanzverlauf, der auch dem „schwachbrüstigsten“ Verstärker keine Probleme mehr bereiten dürfte.



Die Box wird mit der im folgenden Bild gezeigten Schaltung entzerrt.

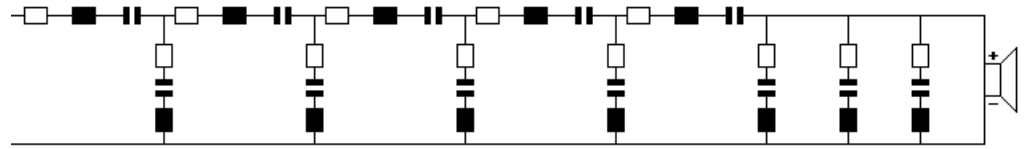


Diese Vorgehensweise benötigte ca. 2,5 Minuten! **Ein Tip noch zu den Startwerten der Entzerrglieder:** Sollte die Optimierung nicht schon nach ca. 20 Sekunden eine Verbesserung erbringen dann liegen Sie mit den Startwerten zu arg daneben. Brechen Sie die Optimierung in diesem Fall mit der Funktionstaste **F9** ab und verändern Sie die Startwerte entsprechend. Die Rechenzeitangaben beziehen sich auf einen PC mit 80486 DX-Prozessor, der mit 33 MHz getaktet ist.

5 Beispiel: Simulation von Ersatzschaltbildern

Die Frequenzweichensimulation kann auch zur Simulation von Ersatzschaltbildern verwendet werden, solange diese

mit dem Maximalausbau des Weichenschaltbilds nicht kollidieren. Zur Erinnerung wird oben nochmals der Maximalausbau eines Weichenzweiges dargestellt. Im folgenden Beispiel wird die Anwendung für das **Impedanzersatzschaltbild eines nicht eingebauten Treibers** vorgestellt.



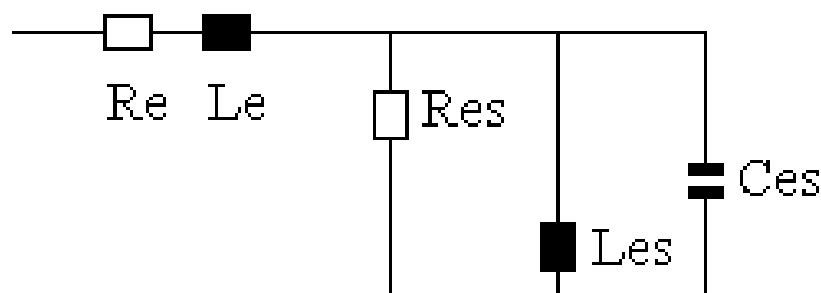
Anmerkung: Das Impedanzersatzschaltbild ist, wie es der Name ja schon ausdrückt, eine Annäherung an die Wirklichkeit, die nur für die Impedanz und elektrische Phase brauchbar ist. Zur Amplitudensimulation ist es nicht verwendbar!

Zur Simulation von Ersatzschaltbildern muß der im AudioCad-Weichenschaltbild enthaltene Treiber ausgeblendet werden. Dies bewerkstelligt man durch einen Pseudo-Treiber, den man zunächst mit folgenden Angaben in der Lautsprecherdatenbank hinterlegt:

LS-Bez : 10 MOhm
LS-Typ : T
Re : 999999
fs : 1
Chassis-Form : r
SPL : 90

Diesen Pseudo-Treiber initialisiert man nun für die Simulation als Tieftöner (Datenbank-Maske über **Ende** verlassen und <Ja> anwählen) und ruft dann die Frequenzweichensimulation auf.

Das Impedanzersatzschaltbild für Treiber ohne Gehäuse sieht wie folgt aus:



Im AudioCad-Weichenschaltbild wird zwar noch der Pseudo-Treiber angezeigt, durch seinen hohen Widerstand von 10 MegaOhm (Bei Eingabe von **Re**=999999 Ohm wird der Wert programmintern nochmals mit 10 multipliziert. Kleinere Werte werden vom Programm nicht verändert!) übt er auf die Schaltung aber praktisch keinen Einfluß aus.

Die Bauteilewerte des Ersatzschaltbilds berechnen sich wie folgt:

R_e = Gleichstromwiderstand des Chassis

L_e = Schwingspuleninduktivität des Chassis

$R_{es} = (Q_{ms} * R_e) / Q_{ts} - R_e$

$\omega = 2 * \pi * f_s$ (Hilfsvariable)

$C_{es} = Q_{ms} / (\omega * R_{es})$

$L_{es} = 1000 / (\omega^2 * C_{es} / 1.000.000)$

Machen wir dazu ein Beispiel: **Hochtöner NOKIA LR 10 DT**

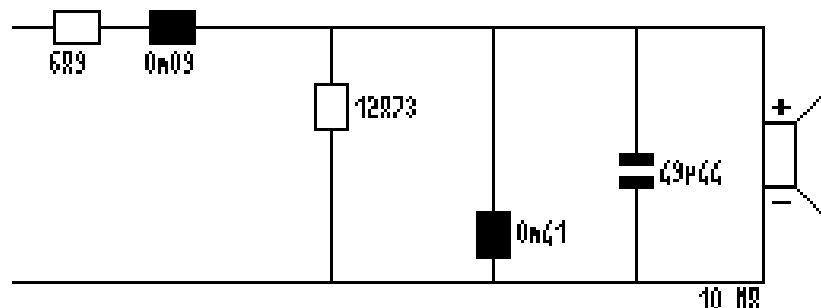
Thiele/Small-Parameter:

R_e : 6,9 Ω
 L_e : 0,09 mH (bei 10 KHz gemessen)
 f_s : 1115,29 Hz
 Q_{ms} : 4,41
 Q_{es} : 2,4
 Q_{ts} : 1,55

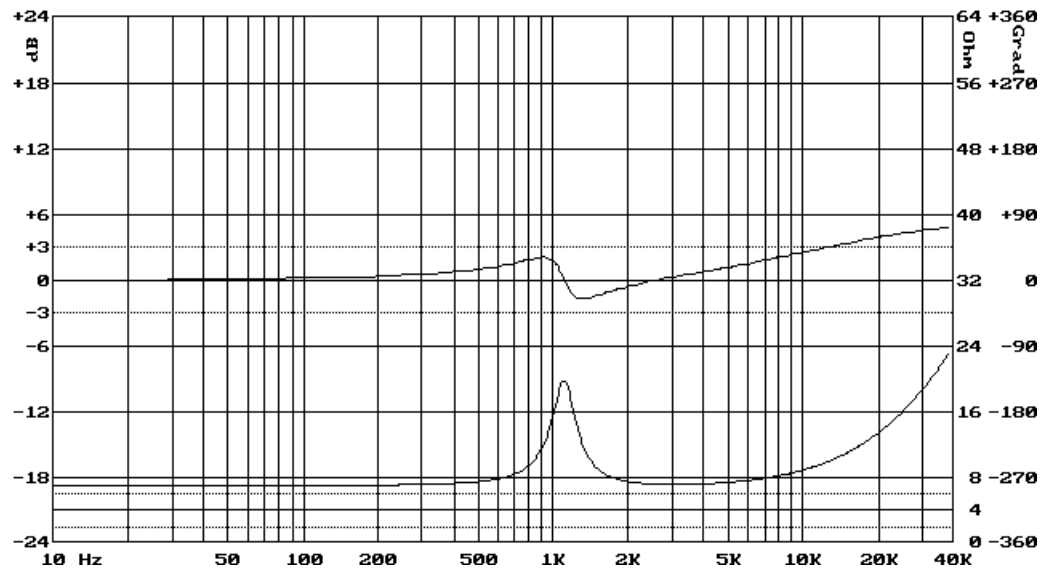
Die Werte des Ersatzschaltbilds:

R_e : 6,9
 L_e : 0,09
 R_{es} : 12,73
 ω : 7007,57
 C_{es} : 49,44
 L_{es} : 0,41

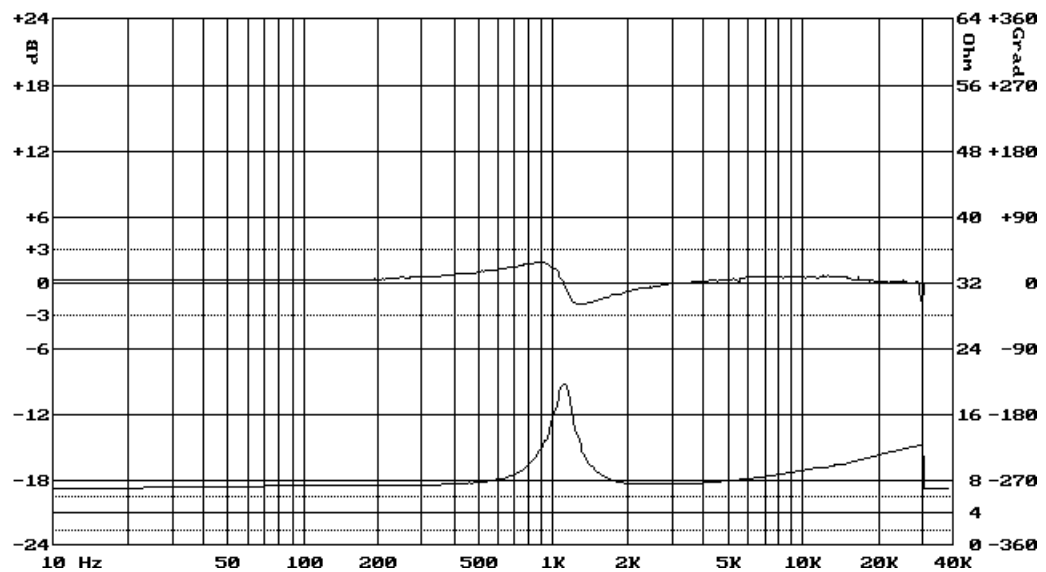
Diese Werte tragen Sie in das AudioCad-Weichenschaltbild wie folgt ein (Im Schaltbild auf **Einblenden** klicken, Bauteile anklicken und Werte eintragen, auf **Ausblenden** klicken):



Zur Ersatzschaltbild-Simulation sollten Sie den Wert **Sim-Genauigkeit** in der Installationsmaske auf **1** einstellen, um eine hohe Auflösung zu erhalten. Jetzt wählen Sie **Simulation Ideal** oder **Simulation** an.



Diese Kurven können Sie nach Anwahl von **Simulation Summenkurve** mit Hilfe des Menüpunkts **Export** als Dateien im AudioCad-kompatiblen Format speichern und in die Lautsprecherdatenbank einlesen. Ein Vergleich mit gemessenen Daten (der Messbereich hört bei 30 KHz auf, deshalb der Abfall der Kurven) zeigt, daß das Impedanzersatzschaltbild im Bereich der Grundresonanz verhältnismäßig genau arbeitet, für die Simulation des induktiven Impedanzanstiegs aber ziemlich untauglich ist. Siehe dazu auch **Tip zur Impedanzsimulation** im Kapitel **Datenbank**.



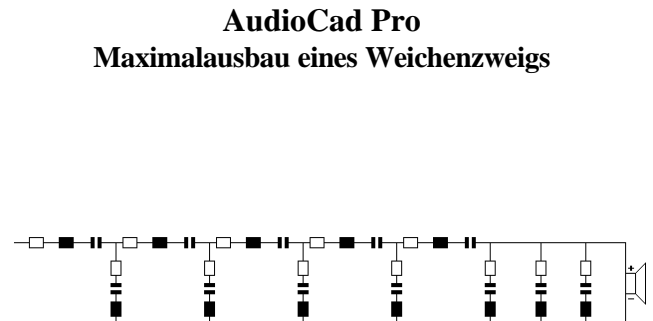
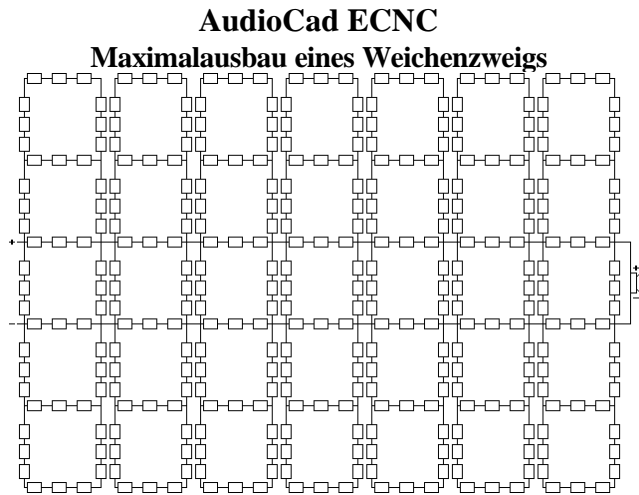
Weiter Ersatzschaltbilder finden Sie in der einschlägigen Literatur.

Inhaltsverzeichnis

1	ALLGEMEINES	2
2	DAS NETZWERK.....	2
3	DER OPTIMIERER.....	2
4	DATEN-KOMPATIBILITÄT.....	2
5	VERARBEITUNG VON POLARMESSDATEN	3
5.1	MESSUNG VON LAUTSPRECHERN UNTER VERSCHIEDENEN ABHÖRWINKELN.	3
5.2	MESSUNG VON POLARDIAGRAMMEN.....	3
5.3	IMPORT DER DATEN IN AUDIOCAD ECNC	4
5.4	DIE DARSTELLUNGSFORM VON POLARDIAGRAMMEN	4
5.5	ANZEIGE DER POLARMESSUNG	5
5.6	ENTWICKLUNG EINER FREQUENZWEICHE MIT POLARMESSDATEN	6
5.7	BEISPIELE EINER FREQUENZWEICHENENTWICKLUNG	7
5.8	WIE KANN ICH DIE SIMULATIONSZEIT FÜR POLARDIAGRAMME VERKÜRZEN?	7
6	FREQUENZWEICHENKORREKTURSCHALTUNGEN	8
6.1	AUSGLEICH VON FREQUENZGANGÜBERHÖHUNGEN.....	8
6.2	DÄMPFUNG VON BREITEREN ÜBERHÖHUNGEN	9
6.3	UNTERDRÜCKUNG VON CHASSIS- UND GEHÄUSERESONANZEN.....	10
6.4	FREQUENZUNABHÄNGIGE, SYMMETRISCHE DÄMPFUNGSGLIEDER.....	11
6.5	PARALLELWEICHEN	12

1 Allgemeines

AudioCad Enhanced Crossover Network Construction, kurz **AudioCad ECNC** genannt, ist das Spitzenprodukt der AudioCad-Reihe. Gegenüber AudioCad Pro bietet es eine erweiterte Frequenzweichen-Simulation und -Optimierung mit bis zu 336 Bauelementen pro Weichenzweig. Zur Erinnerung - AudioCad Pro simuliert bis maximal 36 Bauelemente pro Weichenzweig.



2 Das Netzwerk

Die Anordnung der Bauelemente (Reihenfolge im Netzwerk) ist nicht festgelegt. Für jedes Bauelement sind Typ (Widerstand, Kondensator oder Spule) und Wert frei wählbar. Dies geschieht mit dem von AudioCad Pro gewohnten Komfort. Klicken Sie einfach ein Bauelement in der Graphik an, tragen Sie einen Wert ein und wählen Sie durch Anklicken des entsprechenden Symbols den Bauelementtyp. Das Netzwerk ermöglicht z.B.

- Phasenschieber
- Parallelweichen (Bauelemente im Massezweig!)
- Saugkreise zur Amplitudenentzerrung im seriellen Zweig
- und vieles mehr.

3 Der Optimierer

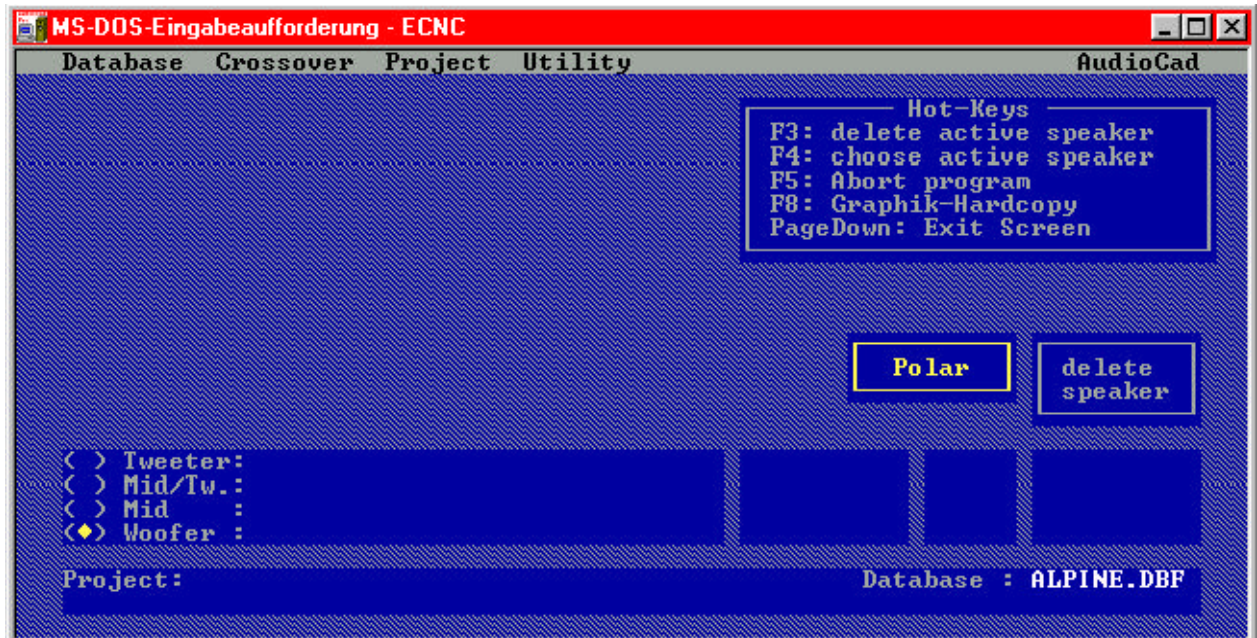
wurde noch leistungsfähiger als in AudioCad Pro. Zur Erinnerung - der AudioCad Pro - Optimierer arbeitet das Weichenschaltbild von unten (Baß) nach oben (Hochtöner) und von links (Schaltungseingang) nach rechts (Lautsprecher) ab. In AudioCad ECNC kann die Reihenfolge der Optimierung der einzelnen Bauelemente frei gewählt werden. In der Reihenfolge, in der die Bauelemente im Weichenschaltbild markiert werden arbeitet der Optimierer sie ab! Das bringt gerade bei der Optimierung von Sonderschaltungen große Vorteile.

4 Daten-Kompatibilität

AudioCad ECNC verwendet das ab der AudioCad Pro Version 4.2 eingesetzte Datenbankformat. AudioCad ECNC liest Projektdateien von AudioCad Pro 8.0 und von AudioCad ECNC. Zur Wahrung der Abwärtskompatibilität wird AudioCad Pro 8.0 mitgeliefert. Dieses kann die AudioCad-Projektdateiformate von Version 2.5 ab einlesen und in AudioCad Pro 8.0 - Format konvertieren. Es ist es z.B. auch möglich, eine Konstruktion mit AudioCad Pro zu beginnen und, wenn man die erweiterten Simulationsmöglichkeiten von AudioCad ECNC benötigt, einfach ein (AudioCad Pro -) Projekt zu speichern und dieses in AudioCad ECNC zu importieren. Die Konstruktion kann dann mit AudioCad ECNC fortgesetzt werden.

5 Verarbeitung von Polarmessdaten

AudioCad ECNC gibt es in zwei Versionen. Nur die "größere" Version kann Polarmessdaten verarbeiten. Sie erkennen die "größere" Version daran, daß im Hauptmenü ein "Knopf" vorhanden ist, mit dem Sie zwischen **Normal** und **Polar** umschalten können.



5.1 Messung von Lautsprechern unter verschiedenen Abhörwinkeln.

Normalerweise wird ein Lautsprecher nur auf Achse, d.h. das Mikrophon steht vor der Box, gemessen. AudioCad ECNC unterstützt die Messung und Simulation von Lautsprechern unter verschiedenen Winkeln, wodurch eine Aussage über das Rundstrahlverhalten gewonnen werden kann, ohne die Frequenzweiche zuvor aufzubauen. Auch die Frequenzweiche kann nach unterschiedlichen Abhörwinkeln entwickelt und optimiert werden.

5.2 Messung von Polardiagrammen

Dazu wird ein AudioMeßsystem und ein Drehteller benötigt. Der Drehteller muß nicht notwendigerweise vom Meßsystem automatisch steuerbar sein. Das spart zwar Zeit, ist aber verhältnismäßig teuer. Der Autor nutzt dazu einen selbstgebauten Drehteller, der zwischen den einzelnen Messungen manuell verstellt wird. Beim Selbstbau des Drehtellers muß auf eine brauchbare Winkelskala (5- bzw. 10-Grad-Schritte reichen in der Praxis) und ausreichende Stabilität geachtet werden, da die zu messende Box die Konstruktion einseitig belastet. Zur Messung wird die Box so auf dem Drehteller platziert, daß die Vorderkante der Schallwand mittig auf die Drehachse ausgerichtet ist. Nur so ist gewährleistet, daß der Mikrophonabstand während der Messreihe konstant bleibt.

Nun zu der eigentlichen Messung - der im Gehäuse eingebaute Lautsprecher wird unter verschiedenen Winkeln gemessen. Man beginnt mit -90 Grad und arbeitet sich z.B. in 10 Grad-Schritten nach +90 Grad vor. Die Dateinamen werden in folgendem Format durchnumeriert:

XXXXXXnn.AMP

Der Dateiname selbst (XXXXXX) darf bis zu 6 Byte lang sein. Die letzten zwei Stellen sind für die Numerierung reserviert. Die erste Messung erhält z.B. den Dateinamen POLARM01.AMP, die zweite POLARM02.AMP, etc.. Es ist übrigens egal, ob Sie Ihre Messungen bei -90 oder bei +90 Grad beginnen, Sie müssen dies nur für alle Lautsprecher der Box einheitlich gestalten. Sie können auch beliebige Winkelbereiche (z.B. +120 bis -120 Grad) wählen, die Winkelskala des Polardiagramms zeigt aus Übersichtsgründen aber

immer nur den Bereich von -90 bis +90 Grad an. Die Mess- bzw. Simulationskurven werden selbstverständlich trotzdem angezeigt. Die Winkeldifferenz zwischen den einzelnen Messungen muß aber konstant sein.

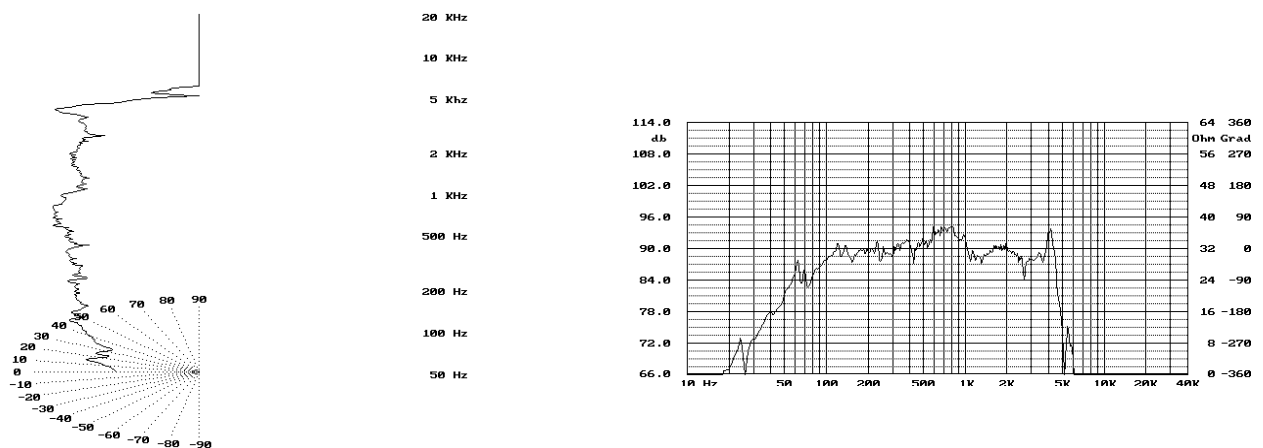
Zu messen sind die Amplitude und die akustische Phase. Impedanz und elektrische Phase sind nicht vom Abhörwinkel abhängig! AudioCad ECNC kann bis zu 99 Kurven pro Lautsprecher speichern. Das ermöglicht bei einer 180 Grad-Messung eine Winkelschrittweite von 2 Grad. Eine gute Graphik ergibt sich aber schon mit einer Winkeldifferenz von 10 Grad, d.h. 19 Messungen genügen auch schon. Die Messung erfolgt genauso, wie wenn nur auf Achse gemessen wird.

5.3 Import der Daten in AudioCad ECNC

Klicken Sie im Hauptmenü des Hauptprogramms das Kästchen **NORMAL** an. Dieses ändert sich dadurch in **POLAR**. Jetzt ist das Programm für die Verarbeitung von Polarmessdaten bereit. Rufen Sie die Datenbank auf und legen Sie wie gewohnt den Lautsprecher an, zu dem Sie die Polarmessung durchgeführt haben. Importieren Sie die zuvor gemessene Impedanz und elektrische Phase. Klicken Sie im Menü **Messwerte** den Menüpunkt **Import Polar** an. Geben Sie in der Eingabebox den Dateinamen (ohne die Numerierung, im obigen Beispiel **POLARM**) ein. Falls Sie dies unterlassen zeigt das Programm eine Dateiauswahlbox an, in der Sie irgendeine Datei der gewünschten Messreihe markieren. Das Programm meldet, wieviele Dateien es gefunden hat. Bei einer 180-Grad-Messung mit einer Winkeldifferenz von 10 Grad müßten dies 19 Stück sein. Als nächstes erscheint eine Eingabebox, in der Sie den Startwinkel (der Winkel der ersten Messung) und die Winkeldifferenz zwischen den einzelnen Messungen hinterlegen. Dann wird die vom „normalen“ Amplitudenimport her bekannte Werteauswahlbox zur Festlegung des **0-dB-Pegels** angezeigt. Verfahren Sie wie gewohnt, d.h. wie im AudioCad Pro - Manual beschrieben. Das Programm importiert jetzt die 0 Grad-Messung und zeigt diese graphisch an. Falls der Import OK ist (Amplitudenhöhe?!) beantworten Sie die entsprechende Frage mit <JA>. Das Programm importiert dann die restlichen Messdaten.

5.4 Die Darstellungsform von Polardiagrammen

Das Programm stellt alle gemessenen Abhörwinkel in einem 3D-Diagramm dar, wobei ein linearer Amplituden/Phasenverlauf als Tonne angezeigt würde. Zur Verdeutlichung hier der Vergleich einer Messkurve (nur auf Achse gemessen) einmal als 3D-Darstellung und konventionell.



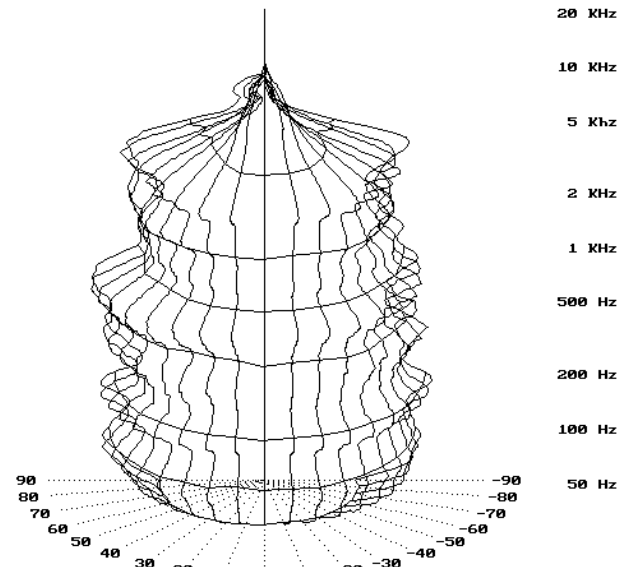
Wenn Sie die rechte Graphik um 90 Grad nach links drehen decken sich die Kurven!

(In dieser Anleitung ist das allerdings nicht exakt nachvollziehbar, da die beiden Graphiken unterschiedlich gezoomt wurden.)

5.5 Anzeige der Polarmessung

Die jetzt in der Datenbank gespeicherten Polarmessdaten können Sie mit Hilfe des Menüpunkts **Graphik Polar** im Menü **Messwerte** anzeigen.

Polarmessung eines 17 cm Tief/Mitteltöners im Gehäuse

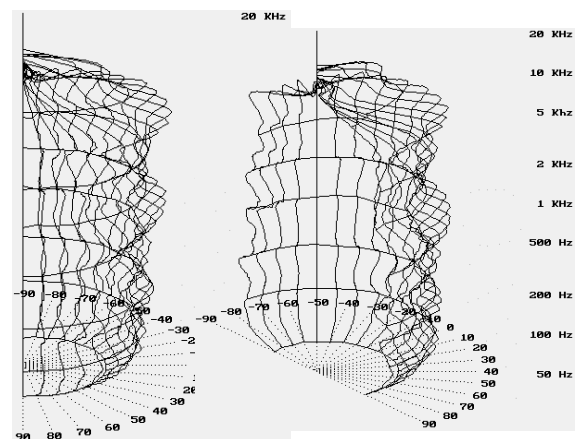


Den Nachteil dieser Darstellung erkennt man sofort - die 0 Grad-Linie wird immer als Gerade dargestellt.

Diese (und auch andere Linien) kann man besser erkennen, wenn man die Graphik dreht. Dazu klicken Sie die Schaltfläche **Winkel** an und geben einen neuen Betrachtungswinkel (der Winkel, der in der Graphik vorne erscheint) ein.

Winkel 90 Grad

Winkel 130 Grad



5.6 Entwicklung einer Frequenzweiche mit Polarmessdaten

Diese funktioniert mit wenigen Ausnahmen genauso wie eine konventionelle Weichenentwicklung. Schalten Sie die Funktion **POLAR** im Hauptmenü wie oben beschrieben ein. Nach Initialisierung der einzelnen Treiber des Systems rufen Sie die Frequenzweichenmaske auf. Hier erkennen Sie jetzt zwei neue Menüpunkte.

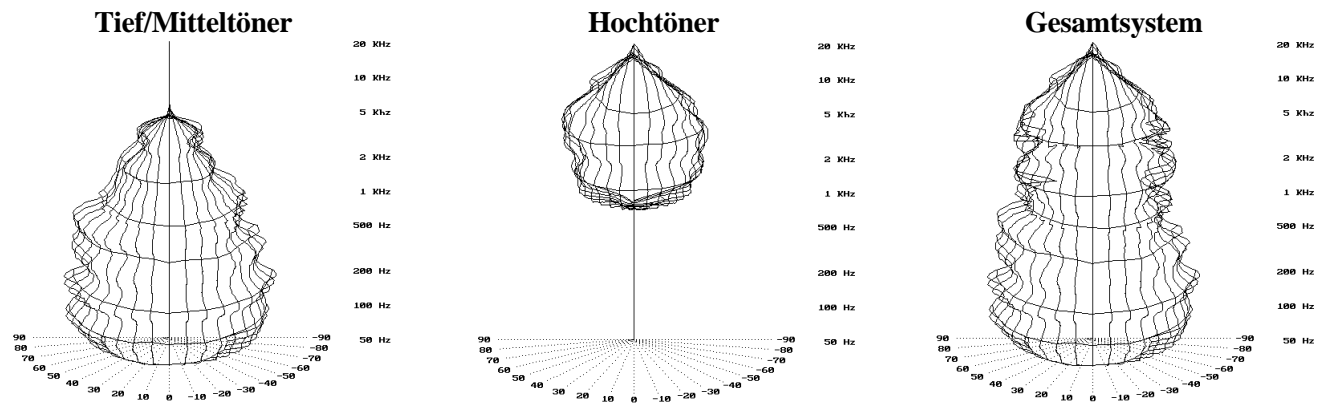
- Der Menüpunkt **Betrachtungswinkel** im Menü **Bearbeiten**

Nach Anwahl dieses Menüpunktes erscheint eine Auswahlbox, in der Sie die für die (konventionelle) Frequenzweichensimulation maßgeblichen Messungen auswählen. Normalerweise wird dies die **0 Grad-Kurve** sein, es ist aber auch denkbar, eine Frequenzweiche auf einen möglichst guten Amplitudenverlauf bei einem Abhörwinkel von 30 Grad zu optimieren. Alle Simulationen (Menüpunkte **Simulation**, **Simulation Weichenzweige**, **Optimierung**, etc.) und Optimierungen beziehen sich jetzt auf die Messdaten des ausgewählten Winkels.

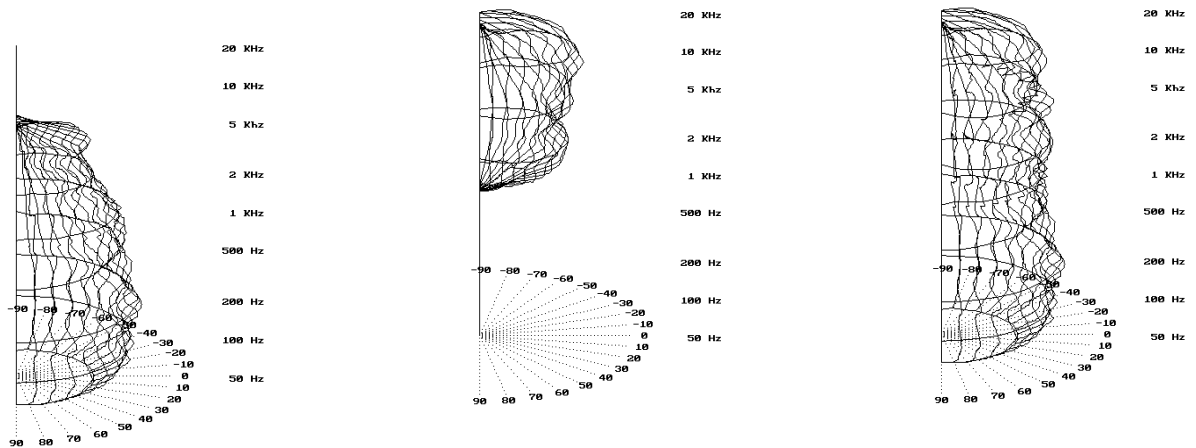
- Der Menüpunkt **Simulation Polar** im Menü **Simulation**

Nachdem die Optimierung der Frequenzweiche auf den gewünschten Abhörwinkel (Menüpunkt **Abhörwinkel** im Menü **Bearbeiten**) beendet ist können Sie hier die Simulation aller Abhörwinkel anstoßen. Es wird empfohlen keine übertrieben hohe Simulationsgenauigkeit vorzugeben, da die Simulation der Polardiagramme aus naheliegenden Gründen wesentlich länger dauert (Anzahl Abhörwinkel * Simulationszeit einer Kurve) als die Darstellung einer einzelnen Kurve. Wählen Sie je nach Verarbeitungsgeschwindigkeit Ihres PCs 4 oder 8. Die Simulationsauflösung ist unabhängig von der Einstellung in der Installationsmaske (Feld **Sim-Genauigkeit**) bei Start dieses Menüpunkts in einer Eingabebox wählbar, wobei immer 8 vorgeschlagen wird. Nach Beendigung der Berechnungen können Sie die Amplitude und akustische Phase der einzelnen Treiber oder des Gesamtsystems jeweils ohne erneute Berechnung ansehen, solange Sie das Treiberauswahlmenü nicht durch Betätigung des Escape-Taste oder Anwahl der Option **<Abbruch>** beenden. Eine entsprechende Sicherheitsabfrage erspart Ihnen Rechenzeit.

5.7 Beispiele einer Frequenzweichenentwicklung



Zur besseren Ansicht einzelner Kurven können die Diagramme beliebig gedreht werden



5.8 Wie kann ich die Simulationszeit für Polardiagramme verkürzen?

Die Simulation der Polardiagramme erfordert sehr viele Messdaten, die nicht Hauptspeicherresident gehalten werden können. AudioCad ECNC lagert diese auf Festplatte aus, was selbstverständlich wesentlich länger dauert. Dagegen können Sie aber etwas tun, falls Ihr PC über genügend Hauptspeicher (mindestens 4 MB empfohlen) verfügt. Die Polarmessdaten können dann statt auf die Festplatte auf eine Ramdisk (virtuelles Laufwerk im Hauptspeicher) ausgelagert werden, was einen sehr großen Zeitvorteil bringt. Eine Ramdisk (AudioCad ECNC benötigt: 2 MB Ramdisk-Speicher im Extended Memory, Sektorgröße 512 Byte, 1024 Einträge im Hauptverzeichnis) legen Sie durch Aufnahme der folgenden Zeile in Ihre Datei **CONFIG.SYS** an.

DEVICE=RAMDRIVE.SYS 2048 512 1024 /E

AudioCad ECNC teilen Sie dies mit, indem Sie der Umgebungsvariablen **ACRAMD** die Laufwerksbezeichnung der Ramdisk zuweisen. Dies machen Sie z.B. durch Aufnahme des folgenden Befehls in Ihre Datei **AUTOEXEC.BAT**.

SET ACRAMD=D:

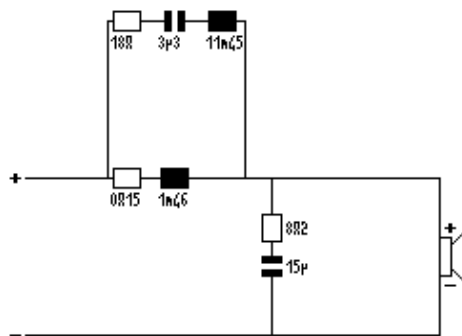
Falls Ihre Ramdisk einen anderen Laufwerksbuchstaben hat müssen Sie selbstverständlich diesen im SET-Kommando angeben.

6 Frequenzweichenkorrekturschaltungen

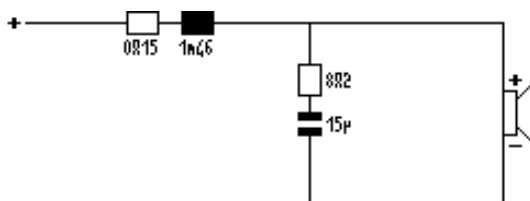
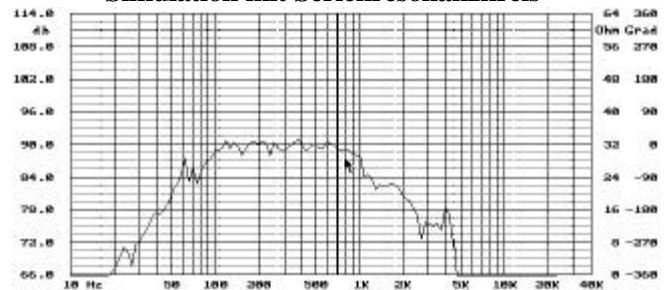
Herkömmliche Simulationsprogramme gestatten nur einfache Weichenaufbauten, mit denen die üblichen Filtergrundsaltungen simuliert werden können. Diese Standardfilter sind aber in der Regel nur Kompromisse zwischen dem tatsächlichen Verhalten des Chassis und dem Wunschdenken des Konstrukteurs. Besonders Resonanzerscheinungen und Frequenzgangüberhöhungen lassen sich mit der herkömmlichen Technik nicht korrigieren. Abhilfe schafft hier **AudioCad Enhanced Crossover Network Construction**. Mit ihm lassen sich Resonanzentzerrungen, Frequenzgangkorrekturen und komplexere Filterschaltungen simulieren und optimieren. Diese Schaltungen berechnet AudioCad ECNC nicht! Man ermittelt die Bauteilewerte empirisch oder beauftragt den Optimierer. Der Einsatz soll im folgenden an einigen Beispielen verdeutlicht werden.

6.1 Ausgleich von Frequenzgangüberhöhungen

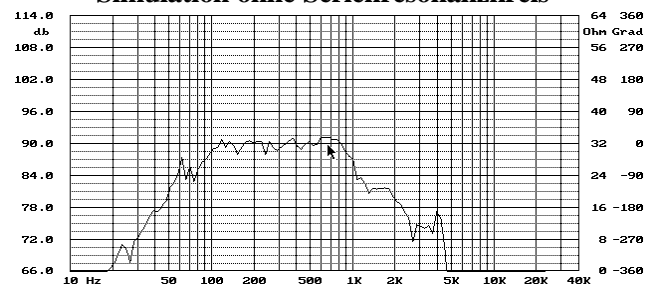
Diesen Einsatzbereich können Sie gut im Demo-Projekt **2WEGECNC.PRO** sehen, das mit dem Programm ausgeliefert wird. In diesem Beispiel wird ein Serienresonanzkreis (RCL-Kreis) parallel zum Tiefpaß des Tieftöners geschaltet. Dieser RCL-Kreis überlagert das Filter in seinem Sperrbereich, so daß im Amplitudenverhalten eine deutliche Senke erkannt werden kann. Damit wird eine Überhöhung im Übergangsbereich zum Hochtöner verringert, wie sich in der Grafik gut erkennen läßt.



Simulation mit Serienresonanzkreis

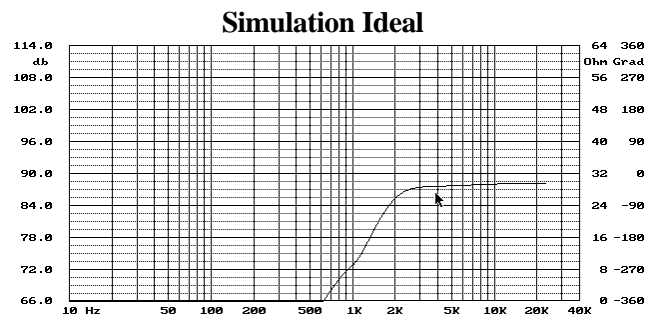
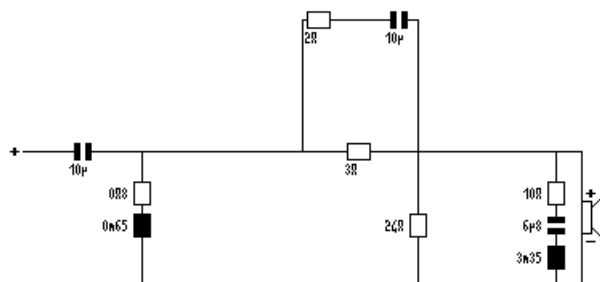


Simulation ohne Serienresonanzkreis

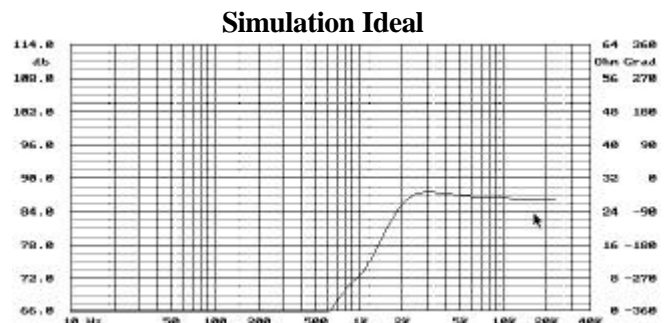
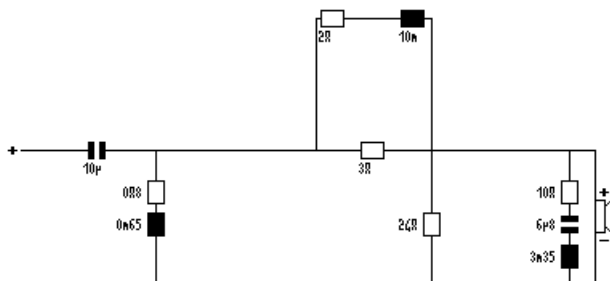


6.2 Dämpfung von breiteren Überhöhungen

Sehr oft, gerade im Bereich der Hochtöner, kommt es vor, daß ein Chassis über einen breiteren Frequenzbereich eine Überhöhung produziert, oder ein Hochtöner steigt im Frequenzverhalten ab einer bestimmten Frequenz stetig in seiner Amplitude. Ein einfacher Spannungsteiler kann dieses Problem nicht lösen, wohl aber ein frequenzabhängiger Teiler. Ersetzen Sie im Beispiel **2WEGECNC.PRO** den Spannungsteiler für den Hochtöner aus $R=1\Omega$ und $R=18\Omega$ durch einen Teiler von $R=3\Omega$ und $R=24\Omega$. Dann schalten Sie zum oberen Widerstand $R=3\Omega$ eine Serienschaltung aus R und C parallel. Wählen Sie zum Beispiel $R=2\Omega$ und $C=10\mu F$. Der untere Frequenzbereich des Hochtöners wird nun bedämpft, etwa mit -3 dB . Mit steigender Frequenz verringert der parallelgeschaltete Kondensator aber die Dämpfung bis auf einen Minimalwert von etwa -1.5 dB . Der Einsatzpunkt dieses Filters wird durch das Produkt von R und C bestimmt. Auf diese Weise kann die Welligkeit dieses Hochtöners im Übernahmehereich verringert werden.



Resonanzerscheinungen und Überhöhungen zum oberen Rand des Frequenzbandes hin lassen sich mit einer Parallelschaltung eines RL-Kreises zum Spannungsteiler analog ausgleichen.



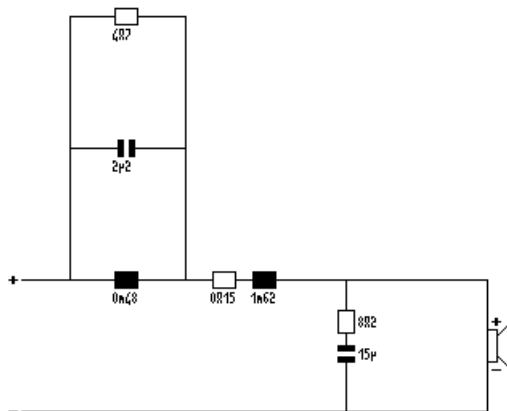
Durch Parallelschaltung mehrerer Filterglieder lassen sich auch komplexere Probleme dieser Art wirksam lösen.

6.3 Unterdrückung von Chassis- und Gehäuseresonanzen

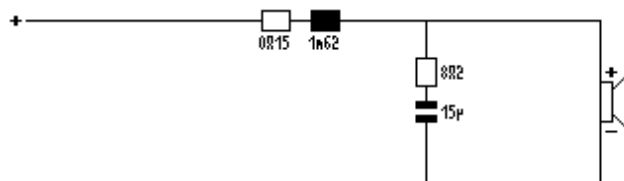
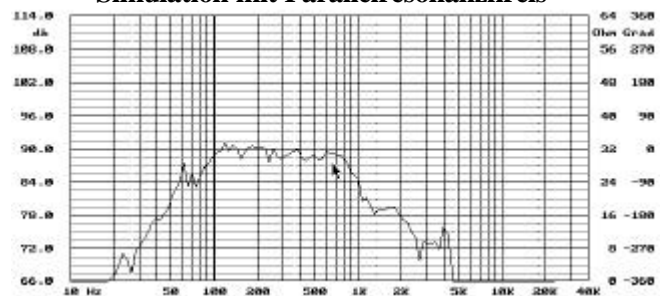
Wer kennt dieses Problem nicht, ein Chassis wäre für eine Anwendung gut geeignet, wenn da nicht diese störende Spitze bei ...Hz wäre. Üblicherweise versucht man, diese Resonanz mit einem Serienresonanzkreis RCL parallel zum Chassis auszugleichen. Dies hat aber folgende erhebliche Nachteile, weshalb dieses Verfahren nicht empfohlen werden kann:

- Der RCL-Kreis muß an der Resonanz deutlich niederohmiger sein, als das Chassis selbst, damit überhaupt eine Bedämpfung stattfindet. Dies bedeutet aber für den Verstärker eine unter Umständen fatale Belastung.
- Bei entsprechend niederohmiger Dimensionierung fließt ein großer Strom durch den RCL-Kreis. Damit wird nicht nur erheblich Leistung am Chassis vorbei geführt, auch die Wärmeverluste im RCL-Glied müssen möglicherweise berücksichtigt werden.

Abhilfe kann da eine hochohmige Parallelresonanz schaffen. Diese besteht aus einer Parallelschaltung von R, C und L. Dabei legt der Widerstand R den Maximalwiderstand bei Resonanz fest. Unter- und oberhalb der Resonanz verringert sich der Widerstand der RCL-Schaltung kontinuierlich bis auf etwa Null Ohm. In den Serienzweig zum Chassis eingebracht, sorgt diese Schaltung für die Bedämpfung der störenden Resonanz.



Simulation mit Parallelresonanzkreis



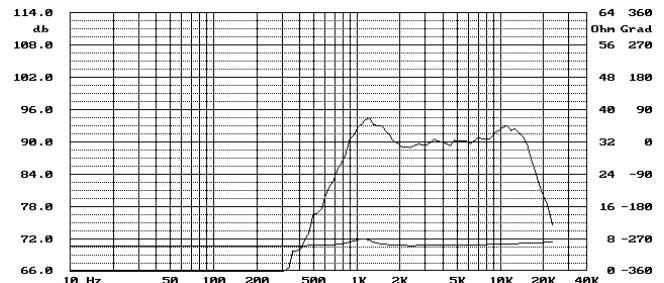
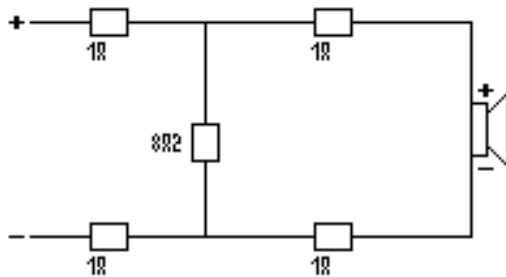
Simulation ohne Parallelresonanzkreis



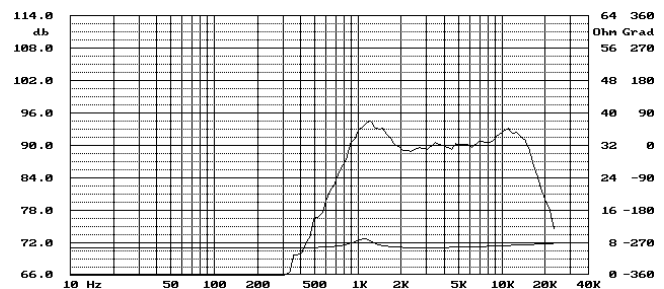
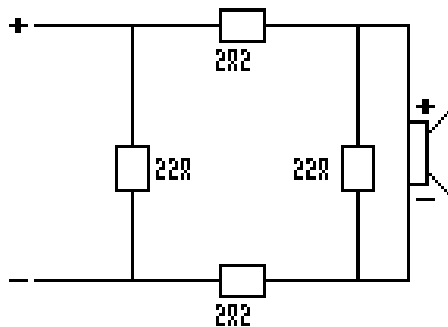
6.4 Frequenzunabhängige, symmetrische Dämpfungsglieder

Wer kennt sie nicht, die "klassischen" Hochfrequenzschaltungen. Was dort, aufgrund der physikalischen Gesetzmäßigkeiten, notwendig ist, sollte in der Audiotechnik „billig“ sein. Ein einfacher Spannungsteiler ist zwar prinzipiell frequenzunabhängig, seine Übertragungsfunktion hängt aber stark vom Widerstand an seinem Ausgang ab. Ebenso wirkt sich dieser Ausgangswiderstand auf der Eingangsseite des Spannungsteilers aus. Ein Filter „sieht“ also durch den Spannungsteiler hindurch die komplexe und frequenzabhängige Impedanz des Chassis. Anders der symmetrische Spannungsteiler in T- oder π -Schaltung. Er ist natürlich auch von der Lastimpedanz abhängig, aber in weit geringerem Maße als der einfache Spannungsteiler. Darüber hinaus ist sein Eingangswiderstand über einen weiten Frequenzbereich wesentlich linearer, so daß ein vorhergehendes Filter einen fast konstanten, ohmschen Abschlußwiderstand sieht. Damit vereinfacht sich die Filterberechnung ganz erheblich und komplexere Filterschaltungen werden dadurch überhaupt erst berechenbar. Das π -Glieder ist für niederohmige Anwendungen (Mitteltonchassis) günstiger, das T-Glieder für hochohmigere Bereiche (Hochtonchassis). Ersetzen Sie im Beispiel **2WEGECNC.PRO** den Spannungsteiler für den Hochtöner durch ein symmetrisches T-Glieder. Die Impedanzentzerrung können Sie ersatzlos streichen - sie wird nicht mehr benötigt. Dann ersetzen Sie das symmetrische T-Glieder durch ein symmetrisches π -Glieder.

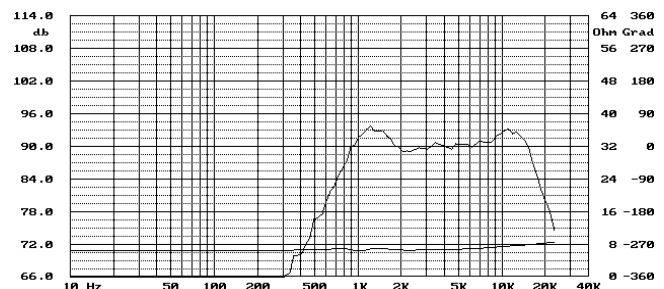
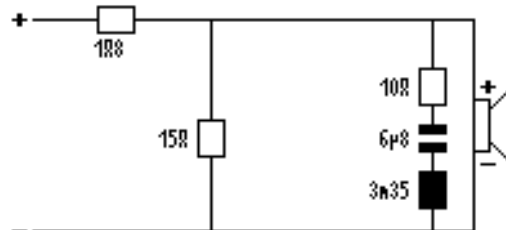
symmetrisches T-Glieder



symmetrisches π -Glieder



„konventionelle“ Beschaltung



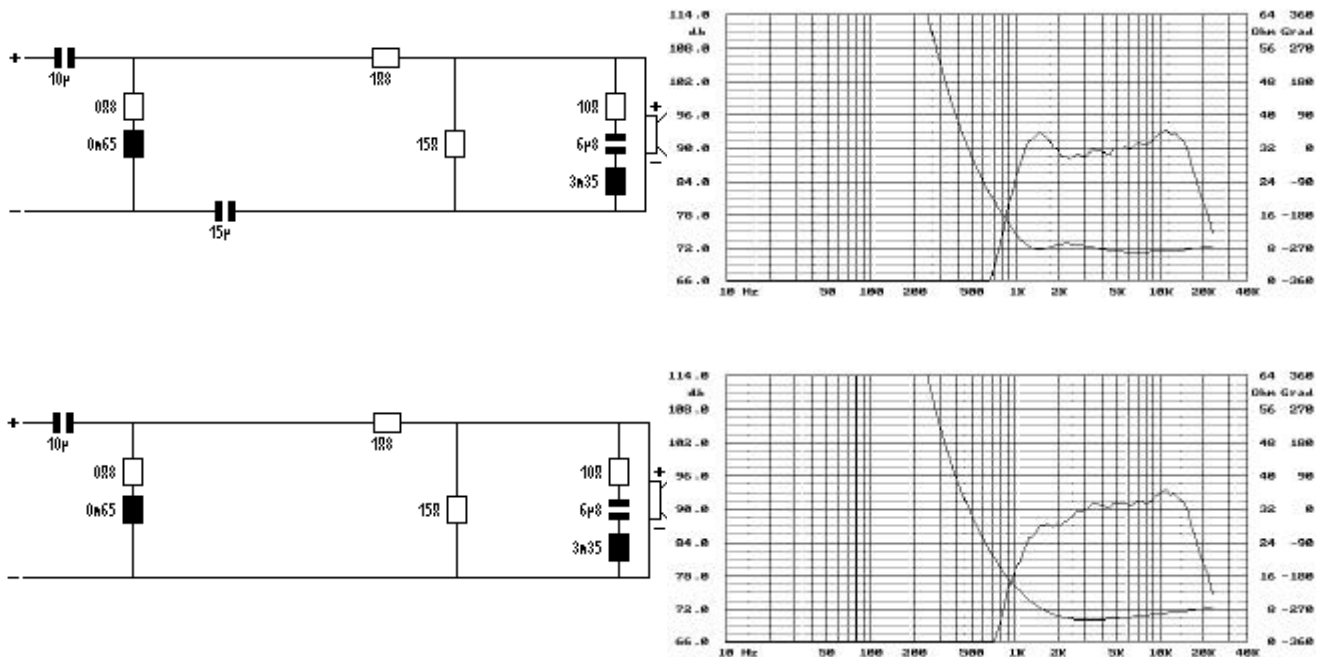
Durch beide Korrekturschaltungen (symmetrisches T-Glied und symmetrisches π -Glied) erhalten Sie eine frequenzunabhängige Dämpfung von etwa -1,5 dB und der Hochpaß "sieht" eine ohmsche Impedanz von etwa 6,5 Ω .

Auf diese Weise lassen sich auch sehr wirksam Tief- und Hochpaß eines Mitteltonchassis trennen. Die Probleme mit der Abstimmung der Einzelfilter aufeinander entfallen vollständig. Einzige Vorbedingung: der Wirkungsgrad des Mitteltöners muß größer sein, als der von Tief- und Hochtonchassis.

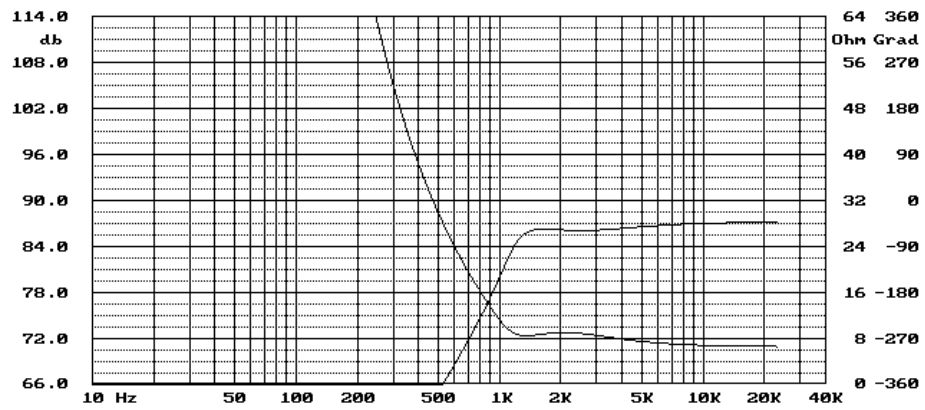
6.5 Parallelweichen

Unter diesem Begriff versteht man Weichen, die auch Bauteile im Massezweig enthalten. Dieser Weichentyp läßt sich nur sehr schwer analytisch berechnen, da seine Übertragungsfunktion direkt von der Impedanz der Chassis und aller weiteren Filterschaltungen abhängt. Andererseits bietet dieser Weichentyp den Vorteil, einfach erweiterbar zu sein. Stellen Sie sich diese Situation vor: Sie haben eine Chassiskombination entworfen und eine Weiche dafür konstruiert. Bei der Simulation stellen Sie fest, daß Sie ein Filter höherer Ordnung benötigen. Also noch einmal eine Handvoll Bauteile? **Nein!** Durch den Einsatz von Parallelweichen können Sie praktisch die Hälfte der notwendigen Bauteile einsparen.

Verwenden wir der Einfachheit halber wieder das Beispiel **2WEGECNC.PRO**. Der Hochtöner soll jetzt mit noch niedrigerer Trennfrequenz eingesetzt, aber steiler angekoppelt werden, da der ausgedehnte Bereich tieferer Frequenzen evtl. sehr ungünstig für das Chassis sein könnte. Anstelle einer vollständigen zweiten Filterstufe nutzen Sie die Spule im Hochpaß aus und setzen einen Kondensator in den Massezweig zwischen Spannungsteiler und Hochpaß-Spule. Als Startwert können Sie z.B. den 1,5fachen Wert des Filterkondensators nehmen, also 15 μ F.



Sehen Sie sich jetzt die **Simulation Ideal** an.



Der Hochtöner wird steilflankig abgetrennt. Eine schnelle und brauchbare Ausgangsbasis für die weitere Optimierung der Box.

Es lassen sich beinahe beliebig viele Möglichkeiten und Einsatzbereiche für AudioCad ECNC finden. Seien Sie selbst kreativ und nutzen Sie diese Möglichkeiten zum Experimentieren - Ihrer Freiheit in der Weichenentwicklung sind nun (fast) keine Grenzen mehr gesetzt.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
2	BETRACHTUNGEN ÜBER DIE FREQUENZWEICHE	1
3	DIE SCHALTUNG	2
4	AUFBAUANLEITUNG	4
4.1	VORBEMERKUNG	4
4.2	DIMENSIONIERUNG DER SPULEN	4
4.3	ENTZERRER	4
4.4	ANGLEICHEN DER AKUSTISCHEN ZENTREN, ALLPÄSSE.....	5
4.5	PRAKTISCHE TIPS ZUM AUFBAU.....	5
5	STÜCKLISTE.....	6
6	LIEFERNACHWEISE	6
7	COPYRIGHT	7
8	PLATINE.....	7
9	DAS SCHALTBILD	8

1 Einleitung

Ziel der Konstruktion war eine Aktivweiche, welche eine Phasenentzerrung der einzelnen Lautsprecher ermöglicht, zusätzlich eine Baßentzerrung ermöglicht und gute S/N Werte ergibt. Letzterer Punkt ist im Widerspruch mit den vorhergehenden Punkten, da der hohe technische Aufwand normalerweise ein "Operationsverstärkergrab" mit sich bringt. Eine Lösung dieser Problematik scheint mit dem Ersatz einiger Stufen durch passive Strukturen gegeben.

2 Betrachtungen über die Frequenzweiche

Eine Linkwitzweiche mit einer Flankensteilheit von 12 oder 24 dB/Okt. läßt sich anhand der allgemein zugänglichen Koeffizienten auch in passiver Schaltungstechnik durchführen. Anders als beim Subtraktionsverfahren mit Allpässen zur Kompensation des Zeitfehlers muß hier in der Bandpaßfunktion mit einem ungleich höheren Aufwand gerechnet werden. Dies bezieht sich insbesondere auf die Berechnung des Bandpasses, da sich durch das Zusammenschalten von Hochpaß und Tiefpaß gegenseitige Beeinflussungen ergeben. Das gilt übrigens in gleichem Maße auch für vollaktive Schaltungsvarianten mit Sallen - Key Filterstrukturen! Durch besagte Verschaltung verschieben sich die -6 dB Werte im Übernahmepunkt genauso wie die Phasenwerte an gleicher Stelle. Hier hilft nur ein Simulationsprogramm und eine mehr oder minder aufwendige Anpassung an die Zielvorgaben. Mit in die Berechnung gehen dann auch die Verlustwerte der Spulen ein.

Ergebnis: Hingegen den "normalen" Werten, die sich aus der Anwendung der Standardformeln ergeben , erhält man nach der Optimierung auch einen gleichmäßigen Verlauf des Phasenganges. Ein Fehler im Zeitverhalten ist als erheblich tragischer anzusehen wie ein Amplitudenfehler. Eine "liveähnliche" Darbietung entsteht gerade durch ein gutes Impulsverhalten des gesamten Lautsprechers. Größere Phasenfehler im System verschlechtern zudem noch die Ortbarkeit einzelner Schallquellen bei der Wiedergabe. Nur bei einer möglichst gleichen Phasenlage der Chassis im Übernahmepunkt zueinander ergibt sich ein gutes Abstrahlverhalten des Lautsprechers, und der Lautsprecher hat über einen großen Bereich außerhalb der Null Grad-Achse ein gleichmäßiges Klangverhalten. Dies dient auch der guten Ortbarkeit von Signalquellen bei der Wiedergabe. Über diese Übernahmepunkte hinaus erfolgt zwar eine weitere, langsame Phasendrehung, die jedoch ohne

Sprünge gleichmäßig vonstatten geht. Dies geschieht auch bei einer Subtraktivweiche, da die Allpässe nicht genau den Phasengang der Filter haben. Das Signal erfährt durch das Lautsprecherchassis sowieso eine kontinuierliche Phasendrehung (ideales dyn. Chassis vorausgesetzt, ansonsten kommen noch weitere Fehler durch Partialschwingungen der Membrane und nicht ausreichende Bedämpfung durch die Sicke etc. hinzu) somit ist dieser Fehler vernachlässigbar. Hörtests, natürlich in England durchgeführt - wo auch sonst - ergaben, daß langsame Phasendrehungen an Lautsprechersystemen nicht wahrgenommen wurden, wohl aber sprunghafte Änderungen des Phasengangs. Als Referenz für ev. Phasenabgleiche dient im allgemeinen der Mitteltöner. Der Baßzweig enthält zusätzlich die Möglichkeit einer Korrektur des Frequenzgangs und des Zeitverhaltens des Baßlautsprechers. Hierfür wird ein sog. Entzerrer verwendet, der von Linkwitz vorgeschlagen wurde und dann von Greiner und Schoessow verbessert worden ist. Resonanzfrequenz und Güte lassen sich bei dieser Schaltung aber nicht unabhängig voneinander einstellen, es kann bei einigen Konfigurationen Einschränkungen geben. Eine sorgfältige Berechnung ist hier vonnöten. Eine Simulationssoftware leistet hier wiederum gute Dienste. Erfreulicherweise kommt die Schaltung dafür mit nur einem Operationsverstärker aus.

3 Die Schaltung

Um zu handhabbaren Werten für die Spulen zu kommen, muß der Lastwiderstand der Weiche möglichst niederohmig sein. Ein niedriger Lastwiderstand wird aber (es sind immerhin drei Wege parallelgeschaltet) die vorhergehende Treiberstufe ev. ungehörig stark belasten. Hier muß also ein Kompromiß gefunden werden. Der Treiberstufe gehört damit aber wesentliche Aufmerksamkeit! Der Lastwiderstand wurde je Zweig auf 100 Ohm festgelegt. Dies ergibt für die Spulen noch gut handhabbare Windungszahlen und damit auch kleine Gleichstromwiderstände. Ferner ergibt das niedrige Widerstandsniveau gute S/N Werte. Einen solch niedrigen Widerstandswert kann ein normaler OP ohne stromverstärkende Endstufe nicht mehr treiben. Zum Einsatz kommt hier ein spezielles Transistorenarray. Diese Schaltung im TO 220 - ähnlichen Gehäuse mit 5 Anschlüssen enthält eine Komplementärendstufe mit Treibern in höchster Linearität. Deshalb arbeitet das Array auch vollständig ohne Signalgegenkopplung und erreicht trotzdem Klirrwerte $< 0,02\%$ bei 2 Veff ! Zur Anpassung an den Eingang werden lediglich zwei Feldeffekttransistoren verwandt. Die Gleichspannungsoffsetüberwachung übernimmt ein als Integrator geschalteter OP. Da die Grenzfrequenz dieser Offsetregelung $\ll 1\text{Hz}$ liegt, braucht mit einer Beeinflussung des Musiksignals nicht gerechnet zu werden. Das Array (im Schaltbild IC4 ,Typenbez. LT1010CT) kann in reiner Klasse - A einen Widerstand von 70 Ohm mit mehr als 150mA beliefern ! Durch die fehlende Gegenkopplung können auch starke kapazitive Lasten am Ausgang keine Schwingneigungen hervorrufen. Ein ideales Bauteil also für diese Anwendung. Als gegenkopplungsfreier Hochstromausgang hat dieses Bauteil schon in vielen NF und Video Line - Ausgangsstufen seinen Dienst getan. Als Spulen werden RM8 - Kerne mit Luftspalt der Fa. Siemens eingesetzt. Der Luftspalt ist für Spulen hoher Güte in Filterschaltungen unabdingbar, vermindert er doch die Temperaturbeiwerte der Induktivität wesentlich. Die Spulen werden als Bausatz von Siemens geliefert, so das eine Bewicklung relativ einfach durchführbar ist. Bei Werten für die Induktivität um max. 100mH ergeben sich bei AL - Werten von 1600nH Windungszahlen um 200 - 250. Mit 0.35mm CU - Lackdraht bewickelt ergeben sich dann Gleichstromwiderstände von $\leq 4\text{ Ohm}$. Somit ist eine ausreichend hohe Spulengüte gewährleistet und die Signalbedämpfung bleibt auf den Lastwiderstand von 100 Ohm bezogen gering. Die auf die Filter folgenden Allpässe sind in der Lage, die akustischen Zentren der jeweiligen Chassis anzugleichen. Bei einer Konfiguration mit 12 dB/Okt. muß der Mitteltöner wegen einer Phasenverschiebung des Bandpasses von 180 Grad zu den Übernahmepunkten des Hoch/Tiefpasses eigentlich verpolt werden. Da aber der Baßentzerrer das Signal auch um 180 Grad dreht, ist im unteren Übernahmepunkt schon wieder Phasengleichheit hergestellt. Hier ist dann also nur der Hochtöner zu verpolen! Je nach Phasenlage des Hochtöners, bedingt durch Einbau resp. typischer eigener Phasenlage, kann aber eine Rückpolung erforderlich sein. Hier gibt nur eine Messung mit einem Audio-Meßsystem Aufschlüsse über die Verhältnisse der akustischen Phase. Bei einer 24 dB - Version liegen alle Ausgangssignale der Weiche in Phase, also muß wegen der Phasendrehung des Entzerrers im Baßbereich nur der Tieftöner verpolt werden. Die passiven Bauteile des Entzerrers sollten sich auf einer kleinen Steckplatine befinden, ein Ändern der Parameter im Baßbereich ist somit schnell durchführbar, sofern man sich mehrere Steckplatinen besorgt. Der OP befindet sich dabei auf der Hauptplatine, das dämpft die Kosten der Steckkarte erheblich. Die OP's selbst sind **AD712**

von Analog Devices. Diese OP's sind rel. rauscharm, haben niedrigen DC - Offset und vor allem: sie sind recht stabil in Bezug auf Oszillation bei Belastung des Ausgangs mit kapazitiven Lasten. Diesem Punkt ist höchste Beachtung zu schenken. Für den Entzerrer sollte aus diesem Grunde keine andere Type gewählt werden. Alternativ zum AD712 können für die Ausgangspuffer des Hoch - und Mitteltonzweigs **OPA 2604** von Burr Brown eingesetzt werden, sowie auch **OP275** von Analog Devices. **NE5532AN** sind ebenso möglich (diese nur von Signetics). Hier ist im Endeffekt der persönliche Geschmack in Bezug auf den Klang entscheidend, jeder OP hat seine klanglichen Eigenarten. Das Netzteil besteht aus einem durch Längstransistoren unterstützen Spezial IC, einem sog. Trackingregler **LM325** (National Semiconductor). Die Schaltung ist bewährt und liefert über einen großen Frequenzbereich niedrige Quellimpedanzen bei gleichzeitig sehr kleiner Rauschspannung.

4 Aufbauanleitung

4.1 Vorbemerkung

Ohne die Hilfe eines Audio-Meßsystems mit der Möglichkeit, auch akustische Phasen zu messen, ist ein Aufbau dieser Weiche nicht sinnvoll durchführbar. Zusätzlich sollten für die Baßabstimmung mittels Entzerrer die Thiele/Small - Parameter des Baßlautsprechers zu ermitteln sein. Die gemessenen Werte sind dann in Audiocad Pro zu importieren.

Nachdem die durch Audiocad Pro ermittelten Werte für die Dimensionierung der passiven Bauteile feststehen, kann mit den praktischen Ausführungen begonnen werden. Ein Induktivitätsmeßgerät ist für das Wickeln der Spulen ebenfalls unabdingbar!

4.2 Dimensionierung der Spulen

Zuerst werden die Spulen L1... L4 laut Angaben gewickelt. Vorgesehen sind RM8-Kerne von Siemens. Diese werden z.B. von der Fa. Bürklin als Bausatz vertrieben. Der Bausatz besteht aus einem oberen und einem unteren Schalenkern, einem Spulenkörper, zwei Halteklammern sowie einer Isolierscheibe. Für L1 und L2 kommt noch eine Abgleichschraube hinzu. Vor dem Bewickeln der Spulenkörper muß noch die jeweilige Windungszahl berechnet werden. Für die Ermittlung der Windungszahl von Spulen hat es sich als zweckmäßig erwiesen, den magnetischen Leitwert heranzuziehen. Man bezeichnet ihn mit Induktivitätsfaktor AL oder kurz mit AL-Wert. Es gilt die Beziehung:

$$N = \sqrt{(L / AL)}$$

mit

N= Anzahl der Windungen

L= gewünschte Induktivität der Spule in Henry

Bei dem für L3 und L4 vorgesehenen AL - Wert von 1600 nH ergäbe sich z.B. bei einer gewünschten Induktivität von 70mH (z.B. für L3) eine Windungszahl von N= 209. Diese Windungszahl wäre auf den Spulenkörper aufzubringen. Nach dem Bewickeln des Spulenkörpers setzt man diesen zusammen mit der Isolierscheibe in die untere Kernhälfte ein. Die Isolierscheibe dient hier eigentlich nur dem Zweck der exakten Fixierung des Spulenkörpers zwischen den beiden Kernhälften. Zum Schluß werden noch die beiden Halteklammern aufgeclipst. Da die AL - Werte der Kerne durchaus exemplarisch streuen, *muß* ein Abgleich mittels Induktivitätsmeßgerät vorgenommen werden. Man "überwickelt" die Windungszahl und approximiert durch gezieltes Abwickeln und Messen der tatsächlichen Induktivität auf den gewünschten Wert. Bei den Spulen L1 und L2 ist die Verfahrensweise einfacher. Hier stehen Abgleichschrauben zur Verfügung. Vom gewünschten Induktivitätswert dieser Spulen sind allerdings ca. 5% abzuziehen, da sich die Induktivität erhöht, wenn die Abgleichschraube eingedreht wird. Abzüglich der 5% erhält man den Nennwert der Induktivität bei ca. Mittelstellung der Abgleichschraube, sodaß ein max. Abgleichbereich erreicht wird. Mit dem passenden (!) Abgleichschlüssel wird nun mittels Meßgerät auf die von Audiocad angegebene Induktivität abgeglichen. Die Anfertigung von Sonderbauteilen ist hiermit abgeschlossen, vom Entzerrer abgesehen wird nun nach den Vorgaben von Audiocad und der Stückliste fortgefahren.

4.3 Entzerrer

Zum Abschluß muß noch der Entzerrer berechnet werden. Hierzu werden zunächst die Thiele-Small-Parameter des Baßlautsprechers im eingebauten Zustand (im geschlossenen Gehäuse!) gemessen und in Audiocad Pro importiert. Da ein Aktivlautsprecher gebaut werden soll, ist nur die Gehäusebauform mit dem besten Impulsverhalten interessant. Die schlechteren Tiefbaßeigenschaften gegenüber anderen Varianten sind durch eine aktive Entzerrung durchaus zu kompensieren. Wichtig ist hier nur, daß ein Baßchassis mit ausreichender Belastbarkeit ausgesucht wird, da eine Entzerrung über eine Oktave die 16-fache Leistung und eine Entzerrung über zwei Oktaven sogar die 256-fache (!) Leistung benötigt. Maßvoll entzerren ist also angebracht. Desweiteren wird bei dem vorgeschlagenen Linkwitz-Entzerrer auch noch die Einbaugüte des Lautsprechers

beeinflusst. Die Möglichkeit, die Güte zu niedrigen Werten hin beeinflussen zu können, soll aber nicht dazu verleiten, Lautsprecher mit Einbaugüten von z.B. 1 auf Güten von 0,5 herab zu "knüppeln"! Bereits leichte Änderungen der Chassisgüte durch Alterung können so die gesamte Abstimmung eines Baßlautsprechers zunichte machen. Ein 'lausiges' Impulsverhalten ist dann quasi garantiert. So sollte man immer auf relativ niedrige Einbaugüten achten, auch hier ist nur maßvolle Beeinflussung durch den Entzerrer angebracht. Nun misst man mit einem Audio-Meßsystem die Resonanzfrequenz f_s und die Einbaugesamtgüte Q_{tc} des Baßtreibers. Die Bauteilewerte für den Entzerrer können dann mit AudioCad berechnet werden. Da sicherlich viele Werte der passiven Bauteile in den Filtern und im Entzerrer außerhalb der typ. Normreihen liegen, sind diese durch Parallel- bzw. Reihenschaltungen von Normwerten zu erzeugen.

4.4 Angleichen der akustischen Zentren, Allpässe

Einige Anwender werden sicherlich die akustischen Zentren Ihrer Lautsprecher in die gleiche Ebene bringen wollen. Hierzu eignet sich ein Verzögerungsglied in Form eines Allpasses 1.Ordnung. Im Schaltbild werden diese Verzögerungsglieder durch IC2a und IC2b gebildet. Die Verzögerungszeit ist abhängig von der Zeitkonstante, die R11 und C8 sowie R14 und C9 bilden, und weiterhin frequenzabhängig:

$$t = (1 / \pi * f_o) * (1/1 + (f / f_o)^2) \quad \text{mit } f_o = 1 / (2 * \pi * R_{11} * C_8)$$

Damit die Frequenzabhängigkeit möglichst klein ist, muß f_o mindestens dreimal so groß sein wie die gewünschte Trennfrequenz, bei der der Einsatzbereich des zu verzögernden Chassis beginnt. Oft wird die Verzögerungszeit eines einzelnen Allpasses nicht ausreichen, sodaß mehrere Allpässe hintereinander geschaltet werden müssen. Hier ist ein Kompromiß zwischen Signal/Rauschabstand und der Anzahl der verwendeten Operationsverstärker zu schließen. Wählt man f_o immer gleich $3 * f_t$ (Trennfrequenz), so kann als Faustformel für die Verzögerungszeit t eines Allpasses

$$t \sim 1 / (10 * f_t) \text{ angenommen werden.}$$

Als Standardwert für R11 (R14) mit 10 KOhm gilt:

$$C_8 (C_9) = 1 / (2 * \pi * 10000 * f_o)$$

Die akustischen Zentren sind mit einem Audiomeßsystem zu ermitteln. Als Alternative zu den Allpässen können die Chassis auch mechanisch gegenüber den "langsameren" Chassis auf der Schallwand zurückgesetzt werden. Diese Vorgehensweise erspart eventuell eine ganze Reihe von Operationsverstärkern in Allpaßstruktur und ist in der Regel vorzuziehen. In der Schaltung werden dann R11 und R14, R17 und R18 durch 220 Ohm Widerstände ersetzt, es entfallen R10, R13 sowie C8 und C9. Je nach Operationsverstärker können R17 und R18 auch durch Brücken ersetzt werden. Zum Schluß müssen mit Hilfe eines Meßsystems nur noch die elektrischen Pegel aller Kanäle auf gleiche akustische Pegel der Lautsprecher gebracht werden.

4.5 Praktische Tips zum Aufbau

Die FET's T1 und T2 sind thermisch zu koppeln (die Stirnflächen mit Wärmeleitpaste zusammen montieren). Das IC4 (LT1010) ist mit einem TO 220 - Kühlkörper zu versehen, da es im A - Betrieb läuft und sich entsprechend erwärmt. T3 und T4 sind ebenfalls mit kleinen Kühlkörpern zu versehen. Nach einer Testphase mit div. OP's sind die Sockel für diese zu entfernen und die OP's direkt einzulöten. Sockel verursachen häufig Langzeitinstabilitäten und Schwingneigungen. Alle Spulen sind grundsätzlich vor der Endmontage auf der Leiterkarte abzugleichen! R12, R16 und R27 müssen 100 Ohm betragen. Auf diesen Wert bezieht sich AudioCad bei der Berechnung / Simulation der passiven Filterbauteile. Dieser Wert kann aber in der AudioCad-Installationsmaske auch verändert werden. Die Eingangsspannung für das Regel - IC LM325 (IC5) darf 25 Volt nicht übersteigen. Dies gilt insbesondere dann zu beachten, wenn die Versorgung für die Weiche aus der Spannungsquelle der Endstufen entnommen wird.

Messungen mit einem Audiomeßsystem am gesamten Lautsprecher müssen unbedingt folgender Bedingung unterliegen: Nicht das Mikrofon vor das jeweils zu messende Chassis setzen! Der Mikrofonstandort muß immer an derselben Stelle in Bezug auf die gesamte Box sein - schließlich befindet sich das menschliche Ohr beim Abhören eines Lautsprechers auch nur an einem Punkt und "springt" nicht in den Chassis-Ebenen hin und her. Der Meßpunkt sollte sich in typischer Ohrhöhe (ca. 95.. 100cm vom Boden) beim Abhören eines Lautsprechers befinden. Als günstiger Abstand von Mikrofon zur Schallwand ergibt sich häufig ein Wert von 1 - 2,5 Metern. Hier muß sicherlich je nach verwendeten Chassis und Gehäusebauform experimentiert werden. Fernmessungen sind leider in den meisten Fällen aufgrund wenig geeigneter Meßräume selten durchführbar, die Meßwerte sind dann oft stark wellig und die akustische Phase "springt" sehr häufig.

5 Stückliste

C1	1µF MKH oder MKP (z.B. Solen)
C2,3	330nF MKH
C4a,b	lt. Berechnung bzw. Optimierung von Audiocad
C5a,b,c	lt. Berechnung bzw. Optimierung von Audiocad
C6a,b	lt. Berechnung bzw. Optimierung von Audiocad
C7a,b,c,d	lt. Berechnung bzw. Optimierung von Audiocad
C8,9	siehe Berechnung Allpaß
C10,11,12,13	siehe Berechnung Entzerrer
C14,15	1000µF, 25 Volt
C16,17,21...26	100nF Vielschicht 63V(z.B. Sibatit)
C18,20	1000µF, 16V
C19	1µF, 16V
R1	33K
R2	91K
R4	1M
R5	1M
R6	1K
R7	1K2
R8	1K
R9	75R
R10,11,13,14,17,18,	10K
R12,16,27	100R, (diesen Wert in der AudioCad-Installationsmaske hinterlegen)
R19,20,21,22	lt. Berechnung des Entzerrers
R23,24	22K (können geändert werden, siehe Entzerrer, müssen aber gleich sein!)
R25	1,3R
R26	1R
PT1,2,3	Trimpoti liegend, 22K (Piher, gekapselt)
D1,2	1N4001
IC1	TL071, AD711, OP27, auf niedrige Offsetspannung achten
IC2	siehe Text (AD712.....)
IC3	siehe Text (AD712.....)
IC4	LT1010CT (Linear Technology)
IC5	LM325 (National Semiconductor)
T1,2	2N5457
T3,4	BD139
L1,L2	RM8 Kernsätze , AL Wert 630nH, mit Abgleichkern, Lufspalt
L3,4	RM8 Kernsätze , AL Wert 1600nH, Luftspalt

6 Lieferrachweise

Die angegebenen Preise sind unverbindlich und unterliegen zeitlichen Schwankungen. Die Mengen beziehen sich auf eine Monoweiche.

4 Stk.	Schalenkern Siemens RM 8, F630-J48	Bürklin 82D906	DM 5,55
4 Stk.	Schalenkern Siemens RM 8, J1600-K41	Bürklin 82D912	DM 4,59
8 Stk.	Spulenkörper Siemens J1005D1	Bürklin 82D940	DM 1,18
4 Stk.	Abgleichschraube Siemens B3001	Bürklin 82D966	DM 1,28
16 Stk.	Klammer f. RM8, Siemens 658112A2203	Bürklin 82D980	DM 0,15
8 Stk.	Isolierscheibe Siemens A5000	Bürklin 82D972	DM 0,25
	CU-Lackdraht 0,15mm sowie 0,35mm (ca. 15 mtr.)		
1 Stk.	LT1010CT (Linear Technology)	Bürklin 41S6228	DM 12,65
2 Stk.	2N5457 (Motorola)	Bürklin 28S1650	DM 1,86
1 Stk.	LM325N (National Semiconductor)	Bürklin 41S3350	DM 15,30
1 Stk.	TL071ACP (Texas Instruments)	Bürklin 49S5485	DM 2,40
2 Stk.	AD 712JN (Analog Devices)	A. Mayer	DM 5,35

alle anderen OP können ebenfalls über Fa. Mayer bezogen werden.

7 Copyright

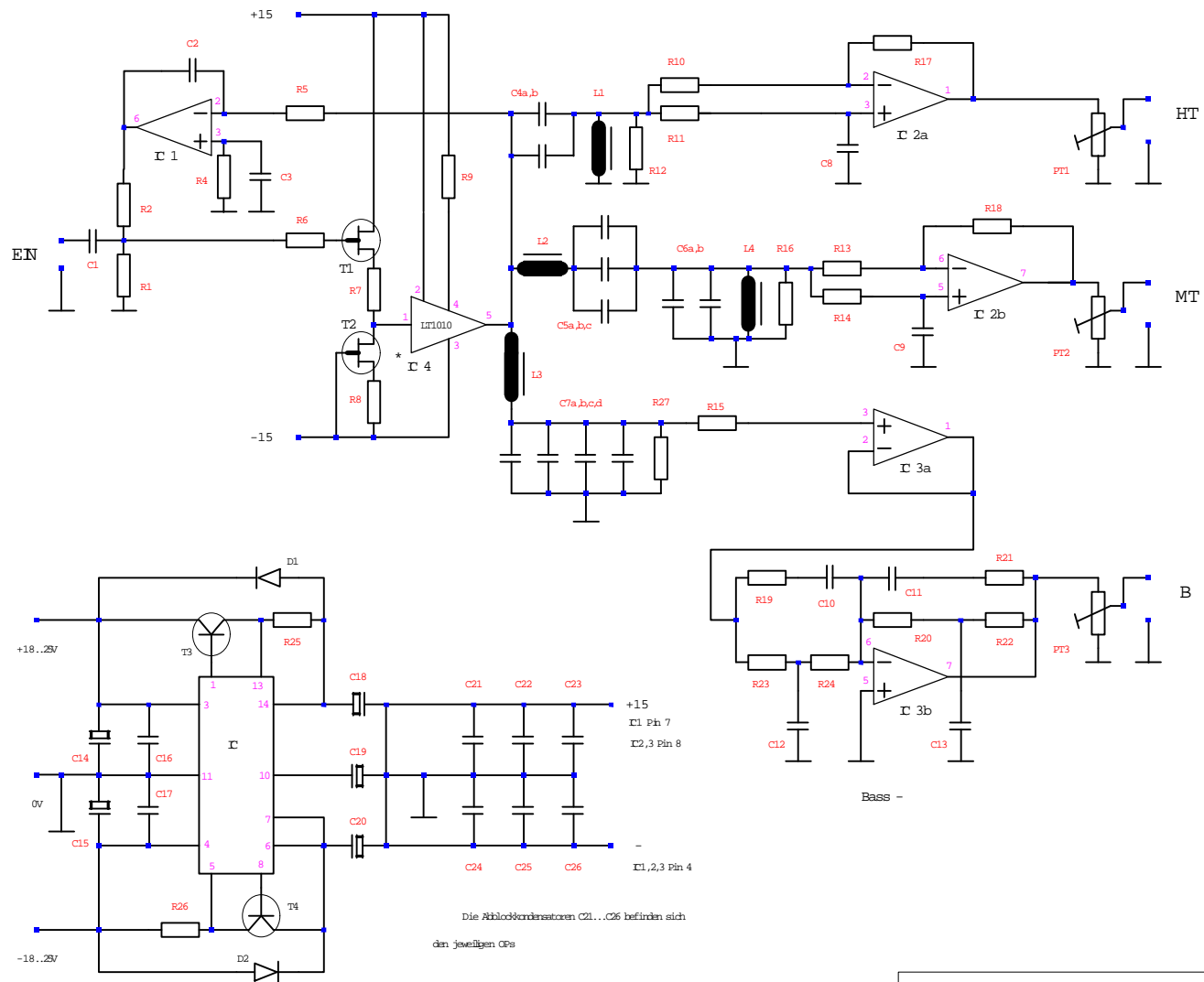
Diese Schaltung ist ausschließlich für den privaten Gebrauch freigegeben. Die kommerzielle Anwendung setzt den vorherigen Abschluß einer entsprechenden Lizenzvereinbarung mit dem Entwickler, Herrn Ulteé, voraus.

8 Platine

Eine unbestückte Platine in 12 dB - Monoversion ist für 55,- DM incl. MWSt. erhältlich bei

Jürgen Ulteé
Deipenbrook 14

48607 Ochtrup



* Anmerkung
IC 4 gut kühlen, da A-

Aktive 12dB/Linkwitz/passiv		
Massta --	© J. Ultee 94	Ausga 2
Datu	03/1994	Blatt 1