

elrad extra 8

DM 16,80
öS 142,- · sfr 16,80

HiFiBoxen

selbstgemacht

Bauanleitungen:

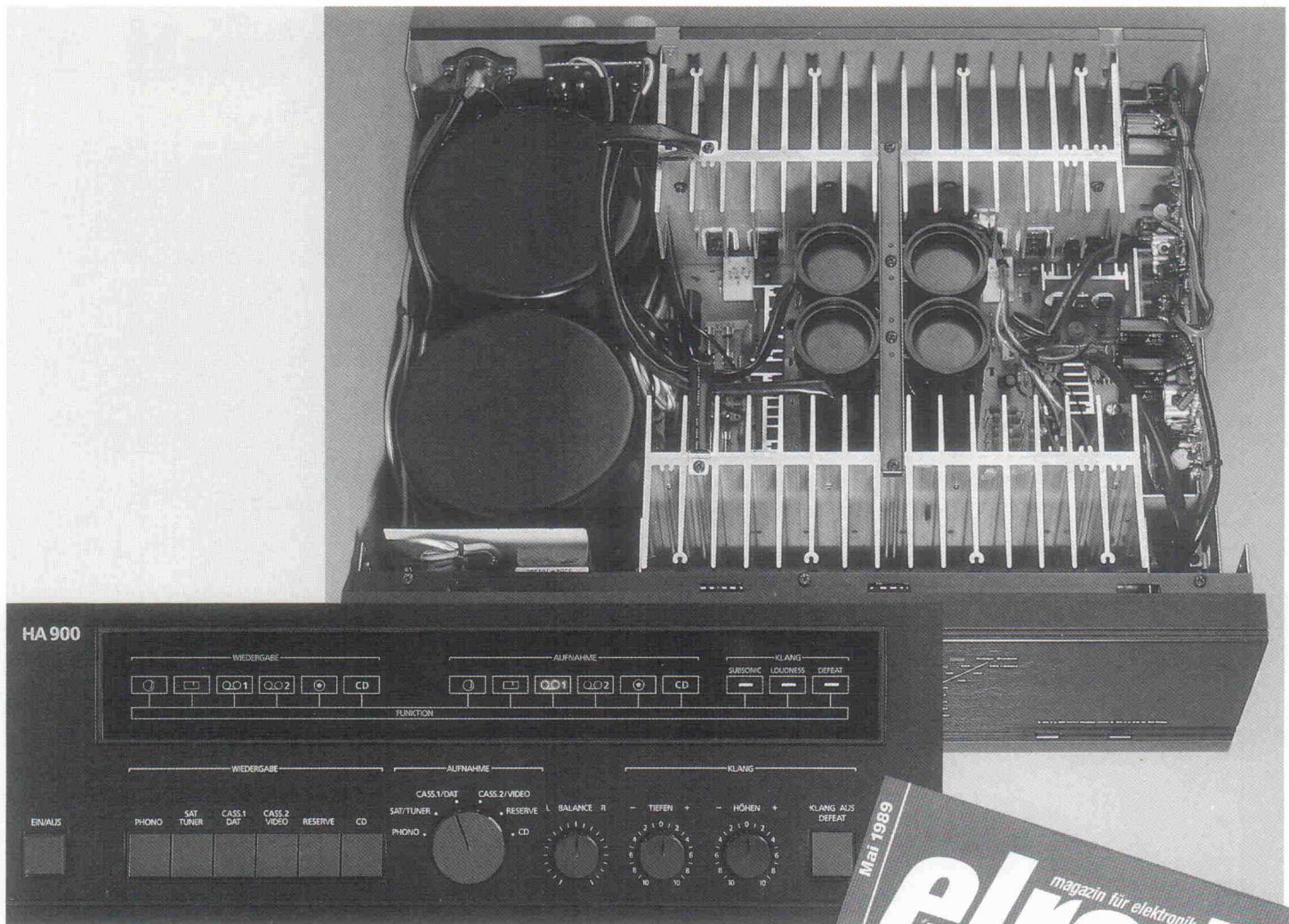
ACR
ADT
Eton
Fidibus
Görlich
IEM
McFarlow
Mivoc
Scan Speak
Sipe
Sinus
Visaton

Grundlagen:
Bandpaßgehäuse
Membranen
Dämpfung
Frequenzgänge
im Auto

... jetzt Boxen selbst berechnen
Thiele/Small erstmals
in deutscher Übersetzung:
A. N. Thiele, Lautsprecher in
ventilierten Gehäusen



EINBLICKE!



Audio-Projekte

elrad ist ein Fachmagazin für praktische Elektronik, technische Rechneranwendungen und Schaltungstechnik — mit einem deutlichen Schwerpunkt bei den aktuellen Entwicklungen der Audio-Elektronik.

elrad-Leser sind durch Grundlagenbeiträge und Projekte über den Stand der Technik informiert. Fortschrittliche Konzepte für High-End-Vorverstärker und Endstufen vermitteln Einblicke. Und ein Know-how, das nicht selten sogar in industrielle Entwicklungen einfließt. Boxen-selbstbau ist selbstverständlich, Röhren-technik keineswegs tabu.

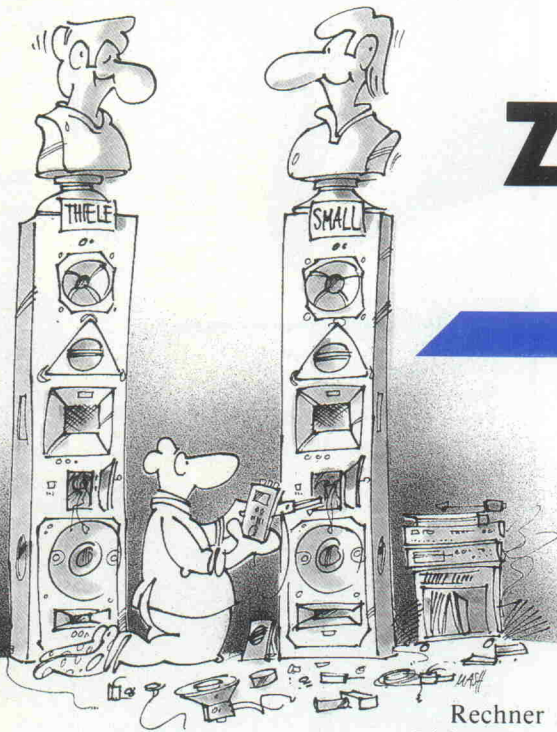
elrad. Das ist Know-how-Transfer jeden Monat.

elrad Fachmagazin für Elektronik
und technische Rechneranwendungen.
Der Vollständigkeit halber.

Bei Ihrem Zeitschriftenhändler oder beim Verlag.



Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG,
Postfach 61 04 07, 3000 Hannover 61
Telefon (05 11) 53 52 - 0



Zurück zu den Quellen!

Rechner einschalten, 'Gehäuse'-Diskette booten, Programm starten und dann entweder TS-Parameter eingeben oder nach Angabe des Programms selbst ermitteln. Heraus kommt — nach eine Rechenzeit von schlimmstenfalls 60 Sekunden — ein wohlabgewogener Vorschlag des Rechners für ein Baßreflex-Gehäuse und vielleicht auch schon für eine Weiche. So oder ähnlich beginnt in den Entwicklungsabteilungen vieler Lautsprecherfirmen die morgendliche Routine.

Daß es einmal Zeiten gegeben hat, in denen der Ingenieur nicht auf einen Computerausdruck, sondern auf eine Erleuchtung wartete, 'wie lang-wie hoch-wie breit' er denn den Reflextunnel nun zu bauen habe, daran denkt heute der 'normale' Rechnerbenutzer kaum noch. Ist wahrscheinlich auch besser so, denn erstens müssen diese abenteuerlichen Boxen von 'vor Thiele und Small' eher optische Wirkung entfaltet haben als akustische, und zweitens dürfte das kaum aufgefallen sein; HiFi und Stereo gab es zwar schon, aber deren Qualität war eher rauschend als be rauschend — Boxenfehler fielen also auch entsprechend weniger auf.

Die entscheidenden Fakten sind hinter den Kürzelbuchstaben 'TS' verborgen; sie stehen für die Namen Thiele und Small.

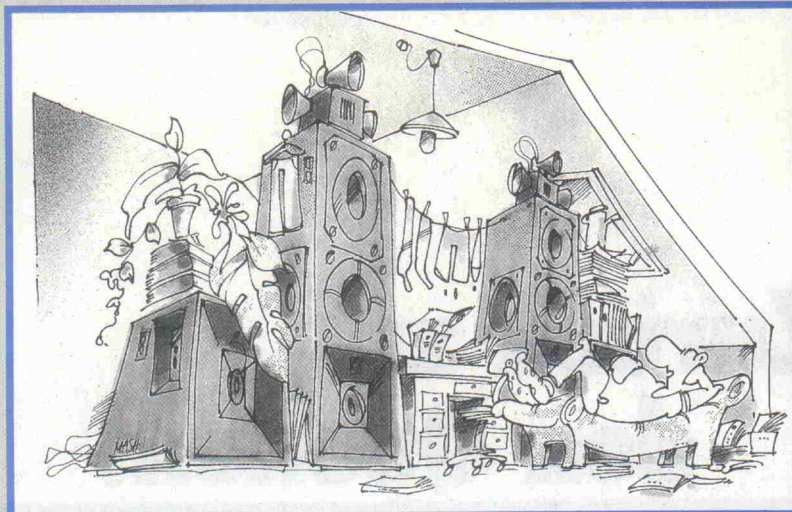
Jeder an Lautsprechern Interessierte hat diese Namen schon einmal gehört, manch einer nach den von Ihnen entwickelten Formeln gerechnet, aber wer hat schon Zugriff auf die Originalveröffentlichungen, die (natürlich) in englischer Sprache abgefaßt sind, und in denen zum ersten Mal Reflexgehäuse 'richtig' berechnet wurden? Grund genug also, diese Arbeiten ins Deutsche übersetzt einem breiten Publikum zugänglich zu machen. Wir sind dabei so 'text-treu' wie möglich zu Werke gegangen, aber zwanzig Druckseiten sind für jeden Leser eigentlich eine herbe Zumutung (wir empfehlen auch, sich den Artikel in kleinen Portionen zu Gemüte zu führen!). Herausgenommen wurde lediglich ein Kapitel über positive und negative Rückkopplung an Röhrenverstärkern — heute nicht nur nicht mehr aktuell, sondern sogar eher verwirrend. Drin gelassen wurden dagegen alle Zoll-Maße; die sind zwar auch nicht mehr so ganz aktuell, aber im angelsächsischen Sprachraum zumindest noch gängiges 'Zahlungsmittel'.

Und kürzen mußten wir auch das Vorwort des Autors, in welchem er darauf hinweist, daß es ihm leider nicht vergönnt sei, den praktischen Beweis seiner theoretischen Überlegungen anzutreten, denn Schalldruck-Pegelschreiber gäbe es noch nicht. Er habe jedoch einige Mustergehäuse aufgebaut und sie würden 'durch die Bank' alle recht gut klingen ...

Herzlichst Ihr

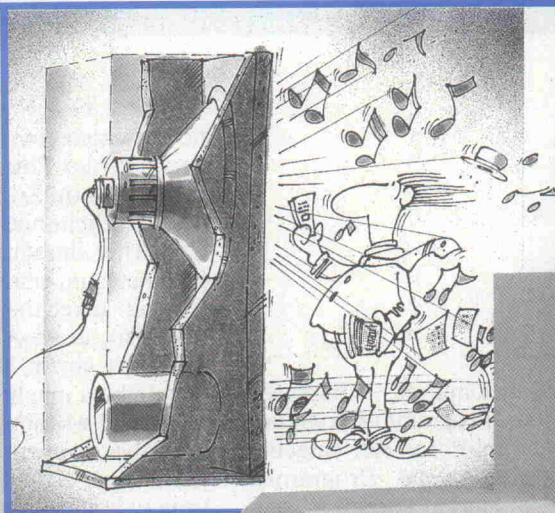
Peter Röbbke-Doerr

Peter Röbbke-Doerr

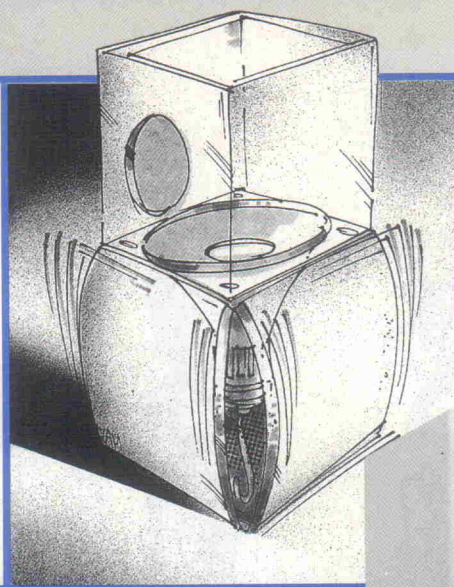


Die häufigsten Fehler beim Lautsprecher-selbstbau — und wie man sie vermeiden kann
Seite 78

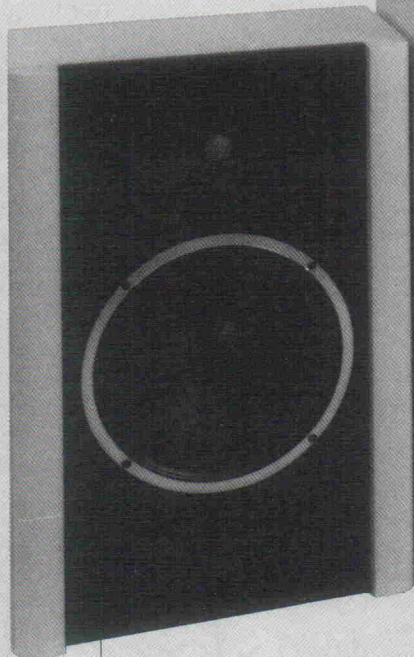
A. N. Thiele
Lautsprecher
in ventilerten
Gehäusen
Die Berechnungs-
grundlagen für
Baßreflexgehäuse
Seite 92



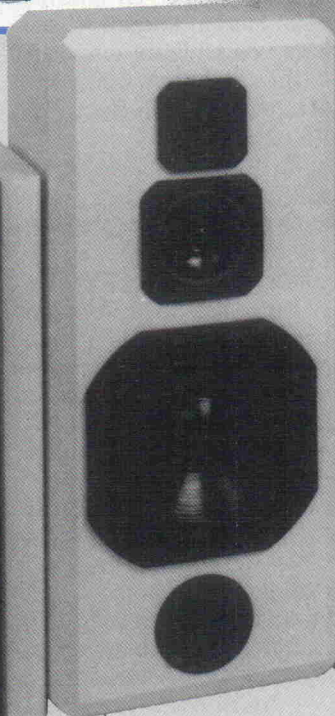
Vom Messen und Rechnen —
Theorie und Praxis
im Lautsprecherbau
Seite 34



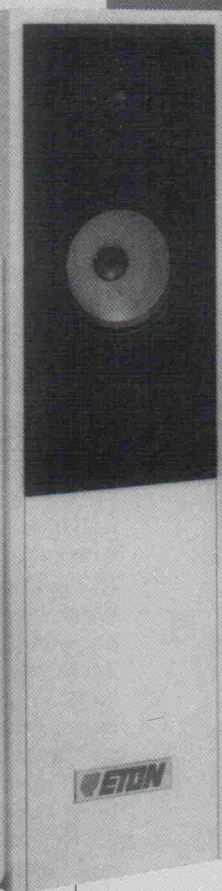
ACR
Seite 88



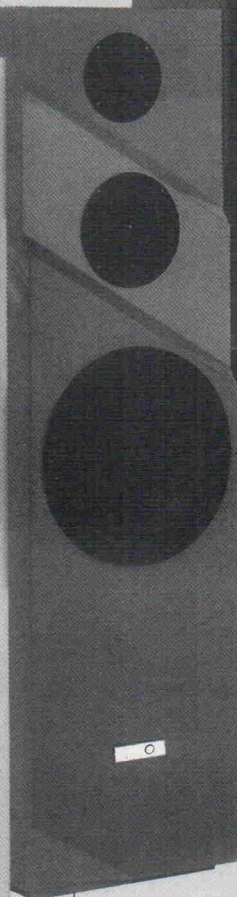
McFarlow
Seite 30



JEM
Seite 60



Eton
Seite 68



Visaton
Seite 56



ADT
Seite 84

Fidibus

Seite 18

Bauanleitungen

Sinus Attendance	14
Fidibus BR 5	18
Scan Speak Transvector 4	26
McFarlow 5208	30
Mivoc Acapulco	44
Sipe Chario	48
Visaton Manhattan	56
JEM Platin 3	60
Eton Vita 10	68
Görlich/KEF	74
ADT Weekend	84
ACR Triangel	88

Sipe

Seite 48

Grundlagen

Gehäusehohlraumbedämpfung	22
Vom Messen und Rechnen	34
Sound im Auto	52
Flachmembranen	64
Die häufigsten Fehler	78
Lautsprecher in ventilierten Gehäusen	92

Rubriken

Editorial	3
Aktuell	6
Impressum/Inserentenverzeichnis	114

Sinus

Seite 14

Görlich/KEF

Seite 74

Mivoc

Seite 44

Scan Speak

Seite 26

Lautsprechergehäuse

Akustik aus

Keramik

Ganz neue Wege im Lautsprechergehäusebau beschreitet die Dortmunder Firma ecotherm, die sich in der Vergangenheit insbesondere mit der Produktion von Kachelöfen, Kunstgegenständen und Baukeramik befaßt hat. Dem Keramikatelier ist es nach beträchtlichem Entwicklungsaufwand gelungen, in einem speziellen Herstellungsverfahren nahezu jede vom Kunden gewünschte Gehäuseform für Lautsprecherboxen anzubieten.

Neben solchen individuellen Sonderanfertigungen stehen jedoch auch sechs Gehäusestypen als Grundmodelle zur Auswahl, die mit Glasuren nach Wunsch und Geschmack versehen werden können — von konservativ bis 'total verrückt'. Auch die Oberfläche kann nach Kundenwunsch glatt oder stukturiert gestaltet werden.

Außerdem ist es durch die freie Wahl der Formgebung möglich, sich von ebenen Oberflächen zu

lösen und mit gebogenen Wänden oder Kugelformen eine weitere Optimierung der klanglichen Eigenschaften zu realisieren.



Keramik als Baustoff für Lautsprecherboxen

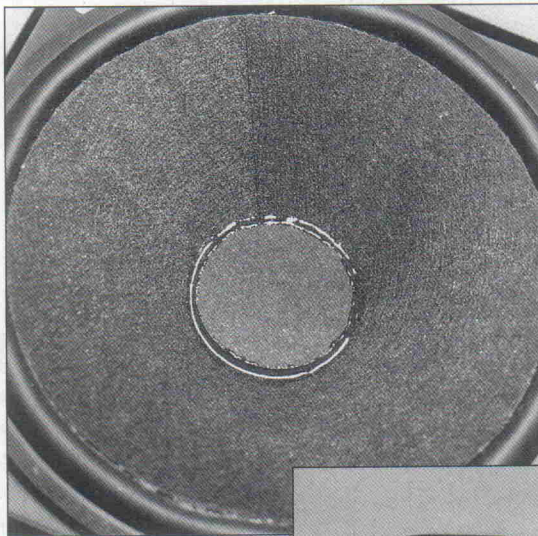
Der Natur auf der Spur

Chitinmembranen

Daß die Natur nach einigen Millionen Jahren der Evolution so manche technische Erfindung an Raffinesse in den Schatten stellt, beginnt man heute mehr und mehr zu begreifen. Diesmal wurde den Insekten über die chitingepanzerte Schulter geschaut.

So verfuhr auch Dipl.-Ing. Martin Küper, als er seine Ideen für ein neuartiges Membranmaterial auf Chitinbasis entwickelte. Immerhin waren diese Ideen sogar dem Forschungsminister ein paar Mark Technologieförderung wert, so daß es letztlich gelang, ein ganz neues Material für Lautsprechermembranen zu erschließen.

Es galt dabei wieder einmal, die widersprüchlichen Anforderungen an



an einen typischen Membranwerkstoff unter einen Hut zu bringen: Leichtigkeit, Steifheit, hohe innere Dämpfung. Mit Chitin als neuem Multilayer-Material scheint hier ein guter Kompromiß gelungen zu sein, insbesondere zugunsten der inneren Dämpfung. Erreicht wurde das durch die Verbindung verschiedener Werkstofflagen mit jeweils unterschiedlichen Schallaufzeiten.

Meßtechnisch versprechen die ersten Systeme, die mit dem neuen Werkstoff ausgerüstet sind, jedenfalls hervorragende Werte für Klirrfaktor, Impulsantwort und Amplituden- und Phasengang. Die klangliche Beurteilung möchte die Vertriebsfirma für die neuen Chassis, die AB-Soundtechnik, Köln, gern dem Interessenten selbst überlassen. Lieferbar sind derzeit fünf verschiedene Chassis, darunter ein Hochtonsystem, anzuhören in einer kleinen 2-Wege-Box mit 6 Liter Nettovolumen sowie in einer 45-Liter-Standbox.

Die ersten Handmuster mit Chitinmembranen



Lautsprecher

Mittel-/Hochton-

Bändchen

Der von Strathearn Audio in Deutschland neu entwickelte und patentierte Mittel-/Hochtonlautsprecher ist eine elektrodynamische Alternative zum Elektrostaten, da auch beim Bändchenprinzip der Antrieb und eine fast masselose Membran in sich vereint sind. Anders als beim Elektrostaten wird hier zur Ansteuerung jedoch kein separates Hochspannungsnetzteil benötigt.

Der Pure Ribbon Driver kann zwischen 350 Hz und 20 kHz eingesetzt werden. Er erzeugt einen Kennschalldruck von 87 dB und verkraftet eine Sinus-Dauerbelastung von 100 Watt. Seine Impedanz ist nahezu rein ohmsch und beträgt 0,35 Ω . Der Vertrieb erfolgt durch die Firma Hifisound, Münster, die auch kostenlose Datenblätter bereithält.

Selbstbaukatalog

Open Eye

Soeben erschienen: Der neue Boxenselbstbaukatalog 98/90 von Open Air. Mit 40 Seiten Zuwachs verspricht dieser neue Produktführer der Hamburger Firma für HiFi und PA einen umfassenden Überblick über Chassis, Bausätze und Zubehör von Audax bis WHD — natürlich mit allen technischen Daten und Preisen.

Doch neben dem reichhaltigem Lautsprecherangebot wird auch Elektronik angeboten: Zum Beispiel das Programm des renommierten Herstellers Albs sowie diverse Leckerbissen in Röhrentechnik. Der Katalog ist gegen eine Schutzgebühr von DM 10,— erhältlich, die bei einer Bestellung ab DM 100,— verrechnet wird.



Das Selbstbau-Erlebnis von WHD:

Bauen Sie doch mal Ihre eigene Transmissionline!



Mit dem aktuellen Selbstbaukatalog

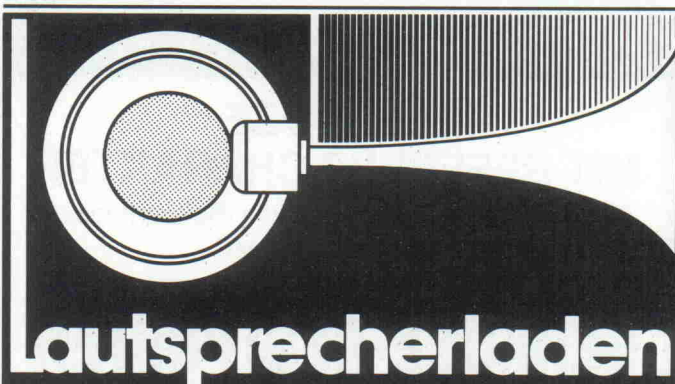
Gegen Schutzgebühr bei Ihrem Fachhändler.



WHD

Natürlich vom Spezialisten mit 60 Jahren Erfahrung in Entwicklung und Fertigung.

Wilhelm Huber + Söhne GmbH & Co. KG
Postfach 1154 · D-7212 Deißlingen · Telefon (074 20) 889-0



Dipl. Ing. FH Ronald Schwarz Rich.-Wagner-Str. 65-6750 Kaiserslautern-Tel. 0631/63355

THIEL

Hochtechnologielautsprecher

concave ceramic

Prospekt anfordern:

Thiel GmbH, 6650 Homburg
Dürerstr. 11, Tel. 06841-74608



Professional Loudspeaker Series



Fordern Sie unseren neuen Katalog

Vertrieb und Technik:

KLING & FREITAG

Kapellenstr. 16
3000 Hannover 61
Tel. (05 11) 55 68 78
Fax (05 11) 55 22 50

Händleranfragen
erwünscht

HIFI-LAUTSPRECHER

BAUSÄTZE MIT REFERENZ-CHARAKTER

„Test“ erprobt z. B. „Referenz Spitzenklasse“
oder „Oberklasse“

Einmalig!

GEHÄUSE-RESTPOSTEN

Echtholz, Herstellerpreis 300,—
jetzt ab 99,—

fertig lackiert oder roh verleimt + geschliffen, 30 mm
Wandstärke

Kirschbaum, Mahagoni, Frz. Nußbaum, Rio Palisander,
Eiche

Lautsprecher + Weichenbausatz + Montagesatz auf
Wunsch gegen Aufpreis

Lieferung per Vorkasse abzüglich 5%, ab Werk oder
Selbstabholung

Informationen gegen Einsendung von DM 5,— in Brief-
marken erhältlich

Hersteller hochwertiger HIFI-LAUTSPRECHER

LUA Audio-Labor

7771 Frickingen, Lindenstr. 7, Tel. 0 75 54/88 40 + 86 08

aktuell

Weichenbauteile

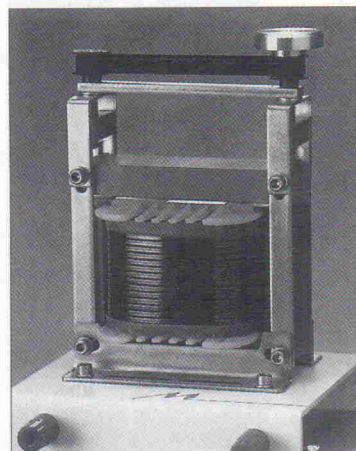
Henry auf

Achse

Wertvolle Hilfsmittel für die Laborentwicklung von Frequenzweichen sind die neuen Spulen mit variabler Induktivität des Kölner Spulenspezialisten Raimund Mundorf. Die mechanisch aufwendigen Geräte, die wie Baugruppen aus dem Physikunterricht der Schule anmuten, enthalten einen Trafokern bzw. einen Eisen-

puderkern und lassen sich durch eine Veränderung des Luftspalts in weiten Bereichen variieren.

Der Einstellbereich der Eisenpuderkernspulen liegt je nach Ausführung zwischen $\pm 25\%$ und $\pm 50\%$. Die Spulen mit Trafokern sind von ihrer Bauform her Null-Ohm-Spulen, deren Einstellbereiche je nach Kern und Drahtstärke verschieden sind. Der weiteste, mit einem Kern mögliche Bereich reicht von 1...30 mH.



Variable Induktivität für die Entwicklung von Weichen

Selbstbauboxen

Nachrüstung

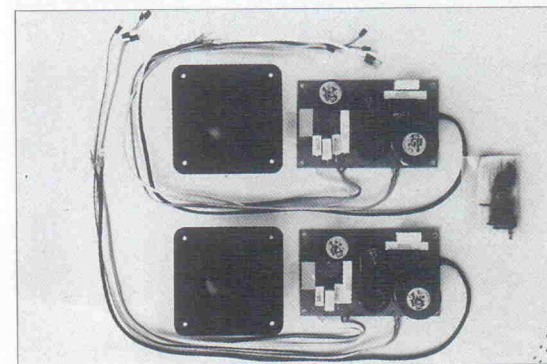
unterstützt

Obwohl sich die Firma Lautsprecher-Teufel zum vergangenen Jahresende vom Boxen-Selbstbausektor zurückgezogen hat, sind ihre bekannten Produkte LT22 und LT33 nach wie vor auf dem Markt zu finden.

Aus diesem Grund bietet die Firma Lautsprecher-Czerny aus Neuss die

häufig nachgefragten Aufrüstsätze für die LT22 an, die aus dem Original LT33-Mitteltöner mit anschlussfertiger Frequenzweiche bestehen. Die Nachrüstsätze werden in altgewohnter Qualität gefertigt und mit einer Garantieleistung von 5 Jahren und mit Einverständnis der Firma Teufel geliefert.

Der Nachrüstsatz von Czerny: Hochtöner und neue Weiche



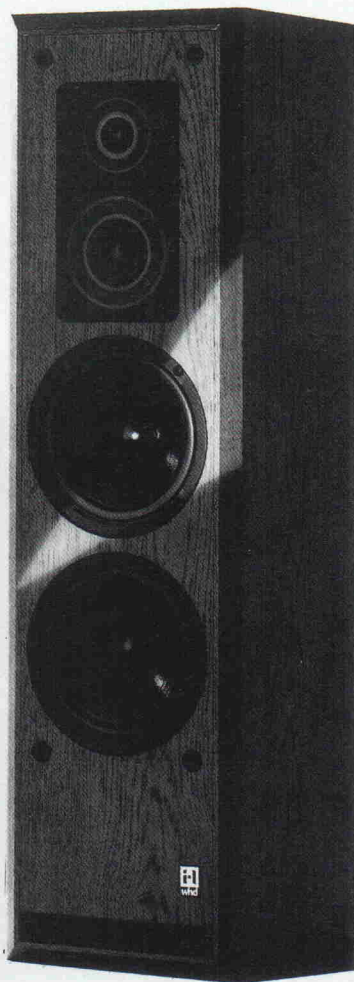
Selbstbauboxen

Arius

Das Selbstbauprogramm von WHD, Deißlingen, wurde um zwei neue schlanke Standboxen erweitert, die beide nach dem Baßreflexprinzip arbeiten. Beschichtete Gewebekalotten mit speziell angepaßten Schallführungen im Mittel-/Hochtonbereich sowie ein mit beschichteten Membranen ausgestattetes Doppelbaßsystem garantieren bei gutem Wirkungsgrad und geringem Klirrfaktor einen sehr linearen Frequenzgang und ein unverfärbtes Klangbild.

Die Arius b VIII ist für eine Nennbelastbarkeit von 80 Watt ausgelegt, die Arius b IX kann bis 100 Watt Sinus betrieben werden.

Doppelbaß-Lautsprecher von WHD



Die optimale Synthese...

...aus notwendigem Volumen und kleinstmöglicher Schallwandbreite vereinigt moderne Bauform und funktionale Vollkommenheit, was einer bestechenden räumlichen Wiedergabe zugute kommt.

Weitere interessante Lautsprecherboxen, Bausätze und Auto-Hifi-Komponentensysteme finden Sie im neuen MIVOC-Katalog '89.

Hör- und Verkaufsstudios:

4600 Dortmund 1
Hamburger Str. 67
Tel. (02 31) 59 84 17

5650 Solingen 1
Konrad-Adenauer Str. 11
Tel. (02 12) 1 60 14
FAX (02 12) 2014 33

6000 Frankfurt 1
Friedberger-Anlage 14
(nahe Zoopassage)
Tel. (0 69) 4 94 04 18

7000 Stuttgart 1
Theodor-Heuss-Str. 20
Tel. (07 11) 29 45 86

Vertrieb in Österreich:
TARGET Electronic
Tel. (0 55 22) 2 15 29

Vertrieb in der Schweiz:
Hobbytronic AG
Tel. (0 34) 23 15 00

COUPON

☐ Schicken Sie mir kostenlos Ihren Lautsprecher-Katalog

Name: _____

Adresse: _____

Wohnort: _____

Alter: _____

E8

mivoc[®]
West Germany

An: MIVOC AUDIO-SYSTEME · Konrad-Adenauer Str. 11 · 5650 Solingen 1

Neue Bausätze

Marmorgehäuse

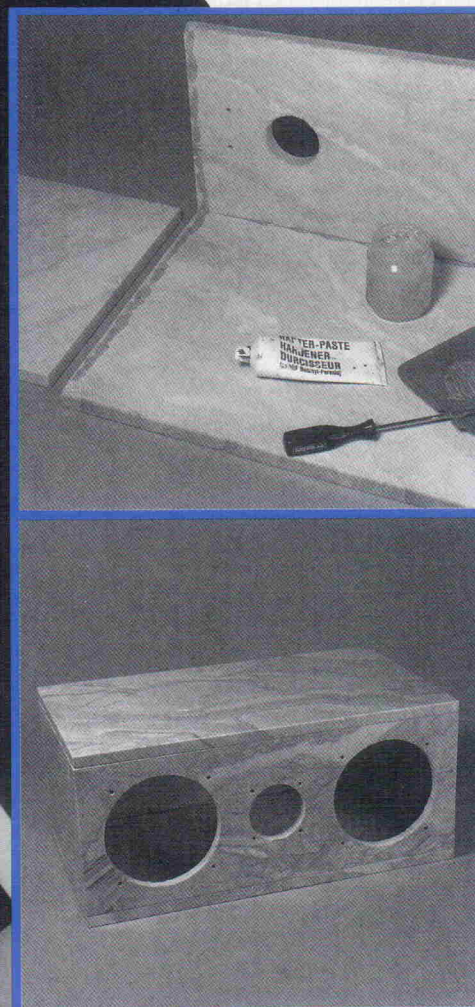
im Eigenbau

Marmor ist nicht nur ein akustisch geeignetes Baumaterial für Lautsprechergehäuse, sondern sorgt auch — bei entsprechender Verarbeitung — für einen optisch edlen Eindruck im Wohnzimmer.

Leider war bisher die Herstellung einer

lücke entdeckt hat die Firma SAD in 3451 Heinsen. Sie bietet komplett vorbereitete Bausätze für diverse Boxenmodelle an. Wir haben uns einmal ein 2 1/2-Wege-Gehäuse mit IEM/Seas-Bestückung besorgt und aufgebaut.

Die rechtwinklig geschnittenen und lackierten Marmorplatten werden mit Zweikomponentenkleber aus dem Autozubehörhandel verklebt. Die erste Platte wird mit dem rechten Winkel — oder noch besser mit der anstoßenden Platte — ausgerichtet.



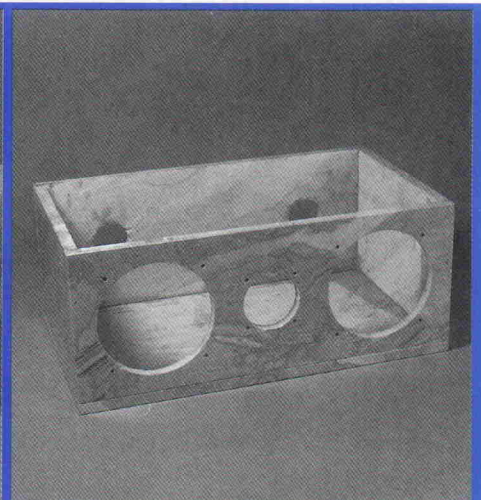
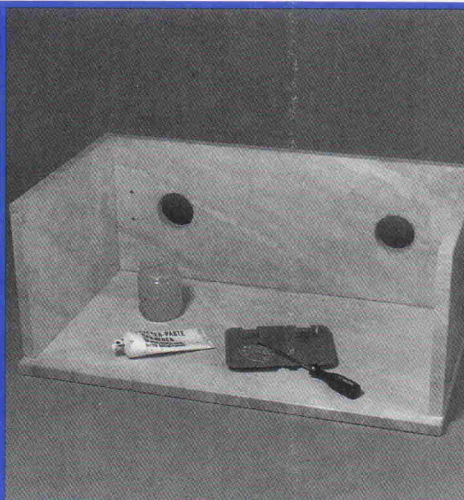
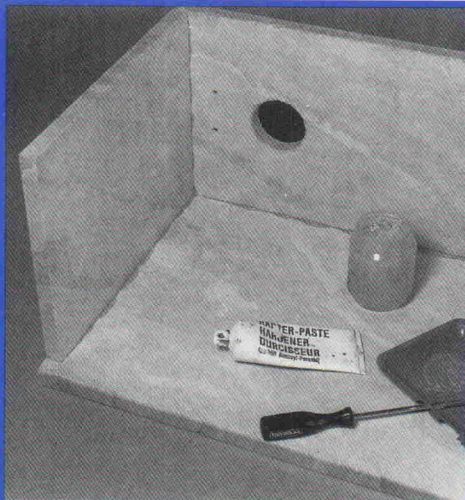
Auch sollte die Seitenwand möglichst paßgenau aufgelegt werden, da ein Hin- und Herschieben im Klebebett zu verschmierten Kanten führt, die später nur schwer wieder zu säubern sind.

Marmorbox nur einigen wenigen Spezialisten vorbehalten, die über die nötigen Werkzeuge und Kenntnisse verfügten. Dabei sind es gar nicht so sehr die rechteckigen Platten, die zugeschnitten und zusammengefügt werden müssen; die Probleme bereiten vielmehr die runden Ausschnitte für Chassis, Reflexrohr und Anschlußklemme. Diese Markt-

Die Einstellung des Klebers ist ein wenig diffizil: Je mehr Härter zugesetzt wird, desto schneller bindet er ab und desto spröder wird die spätere Klebenaht. Zu wenig Härter führt dagegen zu längeren 'Topfzeiten' und zu weichen Klebestellen.

Bei langen Klebenähten könnte es also passieren, daß der Kleber anzieht, bevor die zu verbindenden Teile zusammengesetzt sind. Eine Probemischung sollte daher auf jeden Fall vorgenommen werden.

Hier sind Front, Rückwand, Boden und Deckel bereits miteinander verbunden. Der letzte Schritt — das Auflegen der zweiten Seitenwand — sollte ausgesprochen zügig erfolgen.



Auch das Material für den Ständer ist aus Marmor. Die fünf Teile müssen sehr sorgfältig verklebt werden.

Das fertige Gehäuse vor dem Einschrauben der Lautsprecher. Hier bekommt man zum ersten Mal einen optischen Eindruck von der Eleganz des Materials.

Bei unserem Bausatz wollten wir unbedingt einen Seas-Hochtöner einsetzen, dessen Anschlußfahnen über den Lochdurchmesser hinausragten. Daher mußten wir zwei 'Ohren' in den Durchbruch auf der Frontplatte fräsen. Kein Problem mit einer in den Ständer gespannten Bohrmaschine und einem Marmorfräser.

Adressenänderung

Kein Selbstbau

mehr

Viele werden es bedauern: Die renommierte Lautsprecherschmiede Celestion, die so manches klanglich hervorragende und originell gestylte Bauprojekt gelie-

CELESTION

Celestion Lautsprecher GmbH

fert hat, zieht sich vom Selbstbaumarkt zurück um sich voll und ganz den Fertigboxen zu widmen. Außerdem wurden die geschäftlichen Aktivitäten der Celestion Industries GmbH, Pirmasens, in die der Celestion Lautsprecher GmbH, Berlin, übertragen.

electroacoustic

- Wir führen jeden Einzellautsprecher
- Alle Selbstbaulautsprechersysteme (z. B. ACR, Audax, Dynaudio, Eton, Focal, KEF, LT, Morel, Peerless, SEAS, Visaton ...)
- Alle Musikerlautsprecher (z. B. EV, Fane, Celestion, Goodmans, Gauss, JBL, RCF ...)
- Bitte 200seitigen Katalog anfordern (S 50-)

R. Staub
Bethlehemstraße 33
A-4020 Linz
Tel. 0 73 2 / 27 29 284

AUSTRIA

Der kompetente Ansprechpartner für **HIFI-BAUSÄTZE**

AUDAX

DYNAUDIO

ETON

FOCAL
SYSTEMES

Peerless
LAUTSPRECHER

THE SEAS
SOUND

VISATON
und weitere ...

pro audio
HiFi-BOXEN + BAUSÄTZE

Am Wall 45 · 2800 Bremen 1 · Tel. 04 21 / 1 48 74

Lautsprechergehäuse

Ton aus

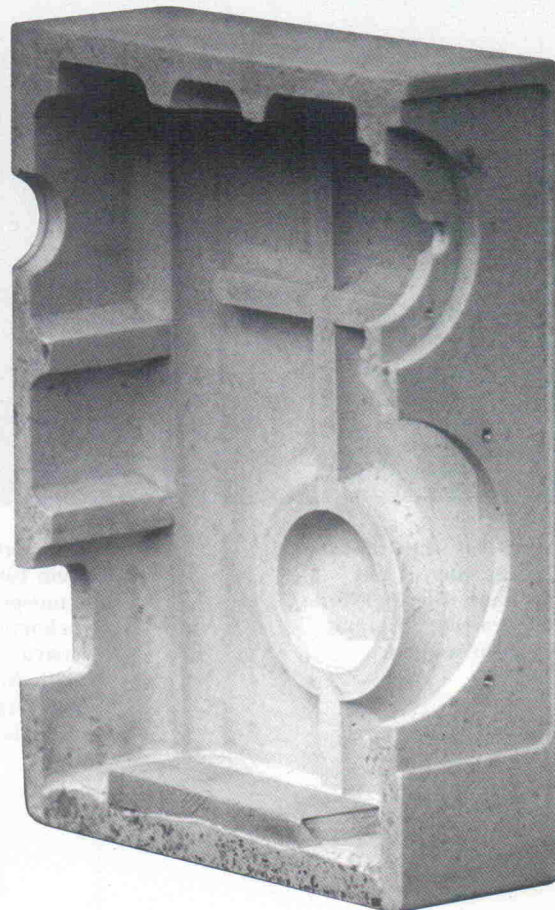
dem Beton

Eine der grundlegenden Anforderungen an hochwertige Lautsprecherboxen ist die weitgehende Unterdrückung von Gehäuse-schwingungen. Mit den bekannten und herkömmlichen Werkstoffen wie Holz, MDF, Spanplatte und Marmor lassen sich — bei genügender Wandstärke und Versteifung — die Gehäuse zwar beliebig starr ausführen, die innere Dämpfung des Materials bleibt hingegen unzureichend.

Die Firma Beton-Akustik in 6424 Grebenhain setzt aus diesem Grund als Gehäusematerial Akustikbeton ein, einen speziellen Polymerbeton, der besondere Eigenschaften der inneren Dämpfung verspricht, die zudem über das Mischungsverhältnis nahezu allen akustischen Anforderungen angepaßt werden können.

Die Boxen aus Akustikbeton werden in einem Stück gegossen und können, da dieser Arbeitsgang ohnehin von Hand ausgeführt wird, somit in allen erdenklichen Formen verwirklicht werden.

Alfred Mühlbach, Inhaber der Firma Beton-Akustik, verweist außerdem darauf, daß Gehäuse aus Polymerbeton insbesondere für die Aufnahme von Aktivsystemen geeignet sind, da der Werkstoff resistent gegen Luftfeuchtigkeit und Temperaturschwankungen ist und zudem eine große Wärmeleitfähigkeit bietet.



Eigentlich zu schade für die Trennscheibe: Ein Zwei-Weg-Gehäuse aus Polymer-Beton.

PA-Systeme

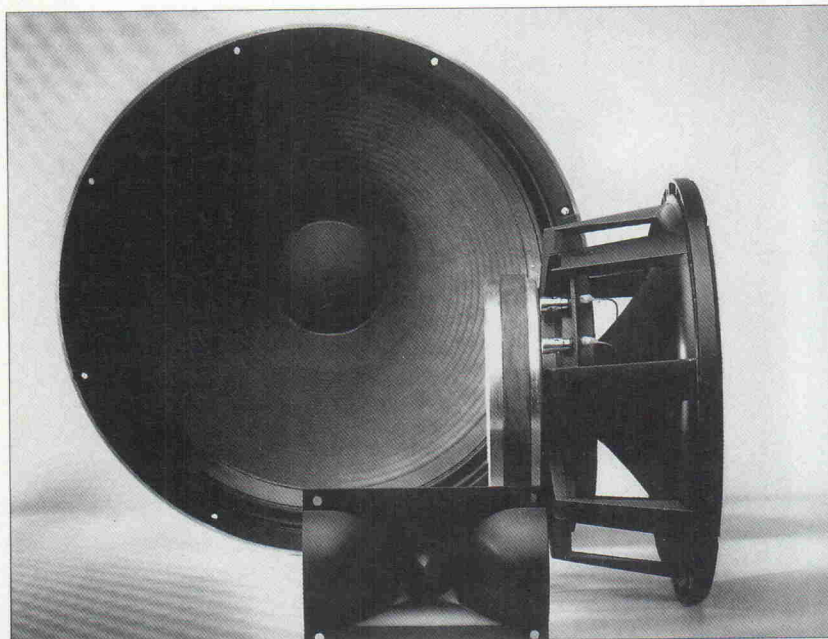
Für rauen

Einsatz

Mit einer breiten Palette professioneller Lautsprecher für den rauen Road-, Disco- und Studioalltag bringt Sammi Professional frischen Wind in die Lautsprecherszene. Unter 26 verschiedenen

Ein umfangreiches Chassis-Programm steht jetzt von Sammi zur Verfügung.

Chassistypen — vom 18"-Langhubbaß mit 600 Watt RMS-Belastbarkeit bis zum Biradial-Supertweeter mit 108 dB Kennschalldruck — ist für jeden Anwendungsbereich das richtige System dabei. Der Vertrieb und die technische Betreuung der Sammi Professional Serie liegt bei der Firma Kling & Freitag, Hannover.



HiFi-Boxen

Gesiebter Klang

Elektrostatische Systeme sind bekannt für ihre besonders präzise Abbildung im Mittel- und Hochtonbereich. Der Sombetzki Elektrostat ESL 600 arbeitet bis zu 600 Hz herab nach diesem Prinzip, und erst ab dieser Trennfrequenz übernimmt ein Polypropylenbaß die Schallabstrahlung. Das elektrostatische Mittel-/Hochtonelement ist mit einer Mylar-Membran von nur 0,02 g Masse ausgestattet und zur Verbesserung der Abstrahlcharakteristik gewölbt. Seine Kapazität liegt bei 500 pF, die erforderliche Polarisationsspannung beträgt 620 V. Der Kennschalldruck von 86 dB stellt sich bereits bei einer Feldstärke von 2,83 V/m

ein, so daß das System auch an kleineren Endstufen betrieben werden kann.

Die ESL 600 wird von der Dortmunder Firma Lautsprecher Arndt vertrieben und kostet inklusive Gehäuse DM 1300,— pro Stück.

Auch vom Design her eine gelungene Kombination: Sombetzki's Elektrostat



Anfordern!

Der neue
Sammelkatalog 89/90
mit noch mehr Informationen

Open Air

Peter Broger

Hamburg



Der
Boxenselbstbau-Katalog
HiFi & PA

Rentzelstraße 34 · 2000 Hamburg 13 · Tel. (040) 44 58 10

Bitte DM 10,- beilegen
(Wird ab Warenwert DM 100,- verrechnet)

umfangreich!

Händleranfragen erwünscht

Wir liefern prompt...

Technics-
Tweeters
Fidibus-
Dr. Hubert
Car-HiFi
NAD
Oelbach
I.T. Master-
Sound
WBT
Westra
PA-
Hardware
Kent
SAC
Mundorf
Techniko
Koss
ETON
Magnetostat
SEAS
Fach-
literatur
Thorens
Sinus
Heco
Harman-
Kardon
Hados

**"Beste Beratung
für Kit-Fans"
(HiFi-Vision 1/88)**

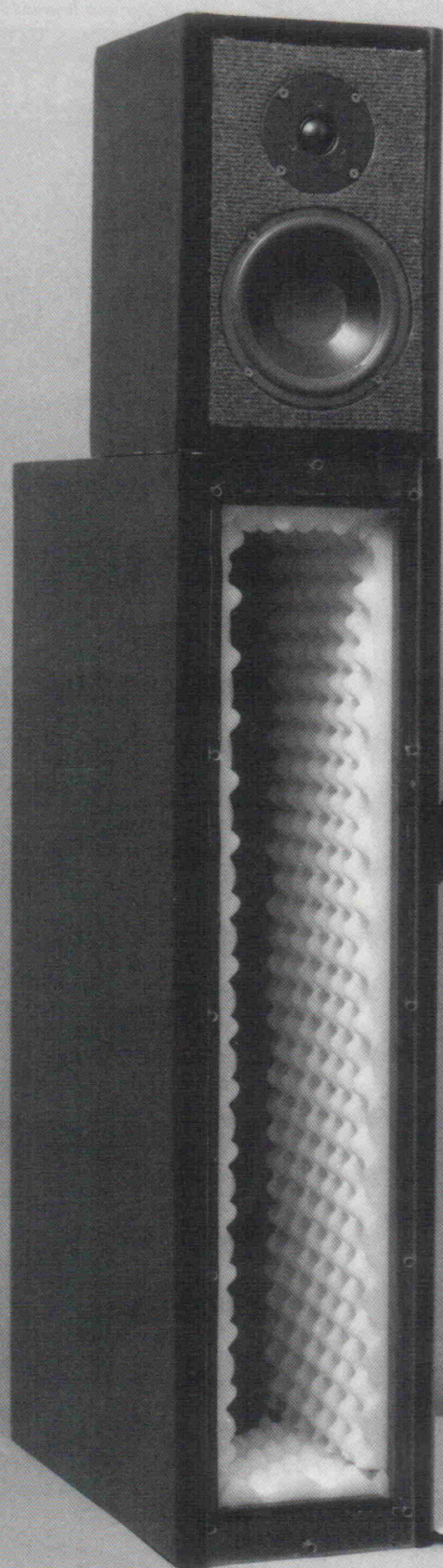
Focal
EV
Fane
Isophon
Lowther
Morel
Matsushita
Peerless
Dynaudio
Görlich
TDL
Scan Speak
Siare
Sipe
Visaton
Audax
Beyma
Morel
JBL
KEF
MB
WHD
Vifa
Albs-
Bauteile
Raphael-
Röhren
Celestion
Quad

...durch Sofortversand

Open Air

Tel. Bestellung: 040/44 58 10 von 10-18 Uhr
Urlaub vom 13.8.-27.8.89

Sinus



Peter Rübke-Doerr

Der skandinavische Lautsprecherhersteller Sinus zählt hierzulande nicht zu den bekanntesten Firmen; das könnte mit ein Grund dafür sein, daß einige Kenner bei Nennung des Namens so ein gewisses Glitzern in den Augen haben. Die Ursache ist sicher in den Vertriebschwierigkeiten zu sehen, die bisher einer republikweiten Verbreitung der Sinus-Chassis im Wege standen. Doch wenn man den Versicherungen der neuen Vertriebsfirma Proraum (bisher Audax und Siare) glauben darf, dann wird jetzt alles anders.

Aus dem Wechsel in der Sinus-Vertriebsorganisation resultieren auch einige Absonderlichkeiten der hier vorgestellten Bauanleitung, die — man könnte fast sagen 'wie ein Findelkind' — auf der Schwelle der elrad-extra-Redaktion abgelegt wurde: Die eigentlichen Eltern haben sich nach der Entwicklung der Box davongemacht und wollen von ihrem 'Baby' nichts mehr wissen. Nicht weil das Kind etwa nichts taugen würde, sondern weil die alte Familie die Haarfarbe gewechselt hat.

Für die Redaktion waren die einzig entscheidenden Überlegungen folgende: Taugt das Konzept etwas? Sind die Lautsprecherchassis überall erhältlich? Beides kann ohne Einschränkung bejaht werden.

Basis des Konzepts ist ein 16 cm-Tiefmitteltöner mit einer Doppelschwingspule (31 mm Ø), Polypropylen-Membran und Zentriereinheit mit leicht progressiver Vorspannung. Als Hochtöner wird eine 25 mm-Kalotte verwendet, deren Impedanzanstieg an der Resonanzfrequenz über eine magnetische Flüssigkeit im Luftspalt und ein Koppelvolumen bedämpft wird. Beide Systeme sind in ein geschlossenes Gehäuse eingebaut; die Schwingspulen des Tiefmitteltöners arbeiten parallel und sind mit unterschiedlichen Filtern beschaltet. Dieses kleine System ist als Regallautsprecher konzipiert und für diese Anwendung abgestimmt.

Als Erweiterung des Regallautsprechers ist das Subbaßsystem 802 konzipiert. Zwei 20 cm-Tieftöner arbeiten — in Reihe geschaltet — innerhalb eines Bandpaßgehäuses. Es ist so konzipiert, daß keine elektrischen Filter nötig sind. Das Hauptaugenmerk unserer Bauanleitung richtet sich allerdings auf die kleine Regalbox Attendance; der Subbaß ist nur mit Zeichnung und Stückliste vertreten.

Sinus und Rechteck

**Satellit mit Subbaß
als Standkombination**

Der Zusammenbau des Gehäuses

Die Frequenzweiche ist nach Schaltplan aufzubauen, dazu sollte man ein Brettchen verwenden, auf das die Teile aufgeklebt werden. L-Pad und Hochtöner werden einmal 'trocken' verkabelt, um Klarheit über die Pinbelegung zu erhalten. Da der Hochtöner gegenüber dem Tiefmitteltöner verpolt ist, wird der Pluspol an Pin 2 und der Minuspol an Pin 1 des L-Pads gelegt.

Die Gehäuseteile werden ebenso zunächst einmal 'trocken' zusammengebaut, um einen Überblick zu bekommen. Jetzt werden sämtliche in der Zeichnung angegebenen Aussparungen auf den dazugehörigen Teilen angerissen. Zunächst kann man jetzt die Doppelschallwand zusammenleimen. So entstehen beim Sägen keine Toleranzen. Alle angezeichneten Aussparungen werden jetzt ausgeschnitten. Wenn der 10 mm-Bohrer eingespannt ist, um die Startlöcher für die Stichsäge zu bohren, können auch gleich die Bohrungen für die Anschlußbuchsen gesetzt werden. Wenn sämtliche Aussparungen fertig sind, werden alle Wände des Gehäuses auf der Bodenplatte aufgeleimt. Am besten beginnt man bei einer Seitenwand und arbeitet sich im Uhrzeigersinn voran. Zunächst reicht es, den Preßdruck für den Leim kurze Zeit über die eigenen Hände zu erzeugen. Wenn der Leim nach ca. 30 Minuten angezogen hat,

Preßdruck in der Endphase zu erhöhen. Nachdem beide Deckelplatten verleimt worden sind, kann die Frequenzweiche eingebaut werden. Bei der selbstgebauten Frequenzweiche ist selbstverständlich zunächst wird das Gehäuse umgedreht und es werden kopflose 55er Nägel eingeschlagen, um den

ein prüfender Blick nötig. Die anhängende Chassisverdrahtung sollte ausreichend lang sein. Es ist zu beachten, daß die Leitungen für den Hochtöner zunächst zum Pegelsteller auf der Rückwand geführt werden müssen und dann erst zum Hochtöner führen. Da der gesamte Kabelbaum acht Kabel umfaßt, sollte jedes Kabel in Polung und Verwendung mar-

Stückliste

Satellit Attendance

L1 3,3 mH
L2 2,2 mH
L3 0,68 mH
C1 10µF MKT
C2 3µ3 MKT

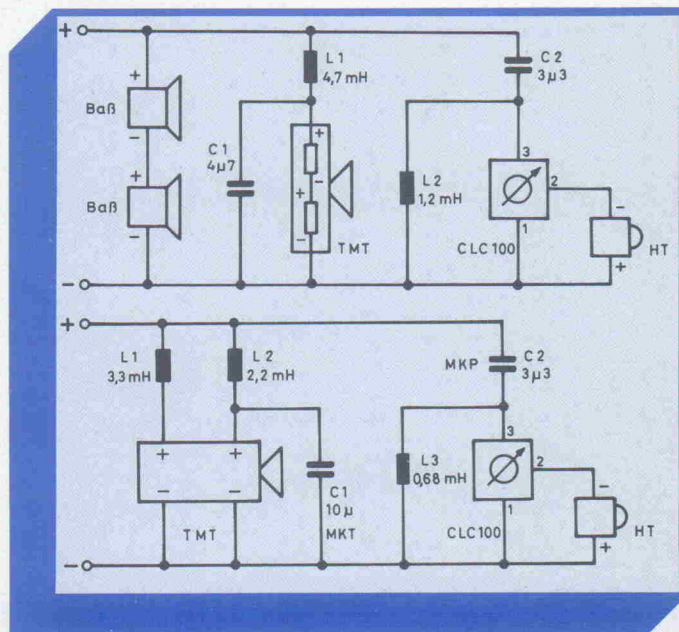
Pegelsteller CLC100 (Visaton)
Tiefmitteltöner
16 WS 10.3 BP-8/8
Hochtöner 2.5 TDO 7 KD-8

Satellit plus Subbaß

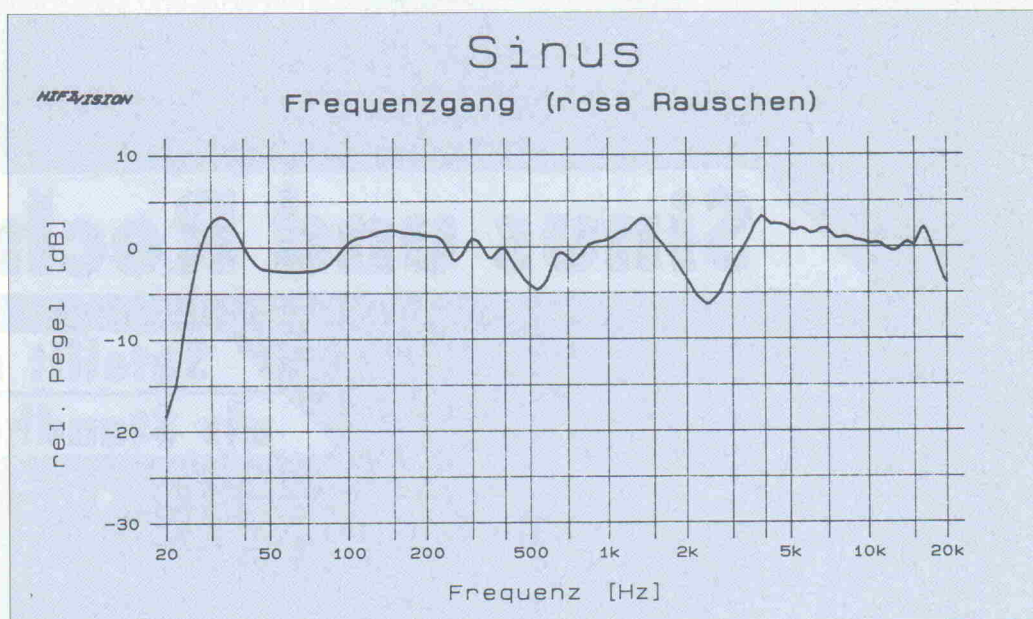
L1 4,7 mH
L2 1,2 mH
C1 4,7µF MKT
C2 3,3µF MKT

Pegelsteller SLC100 (Visaton)
Baß 20 WBA 10.3 BP-8
Tiefmitteltöner
16 WS 10.3 BP-8/8
Hochtöner 2.5 TDO 7 KD-8

Frequenzweiche der Satellitenbox ohne (oben) und mit (unten) Subwoofer

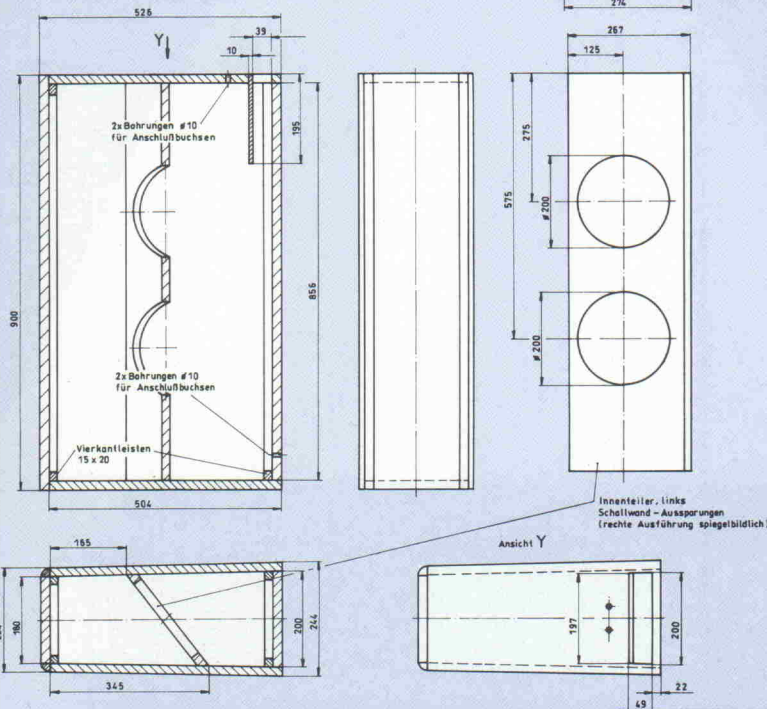


Frequenzgang von
Satellit und Subwoofer



Technische Daten

Gehäuse:
2-Wege, geschlossen
Belastbarkeit: 80 Watt
Impedanz: 4 Ohm
Kennschalldruck: 89 dB
Übernahmefrequenz:
3 kHz
Volumen: 11 Liter
Außenmaße:
234 x 273 x 351 mm



Daß die Seitenwände von Satellit und Subwoofer nicht exakt parallel zueinander stehen, ist vom Design her recht interessant, vermindert aber auch stehende Wellen im Gehäuse.

Hochtöner wird vor dem Einbau in die Rückwand mit etwas Dichtungsband versehen.

Die Box ist für eine Regalplatzierung abgestimmt. Der Hochtöner sollte sich in Ohrhöhe befinden. Links und rechts vom Gehäuse sollte etwas Abstand zu benachbarten Büchern eingehalten werden. Ist eine Platzierung in Ohrhöhe nicht möglich, sondern muß die Box oberhalb dieser Marke aufgestellt werden, wird sie auf den Kopf gestellt, das heißt der Hochtöner zeigt nach unten. Die Basis zwischen den Lautsprechern sollte 3...2 m nicht überschreiten. Der Hörabstand ist zwischen 2,5 m und 3 m ideal. Sehr gut ist eine Sitzposition etwa einen Meter von einer Wand im Rücken entfernt. Optimal wäre eine leicht absorbierende Fläche im Rücken.

Subbaß-Gehäuse

Für die Erweiterung des Frequenzbereiches nach unten bringen wir die Zeichnungen, Weichschaltbild und Stückliste des Subbaß-Gehäuses. Wer den Bandpaß-Theorieartikel in diesem Heft aufmerksam gelesen hat, braucht dazu keine weiteren Erklärungen mehr. Der Zusammenbau erfolgt in ähnlicher Reihenfolge wie für die kleine Regalbox Attendance beschrieben.

kiert werden. Ist die Frequenzweiche gegenüber dem Tieftöner auf der Rückwand festgeschraubt, wird 1/3 Packung Viskose-Verbandswatte zu einem größeren Berg zerzupft und das gesamte Gehäuse gleichmäßig damit gefüllt. Die Zuleitungen zu den Lautsprechern werden durch die Bohrungen in der Rückwand gesteckt und außen verknotet, damit sie nicht zurückrutschen. Ist alles bis hierhin fertig, werden die 22 mm-Leisten am oberen und unteren Ende der Schallwand aufgeleimt. Außerdem werden jetzt die Viertelstableisten angeleimt, die das Gehäuse an den vertikalen Kanten abrunden. Wenn die Gehäuse lackiert worden sind, wird passender Teppichboden, großzügig überlappend, auf die zurückgesetzte Schallwand ganzflächig aufgeklebt. Besondere Klebestellen: um die Chassisaussparungen und alle Gehäusekanten. Mit hohem Preß-

druck über ein Lineal und scharfem Messer wird der überschüssige Teppichbelag an den Rändern der Viertelstableisten paßgenau abgeschnitten. Nun werden große X-förmige Einschnitte in die Chassisaussparungen geschnitten. Die Chassis werden an die Verdrahtung gelötet und montiert. Ihre Montageflansche drücken den Teppich unter sich zusammen und sind so entkoppelt und luftdicht montiert. Sind die Chassis verschraubt, wird um die Montageflansche herum der Teppich mit einem scharfen Messer vorsichtig bis herunter an die Schallwand eingeschnitten. So entsteht eine glatte Front mit in die Schallwand versenkten Chassis. Die Anschlußkabel werden jetzt an die Bananenbuchsen angelötet, mit etwas Klebstoff eingestrichen, in die vorgesehenen Bohrungen gesteckt und bis zum Anschlag mit einem Hammer eingeschlagen. Der Pegelsteller für den

Eine TEUFELSIDE: Die LT22 mit LT33-Sound!

Aufrüstsatz: 199,— DM
pro Stück incl. Versandkosten
(Original Mitteltöner + Fertigweiche)

LAUTSPRECHER
CZERNY

Meerhof 2 · 4040 NEUSS 1
Tel.: 0 21 01/2 19 83 · Fax: 0 21 01/27 74 37

ÖSTERREICH

Audiophiles nach Maß in ÖSTERREICH
Wir bieten Ihnen in zwei Vorführstudios
Lautsprecherbausätze, Kabel und Peripherie von
Audax, Beyma, Dynaudio, Electrovoice, Focal,
Görlach, JBL, KEF, Mivoc, Peerless, TDL,
Seas, Vifa, Visaton u.a.

Fertigboxen
HIFI-Team
A-8010 Graz
Hans-Sachs-Gasse 10
Tel. (0316) 80 86 40

Selbstbaukasten, HIFI-Team
Stadlger
Tel. (0316) 9 17 83
Mo-Fr 10-12
Sa 10-12

Fidibus



Es war einmal eine Familie von Selbstbauboxen, die hörte auf den Namen 'Procus'. Die Familienmitglieder hießen Fidibus, Habitus, Intus und Start. Nachzulesen in Elrad extra 3, 4, 6 und 7. Diese vielen Namen führten zu großer Verwirrung unter Deutschlands Boxenbauern (ham'se die Procus? Ne, wir ham die Fidibus. Äh, die mein ich ja), und so beschloß die Herstellerfirma, daß dieses Ding anders werden müsse. Nach dem Beschluß wurde aus Procus Fidibus, und alle Zweitnamen wurden zu bloßen Nummern abgradiert. So wurde aus Procus Fidibus z.B. Fidibus 7000. Fidibus wurde außerdem nach Überweisung einer bestimmten Summe nach München zum Patentamt mit dem berühmten [®] versehen.

Fidibus' Baby

Die kleinste aus Bochum

Welche Mannschaft (Frauschaft) steckt nun eigentlich hinter den Namen Fidibus? Nach einigen Mineralwässern hörten wir in einer gemütlicher Runde folgende Team-Beschreibung:

Alle kranken Ideen, die mit Technik zu tun haben, kommen vom Manfred. Alle einfachen Arbeiten am Chassis z.B. Magnet an den Korb schrauben, macht der Berthold (entschuldige Berthold, und Du sollst nicht immer so viele Bits abbrechen). Alle sensiblen Arbeiten an den Schwingteilen erledigt ausschließlich Claudia. Alle Frequenzweichen baut die Ursula. Alle Fertigboxen bauen Roland und Sebastian. Alle Teile bestellt die Lydia. Alle Teile verkaufen muß der Wilhelm. Alle!

Doch nun zur Fidibus BR5 selbst: Diese Box ist das erste und kleinste Exemplar einer komplett neuen Boxenserie, die

nach und nach die bekannte Fidibus-Reihe abrunden oder ersetzen soll. Erstmals wird die Fidibus BR5 auch als Fertigbox angeboten. Schließlich haben auch Selbstbauläden Kunden, die gar nicht selber bauen wollen.

Der Hochtöner 101/26 — eine 25 mm Gewebekalotte — ist altbekannt, altbewährt und trotzdem gut. Damit kein Vorwurf wegen ständiger Wiederholungen wie im Fernsehen kommen kann, nur stichwortartig die wichtigsten Merkmale: beschichtete Gewebekalotte (Soft-Dome), Ferrofluid, durchbohrter Polkern mit angekoppeltem, bedämpften Volumen, dadurch niedrige Eigenresonanz, kurzum, der ideale Hochtöner für Zweiwegkombinationen. Der Tiefmitteltöner 501/15 dagegen ist eine komplette Neuentwicklung. Geblieben ist die Auslegung als echter Langhuber mit 16 mm Wickelhöhe der Schwingspule auf Kapton-Träger. Neu sind Zentrierung, Membran, Sicke und Staubkappe. Die Parameter des 501/16, und das Ziel, eine voll-

Stückliste

Satellit:

- L1 1,5 mH, FR40, 1 mm Ø
- L2 0,12 mH/0,71 mm Ø

- C1 2µ2, MKT
- C2 6µ8, MKT
- C3 6µ8, MKT
- C4 6µ8, MKT
- C5 2µ2, MKT

- R1 1 R/5 W
- R2 2 R2/5 W
- R3 3 R9/5 W
- R4 6 R8/5 W

Chassis

Baß 501/15

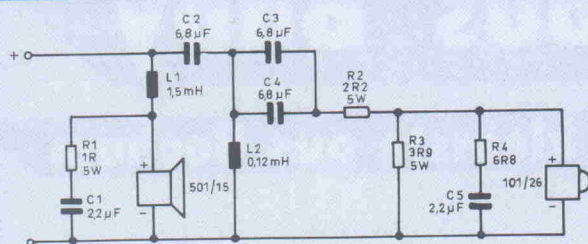
Hochtöner 101/26

Subbaß

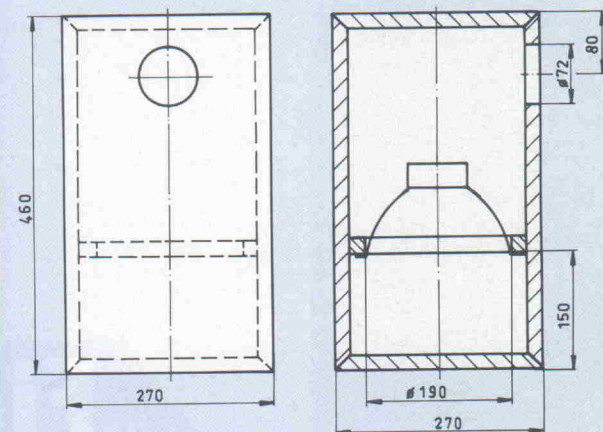
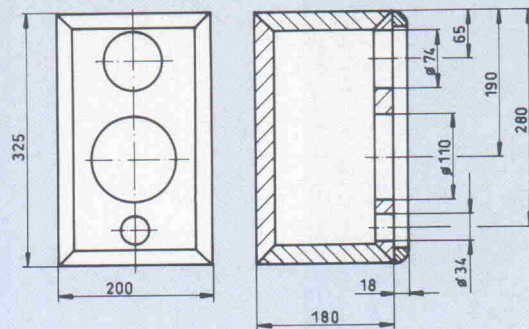
- L 1,2 3,6 mH/FR 50/1,18 mm Ø

Chassis

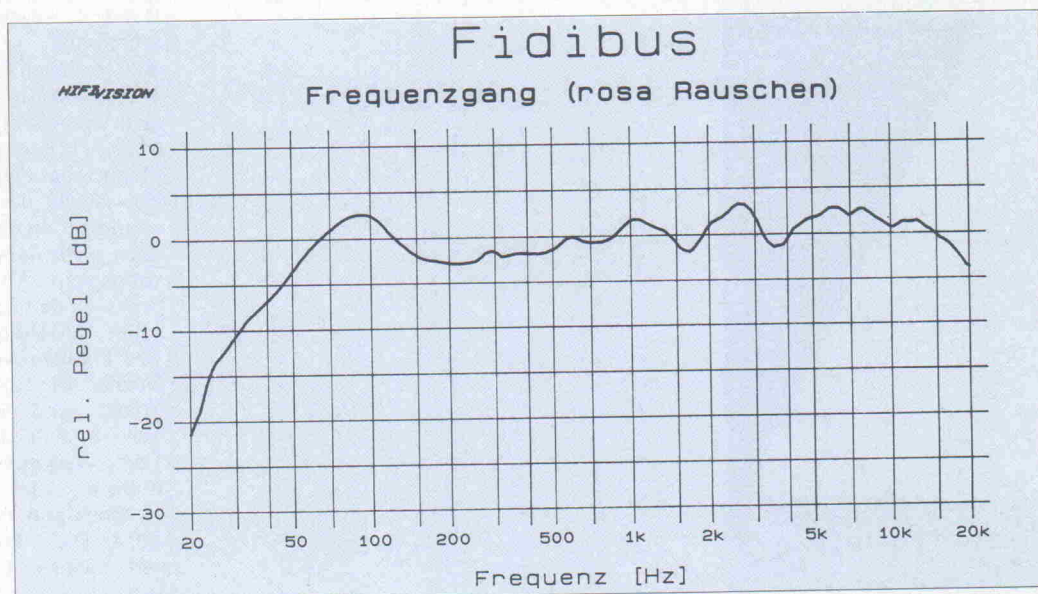
Fidibus 801/28



In der Frequenzweiche der BR5 (oben) kann über das Verhältnis R2 zu R3 die Lautstärke des Hochtöners eingestellt werden. Rechts der Frequenzgang mit Subwoofer Sub 8.



Oben sind die beiden Ansichten der Satellitenbox BR5 dargestellt; darunter Front- und Schnittzeichnung des Bandpaß-Subwoofers Sub 8. Bei letzterem sollte der Lautsprecher vor dem Einleimen der Bodenplatte eingebaut werden.

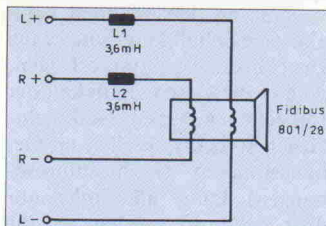


Fidibus Sub 8

Miniboxen wie die BR5 sind natürlich im Baß nicht so stark auf der Brust wie die größeren Geschwister. Die Zurüstung einer Subbaß-Kombination bietet sich also an. Und um uns nicht zu wiederholen — wir verweisen auf den Bandpaß-Lautsprecher aus dem Autoboxenheft extra 5 — bringen wir hier noch einmal Zeichnung und Weichenschaltbild mit kleinen geringfügigen Änderungen gegenüber dem ursprünglichen Modell. Natürlich hat dieser überarbeitete Subbaß auch einen neuen Namen — Fidibus Sub 8.

Über die Vorzüge des Bandpaßprinzips wurde in diesem und früheren Heften schon ausführlich berichtet, so daß lediglich bemerkt werden soll, daß der natürliche Tiefpaß 2. Ordnung durch Vorschalten je einer Induktivität von 3,6 mH vor jeder Schwingspule zu einem Tiefpaß 3. Ordnung wird. Diese Maßnahme vernichtet die Abstrahlung störender Mitteltonanteile und reduziert überdies das Übersprechen.

Das Subwoofersystem Sub 8 wurde zusammen mit der Fidibus BR5 entwickelt. Die Auslegung erfolgte aber so universell, daß auch an-



Die „Weiche“ des Subwoofers Sub 8.

deren, bereits vorhandenen Miniboxen zu verblüffender Baßwiedergabe verholfen wird. Optimal ist die Aufstellung des Fidibus Sub8 zwischen den Satellitenboxen.

Der Subwoofer wird einfach parallel zu den Satellitenboxen angeschlossen. Die richtige Polung des Subwoofers ist abhängig von der Aufstellung im Raum und von den Satellitenboxen. Im Extremfall können Interferenzen auftreten, so daß man gar keinen Baß mehr wahrnimmt. In jedem Fall sollte man beide Möglichkeiten (gleichphasig oder gegenphasig) ausprobieren. Die richtige Lösung hört man sofort heraus. Eine weitere Möglichkeit der Feinabstimmung hat man durch Veränderung der Länge des Reflexrohres. Je kürzer das Rohr, um so betonter die Baßwiedergabe.

wertige HiFi-Minibox zu entwickeln, ließen ausschließlich den Einbau in ein Baßreflexgehäuse zu. Dieses ist völlig ohne Tricks aus sechs 25 mm dicken MDF-Platten aufgebaut. Bei entsprechender Umrechnung der Gehäusemaße lassen sich ohne Probleme auch 19 mm-Spanplatten verwenden — lediglich die Innenmaße müssen erhalten bleiben. Auch ist es sicher nicht jedermanns Sache, die sechs Gehäusewände auf Gehrung zuzuschneiden; daher sind 90°-Stöße erlaubt.

Die Frequenzweiche wurde erstmalig unter Zuhilfenahme eines neuartigen Optimierungsprogramms per Personalcomputer entwickelt. Diese Methode führt relativ schnell zu einer '90 % richtig'-Lösung. Die letztendliche Feinabstimmung erfolgt weiterhin nach altväterlicher Sitte mit Hilfe der Oh-

ren. Das Programm funktioniert folgendermaßen: Der Schalldruckverlauf, der Impedanz- und Phasengang eines jeden Chassis wird gemessen. Diese Werte werden in den Rechner eingegeben. Jetzt wird ein mathematisches Modell für die Übertragungsfunktion von Schalldruck und Impedanz für jedes einzelne Chassis erstellt. Die anschließende Optimierung erfolgt für die Summe der Schalldruckanteile aller beteiligten Chassis. Hier liegt, neben dem stabilen Optimierungsalgorithmus, die Besonderheit dieses Programms, da bisher immer nur die Optimierung eines einzelnen Chassis möglich war. Wie auch immer, das Ergebnis ist eine Lautsprecherbox mit analytischen Fähigkeiten: Gute Aufnahmen klingen gut, schlechte klingen schlecht. So einfach ist das!

Sie wollen...

audiophile Lautsprecher, die auch schon mal eine Party überstehen?

Sie wollen...

einen Lautsprecher, der zu wirklich jeder Einrichtung paßt?

Sie wollen...

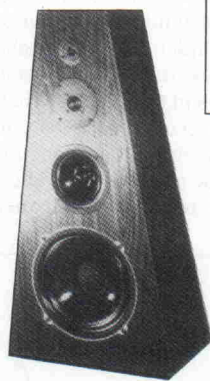
einen preiswerten Lautsprecher?

Dann kommen Sie jetzt gleich zu uns, denn zum absolut neuen **HiFiline Programm** von **McFarlow** gibt es keine Alternative!

laut
sprecher

hubert

GmbH Wasserstr. 172 · 4630 Bochum 1 · 02 34 / 30 11 66



Richard Allen **B&W** Seas
Lothar Kaiser
POSTSTRASSE 24, 2190 CUXHAVEN
☎ (0 47 21) 3 56 52

AUDAX
SIARE

Peerless
LAUTSPRECHER

Halogen-Lampen und -Leuchten

Celestion Lautsprecher

ACR
der König der Lautsprecherboxen
residiert in Kassel und Göttingen
nur bei uns

ALLES FÜR DEN SELBSTBAU
VISATON
FANE
AEG
nlagensbau

SEAS
FIDIBUS
JBL
AUDAX
FOSTEX
alps
isophon

Sämtliche Sonderanfertigungen aus eigener Holzwerkstatt

light
sound
electronic

Düstere Straße 21 3400 Göttingen
Oberste Gasse 17 · 3500 Kassel

☎ 0551-48 45 44
☎ 0561-10 25 50

Wenn's
um Bausätze geht...

pho-net

Ihr Partner
für Information, Beratung, Planung und Service!

2160 Stade · Altländerstr. 1 · ☎ 0 41 41 / 4 71 71

Inh. K. Podewsky

R. Hormann

Oft tun sich viele Fragen auf, wenn es darum geht, ein Lautsprechergehäuse richtig zu 'bedämpfen'. Gemeint ist hier vor allem die Hohlraumdämpfung der Box; welche nicht zu verwechseln ist mit der Gehäusewand-Dämmung. Viel Unklarheit herrscht sowohl über die Art des Materials als auch Menge und Platzierung des Füllstoffes.

Die Schalldämmung der Gehäusewände soll selektive Resonanzen infolge des Schall-Wechseldrucks der Lautsprechermembran möglichst vollständig unterdrücken. Weiterhin soll ein Schalldurchgang

durch Gehäusewände unterbunden werden. Bewährt haben sich dazu stabile 'Sandwichwände', bei denen auf eine weiche Schicht hoher innerer Dämpfung, eine harte, reflektierende Wand folgt. An der Übergangsstelle zwischen weicher und harter Schicht wird der Wechseldruck reflektiert und läuft sich im weichen Material tot. Besonders bei großen Gehäusen sollte hier auf keinen Fall gespart werden.

Eine weitere, sehr wirksame Methode zur Unterdrückung von Resonanzen ist die stabile Leistenverbindung aller gegenüberliegenden Wandflächen. Allerdings sollten die Versteifungen nicht genau in der Wandmitte ansetzen. Zwar tritt hier die maximale Schwingungsamplitude auf, allerdings könnten zwei neue, höherfrequente

Resonanzspitzen mit gleicher Frequenz entstehen.

Nur an den Wänden kann also eine Schalldämmung gegen Druckbeanspruchung erfolgen, da hier die Geschwindigkeit der Luftteilchen gegen Null geht. Gegen stehende Wellen im Gehäuseinneren (Hohlraumresonanzen) kann allerdings nur dort gedämpft werden, wo die Luftteilchengeschwindigkeit am größten ist. Bei der Grundwelle ist das genau in der Mitte zwischen 2 Wänden der Fall, bei der ersten Oberwelle im Abstand $\lambda/4$ vor der reflektierenden Wand. Der poröse Stoff wandelt die kinetische Energie der Luftmoleküle in Wärme um, was — einfach erklärt — eine Absorption der Schallwelle bewirkt.

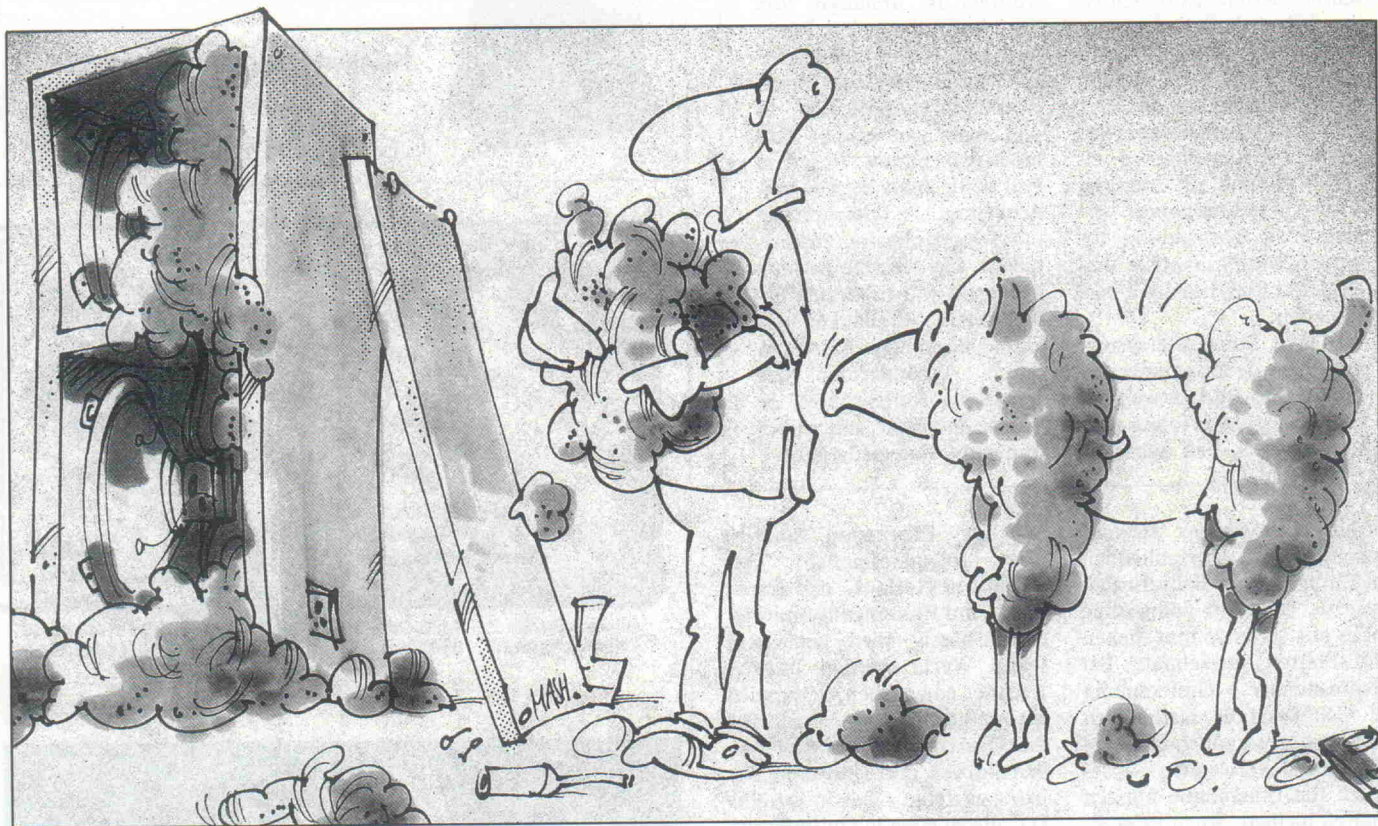
Das akustisch wirksame Volumen wird durch eine ent-

sprechende Füllung um ca. 10—22% effektiv vergrößert. Anders betrachtet kann für die gleiche untere Grenzfrequenz ein um diesen Faktor kleineres Gehäuse verwendet werden, wenn der Hohlraum mit einem geeigneten Material gefüllt wird.

Hier eine Liste über Dämpfungsmaterialien, die allerdings keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt:

geeignetes Material:

- Schafwolle, BAF
- Mineralwolle
- Polyesterwolle
- Noppenschaumstoff,
- Pritex, Notex
- Schaumstoff mit offener Struktur und erhöhtem Raumgewicht (36 kg/m^3)
- Steinwolle
- Verbandwatte
- Textilwolle



Gehäusehohlraum- bedämpfung

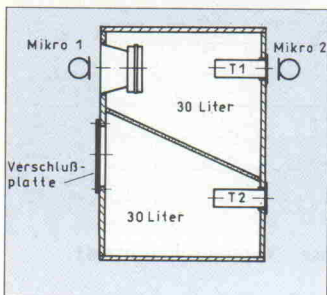
Wieviel ist „locker gefüllt“?

- Polyesterwatte, Acrylvolle
- Fließstoffe
- ungeeignetes Material:
- Styroporplatten
- PU-Hartschaumplatten
- Weichfaserdämmplatten
- Tennisbälle
- PU-Schaum
- Verpackungsschaumstoff
- Holzwolle
- Papierschnipsel
- Luft

Da die Anzahl der auf dem Markt erhältlichen Füllstoffe den Rahmen dieses Laborversuches sprengen würde, wurde ein einfach zu beschaffendes und preiswertes Material ausgewählt.

Dieses Material wird sukzessive in das Gehäuse eingebracht, um die Einflußgrößen hinsichtlich Menge und Platzierung des Dämmstoffes zu ermitteln.

Versuchsaufbau:



Meßobjekt war ein 20 cm-Baßlautsprecher (Daten siehe unten), welcher im geschlossenen und später im Reflexgehäuse betrieben wurde. Die Box bestand aus 19 mm-Spanplatten mit den Abmessungen 70x27x44 cm (HxBxT). Die Baßkammer wurde durch ein schräges Brett in 2 separate, luftdichte Volumina von je 30 Ltr. netto aufgeteilt. Durch diesen aperiodischen Grundriß versprach man sich weniger Stehwellen im Hohlraum. Um Beeinflussungen zu vermeiden, wurde die untere Kammer mit einer Platte verschlossen.

Meßbedingungen:

Zur Aufzeichnung des Schalldruckverlaufs wurde ein Neutrik-Pegelschreiber mit Gleitsinus verwendet. Ein JVC-Meßmikro maß im Membran-Nahfeld (2,5 cm) den Schalldruck. Eine Nahfeldentzerrung wurde nicht vorgenommen, da vergleichende Messungen durchgeführt wurden. Ein weiteres Meßmikrofon maß im definierten Abstand vor dem Baßre-

flexstunnel dessen anteiligen Schalldruck. Ein Verstärker registrierte die vektorielle Summe beider Schalldrücke und addierte sie zur Aufzeichnung der Gesamtsumme. Die Box stand auf einem 80 cm hohen Laborstisch diagonal ausgerichtet in der Mitte des Raumes. Die Meßhöhe betrug 1,35 m. Bei solchen Nahfeldmessungen kann man Raumreflexionen, die nicht lautsprechertypisch sind, ausschließen.

Die erste Messung registrierte Frequenzgang und Impedanz der geschlossenen Box bei ungedämpften Gehäuse, wobei die Meßspannung 2 Veff betrug.

Eine deutliche Gehäuseresonanz zeigt sich im Diagramm 1 bei 400 Hz trotz aperiodischer Kammer. Vermutlich ist sie auf eine starke Reflexion zwischen Rückwand und Schallwand zurückzuführen.

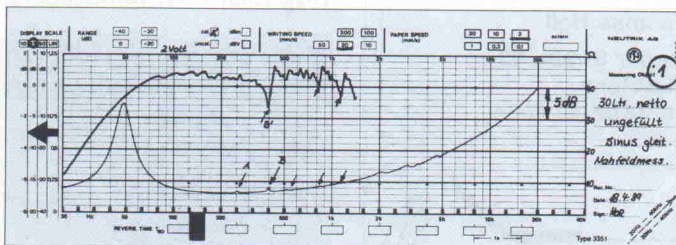


Diagramm 1. Geschlossenes Gehäuse, ohne Dämpfung

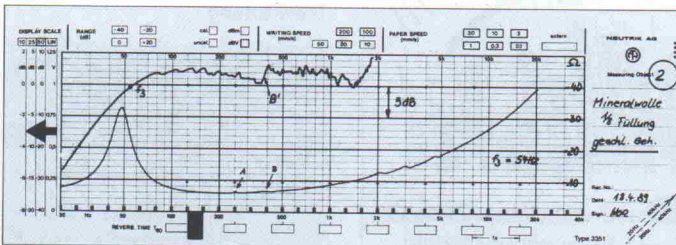


Diagramm 2. Geschlossenes Gehäuse, 1/8-Füllung

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{400 \text{ s}^{-1}} = 0,85 \text{ m} \triangleq \frac{\lambda}{2} = 42,5 \text{ cm}$$

Die errechnete Entfernung entspricht genau dem Abstand zwischen Schall- und Rückwand. Auf dem Impedanzdiagramm erkennt man noch eine kleinere Resonanz bei 250 Hz, die sich allerdings nicht im Schalldruckverlauf widerspiegelt.

$$\frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{250 \text{ s}^{-1}} = 1,36 \text{ m} \triangleq \frac{\lambda}{2} = 68 \text{ cm}$$

Die Einbauresonanzfrequenz im ungefüllten Gehäuse liegt bei:

$$fr(B) = 49 \text{ Hz}$$

Der Impedanzwert bei dieser Frequenz beträgt

$$RM(B) = 35 \text{ Ohm}$$

Weitere Hohlraumresonanzen treten bei 550, 850 und 1200 Hz auf.

Die nächsten Messungen erfolgten jeweils mit einer Füllung aus langfaseriger, gelber Mineralwolle mit dem Markennamen Panisol. Die ungepreßte Plattenstärke betrug 50 mm. In das Boxenraumvolumen von 30 l wurden 8 gleiche Platten von je 31x23x5 cm nach und nach in das Gehäuse eingebracht.

Nach jeder Zugabe wurde ein Meßdurchlauf aufgezeichnet. Die erste Platte wurde diagonal ins Gehäuse gestellt, so daß die Stehwelle von der Rückwand diese Dämmplatte durchdringen mußte. Eine solche Menge wird subjektiv als mager bezeichnet.

Die Einbauresonanzfrequenz (Diagramm 2) ist um 1 Hz auf

$$fr(B) = 48 \text{ Hz}$$

$$RM(b) = 33 \text{ Ohm}$$

gesunken.

Die 400 Hz-Reflexion ist schon recht ordentlich gedämpft (siehe Impedanzverlauf). Im Schalldruckverlauf zeigt sich nur noch ein kleiner, flacher Einbruch mit anschließendem Peak um 2,5 dB bei 400 Hz.

2 weitere Platten wurden nun eingebracht: (3/8 Füllung = lockere Füllung)

Man sieht keinen Einfluss mehr in der Impedanzkurve (Diagramm 3).

Der Sprung im Schalldruckverlauf ist so gut wie glatt, und der Impedanzpeak bei 250 Hz (A) ist wahrscheinlich treiberbedingt.

$$fr(B) = 46 \text{ Hz}$$

$$RM(B) = 31 \text{ Ohm.}$$

2 weitere Platten wurden jetzt eingebracht und ergaben bei einem Füllfaktor von 5/8 eine recht satte Füllung (Diagramm 4).

Die Unregelmäßigkeiten im Impedanzgang sind bis auf lautsprechereigene Partialresonanzen verschwunden.

Eine erhebliche Glättung ist im Frequenzgang ab 500 Hz feststellbar und der leichte Buckel zwischen 100 und 200 Hz ist um 1 dB flacher geworden. Die Einbaugüte liegt jetzt bei ca. 0.6. Der Abfall an der Resonanzstelle beträgt

$$4,5 \text{ dB } fr(B) = 44 \text{ Hz}$$

$$RM(B) = 27 \text{ Ohm}$$

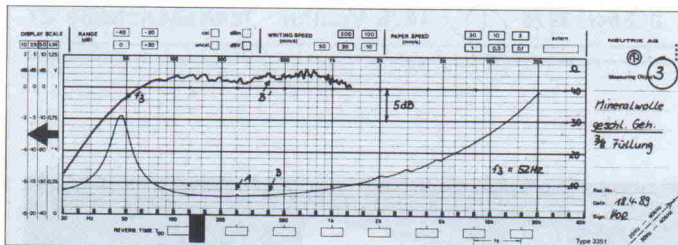


Diagramm 3. Geschlossenes Gehäuse, 3/8-Füllung

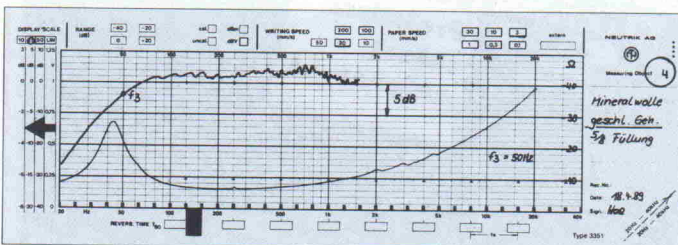


Diagramm 4. Geschlossenes Gehäuse, 5/8-Füllung

Die nächste Messung (Diagramm 5) erfolgte mit drei zusätzlichen Platten (8/8 Füllung = stramme Stopfung)

Diese letzte Schriebeauswertung der geschlossenen Box ergab ein interessantes Ergebnis. Die Füllung ist als stramm zu bezeichnen und reicht bis dicht an die Membran.

fr(B) = 40 Hz
RM(B) = 19 Ohm
Qt(B) = 0.5
R = -6 dB

Nun wurde die Mineralwolle entfernt und statt dessen Noppenschäumstoff eingefüllt. Die Matten hatte die Größe von 40 x 47 cm bei einer Dicke von 7 cm einschließlich Noppen.

Das entspricht in etwa einer 7/8 Füllung des Raumvolumens. fr(B) von 48 auf 44 Hz = 8,4 % RM(b) von 34 auf 27 Ohm = 20,6 %

Die 400 Hz-Reflexion schlägt sowohl im Frequenzgang als auch im Impedanzgang nicht mehr durch; die Schalldrucksenke im Bereich 40-300 Hz ist nicht sehr ausgeprägt (max. 1 dB). In Gegenüberstellung schneidet der Noppenschäumstoff mit etwa 7/8 seines Raumvolumens vergleichbar mit der 5/8 Mineralwollfüllung weniger gut ab.

Baßreflexbetrieb

Die Box blieb in den Abmessungen identisch mit der aus

den vorigen Messungen; das Reflexrohr befand sich auf der Rückseite, zentrisch mit dem Treiber. Der Durchmesser des Rohrs betrug 67 mm, gleich 35.2 cm², bei einer Länge von 13,0 cm.

Die erste Messung wurde wieder mit dem völlig ungedämpften Gehäuse vorgenommen.

fr(B) = 45 Hz
f3 = 49 Hz
R = +5 dB
Q(B) = 1,8

Die Stehwelle an der 400 Hz-Marke war auch bei Reflexbetrieb deutlich vorhanden. Der Summenschalldruck Treiber + Port wies eine Überhöhung von 5 dB auf. Beide Impedanzhöcker waren etwa gleich hoch (ca. 30 Ohm). Der Schalldruck vor dem Tunnel war etwa 1,5 dB geringer als der Treiberschalldruck; aber die Qualität der Baßwiedergabe tendierte in Richtung hohl und bumsig.

Nun wurden die Gehäusewände (wie bei Reflexboxen üblich) mit 4 Platten Mineral-



Der Laden für Selbstbau- und Fertigboxen

Inh. Thomas Noll
Duisburger Straße 93
Mülheim/Ruhr
Telefon 02 08/42 57 04

Audio-Systeme Böing

DYNAUDIO
ETON
VISATON
SEAS
FIDIBUS
MC-ENTIRE
MC-FARLOW
DAVIS
TECHNICS
E. J. JORDAN
BANDOR
JORDANOW
HARBETH
STRATHEARN
HECO-TOPCOM
MULTICEL
GOODMANS
RCF
PEERLESS
MIVOC
u.v.m.

Lautsprecher-Bausätze und sämtliches Zubehör

Wir führen außerdem: TEUFEL — Lautsprecher Module
ACOUSTAT — Elektrostaten
Elektronik von HAFLER und ISEM
0 25 64/3 39 25 4426 Vreden · Tenhagenstraße 27

KEF
VISATON
Lowther
Magnat
JBL
TDL
Interlechnik
oehlbach
FAME

THOR
EV
Bosch
CELESTION
Multicel
SEAS
BEYER

AUDAX
DYNAUDIO
NECO
Heco

Kostenlose Preisliste sofort anfordern!

Lautsprecher Selbstbausätze
für Hi-Fi-Disco-Musiker Lautsprecher finden Sie in unserem letzten Gesamtkatalog! Ein unentbehrliches Nachschlagewerk für jeden, der in Puncto Lautsprecher-Selbstbau zu den informierten Spezialisten zählen will.
Bausätze, Einzel-Chassis-Übersicht, Literaturprogramm, Zubehörteil

Lautsprecherbausätze, Kabel, Stecker, Dämmmaterialien, Weichenbauteile, Einzelchassis, Car Hi-Fi Speaker, Disco + Musiker Chassis, Fachliteratur, Neuerscheinungen, Leergehäuse und, und, und...

elektroakustik stadt
Bremervörder Straße 5
D-2160 Stade
Tel. (04141) 82042
Telefax (04141) 84432

Katalog
gegen DM 5,- Briefmarken, Schein oder Scheck, Sofort anfordern!!!
Ausland Versand-Service

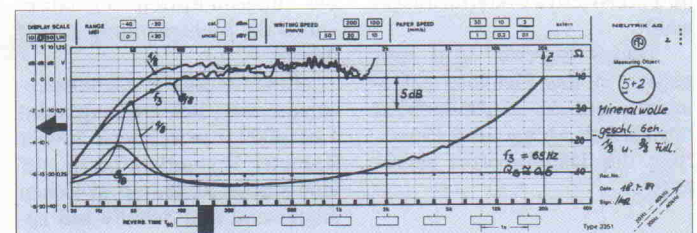


Diagramm 5. Geschlossenes Gehäuse, 8/8- und 1/8-Füllung

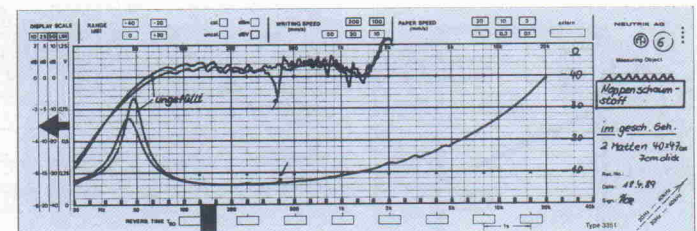


Diagramm 6. Geschlossenes Gehäuse, Noppenschäumstoff, 7/8-Füllung

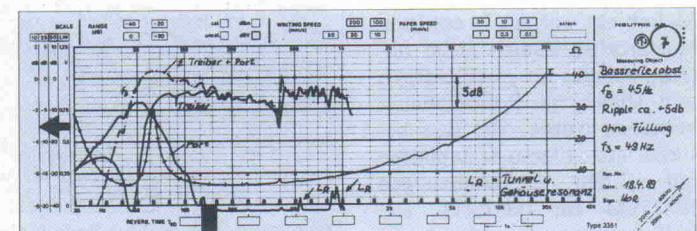


Diagramm 7. Reflexgehäuse, unbedämpft

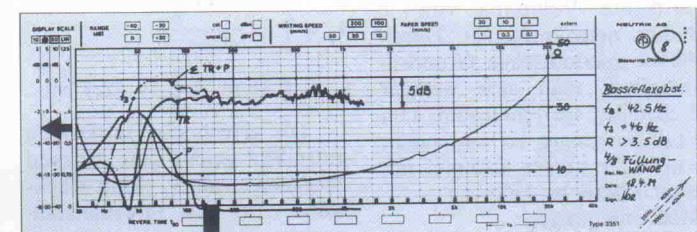


Diagramm 8. Reflexgehäuse, normal bedämpft, Wände belegt

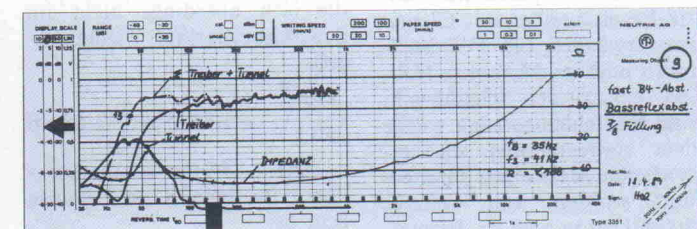


Diagramm 9. Reflexgehäuse, 7/8-Füllung

wolle belegt, was in etwa einer 4/8-Füllung entspricht.

RM 1 = ca. 30 Ohm

RM 2 = ca. 23 Ohm

f(B) = 42,5 Hz

f3 = 46 Hz R = +4 dB

In Bauanleitungen für Baß-reflexboxen findet man häufig die Vorgabe, diese nur an den Wänden zu bedämpfen. Das führt aber nur dann zu einem guten Ergebnis, wenn die Abstimmung selbst schon ein impuls-sauberer Verhalten hervorbringt. Möchte man dagegen ein bestimmtes Gehäusevolumen nicht überschreiten, so hat der Konstrukteur mit Hilfe der Hohlraumbedämpfung einen zusätzlichen Freiheitsgrad in der Hand, der trotzdem eine

des Treibers heran. An der Reduzierung des Schalldrucks im entscheidenden Bereich oberhalb von 50 Hz sind der Treiber mit -2 dB und der Tunnel mit -5 dB beteiligt. Allerdings ist der vektoriell addierte Schalldruck bei 60 Hz nur um 3 dB geringer im Vergleich zur reinen Wandbedämpfung.

Gewonnen wurde bei dieser Maßnahme zwar kein üppiger Baß, dafür aber ein erheblich tieferer f3-Punkt, ein vernachlässigbarer Ripple (R) und schließlich ein deutlich besseres Impulsverhalten. Selbst der Impedanzverlauf ist gleichmäßiger.

Resümee: Mit Hilfe der mechanischen Bedämpfung eines Baßlautsprechers verhilft man kritisch abgestimmten Reflex-

Tabelle 1

Füllmenge	Fr (Hz)	RM (Ohm)	fr (%)
leer	49,0	35,0	0
1/8	48,0	33,0	2,1
3/8	46,0	31,0	6,1
5/8	44,0	27,0	10,2
8/8	40,0	19,0	18,4

Tabelle 2, Treiberdaten

20 cm-Basstreiber mit Langhubgummisicke; Magnetdurchm. 120 mm; Z = 8 Ohm; Schwingspulenlänge = 18 mm; Ø = 37 mm Aluträger; Staubschutzkalotte geschlossen; Druckausgleich unter der Kappe; Membran speziell versteift und beschichtet.

TS-Parameter:

Re = 5,8 Ohm	fu = 15,7 Hz
fs = 27,4 Hz	fo = 48,0 Hz
Rm = 35 Ohm	Qe = 0,41
R1 = 14,25 Ohm	Qm = 2,08
Sd = 227 qcm	QT = 0,345
Vas = 64 Ltr.	

saubere Baßwiedergabe ermöglicht.

Die Meßwerte zeigen in Schrieb 8 — bis auf die Dämpfung der 400 Hz-Resonanz — nur eine geringfügig besseres Ergebnis als bei dem ungefüllten Gehäuse.

Nun wurde die Box zu 7/8 mit Mineralwollplatten gefüllt.

f (B) = 35 Hz

f3 = 41 Hz

R = +0.5 dB (etwa B4-Abstimmung)

RM1 = 20 Ohm

RM2 = 17 Ohm

Erst diese kompakte Füllung (Diagramm 9) bringt das gewünschte Resultat. Das Dämpfungsmaterial füllt den gesamten Innenraum. Der Weg zwischen Treiber und Tunnel ist so gut wie dicht, und die Füllung reicht bis an den Korb

boxen zu einem sauberen Klang. Diesem Freiheitsgrad in der Konstruktion wird nach meiner Meinung oftmals keine große Beachtung geschenkt. Hierbei ist noch anzumerken, daß dieses Ergebnis mit Hilfe von Meßgeräten kontrollierbar und reproduzierbar war, so daß allein das gehörmäßige Abstimmen der Boxen nicht immer zu einem eindeutig besseren Ergebnis führen dürfte. Fazit: Die Wirksamkeit dieses Dämpfungsmaterials ist außerordentlich gut. Dabei ist sowohl die richtige Menge als auch die Platzierung von recht hoher Bedeutung. Die Steuerbarkeit der Baßwiedergabe ist zwischen einer 1/8 bis hin zur 8/8 Füllung außerordentlich gut. Zu strafen Füllungen hin ergibt sich aber eine leicht logarithmische Tendenz im Zusammenhang der Füllmenge zur Baßwiedergabe.

FRENCH COLLECTION



IMPULSTREUE UND DYNAMIK, SOWIE
EIN MINIMUM AN VERZERRUNGEN.

KEVLAR UND **CARBON**, DIE
WERKSTOFFE AUS DER RAUMFAHRT,
HALTEN AUCH AUF DEM BODEN, WAS
SIE IN DER LUFT VERSPRECHEN.
DER **DAVIS** UNTER DEN **GOLIATHS**.

DAVIS

DIE FLOTTEN FRANZOSEN

Informationen über Audite Akustik Vertriebs GMBH,
Langemarkstraße 232, 2800 Bremen,
Tel.: 0421/50 67 89, oder über Ihren Fachhändler

Scan Speak



Viele Wege bringen viele Probleme — sagt der eingefleischte Lautsprecherpurist und steht felsenfest hinter seinem Zweiwege-Konzept, das ihm die beste aller möglichen Lösungen für das Problem Lautsprecher zu sein scheint.

Nun ist aber zum Beispiel ein 19 mm-Kalottenhochtöner allenfalls mit einem 17 cm-Tieftöner kombinierbar. Dieser ist im Baßbereich gegenüber einem 20 cm-Baßlautsprecher vielleicht in der Lage, das halbe Luftvolumen zu bewegen. Jener wiederum verlangt nach einer großen Hochtוןkalotte, damit im Übernahmebereich kein dynamisches Loch entsteht. Folglich müssen Einschränkungen im Superhochtonbereich in Kauf genommen werden. Völlig abwegig ist schließlich das Ansinnen, mit einem 25er-Tieftöner einen Zwei-Wege-Lautsprecher auf die Beine zu stellen.

Spätestens an dieser Stelle erkennt der Leser, daß ein Zweiwege-Lautsprecher immer einen mehr oder weniger großen Kompromiß darstellt. Immerhin ist das die bessere Lösung, wenn man ein Budget von 800 DM zur Verfügung hat, vielleicht auch noch für 1000 DM. Wenn man aber bereit ist, einen größeren Betrag für die Bestückung eines Lautsprechers auf den Tisch zu blättern, müßte es möglich sein, einen aufwendigen und sehr guten Lautsprecher zu finden.

Wer in seinem Entscheidungsprozeß, der zum Erwerb der langersehnten Schallwandler führen soll, bis hierhin vorgedrungen ist, sollte sich einmal ernsthaft mit der brandneuen Transvector 4 befassen.

Vielen Herstellern hochwertiger bis high-endiger Lautsprecher sind die Produkte des dänischen Chassis-Spezialisten Scan Speak seit fast 20 Jahren ein Begriff, zeichnen sie sich doch seit jeher durch weit überdurchschnittliche akustische Eigenschaften, hervorragende Verarbeitung und ausgezeichnete Serien- und Langzeitkonstanz aus.

Vier Bausätze bietet der deutsche Vertrieb inzwischen dem engagierten Hobbyisten: Transvector 1, 2, 3 und 4 heißen die Selbstbaumodelle, die seit kurzem erhältlich sind.

Schon rein optisch macht die Transvector 4 mit ihrem eleganten hochglanzlackierten Gehäuse und der schrägen Schallwand eine gute Figur — endlich mal keine Lautsprecher-Box, sondern fast schon eine Skulptur, die sich perfekt in jede moderne Wohnlandschaft eingliedern läßt. Der italienische Scan Speak-Vertrieb in Mailand hat dieses außergewöhnliche Design kreiert, das Ästhetik und akustische Funktion ideal miteinander verknüpft.

Auf der Schallwand befinden sich eine 19 mm- und eine 28 mm-Kalotte, ein 18 cm-Tieftmitteltöner und ein 25er-Baßlautsprecher. Und gerade der könnte Anlaß für Kritik sein: so ein teurer Lautsprecher — und dann eine Papiermembran? Doch das ist mitnichten ein dänischer Fehltritt, denn sie zählt zu den besten Tieftonmembranen auf dem Weltmarkt; nicht billige Pappe, sondern eine extrem langsam, weil luftgetrocknete Papierfasermischung ist Rohstoff dieser Nawi — (nicht abwickelbaren) — Membran. Sie zeichnet sich aus durch eine unübertroffene Kombination aus Steifigkeit, Resonanzarmut und hoher innerer Dämpfung. Mit dem Magnesium-Druckgußkorb ist sie über eine resonanzdämpfend beschichtete Schaumstoffsicke verbunden. Die Schwingspule hat einen Durchmesser von 42,5 mm und besteht aus Kupferdraht, der in einer Breite von 18 mm auf einen Aluminiumträger gewickelt ist. Bei einer Luftspalttiefe von 6 mm errechnet sich daraus ein linearer Hub von ± 6 mm. Maximal verkraftet dieser Tieftöner sogar eine Auslenkung von ± 10 mm.

Um Kompressionseffekte bei solch extremen Membranbewegungen zu vermeiden, ist die Kammer der hinteren Zentrierspinne resistiv, das heißt über ein Textilvlies an das Gehäusevolumen gekoppelt.

Wie alle Scan Speak-Tieftöner ist auch dieser mit dem patentierten 'symmetric drive' ausgestattet. Dadurch wird die Schwingspuleninduktivität um den Faktor zehn reduziert, was zu einer zehnmal kürzeren Anstiegszeit des Chassis führt. Außerdem wird die Schwingspuleninduktivität unabhängig von der Lage der Schwingspule (ohne 'symmetric drive' würde

Transvector 4

Grand mit Vieren

die Induktivität wachsen, je weiter die Schwingspule in das Magnetsystem eintaucht, da der Polkern induktivitätserhöhend wirken würde), so daß Intermodulationsverzerrungen ebenfalls um den Faktor zehn abnehmen. Ganz nebenbei wird auch noch der Wärme-Übergangswiderstand von der Schwingspule zum Magnetsystem verbessert, wodurch die elektrische Belastbarkeit des Chassis ansteigt.

Auch der Tiefmitteltöner, der für den Bausatzmarkt mit einer Impedanz von 4,8 Ohm gefertigt wird, während die Serienversion 6 Ohm Impedanz aufweist, ist natürlich mit 'symmetric drive' ausgestattet. Copolymeres Polypropylen mit maximaler Streifigkeit und innerer Dämpfung ist das Ausgangsmaterial für die Membran. Sie ist mit dem Magnesium-Druckgußkorb durch eine kombinierte PVC-Gummische verbunden, die sich durch praktisch völlige Resonanzfreiheit auszeichnet.

Wie beim Tieftöner hat die Schwingspule 42,5 mm Durchmesser, und wie beim Tieftöner besteht sie aus Kupferdraht, der auf einen Aluminiumträger gewickelt ist. Die Wickelhöhe ist gegenüber dem Tieftöner um 2,5 mm verringert, während die Polplattenstärke identisch ist. Daraus resultiert eine bessere Energieausbeutung im Mittenbereich. Die Impuls wiedergabe wird gesteigert, um im Stimmenbereich außergewöhnliche Dynamiksprünge verfärbungsfrei wiedergeben zu können.

Die 38 mm-Textilkalotte D 38N ist die jüngste Neuentwicklung aus dem Hause Scan Speak. Eigentlich handelt es sich um einen extrem breitbandigen Hochtöner, denn die obere Grenzfrequenz liegt bei 18 kHz. Größtes Augenmerk wurde auf die mechanische Stabilität und Schwingungsfreiheit des Aufbaus gelegt. Das manifestiert sich unter anderem in der massiven Aluminiumfrontplatte, die über eine Zwischen-

lage aus dämpfendem Schaumstoff auf das Magnetsystem montiert ist. Ebenfalls aus Schaumstoff besteht der Ring, der in die Mittelloffnung der Frontplatte eingelassen ist, um Schallreflexionen an dieser Kante zu verhindern. Die Kalotte ist mit einem resonanzdämpfenden, klebrigen Material beschichtet, Schwingspulen-draht und -träger bestehen aus Aluminium. Eine Bohrung im Polkern verbindet das Volumen hinter der Kalotte mit einer Kammer hinter dem Magneten. Diese Maßnahme ist für die niedrige Resonanzfrequenz von 700 Hz verantwortlich.

Auch beim Hochtöner D 2010 Pb — einer beschichteten Gewebekalotte mit 19 mm Durchmesser — wurde beson-

derer Wert auf Stabilität und Resonanzarmut des Gehäuses gelegt. Zu diesem Zweck ist in die Frontplatte ein Bleiring eingelassen (deshalb die Buchstaben 'pb' in der Typenbezeichnung). Die Schaumstoffoberfläche der Frontplatte verhindert Reflexionen tangential zur Schallwand abgestrahlter Schallanteile. Durch den Hornansatz vor der Membran wird der Strahlungswiderstand der Kalottenmembran an den der Luft angepaßt, ohne zu irgendwelchen horntypischen Verfärbungen des Klangbildes zu führen. Der durchbohrte Polkern mit angekoppeltem Volumen hinter dem Magnetsystem sorgt für die erstaunlich niedrige Eigenresonanz von 800 Hz. Ebenfalls erstaunlich ist der lineare Hub von $\pm 0,8$ mm, der diesem Hochtöner zu einer phantastischen Dynamik verhilft. Der Frequenzverlauf ist sta-

tisch und dynamisch ausgeglichen und ohne störende Resonanzen.

Die Frequenzweiche weist keine spektakulären Schaltungstricks auf, was angesichts der gutmütigen Eigenschaften der verwendeten Lautsprecherchassis auch völlig unnötig wäre. Der Tieftöner wird über einen Tiefpaß zweiter Ordnung bei 200 Hz aus dem Geschehen ausgekoppelt. Wie schon erwähnt, ist auch der Tiefmitteltöner nur mit einem Tiefpaß beschaltet, da er von seinen mechanischen Eigenschaften her ohne weiteres in der Lage ist, tieffrequente Programmanteile zu verarbeiten. Das Filter trennt ihn bei 800 Hz mit 18 dB/Okt. Die Mitteltonkalotte ist mit einem Bandpaß zweiter Ordnung beschaltet, der ihr den Frequenzbereich um 800—6000 Hz zuweist. Der Serienwiderstand von 1,2 Ohm ist op-

Stückliste

Holz, 25 mm MDF nach Zeichnung

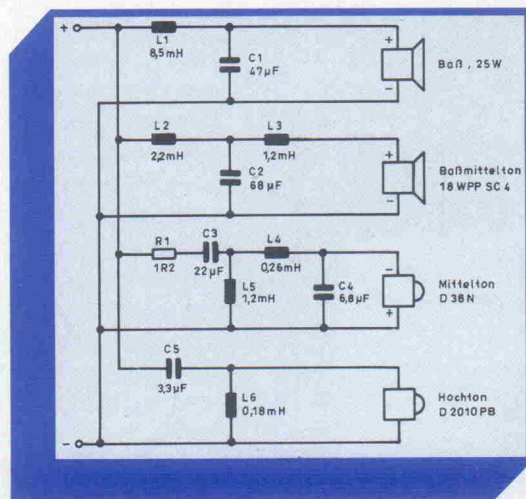
Weiche:

L1 8,5 mH
L2 2,2 mH
L3 1,2 mH
L4 0,26 mH
L5 1,2 mH
L6 0,18 mH
C1 47 μ F MKT
C2 68 μ F MKT
C3 22 μ F MKT
C4 6,8 μ F MKT
C5 3 μ 3 MKT

Chassis:

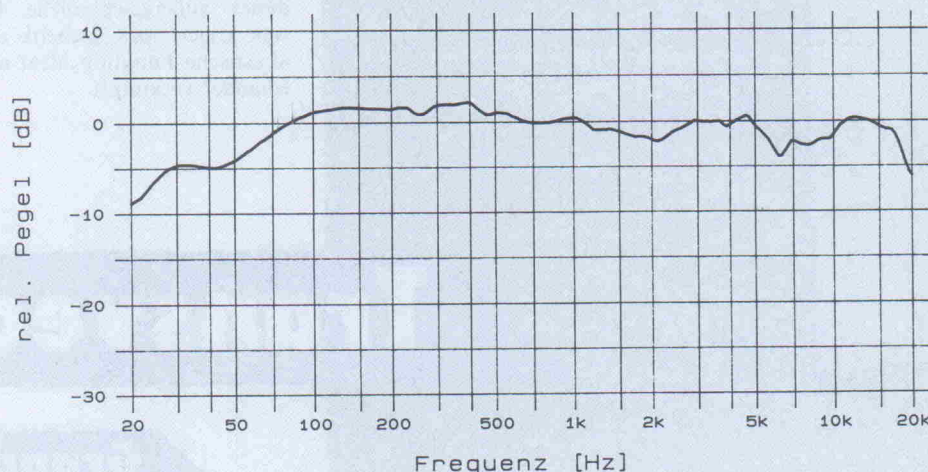
Baß 25 W
Baßmittelton 18 WPP SC4
Mittelton D 38 N
Hochton D2010 PB

Bis auf den Baßmitteltonkanal (18 dB/Okt) ist die Weiche mit 12 dB/Okt-Filtern aufgebaut.



Scan Speak

Frequenzgang (rosa Rauschen)



... auch vom
Frequenzschieb her so gut
wie sie sich anhört!

Bild 1.
Nahfeldmessung
der Mittelton-
kalotte D38N:
Pegel in dB
über der
Frequenz in Hz.

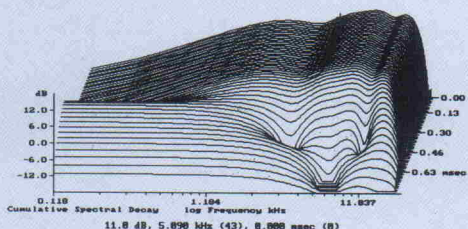
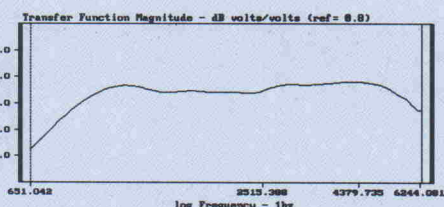


Bild 2.
Kumulatives
Zerfalls-
spektrum des
D38N

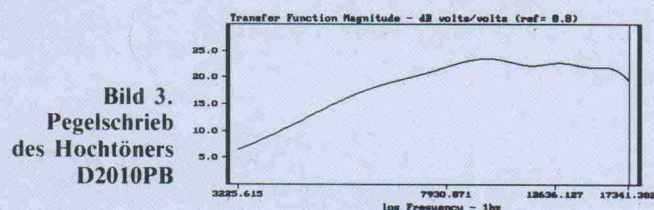


Bild 3.
Pegelschrieb
des Hochtöners
D2010PB

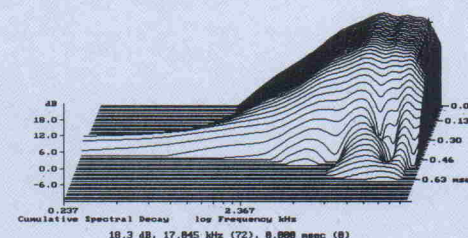
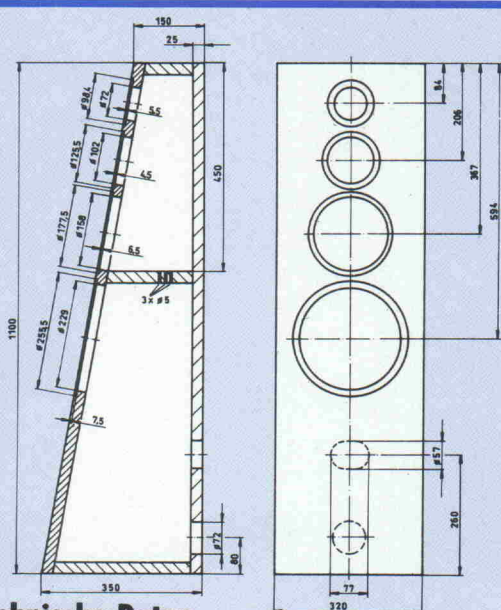


Bild 4.
Kumulatives
Zerfalls-
spektrum des
Hochtöners
D2010PB



Technische Daten

Prinzip: 4-Wege, Reflex
Belastbarkeit: 180 W
Kennschalldruck: 91 dB

Volumen: 60 Liter
Außenmaße:
350 x 320 x 1100 mm

tional und senkt den Mittelton-
pegel um 1,5 dB. Der Hochtö-
ner schließlich arbeitet ab
6 kHz, ebenfalls beschaltet mit
einem 12 dB/Okt.-Filter.

Der in 1 m Abstand gemes-
sene Frequenzgang offenbart,
daß es sich hier um einen wirk-
lich ausgeglichenen Lautspre-
cher handelt. Die -6 dB-Gren-
zen liegen im Baß bei 30 Hz
(aufstellungs- und meßposi-
tionsabhängig!), in den Höhen
bei 20 kHz; beides Werte, die
keinen Wunsch offen lassen. Es
sind keinerlei auffällige Ten-
denzen zu erkennen, weder
übertriebene Baß- noch Höhen-
betonung, auch keine mögli-
cherweise störenden schmal-
bandigen Einbrüche oder Über-
höhungen. Auch die Messun-
gen außerhalb der Achse zeigten
einen flachen Frequenz-
gang. Speziell das Rundstrahl-
verhalten des Hochtöners ist
bis hinauf zu 20 kHz vorbild-
lich. Deshalb ist es nicht erfor-
derlich, die Lautsprecher beim
Musikhören exakt auf den
Hörplatz auszurichten. Eine
Hörposition in der Spitze eines
gleichschenkligen Dreiecks ist
ideal.

Vier Ohm

für Feinschmecker

Der Impedanzverlauf zeigte
eine relativ geringe Schwan-
kungsbreite, die zwischen
3 Ohm und 13 Ohm liegt. Es
handelt sich also um einen Ver-
stärker-unkritischen 4 Ohm-
Lautsprecher. Die insgesamt
niedrige Impedanz im Tiefton-
bereich erklärt sich von selbst,
wenn man bedenkt, daß unter-
halb von 300 Hz Tief- und Tief-
mitteltöner parallelgeschaltet
sind.

Im Hörtest stellte sich
schon nach kurzer Zeit heraus,
daß dieser Lautsprecher sozu-
sagen die Ausgeglichenheit in
Person darstellt. Es kristalli-
sierten sich einige besonders
positive Eigenschaften heraus:
Zuallererst ist die Natürlichkeit
beindruckend, mit der menschi-
che Stimmen wiedergegeben
werden. Dabei kann die Trans-
vector 4 nicht nur einzelne
Stimmen und Instrumente ton-
al und räumlich wiedergeben.
Sie ist auch hervorragend in der
Lage, komplexe Orchesterpas-
sagen völlig transparent und
durchhörbar zu gestalten. Un-
ser Fazit: eine Box für den klas-
sischen Feinschmecker.

ACR → Franken
→ Oberpfalz
→ Niederbayern

Isostatic RP 200, 250, 300 vorführbereit

Dual Golden 1 (Laufwerk)
→ + AT-OC 9 nur DM 1595,-
→ + AT-OC 7 nur DM 1395,-

ACR ★ Dynaudio ★ Focal ★ TDL ★
Seas ★ Visaton ★ **new:** Axton u.v.m.

Camtech + Rotel

Stereoplay Subwoofer-Kit
WHD-Bass + Albs Weiche +
Rotel RB 850 Endstufe DM 1555,-

ACR Top Audio
Franz Bohnert
Galvanistr. 36, 8500 Nürnberg 40
Telefon 09 11/45 10 05

E B C
ELECTRONIC

Lautsprecher- Bausatzstudio

Eton, Dynaudio, Magnat,
Seas, Visaton

Pilgrimstein 24a
3550 Marburg
Tel. 0 64 21/2 75 89

FOCAL®

in Österreich
Hi-Fi-Bausätze
par excellence!

Kommunikation's.

Generalvertretung:
IEK - A k u s t i k
Ing. E. Kraußner
Brucknerstr. 2, 4490 St. Florian/Linz
Telefon 0 72 24/89 82

electro- J o k e r
acoustic Ing. Lederer
Bethlehemstr. 33 Gabelsbergerstr. 29
4020 Linz 5020 Salzburg
073 2/27 29 284 066 2/71 693

I B G Hi-Fi-Team
I. Gersch Stadlgasse 2
Storkgasse 12 8020 Graz
1050 Wien Telefon
022 2/55 71 31 031 6/91 83 80

McFarlow



Dr. M. Hubert

Einer der größten Lautsprecherhersteller Europas, der über einen reflexionsarmen Raum von 500 m³ verfügt und allein in der Entwicklungsabteilung mehr als zwanzig Ingenieure beschäftigt, hat den Selbstbaumarkt entdeckt: Unter dem Namen McFarlow (klingt ein wenig nach schottischer Sparsamkeit!) werden zwölf neuentwickelte Lautsprecherchassis auf die Ladentheken der Fachhändler gebracht. Die Palette reicht von einer 19 mm-Gewebekalotte bis zum 0,3 m-Tieftöner.

Fünfzwonullacht

Profis entdecken den Selbstbaumarkt

Die erste Bauanleitung mit diesen neuen Chassis heißt schlicht 'Speaker-Kit 5208' — abgekürzt SK 5208 — und besticht erstens durch einen soliden, ausgewogenen Klang sowie zweitens durch den dazugehörigen Preis. Rechnen wir doch einmal eine Minimalversion durch ($\pm 20\%$): Zwei Chassis = 100 DM, Spanplatten etwa DM 20,—, Weichenbauteile etwa DM 30,—,

Spachtel, Lack, Leim noch einmal DM 30,— macht zusammen (nach oben aufgerundet) DM 200,— je Box.

Dafür erhält man ein Zweige-System mit dem Hochtöner H25-80 und Tiefmitteltöner T8-60. Die 25 mm-Gewebekalotte ist mit einer resonanzdämpfenden, sogenannten 'softpore'-Beschichtung versehen: Garantie für einen feinzeichnenden niemals nervenden Klang. Eine hohe thermische Belastbarkeit wird durch den

Alu-Schwingspulenträger und die in den Luftspalt gefüllte magnetische Flüssigkeit sichergestellt. Flexible Schwingspulenzitren und die Möglichkeit eines lötfreien Anschlusses über 6,3 mm Flachstecker runden das Bild dieses Hochtöners ab.

Ein warmer Grundtonbereich mit nicht allzu „scharf“ angepaßtem Hochtöner machen die Charakteristik dieser Box aus.

Dem H25-80 steht der Tiefmitteltöner T8-60 zur Seite. Auffälliges äußeres Merkmal dieses Hochleistungschassis ist sein kraftvolles Antriebssystem. Allein der Ferritring des Magnetsystems mißt 110 mm Ø. Ein technischer Leckerbissen steckt im Innern:

Stückliste

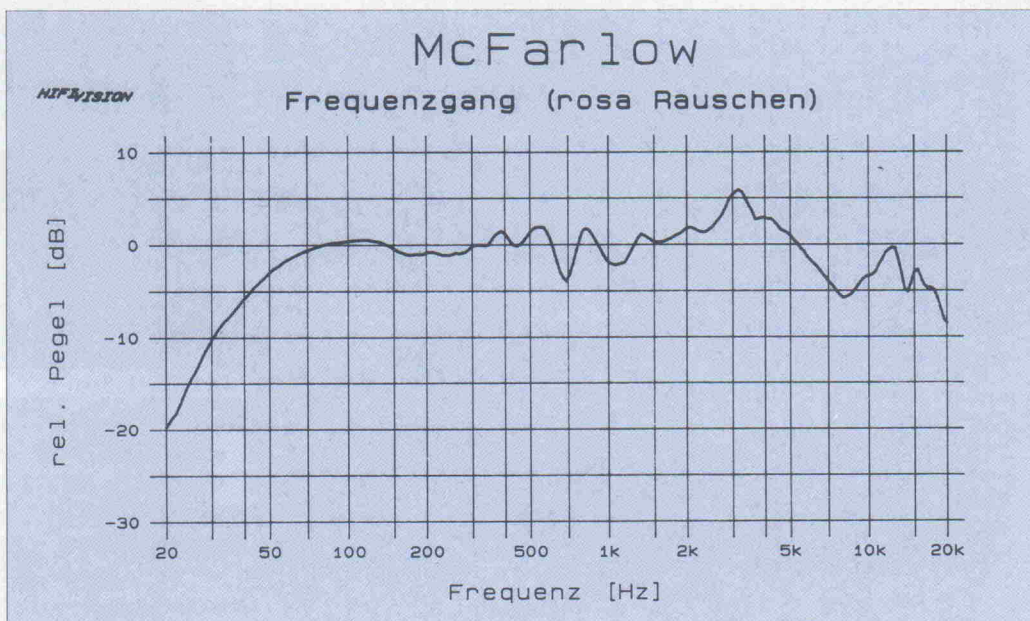
Holz nach Zeichnung

Frequenzweiche

L1 0,5 mH
L2 0,15 mH
C1 4µ7 MKT
C2 15µF bipolar
R1 4R7 5 W
R2 2R2 5 W

Chassis

Tiefton T8-60 McFarlow
Hochton H25-80 McFarlow



**stereoplay
7/1989**

„Nun zeigte die **pro 120** welchen Vorteil größere Gehäuse und Membranflächen bieten: Deutlich mehr Tiefbaß und Präzision etwa bei gezupften Kontrabässen; auch wenn viele Musiker gleichzeitig spielten und die Pegel über Zimmerlautstärke hinausgingen.“ Die Bewertung für die realistische, pegelfeste und feinzeichnende **pro 120:**
Rang und Namen:
Spitzenklasse

An uns Sie nicht kommen vorbei!

pro 120 mit

- ... 20 cm TPX Bass-Mitteltöner nach neuester Membranmaterial-Technologie,
- ... 34 mm Textilkalotte aus den BBC-Monitoren, und dem bewährten
- ... 10 mm Superhochtöner.

Nennbelastbarkeit: 120 W

Maße (H x B x T):
670 x 320 x 360 mm

proroom
POWERED BY **AUDAX**

4970 Bad Oeynhausen 1, Postfach 10 1003
Telefon 052 21/30 61, Telefax 052 21/33 337
Telex 9724842 kroed d

die 4-Lagen-Schwingspule auf Aluminium-Träger mit 2+2-Wicklungstechnologie.

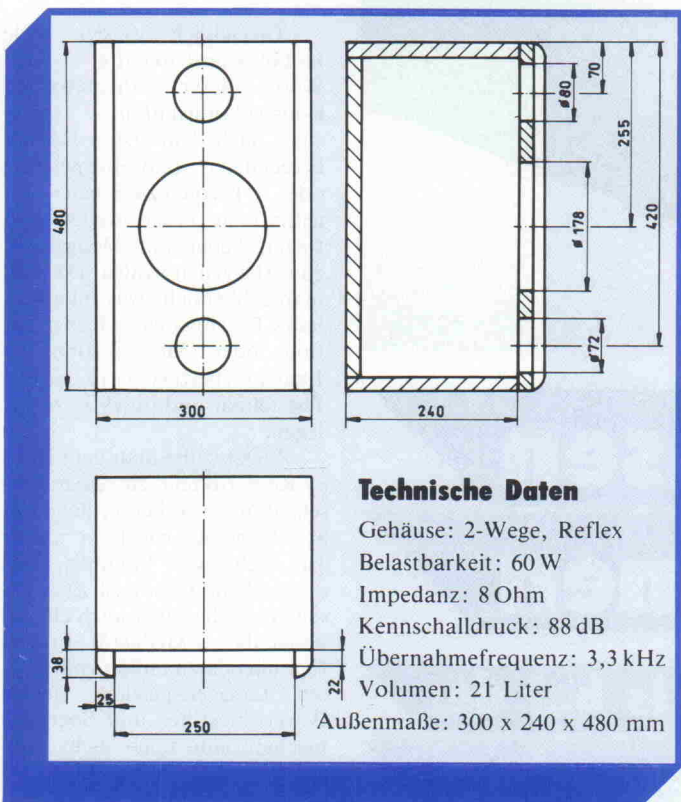
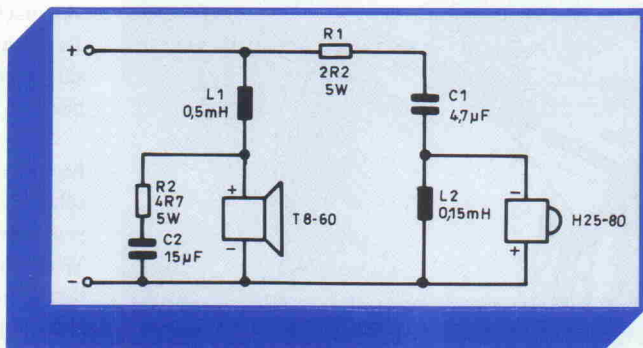
Bei dieser Wickeltechnik werden wie bei einer normalen 4-Lagen-Spule ebenfalls vier Wicklungen auf den Schwingspulenträger gewickelt. Allerdings werden die inneren beiden Wicklungen und die äußeren beiden Wicklungen parallel geschaltet. Der gesamte Strom durch die Schwingspule teilt sich somit in zwei Teilströme auf. Bei gleicher Belastbarkeit wie bei einer 4-Lagen-Spule kann dann bei der 2+2-Spule ein um den Faktor 0,7 kleinerer Drahtdurchmesser ausgewählt werden. Dünner Draht heißt aber gleichzeitig: Die Wickeldicke der Spule wird geringer und natürlich die bewegte Masse. Bei geringerem Außendurchmesser der Spule kann

aber der Luftspalt des Magnetsystems enger gemacht werden. Damit steigt die Luftspaltinduktion und natürlich die Antriebskraft.

Die Induktivität der 2+2-Spule ist deutlich kleiner als bei einer vergleichbaren 4-Lagen-Spule. Somit ist auch der durch die Schwingspuleninduktivität bedingte Impedanzanstieg mit steigender Frequenz deutlich flacher.

Die Entwicklung der Frequenzweiche erfolgte mittels aufwendiger Computersimulation und Netzwerkoptimierung. Ziel beim Hochpaß war eine Trennfrequenz von 3,3 kHz, -6 dB. Das Ergebnis ist eine sehr einfache Schaltung, die aber für einen linearen Frequenzgang und eine saubere Trennung der beiden Chassis sorgt.

Über R1 kann der Pegel des Hochtöners in gewissen Grenzen verändert werden.



Altstädter Str. 4, 2 Hamburg 1, ☎ 040/32 66 95,
 11.00-18.30 außer Mi., Sa. 10.00-14.00

DYNAMIK AKUSTIK

Selbstbau-Systeme aller Art
Fertigboxen in individuellem Design

★ Bausätze aller führenden Hersteller. ★ Gehäuse in jeder Form + Farbe nach Ihren Wünschen aus jedem Material. ★ Hochwertige Weichteile von A-Z. ★ Aktiv-Lösungen. ★ Fachkundige Beratung und Vorführung aller angebotenen Bausätze. **Alles günstig wie nie, denn wir setzen den Maßstab!**

»HÖREN SIE DOCH MAL REIN«

DYNAMIK AKUSTIK

Preisliste gratis!
 Katalog gegen DM 10,- Schutzgebühr



Kabel — Stecker — Zubehör in Spitzenqualität
 damit der Klang Ihrer Anlage nicht auf der Strecke bleibt!
 Fordern Sie unser Gratisinfo »HB 8« an!

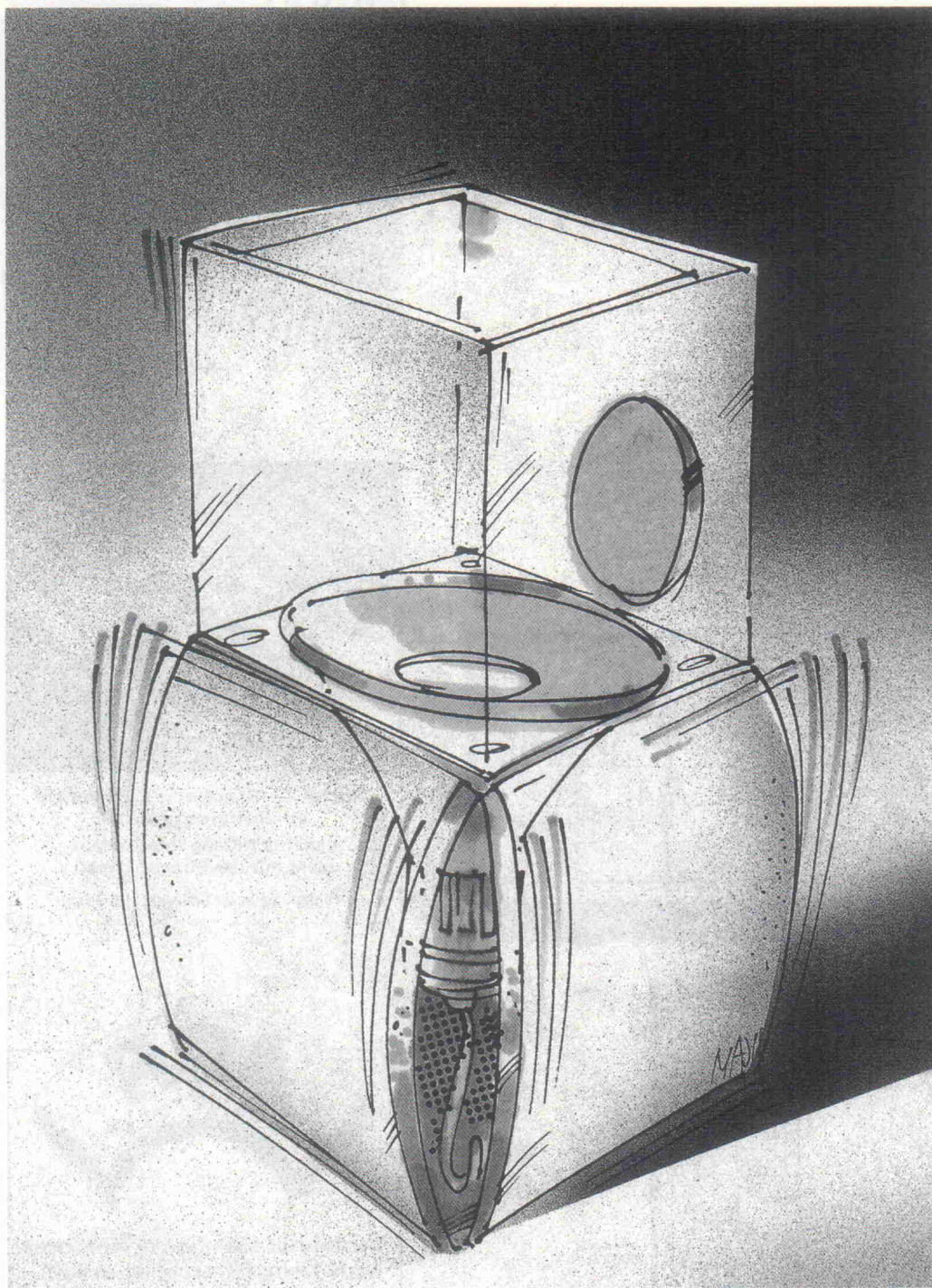
ACR Frankfurt

Wir führen ständig vorführbereit das Komplettprogramm von:

ACR Swiss
Dynaudio · Focal
Lautsprecher-Teufel

Außerdem
Audax · Seas · Peerles
 u. v. m.

ACR GmbH
 Königsteiner Str. 59c · 6000 Frankfurt 80
 Telefon (0 69) 30 10 91
 Parkplätze vorhanden
 ca. 1000 m von der Autobahnabfahrt
 Mo-Fr 10.00-18.30, Sa 10.00-14.00 Uhr



Vom Messen und Rechnen

Theorie und Praxis bei der
Entwicklung von Lautsprechern

G. Schwamkrug,
G. Gores, U. Szlosze

In Artikeln und Büchern über die Entwicklung von Lautsprechern findet man häufig einen bemerkenswerten Widerspruch, der sicher schon einige Hobby-Konstrukteure nachdenklich gestimmt hat. Einerseits ist immer wieder die Rede von Berechnungsgrundlagen (als Beispiel seien die Arbeiten von A.N.Thiele und R.H.Small oder S. Linkwitz genannt), auf der anderen Seite stößt man immer wieder auf Äußerungen wie diese: 'Nach den Erfahrungen des Autors liefern rein rechnerische Lösungen nur wenig zufriedenstellende Ergebnisse', oder 'Die Filter wurden akustisch ermittelt, sie sind mit Taschenrechner und Formelsammlung nicht nachvollziehbar.'

Was ist eigentlich hier los? Kann man sich auf die wissenschaftlichen Arbeiten verlassen, oder sollte man in kalten Wintertagen zumindest einmal den Heizwert gewisser Formelsammlungen und Tabellen überprüfen?

Tatsächlich werden viele Hobby-Konstrukteure den Wert dieser 'theoretischen Konstruktionshilfen' spätestens nach dem ersten Hörtest berechneter Baßreflexgehäuse oder Frequenzweichen ernsthaft in Frage stellen und fortan lieber mit Meßgeräten zuwerke gehen wollen. Da weiß man schließlich, was man hat; jedes Ergebnis einer Konstruktion oder Modifikation an Lautsprecherboxen ist sofort feststellbar und objektiv zu belegen.

Zuerst sollte man dem Hobby-Konstrukteur zu seiner Entscheidung gratulieren, denn ohne Meßgeräte würde er in der Tat nicht weit kommen. Das menschliche Gehör ist zwar ein sehr sensibles, aber auch ebenso bestechliches Meßgerät. Es verfügt über einen unkontrollierbaren Langzeitspeicher, dessen Bewertungsfilter und Speichermechanismus noch nicht vollständig bekannt sind. Eine Tatsache, die es für objektive aku-

tische Messungen leider völlig disqualifiziert. Einige Hifi-Fans kennen diesen merkwürdigen Bewertungseffekt sicher aus eigener Hörerfahrung. Es dauert eine ganze Weile, bis die Klangcharakteristik neuerworbener Lautsprecherboxen nicht mehr als spiegelbildlicher Fehler der vorher gehörten Systeme wahrgenommen wird. Dann stellt sich heraus, daß anfangs wahrgenommene Unstimmigkeiten im Klangbild gar nicht von den neuen Boxen herrühren, sondern als 'Übergriffe' der alten Exemplare erst einmal vergessen werden mußten.

Aber man sollte den Hobby-Konstrukteur fairerweise auch vorwarnen. Es gibt nichts Gemeineres als eine Meßreihe, die sich im Laufe der Zeit selbstständig und solange zu neuen Änderungen zwingt, bis der Konstrukteur endgültig jede Kontrolle über seine Konstruktion verloren hat. Und es gibt nichts Frustrierenderes, als Meßreihen mit dem einzigen Ergebnis, daß es so eben nicht geht.

Zu viele Variable?

Weitere Aspekte sind zu berücksichtigen. Was wird üblicherweise gemessen? Meist ist es der Schalldruck abgestrahlter Signale im Abstand bis zu einem Meter von den Membranen. Diese Entfernung erinnert zwar immer an die Existenz eines recht praktischen internationalen Einheiten-Systems, entspricht aber nur selten den Gegebenheiten der meisten Wohnräume. In diesen geringen Entfernungen wird das Direktschallfeld der Lautsprecherbox gemessen, und der Meßschrieb ist oft ein Anhaltspunkt dafür, wie die Box bei freier Aufstellung in dieser Entfernung klingen wird. In größeren Entfernungen dominiert bei üblichen Wohnraumabmessungen ein Schalldruck, der sich aus allen vom Lautsprecher abgestrahlten Signalen zusammensetzt. Hier addiert sich der Schalldruck, der 'auf Achse' abgestrahlt wird, mit dem Schalldruck, der über andere Raumwinkel erzeugt und von den Wandflächen reflektiert wird. Die gesamte abgestrahlte Leistung eines Lautsprechers, die Aufstellposition, die Hörposition und die akustischen Eigenschaften des Abhörraum-

mes bestimmen den tatsächlich erzeugten Schalldruck am Hörplatz. Es ist wohl verständlich, daß die oben zitierten Schalldruck-Kurven über die Wiedergabe in verschiedenen Räumen ebenso wenig aussagen, wie z. B. eine einzelne Messung nach der Modifikation einer Lautsprecherbox. Was also tun?

Während das Meßgerät ruht und der Konstrukteur etwas grübelt, rechnet irgendwo ein Computer mal eben einige tausend verschiedene komplette Kombinationen durch. Er liefert dabei Informationen über Schalldruckkurven, abgestrahlte Leistungen, Dynamikverhalten und Impulsverhalten. Optimierungsroutinen suchen Lösungen für beste Wiedergabeeigenschaften bei verschiedensten Aufstellpositionen. Sie kontrollieren dabei über Wirkungsgradberechnungen und verschiedene Magnetsysteme die jeweils notwendigen bewegten Massen für alternative Chassis/Filter-Kombinationen und die Einflüsse der aktuellen

Schwingspulentemperaturen auf das Dynamikverhalten ebenso, wie das resultierende Impulsverhalten bei leiseren Musiksignalen. Sie optimieren das Wechselspiel zwischen mechanischer und elektrischer Dämpfung der Chassis und verlieren dabei weder die Membranauslenkung noch die statistische Amplitudenverteilung in Musiksignalen aus dem Auge.

Zukunftsmusik? Ja und nein, man sollte es etwas relativieren. Sollten die elektroakustischen Wandler tatsächlich so wenig greifbar sein, wie die Verfechter der akustischen Optimierungsverfahren immer wieder behaupten? A.N.Thiele, R.H.Small und andere hätten vermutlich nicht nur ihre Bleistifte, sondern auch einige Fachbücher über Mathematik, Physik, Elektrotechnik und verwandte Fachrichtungen in die verschiedensten Ecken geüert. Sie taten es nicht. Im Gegenteil: Auf den Grundlagen elektrischer Filter erstellten sie Theorien und Modelle, die die

tatsächlichen Gegebenheiten sehr genau zu beschreiben vermögen; wenn man sie richtig anwendet.

Die Theorien über Lautsprecher mit geschlossenem oder ventiliertem Gehäuse beispielsweise beschreiben Interaktionen von Chassis und Gehäuse, nicht Interaktionen von elektrischen Filtern und Chassis und Gehäusen und Wohnräumen. Das wird leider gerne übersehen. Wenn dann etwas nicht wie erwartet funktioniert, dann heißt es, die Berechnungsgrundlagen waren falsch.

Hier liegt eines der großen Probleme im Umgang mit theoretischen Analysen und Berechnungsgrundlagen, das auch hauptsächlich für den schlechten Ruf errechneter Ergebnisse verantwortlich ist. Es gibt eine Vielzahl einzelner Analysen bestimmter Bereiche wie z.B. der Wirkungsweise der Chassis, der Filter, der Gehäuse oder der Beeinflussung der Wiedergabe durch den Abhörraum. Alle beschreiben Teilaspekte und liefern für sich betrachtet richtige Ergebnisse. Wenn aber ein Lautsprecher 'errechnet' werden soll, dann dürfen auch die Wechselwirkungen nicht vergessen werden. Erst die richtige Verknüpfung dieser verschiedenen, einzelnen Modelle und Theorien liefert hier richtige Ergebnisse.

Ein zweiter Aspekt steht (nicht nur) dem Hobby-Konstrukteur beim Umgang mit der Theorie und den daraus herge-

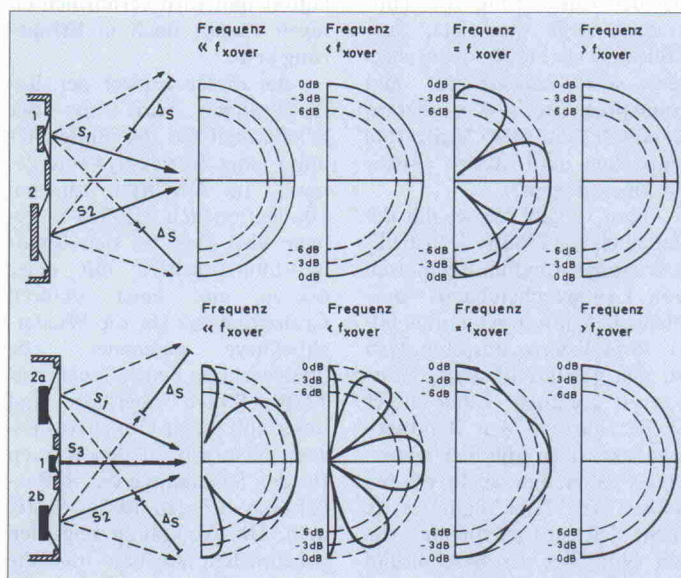


Bild 1 (oben). Signaladdition bei (idealen) konventionellen 2-Wege-Anordnungen.

Bild 2 (unten). Signaladdition bei D'Appolito Anordnung. Über die Streckendifferenz δ_s entstehen Fehler unterhalb der Trennfrequenz.

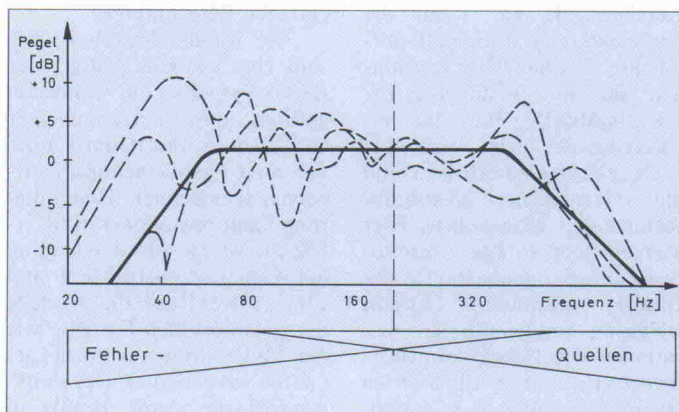


Bild 3. Traum und Alptraum des Konstrukteurs: Raumeinfluß, Gehäuseform und Tiefpaßfilter beeinflussen sich gegenseitig.

leiteten Berechnungsgrundlagen im Weg. Die Berechnungen können mitunter etwas komplizierter und die Datenmengen etwas unübersichtlich werden. Ein Taschenrechner ist hier stellenweise ebenso überfordert, wie das Vorstellungsvermögen selbst professioneller Konstrukteure, die es eigentlich wissen sollten. In sehr vielen Fällen sind es die Chassis selbst, die für komplizierte Berechnungen sorgen. Diese Wandler bewegen sich häufig im Grenzbereich dessen, was mit vertretbarem Aufwand noch in Modelle und Theorien zu fassen ist. Dazu gehört neben der Berechnung von Verzerrungen, bzw. deren Verringerung, ebenso das frequenzabhängige Abstrahlverhalten.

Es ist müßig, sich hier darüber zu streiten, ob das nun 'Fehler' der Chassis sind. Theoretisch betrachtet sind es welche, denn ein von Magnet und Schwingspule angetriebener Kolbenstrahler sollte sich so verhalten, wie es das Ersatzschaltbild dafür vorsieht und nicht wie eine Summe aus mehr oder weniger gut balancierten Fehlerquellen.

Fehlerhafte Chassis sind schwer zu berechnen

Solange es aber noch nicht möglich ist, ausreichend stabile und richtig geformte Membranen in linearen Aufhängungen zu führen und diese durch verzerrungsfreie Antriebssysteme mit Magnet und Spule linear auszulenken, solange wird auch die Berechnung einiger dieser Wandler eine recht komplizierte Sache bleiben. Bereits das Antriebssystem ist schwerer zu berechnen, als man vermuten sollte. Beispielsweise nimmt die Antriebskraft zu, wenn die Spule aus dem Luftspalt auftaucht. Solche 'Überraschungen' sind in den üblichen Ersatzschaltbildern für Lautsprecher-Chassis nicht vermerkt. Weit schwerer zu erfassen sind die verschiedenen Membranformen und Materialien. Hier können sehr exakte Amplituden- und Phasenmessungen der Chassis notwendig werden, weiterhin mathematische Operationen wie Hilbert-Transformationen, um die Allpaßterme (Phasenänderung ohne Ampli-

tudenänderung) von den Minimum-Phase-Termen (Phasenänderung mit Amplitudenänderung) der komplexen Übertragungsfunktion zu trennen. Damit kann man dann wieder rechnen. Für den Hobby-Konstrukteur stellt sich hier nur die Frage, ob der Aufwand der Berechnungen für Einzelfertigungen noch sinnvoll ist.

Als Zwischenbilanz könnte man hier festhalten, daß eine gute Lautsprecherbox nur mit erheblichem Meßaufwand und (!) mit mindestens ebenso erheblichem Rechenaufwand konstruierbar ist. Der Hobby-Konstrukteur hat es damit meist recht schwer, bei seinen Konstruktionen das Niveau guter professioneller Konstruktionen zu erreichen. Andererseits ist nur der Hobby-Konstrukteur in der Lage, Lautsprecher zu vertretbaren Kosten für seine Hörbedingungen zu optimieren. Und ohne diese individuelle Optimierung stehen die professionellen Konstruktionen auch nicht so gut in jedem Raum. Dieser Umstand fällt bei der Ausstattung von Tonstudios recht notorisch auf. Soll man als Hobby-Konstrukteur jetzt Mathematik und Lautsprechertechnik studieren, oder soll man seine Meßgeräte einpacken und lieber andere Hobbys pflegen?

Nun, es gibt Wege, mit denen auch der Hobby-Konstrukteur einige störende Eigenarten von Lautsprecherchassis 'ausblenden' kann, um so ohne allzu komplizierte Berechnungen zu den gewünschten Ergebnissen zu kommen. Einer dieser Wege führt zu den Bandpaß-Lautsprechern, die hier einmal etwas näher untersucht werden sollen. Der 'Trick' dahinter: Je mehr sich ein Lautsprecher wie ein einfaches Ersatzschaltbild verhält, um so 'richtiger' sind einfache Berechnungen.

Die Bandpaß-Lautsprecher sind eine spezielle Bauart der Reflex-Systeme, die wahlweise gefiltert, ungefiltert, mit einer einfachen Reflexöffnung oder mit einer Passiv-Membran aufgebaut sein können. Eine Filterung kann passiv oder aktiv erfolgen, wobei zur Berechnung der Gehäusekonstruktion und Filter sowohl auf die Modelle der geschlossenen Systeme wie der Reflex-Systeme zurückgegriffen werden muß. Das Funktionsprinzip wurde bereits in

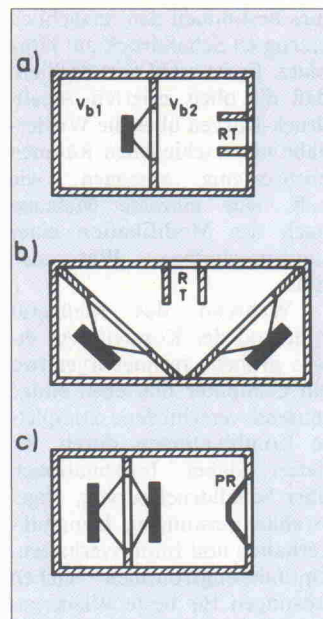


Bild 4. Verschiedene Bauformen für Bandpaß-Lautsprecher. Alternativ können Reflex-Tunnel (RT) oder Passiv-Radiatoren (PR) eingesetzt werden.

HiFi-Boxen Nummer 7 kurz erläutert und wird vermutlich einigen Lesern noch in Erinnerung sein.

Bei dieser Bauart der Reflex-Systeme wird nur der Schallanteil aus der Reflexöffnung eines Reflex-Systems genutzt. Im Gegensatz zu den konventionellen Reflex-Systemen wird aber bei den Bandpaß-Lautsprechern mit einer oberen und einer unteren Grenzfrequenz für die Wiedergabekurve gerechnet. Die Sperrwirkung beträgt auch hier 12 dB/Oktave oberhalb und unterhalb dieser Grenzfrequenzen, entsprechend den Kurven für den Schallanteil der Reflexöffnung bei den Reflex-Systemen. Die Abbildung zeigt den prinzipiellen Aufbau und die typische Wiedergabekurve eines solchen Bandpaß-Lautsprechers. Die geringere Sperrwirkung, d. h. relativ gesehen lautere Wiedergabe tiefer Frequenzen, gegenüber den konventionellen Reflex-Systemen beruht darauf, daß hier keine gegenseitige Auslöschung der Signalanteile von Membran und Reflexöffnung stattfinden kann. Obwohl sie nach dem Reflex-Prinzip arbeiten, verhalten sich die Bandpaß-Lautsprecher bezüglich der Wiedergabe tiefer Frequenzen wie Lautsprecher mit geschlossenen

Gehäusen. Sie unterscheiden sich von diesen allerdings im Wirkungsgrad, den Kurven für die Membranauslenkung und der Belastbarkeit bei Frequenzen unterhalb der Gehäuseresonanz. Der letztgenannte Aspekt ist besonders interessant, denn infolge der Federsteife des Luftvolumens hinter der Membran können selbst Chassis mit sehr nachgiebiger Membranaufhängung gefahrlos in diesen Reflex-Systemen verwendet werden.

Ein kurzer Umriss der Berechnung dieser Bandpaß-Lautsprecher wurde erstmals von L.R. Fincham gegeben (AES Preprint 1512 D-4), wobei Systeme 2. und 3. Ordnung mit symmetrischer Butterworth-Charakteristik untersucht wurden. Die Bandpaß-Lautsprecher können einen höheren Wirkungsgrad-Koeffizienten η aufweisen als geschlossene Gehäuse gleicher Grenzfrequenz. Das gilt allerdings nur bis zu einer bestimmten Bandbreite des Einsatzbereiches. Verglichen mit Reflex-Systemen sind die Werte für η bereits bei Bandbreiten unter zwei Oktaven etwas geringer, jedoch ist bei günstiger Aufstellung infolge der geringeren Sperrwirkung eine tiefere Grenzfrequenz erzielbar als mit konventionellen Reflex-Systemen. Wird die subjektiv empfundene halbe Lautstärke mit -10 dB angesetzt, so liegt die Grenzfrequenz fast immer unter der vergleichbarer konventioneller Reflex-Systeme.

Filter sind

schon eingebaut

Der bemerkenswerteste Vorteil der Bandpaß-Lautsprecher für den Hobby-Konstrukteur ist, wie der Name bereits andeutet, das eingebaute mechanisch/akustische Hochpaß- und Tiefpaß-Filter.

Der Schwingkreis aus der bewegten Masse Luft in der Reflexöffnung, beziehungsweise einer Passiv-Membran und dem Gehäusevolumen vor der angetriebenen Membran, kann als Masse/Feder-System eine kontrollierte Verringerung der abgestrahlten Signale um 12 dB/Oktave oberhalb einer Grenzfrequenz bewirken. Das vereinfacht die Konstruktion und senkt die Kosten passiver

Frequenzweichen ausreichend hoher Sperrwirkung besonders bei tiefen Trennfrequenzen, wie sie bei Subwoofer/Satelliten-Kombinationen üblich sind.

Bei geschickter Planung kann eine Frequenzweiche 3. Ordnung, beispielsweise ein Butterworth-Allpaß-Filter (Konstantspannung und Konstantleistung) für eine solche Kombination aus nur zwei passiven Bauteilen aufgebaut werden: einer Spule für den Subwoofer und einem Kondensator für die Satellitenbox.

Das Prinzip ist natürlich nicht nur im Tieftonbereich verwendbar, es kann auch zur Mittel-Tiefton-Wiedergabe einer Satellitenbox selbst genutzt werden, wobei durch die verringerte Membranauslenkung und die Federwirkung des geschlossenen Gehäuses erstaunliche Leistungs- und Belastbarkeitswerte zu erzielen sind.

Ein Betrieb des Bandpaß-Lautsprechers ohne Filter ist prinzipiell auch möglich, aber nicht empfehlenswert. Ohne zusätzliche Filterung verbraucht die Schwingspule auch bei höheren Frequenzen elektrische Leistung, ohne dafür Schallenergie zu liefern. Da durch wird nicht nur die

Schwingspule unnötig thermisch belastet, was das Dynamikverhalten verschlechtert, sondern auch der Verstärker. Ebenso sollten natürlich auch geschlossene oder ventilierte Satelliten-Lautsprecher nicht ohne externe Hochpaß-Filterung betrieben werden.

Es gibt hier aber noch einen weiteren Aspekt, der eine zusätzliche Tiefpaß-Filterung, und in einigen Fällen auch eine Hochpaß-Filterung des Bandpaß-Lautsprechers angebracht erscheinen läßt. Die Filterung verbessert den Wirkungsgrad und erweitert die Bandbreite des Wiedergabebereiches zu beiden Seiten. Zu den genauen Werten kommen wir bei der Berechnung, vorerst sei jedoch ein Nachteil dieser Konstruktionen erwähnt.

Einige auf optische Effekte bedachte HiFi-Fans werden sich natürlich bei dem Gedanken schütteln, daß ein eindrucksvolles 38 cm-Chassis in der Box verschwindet, den echten Hob-

by-Konstrukteur wird das nur wenig abschrecken, eher dagegen die Tatsache, daß er ausgerechnet für seine passive Konzeption keine passenden Chassis findet. Bei diesen Konstruktionen erweist sich oft die gegenseitige Abhängigkeit der Abstimmung auf eine bestimmte Bandbreite, Filter-Charakteristik, Grenzfrequenz, Gehäusegröße, Wirkungsgrad des Bandpaß-Lautsprechers und der Chassis für höhere und/oder tiefere Frequenzbereiche als Stolperstein für den Hobby-Konstrukteur. Besonders kritisch wird die Sache hier bei geringen Bandbreiten von ein bis zwei Oktaven, beispielsweise 40-80 Hz bzw. 30-120 Hz, wie sie bei den meisten Subwoofer-Konstruktionen zu finden sind oder bei dem Einsatz von Bandpaß-Systemen als Satelliten. Bereits kleine Fehler bei den zugrunde gelegten Daten der Chassis oder bei der Berechnung des Bandpaß-Systems können hier durch deutlich

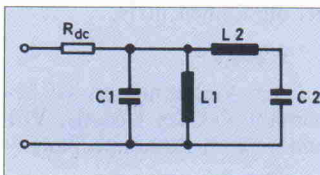
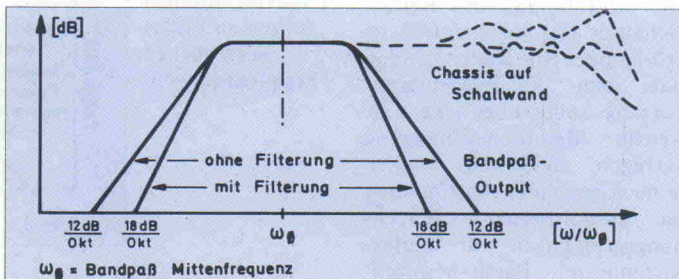
hörbare Pegelfehler die Gesamtabstimmung einer Wiedergabeanlage empfindlich stören. Um exakte Messungen der Chassis, zumindest aber der Impedanzkurve, kommt man bei der Lautsprecherentwicklung also nun wirklich nicht herum.

Das Schaltbild ist identisch mit dem eines konventionellen Reflex-Systems, was darauf schließen läßt, daß der Impedanzverlauf und die Kurve für die Membranauslenkung des Bandpaß-Lautsprechers einem Reflex-System ähnlich sind. Das Bandpaß-Prinzip kann damit den Zusammenhang zwischen Resonanzfrequenz und Membranauslenkung entscheidend verändern, was ein Vorteil oder auch ein Nachteil sein kann, je nach dem resultierenden Einsatzbereich bzw. den Grenzfrequenzen und dem beim Aufbau verwendeten Chassis. Die Resonanzfrequenz des eingebauten Chassis mit dem geschlossenen Volumen V_b wird über das Äquivalentvolumen V_{as} des Chassis errechnet:

$$f_{cl} = f_s \cdot \sqrt{\frac{V_{as}}{V_b} + 1} = f_s \cdot \sqrt{\alpha + 1}$$

Der Einbau-Gütefaktor Q_{tc1} wird über Q_{ts} , V_b , V_{as} , bzw. α errechnet:

Bild 6. Frequenzgang eines Bandpaßgehäuses mit und ohne zusätzliche filter.



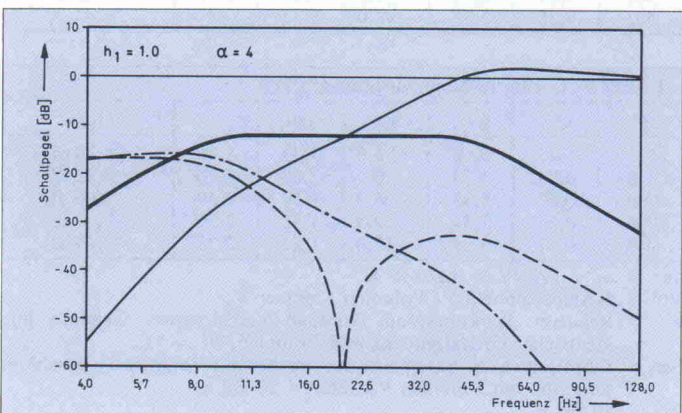
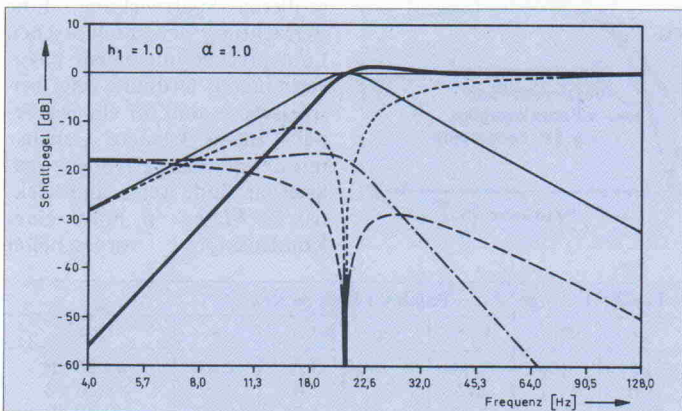
- C_1 = bewegte Masse des Chassis
- L_1 = Nachgiebigkeit der Kammer 1
- C_2 = bewegte Masse der Reflexöffnung
- L_2 = Nachgiebigkeit der Kammer 2

Bild 7. Ersatzschaltbild des Bandpaßgehäuses.

$$Q_{tc1} = Q_{ts} \cdot \sqrt{\frac{V_{as}}{V_b} + 1} = Q_{ts} \cdot \sqrt{\alpha + 1}$$

Es handelt sich hier praktisch um eine geschlossene Box, die nach den Modellen für Chassis in geschlossenen Gehäusen (z.B. R.H. Small) berechenbar ist. Allein der einzustellende Gütefaktor Q_{tc1} unterscheidet sich je nach geplanter Abstimmung von den Werten üblicher geschlossener Boxen.

Gehäuseverluste (Q_l) sollten so weit wie möglich vermieden werden, also stabilste resonanzarme Gehäuse und wenig Dämmmaterial verwenden. Sinnvollerweise wird ein für das Volumen etwas zu großer Schätzwert für Q_l einkalkuliert (das



Gehäuse wird kleiner als ohne Verluste) und dieser Wert später mit Dämmmaterial genau eingestellt. Das muß zwar nicht unbedingt sein, denn über die Auswirkungen von Gehäuseverlusten entscheidet die bewegte Masse des Chassis in Verbindung mit der projektierten Abstimmung und Filterung. Aber einige Berechnungen über Verlustfaktoren, α und/oder die Werte des Ersatzschaltbildes sind vor der Gehäusekonstruktion sehr zu empfehlen. Das Volumen V_{b1} kann im Falle unvorhergesehener Verluste solange verringert werden, bis der neue Wert Q_{tc1} dem ursprünglich geplanten Wert Q_{tc1} entspricht; der projektierte Verhältniswert für V_{b1}/V_{b2} wird dann beibehalten. Dieses Vorgehen verschiebt aber die Grenzfrequenzen des Systems nach oben. Kombinationen von verändertem Volumen und vorgeschaltetem Widerstand sind auch zur Korrektur unerwarteter Gehäuseverluste denkbar und in manchen Fällen der beste Kompromiß.

Abstimmung durch Dämmmaterial

Die Abstimmung des Reflex-Gehäuses V_{b2} vor dem Chassis erfolgt über eine Reflexöffnung oder eine Passiv-Membran. Letztere sollte über eine sehr weiche Membranaufhängung verfügen, andernfalls müssen je nach geplanter Abstimmung die komplizierteren Berechnungsgrundlagen für Reflex-Systeme mit Passiv-Membranen verwendet werden.

Für die Abstimmung mit einer Reflexöffnung kann die Gleichung für Helmholtz-Resonatoren oder ein geeignetes Nomogramm genutzt werden. Es sollte aber besonders auf strömungsgünstige Auslegung und ausreichenden Querschnitt geachtet werden, da die Öffnung hier ein breiteres Frequenzband abstrahlen soll und Verzerrungen demgemäß störender sein werden. Das Volumen V_{b2} und die Resonanzfrequenz der Kammer werden, ähnlich wie bei den Reflex-Systemen, durch das Chassis und die gewünschte Abstimmung vorgegeben. Hinsichtlich der Gehäuseverluste Q_l ist hier natürlich die Theorie der ventilierten Sy-

steme zuständig. Es ist daher sinnvoll, das Gehäusevolumen etwas größer auszulegen als es rechnerisch sein soll. Das Verfahren entspricht dem der Q_l -Korrektur bei Reflex-Systemen.

Die Resonanzfrequenz einer Passiv-Membran wird durch die bewegte Masse M_{mp} der Passiv-Membran (inkl. mit-schwingender Luftmasse) und das vorgegebene Volumen V_{b2} eingestellt:

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{M_{mp} \cdot C_{mb2}}}$$

$$C_{mb2} = C_{mp} \cdot \left(\frac{V_{ap}}{V_{b2}} + 1 \right)$$

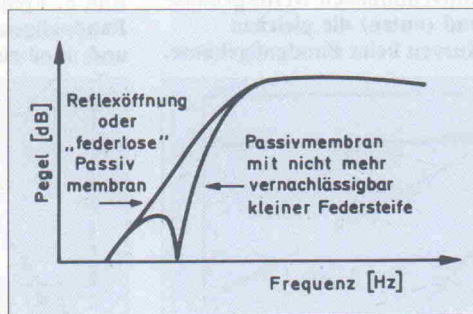
Bei sehr großer Nachgiebigkeit C_{mp} der Passiv-Membran, wie gefordert, kann der Wert C_{mp} vernachlässigt werden. Es rechnet sich dann einfacher mit der Membranfläche S_d , der Masse M_{mp} und der Nachgiebigkeit des Gehäusevolumens C_{ab2} :

$$C_{ab2} = \frac{V_{b2}}{S_d^2 \cdot c^2 \cdot \rho}$$

Dabei ist ρ die Dichte der Luft, c die Schallgeschwindigkeit und S_d die Membranfläche in m^2 .

$$\rho \cdot c^2 \approx \text{ca. } 1,19 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 344,5^2 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Bild 8. Reflex-öffnungen und Passivmembranen führen zu unterschiedlichen Frequenzgängen.



Der Wert für C_{ab} erhält dabei die Einheit m/N .

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{M_{mp} \cdot C_{ab2}}}$$

Der Verhältniswert α_l beschreibt V_{as} des Chassis, V_{b1} und V_{b2} im Zusammenhang:

$$\alpha_l = \frac{V_{b1}}{V_{b2}} \cdot \frac{\alpha}{\alpha + 1}$$

Die von Fincham beschriebenen Butterworth-Abstimmungen sind symmetrisch; es ist hier $f_{c1} = f_p$. Bedingt durch die Bandpaß-Charakteristik ist Q_{tc1} auf den Bandpaß-Gütekfaktor q zu beziehen. Für Berechnungen der Kurven für den Schallpegelverlauf zu einem Referenzpegel $pr(\text{ref})$ gilt bei der B2-Abstimmung:

$$Q_{tc1} = q/\alpha_l$$

$$q^2 = Q_{tc1}^2 \cdot \alpha_l$$

$$\frac{|P_l|}{|P_{lref}|} = \frac{M_{md}}{M_{mp}} \cdot \left[\frac{1}{\left[\frac{1}{q^2} + \left(\gamma - \frac{1}{\gamma} \right)^2 \right]^{1/2}} \right]$$

$$= \frac{M_{md}}{M_{mp}} \cdot \left[\frac{1}{\left[\frac{1}{Q_{tc1}^2 \cdot \alpha_l} + \left(\gamma - \frac{1}{\gamma} \right)^2 \right]^{1/2}} \right]$$

$$\gamma = (f/f_{c1} - f_{c1}/f)$$

Der Term M_{ms}/M_{mp} ist nicht frequenzabhängig, er beeinflusst nur den Wirkungsgrad. Wird M_{mp} deutlich größer als M_{as} , so fällt der Wirkungsgrad unter die Werte für das Chassis ohne vorgesetztes Gehäuse; ist M_{mp} kleiner, so wird der Wirkungsgrad erhöht. Die Werte können einfach in dB umgewandelt werden, es ist:

$$\frac{P_l}{P_{lref}} = 20 \log \left(\frac{M_{ms}}{M_{mp}} \right)$$

Für die Butterworth-Abstimmung mit $q = 0,707$ folgt aus der Gleichung für $pr/pr(\text{ref})$ für Q_{tc1} :

$$Q_{tc1}^2 \cdot \alpha_l = 0,5$$

Es gibt somit für fast beliebige Werte für Q_{tc1} auch Werte für α_l , mit denen sich beispielsweise die Butterworth-Abstimmung realisieren läßt, nur gilt für die Grenzfrequenzen:

$$(f/f_{c1} - f_{c1}/f) = \pm \sqrt{\alpha_l}$$

$$f_{c1} = \sqrt{f_l \cdot f_h}$$

$$f_h/f_l = f_{c1}^2/f_l^2 = f_h^2/f_{c1}^2$$

$$\sqrt{f_h/f_l} = f_h/f_{c1} = f_{c1}/f_l$$

$$= \frac{\sqrt{\alpha_l} + \sqrt{\alpha_l + 4}}{2}$$

Damit liegt die Relation von gesamtem Volumen zu den beiden Kammern, den Grenzfrequenzen und einem relativen Wirkungsgrad über M_{ms}/M_{mp} fest. Letztere beschreibt den Verhältniswert von Schalldruckpegel des Chassis bei höheren Frequenzen (dB/W) zu Schalldruckpegel des Bandpaß-Lautsprechers. Für jedes gegebene Chassis ist damit über einen gesuchten Wirkungsgrad auch gleich die Bandbreite und die Mittenfrequenz über V_{as} und Q_{ts} festgelegt. Oder für die Bandbreite der Wirkungsgrad usw.

Derartige Wechselwirkungen zwischen allen Parametern sind für den Hobby-Konstrukteur nicht so erfreulich, da er oft mit vorhandenen Chassis arbeiten muß. Was ist dagegen zu unternehmen?

Eine passive Filterung verändert oft die Zusammenhänge zwischen Wirkungsgrad, Volumen und Grenzfrequenz, allerdings meist auf Kosten einer größeren Sperrwirkung. Eine Betrachtung der geschlossenen Lautsprecher mit einem passiven Filter 1. Ordnung zeigt beispielsweise, daß für ein gegebenes Chassis kleinere Gehäuse mit tieferer Grenzfrequenz realisierbar sind, wenn eine 'elektrische Masse' in Form eines Kondensators vorgeschaltet

Tabelle 1. Ungefilterte Bandpaß-Lautsprecher

alt	Q_{tc1}	f_h/f_l	Sen	Vol	η	log
0,5	1,00	2,00	+ 6,0	3,00	2,67	+ 4,26 dB
1,0	0,71	2,62	0	2,00	2,12	+ 3,26 dB
2,0	0,50	3,73	- 6,0	1,50	1,70	+ 2,30 dB
3,0	0,41	4,79	- 9,5	1,33	1,51	+ 1,80 dB
4,0	0,35	5,85	-12,0	1,22	—	—

Tabelle 2. Gefilterte Bandpaß-Lautsprecher

alt	Q_{tc1}	f_h/f_l	Sen	Vol	η	log
0,5	1,33	2,62	+ 6,0	3,00	3,00	+ 4,70 dB
1,0	0,94	3,73	0	2,00	2,70	+ 4,32 dB
2,0	0,67	5,83	- 6,0	1,50	2,49	+ 3,96 dB
3,0	0,54	7,87	- 9,5	1,33	2,39	+ 3,79 dB
4,0	0,47	9,99	-12,0	1,22	2,33	+ 3,69 dB

$$\text{alt} = \alpha_l = (V_{b1}/V_{b2}) \cdot (\alpha/\alpha + 1)$$

$$\text{Vol} = \text{Gesamtvolumen } V_t / \text{Volumen Kammer } V_{b1}$$

$$\eta = \text{Relativer Wirkungsgrad Bandpaß-/geschlossenes Gehäuse mit identischer Grenzfrequenz und Volumen, } V_t = V_{\text{box}}$$

$$\text{Sen} = \text{Empfindlichkeit Bandpaß-Lautsprecher mit Volumen } V_t / \text{geschlossene Box mit Volumen } V_{b1}; \text{ Sen} = 20 \log \alpha_l$$

$$\log = 10 \log \eta$$

wird. Die Größe der vorzuschaltenden Kapazität entspricht dabei für eine Butterworth-Abstimmung über deren Übertragungsfunktion (B3) dem dreifachen Wert des Kondensators für die bewegte Masse des Chassis im Ersatzschaltbild. Diese Ergebnisse sind problemlos auf den Bandpaß-Lautsprecher zu übertragen, solange eine Anpassung gleichzeitig an die obere und untere Grenzfrequenz erfolgt, also mit jeder Spule auch ein Kondensator vorgeschaltet wird! Andernfalls würde die Symmetrie des Systems gestört, was Berechnungen hier erheblich komplizierter und die oben geschilderten Berechnungsgrundlagen hinfällig machen würde.

Diese Anpassung erfolgt durch die Zuordnung der elektrischen und mechanischen Elemente des Bandpaß-Lautsprechers zu den Bauteilen eines echten Bandpaß-Filters. Die Abbildung 9 zeigt das (Ersatz-) Schaltbild dafür.

Die Zusammensetzung des Bandpaß-Filters aus einem Hochpaß- und einem Tiefpaß-Filter 3. Ordnung ist dabei klar erkennbar. Die Berechnung des vorzuschaltenden Kondensators erfolgt über den Kondensator C_{mp} im Ersatzschaltbild, also über die bewegte Luftmasse in der Reflexöffnung (bzw. die der Passiv-Membran). Die Berechnung der vorzuschaltenden Spule erfolgt über Spule L_{b2} im Ersatzschaltbild, also über die Nachgiebigkeit des Volumens V_{b2} . In der Abbildung unten sind beide Filter zur Übersicht einmal getrennt dargestellt.

Wie bereits nach den Werten aus den Tabellenbüchern zu erwarten, liefert die Berechnung für die Butterworth-Abstimmung den Zusammenhang zwischen bewegter Masse und Kondensator $C_x = 3 \cdot C_{mp}$, sowie über eine Variablentransformation $s \rightarrow 1/s$ für die Spule $L_x = L_{b2} / 3$. Soweit zur Theorie der Butterworth-Abstimmung 3. Ordnung, deren Eigenschaften in der Tabelle für gefilterte Bandpaß-Lautsprecher zusammengefaßt sind. Die Tabelle zeigt für Q_{tc1} , die Bandbreite und den Wirkungsgrad bereits deutliche Unterschiede zu den Werten für den ungefilterten Bandpaß-Lautsprecher. Die Auswahl ist damit allerdings noch nicht gerade überwältigend.

Weit mehr Möglichkeiten sind mit alternativen Abstimmungen zu finden. Mittels anderer Werte für die mechanischen und elektrischen Bauteile sind natürlich ebenso alle anderen Abstimmungen wie Bessel-, Quasi-Butterworth-, Tschebyscheff- oder Subtschebyscheff-Filter realisierbar. Und zwar alle mit verschiedenen Werten für $Q_{tc1} \cdot \alpha_t$ für gegebene Grenzfrequenzen.

Es sollte zwar bekannt sein, daß diese Abstimmungen beim Einsatz in Frequenzweichen nicht immer perfekte Ergebnisse hinsichtlich der Kurven für die addierten Signale und abgestrahlten Leistungen liefern, aber sie sind als Kompromiß durchaus erwägenswert, wenn eine Butterworth-Abstimmung mit gegebenen Chassis-Parametern nicht realisierbar ist.

Das gilt natürlich ebenso, wenn ein Kompromiß zwischen Baßwiedergabe und Aufstellbarkeit der Lautsprecher geschlossen werden soll. Häufig ist eine optimale Aufstellposition für Butterworth-Filter nicht realisierbar, wohl dagegen eine optimale Position für die flacheren Kurven einer QB2-, SC3- oder C3-Abstimmung. Hier können die Bandpaß-Systeme bzw. ein Bandpaß-Subwoofer optimal auf die Aufstellposition abgestimmt werden, wenn dafür kleine Fehler bei der Signaladdition mit dem Hochpaß-Filter in Kauf genommen werden. Das eröffnet bereits eine wesentlich größere Bandbreite an Konstruktionsmöglichkeiten, aber es bleibt noch eine gewisse Abhängigkeit von Chassis-Para-

metern und realisierbaren Abstimmungen bestehen.

Der Einsatz von Hochpaß- und Tiefpaß-Filtern 4. Ordnung hebt diese Abhängigkeit weiter auf. Werden dem Bandpaß-Lautsprecher Filter 2. Ordnung vorgeschaltet, so entsteht ein elektrisch/mechanisches Bandpaß-Filter 4. Ordnung. Leider ist die Struktur dieses Bandpaß-Filters für passive Realisierungen mit Lautsprecher-Chassis nicht geeignet, so daß hier auf aktive Filterung des Bandpaß-Systems zurückgegriffen werden muß.

Die jeweils benötigten Chassis-Parameter unterscheiden sich dabei wieder von denen der Filter 3. Ordnung, ebenso die Bandbreite und der Wirkungsgrad. Weiterhin sind Filter 4. Ordnung hier mit vertauschten Stufen 2. Ordnung realisierbar, was die konstruktiven Möglichkeiten und damit die Chancen für gute Kombination vorhandener Chassis weiter erhöht. Die Abbildung zeigt das Ersatzschaltbild für diese Anordnung.

Aber das ist bei weitem noch nicht alles, was mit den Bandpaß-Lautsprechern realisierbar ist.

Werden aktive Filter ins Spiel gebracht, so erweitert sich der Konstruktionsspielraum noch weiter. Die Bandbreite der aktiv realisierbaren Lösungen umfaßt auch hier die Filter 3. bis 6. Ordnung, wobei ebenfalls wieder die einzelnen Stufen ab der 4. Ordnung vertauscht werden können.

Bild 9. Zusammenspiel des externen Filters mit dem Bandpaßlautsprecher.

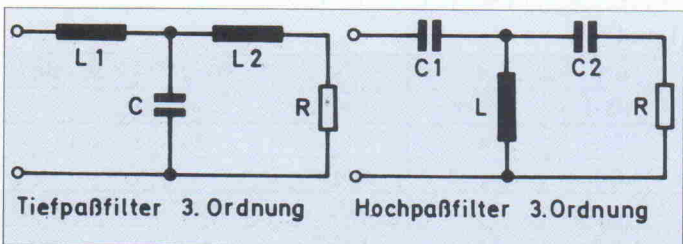
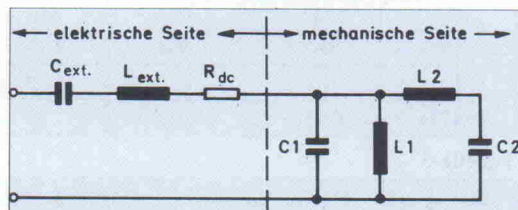


Bild 10. Tiefpaß und Hochpaß sind hier noch einmal getrennt dargestellt.

Bild 11. Unterschiedliche Alignments nach Thiele und Small.

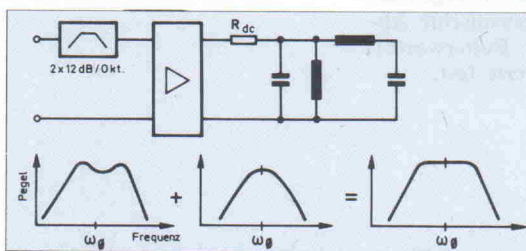
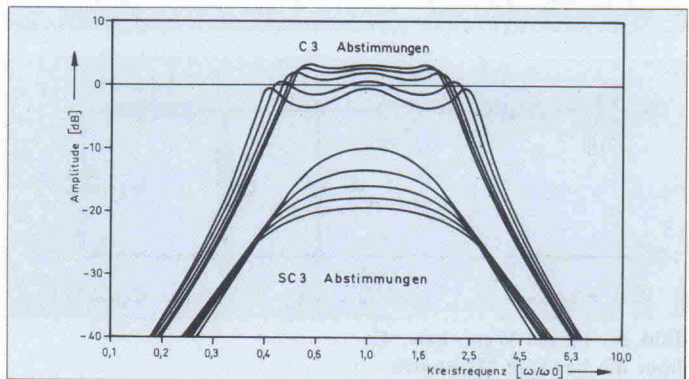


Bild 12. Aktive Filter bieten weitere Entwicklungsmöglichkeiten.

Weitere Möglichkeiten schaffen die gemischten aktiven und passiven Filter der 5. Ordnung mit einer aktiven Stufe 2. Ordnung, die ebenfalls bereits angesprochen wurden. Die Abbildung 13 zeigt eine solche Anordnung mit Butterworth-Charakteristik.

Soweit zur allgemeinen Theorie der Bandpaß-Lautsprecher.

Es gibt natürlich auch hier noch Fallgruben, die man bei der Berechnung beachten sollte. Ein Aspekt der Berechnungen von Bandpaß-Lautsprechern wird in der (ohnehin nicht weit verbreiteten) Literatur darüber ebenso gerne vergessen, wie in der Literatur über Bandpaß-Filter in Frequenzweichen für Mehrwege-Systeme.

Die bekannten Schaltungen und Übertragungsfunktionen von Tiefpaß- und Hochpaß-Filtern liefern in Verbindung als Bandpaß häufig keine idealen Ergebnisse mehr. Die Signaladdition bei einer Trennfrequenz wird, abhängig von der Bandbreite, durch Einflüsse der Filter auf die anderen Trenn- bzw. Grenzfrequenzen gestört, so daß für optimale Ergebnisse

Korrekturen der Schaltungen notwendig werden.

Beispielsweise liefern kombinierte Butterworth-Hochpaß- und Tiefpaß-Filter ungerader Ordnung frequenzunabhängig konstante akustische Leistung und linearen Schalldruckverlauf (auf Achse).

Die Kombination eines Butterworth-Bandpaß-Lautsprechers als Subwoofer liefert mit einer Butterworth-Satellitenbox dagegen keine perfekte Signaladdition und keine perfekten Kurven für die abgestrahlte akustische Leistung. Die Ursache dafür ist die (störende) Hochpaß-Funktion des Bandpaß-Lautsprechers.

Es ist leicht vorstellbar, was sich im Gesicht eines Konstrukteurs abspielt, wenn die Kurven für eine solche Kombination bei einer Messung nicht den erwarteten linearen Verlauf zeigen, und dann ein Verpolen des

Mitteltonchassis den Stift des Pegelschreibers um weitere 6 dB vom ohnehin schon falschen Kurs abbringt, wo doch allgemein bekannt ist, daß ein solches Filter mit gleichem Ergebnis verpolt und in Phase angeschlossen werden kann. Allein eine Kurve für die Gruppenlaufzeit der Signale darf sich verändern, verpolt betriebene Filter liefern hier bessere Werte. (Auch so entstehen Geschichten über die Unberechenbarkeit von Frequenzweichen und die Fehler theoretischer Modelle.)

Genau aus dieser Ecke heraus entstehen häufig sogenannte 'akustisch optimierte Filter'. Die Konstrukteure einiger dieser Filter haben bei Probeaufbauten Divergenzen zwischen den berechneten und den tatsächlichen Kurven festgestellt und sich dann Schritt für Schritt um eine Annäherung

bemüht. Auch sie werden mit Recht behaupten, daß rein rechnerische Lösungen wenig gebracht hätten. Bei den einfachen Berechnungen natürlich nicht. Nichts gegen akustisch optimierte Filter, sie zeugen in jedem Fall vom Engagement der zuständigen Konstrukteure und viele Kombinationen klingen sehr gut.

Akustisch

optimierte Filter

Bei der Berechnung der Bandpaß-Lautsprecher ist jetzt ein Aspekt besonders interessant. Das Ersatzschaltbild dafür ist identisch mit der Bandpaßanordnung, die aus einer Tiefpaß- zu Bandpaß-Transformation folgt. Bei dieser Art der Herleitung von Bandpaß-Filtern wird jeder Kapazität eine genau bestimmte Induktivität zugeschaltet, bzw. umgekehrt, aus diesem Grund darf übrigens bei der Konstruktion von Bandpaß-Lautsprechern auch nicht einfach ein Kondensator oder eine Spule weggelassen werden.

Die Berechnungen sind damit durchaus übertragbar, die Problematik allerdings auch.

Die Tabellen 3 bis 6 zeigen die angepaßten Filterwerte.

Tabelle 3

C_{1h}	L	C_{2h}	L_{1l}	C	L_{2l}	Q_{1ch}	f_c/f_h
1,4794	0,7058	0,9577	0,6759	1,4170	1,0442	1,165	1,216
C_{1h} (B3)	L (B3)	C_{2h} (B3)	L_{1l} (B3)	C (B3)	L_{2l} (B3)	Q_{1ch}	f_c/f_h
2,0000	0,7500	0,6666	0,5000	1,3333	1,5000	0,943	1,414

f_c/f_h = Resonanzfrequenz des eingebauten Chassis zu oberer Grenzfrequenz des Bandpaß-Filtern bei integrierten Chassis/Filter-Kombinationen 3. Ordnung.
 Q_{1ch} = Einbaugüte des Chassis bei integrierten Chassis/Filter-Kombinationen 3. Ordnung.

Tabelle 4

C_{1h}	L	C_{2h}	Q_{1c0}	dB (BP)
5,6319	1,8715	0,9643	0,534	-2,86
L_{1l}	C	L_{2l}	$20 \log (C/C_{2h})$	
0,1776	0,5343	1,0370	-5,129	

Tabelle 5

C_{1h}	L	C_{2h}	L_{1l}	C	L_{2l}	Q_{1ch}	f_c/f_h
2,7708	0,7194	0,5017	0,3609	1,3901	1,9932	0,835	1,665

Tabelle 6

C_{1h}	L	C_{2h}	Q_{1c0}	dB (BP)
5,4593	1,7089	1,5313	0,585	0,76
L_{1l}	C	L_{2l}	$20 \log (C/C_{2h})$	
0,1832	0,5852	0,6530	-8,36	
C_{1h}	L	C_{2h}	Q_{1c0}	dB (BP)
6,1671	2,1263	1,3372	0,470	-0,86
L_{1l}	C	L_{2l}	$20 \log (C/C_{2h})$	
0,1622	0,4703	0,7478	-9,08	

Bild 13. Selbst aktive und passive Filterung ist gleichzeitig möglich.

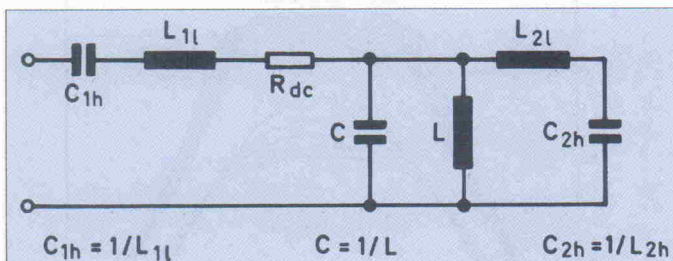
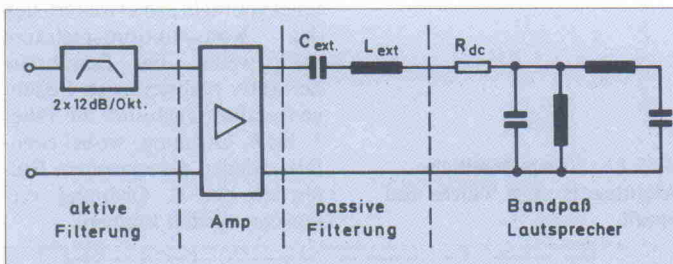


Bild 14. Ist ein Wert, bzw. C über die bewegte Masse des Chassis gegeben, so liegen bereits über die gewünschte Abstimmung (z. B. Butterworth) alle anderen Werte fest.

Alle mechanischen Elemente des Bandpaß-Lautsprechers sind bereits durch die Forderung nach linearem Schalldruckverlauf und möglichst konstanter abgestrahlter Leistung exakt definiert; je ein Kondensator für die bewegte Masse der Membran und die der Luft in der Reflex-Öffnung und je eine Spule für die Volumen der beiden Kammern; ebenso der exakt benötigte Schallpegel für das verwendete Chassis. Alle Werte sind anders als die des Butterworth-Filters, also wird auch die fertige Bandpaß-Box anders aussehen, als nach der konventionellen Berechnung zu erwarten war. Aber genau diese Werte liefern das, was man vom Butterworth-Filter erwartet hat. Der Spielraum des Konstrukteurs geht gegen Null. Das betrifft jetzt nicht nur den Fall, daß ein Bandpaß-Lautsprecher im mittleren Frequenzbereich, also tatsächlich als Bandpaß, eingesetzt werden soll, sondern auch den Einsatz am unteren Ende des Übertragungsbereiches. Wie die Symmetrie der Konstruktion erfordert, liegt mit der oberen Grenzfrequenz auch bereits ein Datensatz für eine untere Grenzfrequenz vor.

Wirkungsgrad

gegen

Bandbreite

Ähnliche Unterschiede zeigen angepaßte Werte für die Hochpaß- bzw. Tiefpaß-Filter zu den konventionellen B3-Filtern, die hier alle auf $\omega_1 = 1$ umgerechnet sind:

Bei Berechnungen zeigt sich aber auch, daß bei einer Bandbreite von zwei Oktaven (z.B. 30-120 Hz) und verpolt angeschlossenen Bandpaß ein bis zu circa 2,86 dB geringerer Schallpegel (bzw. Wirkungsgrad) für die Bandpaß-Sektion erforderlich ist, als die Chassis der Hochpaß- und Tiefpaß-Sektion aufweisen. Der Wirkungsgrad eines im Bandpaß-Lautsprecher verwendeten Chassis muß in diesem Fall allerdings 2,3 dB höher sein, da diese Abstimmung mit $\alpha_t = 1,81$ abschwächend arbeitet.

Eine analoge Lösung zu dem angepaßten Bandpaß-Filter positiver Polarität mit einer Oktave Bandbreite existiert

übrigens nicht und kann deshalb nicht zum Vergleich herangezogen werden.

Die Werte sind auf die Bandpaß-Mittenfrequenz $\omega_0 = \sqrt{\omega_l \cdot \omega_h}$ bezogen. Für den Hochpaß bzw. den Tiefpaß gilt hier Tabelle 5.

Eine Analyse der Parameter bei größerer Bandbreite von etwa 2,5 Oktaven, zeigt folgende, wieder auf $\omega_0 = 1$ bezogene Ergebnisse für positive (oben) und negative Polarität des Bandpaß-Systems:

Hier liefert die Version mit negativer Polarität die besseren Ergebnisse hinsichtlich des

Chassis-Wirkungsgrades, da der relative geforderte Pegel den schlechteren Wirkungsgrad der abschwächenden Bandpaß-Abstimmung für negative Polarität wieder wett macht. Die Unterschiede im notwendigen Wirkungsgrad der Chassis für die Bandpaß-Sektion sind allerdings gering, wie es bei gut angepaßten Filtern 3. Ordnung für 3-Wege-Kombinationen auch zu erwarten ist. Aufgrund der gleichmäßigeren Kurven für die Gruppenlaufzeit sind für HiFi-Anwendungen die Versionen mit negativer Polarität vorzuziehen. Bei einer Kal-

kulation der Kostenfaktoren für größere Stückzahlen kann es natürlich für den Hersteller günstiger werden, wenn die Versionen mit positiver Polarität gewählt werden. Als Käufer kompletter Anlagen sollte man diesen Punkt im Auge behalten.

Das Ergebnis der Berechnungen mit angepaßten Übertragungsfunktionen eröffnet unter anderem auch neue Perspektiven bei der Planung von Subwoofer-Satelliten Kombinationen mit Bandpaß-Subwoofern für normale Raumgrößen und übliche Aufstellpo-

IMPULS
advanced fidelity

equipped by
vifa Technology

stereoplay 7/89

Kaufwert	sehr gut
Klang	sehr gut
Fertigungsqualität	sehr gut
Rang und Namen	
(preisunabhängige Klangabstufung)	
Obere Mittelklasse II, Referenz	

Unverbindliche Preisempfehlung
Fertiglautsprecher ab DM 435,- p. Stck.
Bausatz DM 280,- p. Stck.
Gehäuse ab DM 120,- p. Stck.

1000 Berlin Boxen Groß Maybachufer 14/15 Tel. 0 30 / 6 24 60 55 2000 Hamburg Open Air Rentzelstr. 34 Tel. 0 40 / 44 58 10 2160 Stade elektroakustik stade Bremervörder Str. 5 Tel. 0 41 41 / 8 44 42 2400 Lübeck PGL Hüxstr. 86 Tel. 0 4 51 / 70 47 57 2800 Bremen Blue Box Langemarkstr. 232 Tel. 0 4 21 / 50 64 95 3300 Braunschweig FL-electronic Mühlenpfordstr. 18 Tel. 0 5 31 / 33 60 68 4000 Düsseldorf MDL Charlottenstr. 49 Tel. 0 211 / 36 22 89 4100 Duisburg Klein aber Fein Tonhallenstr. 49 Tel. 0 20 3 / 2 98 98 / 9 4300 Essen Audio Design Kurfürstenstr. 53 Tel. 0 201 / 27 74 27 4400 Münster Hifisound Jüdefelder Str. 35 Tel. 0 2 51 / 4 78 28 4600 Dortmund High-Tech LS Factory Bremer Str. 28-30 Tel. 0 2 31 / 52 80 91 4930 Minden B&N Elektronik Königsr. 42 Tel. 0 5 71 / 2 69 40 5000 Köln AB-Soundtechnik Kamekestr. 2-8 Tel. 0 2 21 / 56 16 93 5060 Bergisch Gladbach HIFI BOX Unterscheiderweg 1 Tel. 0 2 20 2 / 80 71 5100 Aachen Klangpyramide Karlsgraben 35 Tel. 0 2 41 / 3 52 06 5130 Gellenkirchen Audio Sound Exclusiv Drosselweg 10 Tel. 0 2 4 51 / 6 63 64 5210 Troisdorf Haut Parleur Alte Poststr. 31 Tel. 0 2 2 41 / 7 90 72 5300 Bonn AB-Soundtechnik Maxstr. 36 Tel. 0 2 28 / 6 5 27 41 5600 Wuppertal Pink Noise Morionstr. 32 Tel. 0 2 02 / 44 34 76 6072 Dreieich-Sprendel Boxenwerkstatt Eisenbahnstr. 1a Tel. 0 61 03 / 6 61 55 6080 Groß-Gerau KKSL Otto-Welz-Str. 1 Tel. 0 61 52 / 3 96 15 6100 Darmstadt Zimmermann Electronic Kasinostr. 2 Tel. 0 61 51 / 8 45 02 6630 Saarlouis Tip Lautsprecher Pavillonstr. 8-10 Tel. 0 68 31 / 4 97 36 6700 Ludwigshafen Klaus Link Bauhausstr. 45 6750 Kaiserslautern Lautsprecherladen Rich-Wagner-Str. 65 Tel. 0 6 31 / 6 33 55 7140 Ludwigshafen Acoustic Line Myllustr. 3a Tel. 0 71 41 / 2 02 08 7410 Reutlingen Lautsprecher Studio Metzgerstr. 45 Tel. 0 71 21 / 34 05 22 7500 Karlsruhe 1 MEMBRAN Art & Audio Kreuzstr. 21 Tel. 0 71 21 / 66 10 68 7900 Ulm Das Ohr Zinglerstr. 5/3 Tel. 0 7 31 / 61 08 52 8000 München NF-Laden Bergmannstr. 3 Tel. 0 89 / 5 02 40 91

Nicht alle Händler können ständig das komplette Programm vorführen. Infomaterial vom Vertrieb:
Audio Design GmbH & Co KG Kleine Steubenstr. 26 4300 Essen 1 Tel. 0 201 - 28 30 61 / 62 Fax 0 201 - 27 74 48

HiFi-Lautsprecher und Zubehör

Mc Farlow professional speakers

HiFi heißt Tontreue ...

... um Tontreue aber in die Praxis umzusetzen, bündelt man Spitzenchassis mit unterschiedlichen Eigenschaften und Parametern.

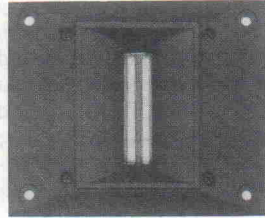
Mc Farlow HiFi-Lautsprecher berücksichtigen durch Innovation, technische Konzeption alle Ansprüche, die heute an hochwertige Chassis gestellt werden.

Der hohe Kennschalldruck und die enorme Impulsbelastbarkeit werden durch die ausgefeilten Technologien in der Herstellung erreicht.

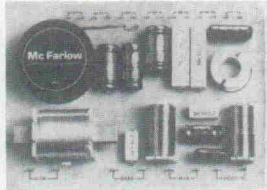
Die Verwendung von NOME-Schwingspulen mit ihrer unübertroffenen thermischen Belastbarkeit und die partial schwingungsarmen NAWI-Membranen, von **Mc Farlow** unter strengsten Qualitätskontrollen selbst gefertigt, sind ein Garant für die verfärbungsfreie Wiedergabe bei Höchstbelastungen und ermöglichen HiFi-Transparenz, auch bei niedrigen Lautstärkepegeln.

Massive, gedrehte Aluzierringe (abnehmbar) geben der technischen Perfektion eine adäquate Optik.

Jedes Chassis wird nur mit detaillierten technischen Daten, Meßkurve und Einbauhinweisen ausgeliefert.



GT 4/80, Bändchenhohtöner, 120/150 Watt, 8 Ohm, F 8000 — 40 000 Hz, 100 x 120 mm	DM 39,95
GT 7/50 Titankalotte, 80/120 Watt, 8 Ohm, F 3000 — 28 000 Hz, 130 x 180 mm	DM 29,80
GT 9/89 Hohtonhorn, 150/200 Watt, 8 Ohm, F 2500 — 20 000 Hz, 87 x 87 mm	DM 34,50
GT 11/50 Ringstrahler, 290/400 Watt, 8 Ohm, 4000 — 20 000 Hz, 112 x 112 mm	DM 89,00
GT 8/50 Kalottenhohtöner, 120/160 Watt, 8 Ohm, F 2000 — 25 000 Hz, 90 x 90 mm	DM 49,95
GT 10/60 Mitteltonlautsprecher, 100/150 Watt, F 250 — 10 000 Hz, 8 Ohm, 100 mm Ø	DM 19,95
GT 12/60 Mitteltonlautsprecher, 120/170 Watt, F 500 — 10 000 Hz, 8 Ohm, 133 mm Ø	DM 26,50



GT 20/40, Baßlautsprecher, 60/110 Watt, 8 Ohm, F 30 — 8000 Hz, 20 cm Ø	DM 39,95
GT 20/60, Baßlautsprecher, 80/120 Watt, 8 Ohm, F 22 — 5000 Hz, 20 cm Ø	DM 49,95
GT 25/40, Baßlautsprecher, 100/150 Watt, 8 Ohm, F 25 — 7000 Hz, 25 cm Ø	DM 49,95
GT 30/50, Hartbaß, Disco 100/160 Watt, 8 Ohm, F 50 — 8000 Hz, 30 cm Ø	DM 69,50
GT 30/60, Baßlautsprecher, 100/160 Watt, 8 Ohm, F 20 — 5000 Hz, 30 cm Ø	DM 59,50
GT 30/70, Hartbaß, Disco, 120/180 Watt, 8 Ohm, F 35 — 7000 Hz, 30 cm Ø	DM 79,50
GT 30/80, Baßlautsprecher, 120/180 Watt, 8 Ohm, F 30 — 3000 Hz, 30 cm Ø	DM 79,00
GT 38/80, Hartbaß, 180/350 Watt, 8 Ohm, F 40 — 2000 Hz, 38 cm Ø	DM 149,00
GT 200, Profiweiche, max. 500 Watt, 3-Wege, 16 dB, mit Anschlußterminal	DM 75,00
LW 3/200, 3-Wege-Weiche, 200 Watt, 16 dB, 800/5000 Hz	DM 42,00
LW 3/150, 3-Wege-Weiche, 150 Watt, 12 dB, 800/4500 Hz	DM 43,00
LW 2/150, 2-Wege-Weiche, 150 Watt, 12 dB, 3000 Hz	DM 18,00
MC-Farlow — Bauanleitungen, 36 Seiten mit 15 verschiedenen Bauanleitungen	DM 2,00



Sichtlautsprecher
Disco Power
Serie weiße Membrane
mit Alu-Kalotte,
Chromrand

Hochtön, 75 mm Ø, 130 Watt	DM 9,95
Mitteltön, 130 mm Ø, 130 Watt	DM 19,95
Baß, 18 cm, 100 Watt	DM 19,95
Baß, 20 cm, 130 Watt	DM 25,50
Baß, 25 cm, 150 Watt	DM 39,95
Baß, 30 cm, 180 Watt	DM 59,00

Sichtlautsprechersätze, bestehend aus Baß, Mittel- und Hochtön, mit entsprechender Weiche!

Nr.	Baß mm x	Mitteln mm x	Höhen mm x	Watt	DM/ Set
S 160	1 x 160	130	75	100	42,95
S 200	1 x 200	130	75	130	55,00
S 250	1 x 250	130	75	150	65,00
S 270	2 x 200	130	75	150	78,50
S 300	1 x 300	130	75	150	79,00
S 320	1 x 300	2 x 130	2 x 75	180	99,00
S 420	2 x 300	2 x 130	3 x 75	200	159,00

Nr.	Frequenzgang
S 160	35 — 24 000 Hz
S 200	25 — 24 000 Hz
S 250, S 270	22 — 24 000 Hz
S 300, S 320, S 420	18 — 24 000 Hz

Frequenzweichen mit hochwertigen Kupferspulen mit großen Drahtquerschnitten und verlustarmen Tontrennfrequenzkondensatoren — bipolar.

2-Wege-Weiche, 120 W, 2700 Hz, 6 dB	DM 9,95
LW 2/150, 150 Watt, 12 dB, 3000 Hz	DM 19,50
W 100, 100 Watt, 3-Wege, 12 dB	DM 14,95
W 200, 200 Watt, 3-Wege, 12 dB	DM 19,50
W 500, 200 Watt, f. 5 Systeme, 12 dB	DM 25,50

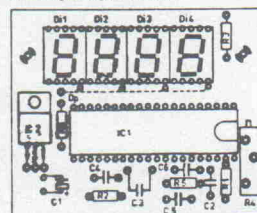


MW 398, Akkuladegerät für 4 x Mignon, Baby, Mono, 1 x 9 V-Block, mit Testeinrichtung	DM 14,50
GT 150, Ladegerät für 4 x Mignon Akkus	DM 8,90

Mignon Akkus, Hitachi, Abbat, Emmerich	
Mignon, 500 mA	2,50 ab 10 à 2,30
Baby, 1800 mA	6,80 ab 10 à 6,50
Mono, 4000 mA	11,95 ab 10 à 10,90
9-V-Block	14,50 ab 10 à 13,50
Lady, 150 mA	3,50 ab 10 à 3,20
Micro, 180 mA	3,50 ab 10 à 3,20
Industrielle mit Lötflüssen, 1200 mA	...

LED-Panelmeter

3 1/2-stelliges Digital-Voltmeter



Panelmeter mit Led- und Lcd-Anzeigen. Ein unentbehrliches Meßgerät für jede Werkstatt. Ub 12—15 V, Genauigkeit 0,1%, 13 mm hohe Led-Anzeigen.

KA 7107	DM 19,50	ab 3 St.	à 18,50
KA 7106	DM 22,00	ab 3 St.	à 21,00
KA 3162, 3-stellige Led-Anzeige	DM 17,50		
KA 7135, 4 1/2-stellige Led-Anzeige	DM 35,50		

SCHUBERTH electronic

Postfach 260
Wiesenstraße 9
8660 Münchenberg
Telefon: (092 51) 60 38 + 60 39
Telefax: (092 51) 74 31

Lieferung am gleichen Tag per Nachnahme. Katalog 89 wird kostenlos mitgeliefert.

Bild 15.

Kopplung zwischen angetriebener Membran und einer Passiv-Membran bei einem Bandpaß-Lautsprecher.

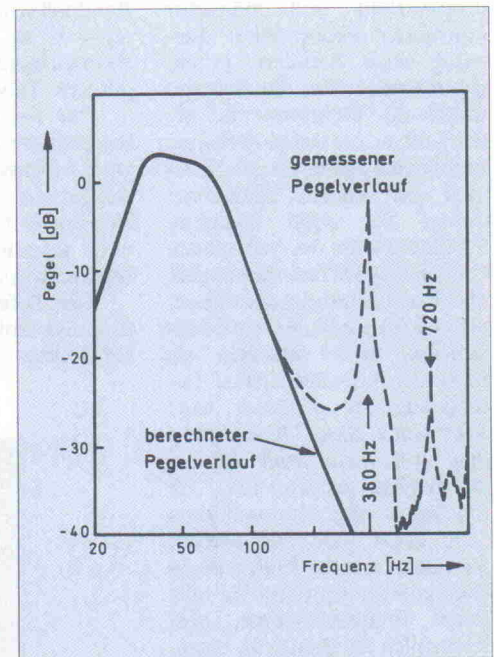


Bild 16 a (unten). Wiedergabekurven für verschiedene Bandpaß-Abstimmungen 3. Ordnung mit identischen Chassis (Dickere Linie = geschlossenes Gehäuse, $Q_{tc} = 0,707$ zum Vergleich).

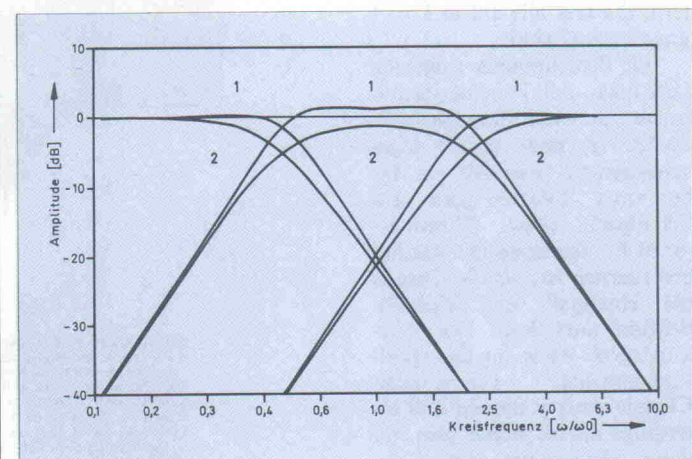
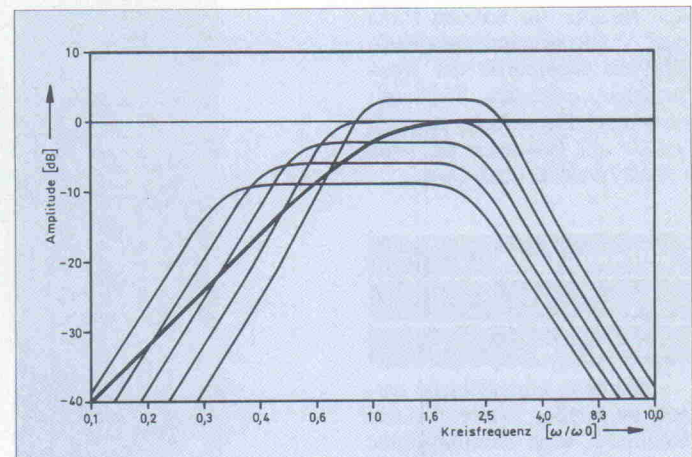


Bild 16 b.

Wiedergabekurve für Tiefpaß, Bandpaß, Hochpaß bei optimierten 3-Wege-Kombinationen mit positiver (1) und negativer (2) Polarität des Bandpasses bei einer Bandbreite $f_1/f_h = 2,73$.

sitionen. Hier fehlt zwar die Tiefpaß-Sektion in der Rechnung, aber dafür kann eine Pegelüberhöhung von 3 dB im Tiefpaßbereich durch nahe Aufstellung an Raumwänden in die Rechnung einbezogen werden. Die größere Bandbreite der angepaßten Bandpaß-Lautsprecher für negative Polarität läßt hierbei in Verbindung mit dem weichen Übergang in den Sperrbereich oft bessere Ergebnisse zu als die übliche Butterworth-Abstimmung. Als sinnvolle Obergrenze für Korrekturen der Bauteilwerte kann bei Filtern 3. Ordnung eine Bandbreite von etwa 4 Oktaven angesetzt werden. Bei größeren Bandbreiten sind die Abweichungen der Kurven von den Sollwerten kleiner als 1,5 dB.

Ein weiterer konstruktiver Aspekt, der bei der Entwicklung von Bandpaß-Systemen beachtet werden sollte, ist die mögliche Anregung höherfrequenter Schwingungen oder die Anregung von Gehäuseresonanzen durch ungünstige akustische Eigenschaften der vorderen Kammer. Dieser Absatz steht hier am Ende der Betrachtungen, weil die geschilderten

Effekte im Prinzip keine typische Eigenart nur der Bandpaß-Systeme sind, sondern bei allen Reflex-Systemen störend werden können. Das Luftvolumen in dieser Kammer verhält sich nur bis zu einer bestimmten, von Volumen und Form abhängigen, oberen Grenzfrequenz wie eine ideale akustische Nachgiebigkeit. Bei höheren Frequenzen kann eine Kopplung zwischen angetriebener Membran und Reflexöffnung oder Passiv-Membran auftreten, die die Tiefpaß-Funktion empfindlich stört.

Bei den Bandpaß-Lautsprechern ist die Gefahr der Gehäuseresonanzen aber mit steigender Bandbreite etwas größer als bei den meisten konventionellen Reflex-Systemen. Die Abbildung 15 zeigt eine Wiedergabekurve, die solche unerwünschten Signalanteile enthält, für einen Bandpaß-Lautsprecher 3. Ordnung. Bei einem Abstand von circa 0,5 m zwischen der angetriebenen und einer passiven Membran zeigt sich eine deutliche Kopplung beider Membranen.

Gehäuse sind

stabil

zu bauen!

Bei Bandpaß-Lautsprechern höherer Ordnung werden diese Effekte natürlich durch die geringere Bandbreite der zugeführten Signale verringert, was für die aktiven Systeme 4. oder 5. Ordnung spricht. Ebenso sind natürlich Abstimmungen mit hohen Werten für α_t und entsprechend geringeren Kammervolumina hier im Vorteil gegenüber den lauterer Abstimmungen mit geringeren Werten für α_t , aber dennoch spielt die richtige Formgebung und Dämpfung insbesondere der vorderen Kammer eine wichtige Rolle. Große Abstände zwischen den Membranen bzw. zur Reflexöffnung sollen vermieden werden, gemeinsame ganzzahlige Vielfache der Gehäuseabmessungen ebenfalls. Gegebenenfalls muß wirkungsvoll in den Schnellemaxima stehender Wellen bedämpft werden (Q! beachten). Die Abbildungen 16 zeigen noch einige Kurven für Wiedergabeeigenschaften der Bandpaß-Lautsprecher

Literatur

F.E.J. Girling, F.E. Good, "Active Filters Part 2 — basic theory: 1st and 2nd order responses" *Wireless World* Vol. 75, No. 1407, pp. 406-7, 1969

R.H. Small "Closed box loudspeaker systems Part 1 — Analysis", *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 20, No. 10, p. 802, 1972

R.H. Small, "Vented box loudspeaker systems Part 1 — Small signal analysis", *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 21, No. 5, p. 367, 1973

L.R. Fincham, "A Bandpass Loudspeaker Enclosure", *Audio Engineering Society, Preprint Nr. 1512 D-4, presented 5.15-18. 1979 Los Angeles*

Dr. Ing. Hubert, „Spanplatten-Filter mit 12 dB/Okt.“ *elrad HiFi-Boxen selbstgemacht Nr. 7, S. 79-80, 1988*

G. Schwamkrug, „Lautsprecherboxen — Aufbau, Nachbau, Umbau“ *Elektor Verlag, Aachen 1988, Kapitel 9.8*

Selfmade

Jörg Grandel

Weißer Gasse 6, Tel. 0821/157646
8900 Augsburg

P.A., Disco-, Licht- und Effektvermietung
Lautsprecherbausätze

Aktuelles
Programm
von

Peerless
HIFI SPEAKER

SEAS  Electro-Voice

auch für zu Hause antestbereit

FIDIBUS®

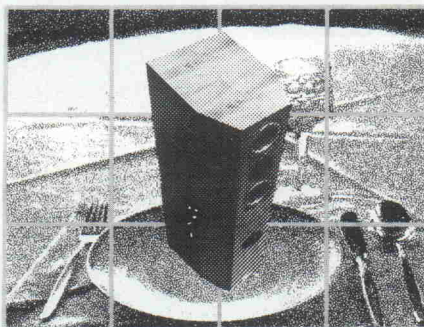
Zubehör von **monitor pc**

+SCHWEIZ+

Selbstbauboxen

Obi + Graf
9472 Grabs
085/7 38 41

DEG
AKUSTIK



**Musik-Gourmets,
Achtung.**

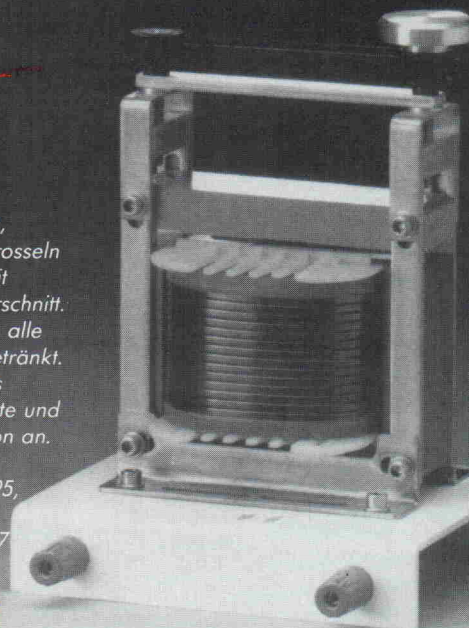
Über 40 Selbstbauboxen. Besuchen Sie unseren Vorführraum. Wir haben sicher auch für Ihr Ohr das richtige Menü.

Unerhört hörbar

0,1–30 mH in einem Dreh/Vario-Coil
Die Erste stufenlos einstellbare Induktivität.
Unentbehrlich für Entwickler.

Neu

Der Spezialist für
Null-Ohm-Spulen,
Übertragerkern-drosseln
und Luftspulen mit
hohem Drahtquerschnitt.
Auf Wunsch auch alle
Spulen vakuumgetränkt.
Fordern Sie gratis
unsere Händlerliste und
Produktinformation an.
Bei: R. Mundorf,
Sebastianstraße 95,
5000 Köln 60,
Tel.: 02 21/71 33 37



Von führenden Ohren empfohlen.

Mivoc



Hören und gesehen werden

Ein abgehobener Zweiteiler mit
ganz eindeutigen Vorteilen

D. J. Scholz

Anspruchsvolles Design und Funktionalität sind oftmals Gegensätze, die sich schwer ver binden lassen. Der sogenannte 'faule' Kompromiß ist das Ergebnis. Unzählig sind die Designspiele reien, mit denen der Lautspre chertüftler den viereckigen Kisten zu entkommen sucht. Unzählig sind auch jene Versu che, mit Gewalt Lautsprecher zu entwerfen, die unbedingt an ders oder besser aussehen sollen.

Doch genauso unzählig sind die Ergebnisse, bei denen eine sinnvolle Funktionalität auf der Strecke geblieben ist. Der Laut sprecher sieht hierbei meist nur anders (nicht unbedingt ästheti scher) aus, ohne daß die Form in einem kompromißlosen Zu sammenhang mit der Technik zu sehen ist.

Ein Lautsprecher hat ja pri mär die Aufgabe, elektrische Energie, die von einem Steuer gerät abgegeben wird, so genau wie möglich in mechanische Energie, in Schallenergie, um-

zusetzen. Daß dieser Apparat 'Lautsprecher' dann noch gefällt und geschmackvoll aussieht, ist ein angenehmer Nebeneffekt.

Mit dem Modell Acapulco zeigt Mivoc, daß sich mit Witz und Know-how auch diese Kontrapunkte vereinigen lassen.

Technisch gesehen ist die Acapulco ein passiver Drei-Wege-Lautsprecher, bestehend aus einem 10' Tieftonsystem, einem 5,25' Mitteltonsystem und einer 19mm Hochtontalotte. Diese Kombination haben elrad-extra-Leser in der letzten Ausgabe unter der Bezeichnung BS 340 in den Grundzügen kennengelernt. Auch hier sind im Verlaufe des Jahres Veränderungen und Verbesserungen eingetreten. Die Veränderungen beziehen sich in erster Linie auf den Mitteltonbereich, aber dazu später.

Zur Erläuterung scheint es sinnvoll, noch einmal die Konzeption der 340 in Erinnerung zu bringen.

Die 340 ist eine Standbox im bekannten achteckigen Mivoc-Design. Hier wurde besonders Augenmerk auf Preiswürdigkeit und einfache Handhabung gelegt. Das faltgehäuse, das zu dem Komplettbausatz gehört, läßt sich bei gleicher Qualität und Optik nicht mit heimwerklichen Mitteln herstellen.

Die Konzeption ist klar, sinnvoll und verständlich: drei Wege; Langhub-Tieftonchassis; breitbandig eingesetztes Mitteltonsystem; modernstes Hochtontonsystem; aufwendig gestaltete Frequenzweiche, fertig aufgebaut, mit Qualitätsbauteilen. Auf dieser technisch gesunden und preiswürdigen Basis stellte sich die Aufgabe, das Gehäuse-Design 'aufzupeppen'.

Ein besonderes Merkmal von Spitzenlautsprechern ist es, neben der Verfärbungsarmut und guten Auflösung eine bestechende räumliche Abbildungsfähigkeit zu haben. Die Erfahrung zeigt, daß eine kleine Reflexionsfläche (= schmale Schallwand) einer guten räumlichen Abbildungsfähigkeit zu-

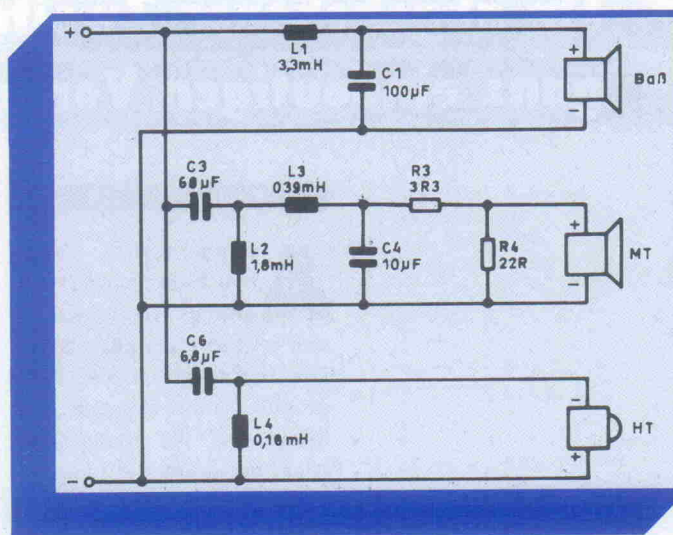
gute kommt. Immer wieder faszinieren Kleinstlautsprecher durch ihre körperhafte Abbildung.

Schmale Schallwände, die wenig Reflexionsmöglichkeiten bieten, sind hier wohl der richtige Weg. Weitere Details, wie eingelassene Chassis und gerundete Gehäusekanten, verringern die Beugungseffekte, die, bedingt durch die entstehenden Interferenzen, die räumliche Abbildungsfähigkeit verschlechtern.

Leider bereiten schmale Schallwände andere Probleme, vorzugsweise im Tieftonbereich. Das Unterbringen von ansehnlichen Membranflächen bereitet ernsthafte Schwierigkeiten. Auch benötigen große Systeme ein bestimmtes Maß an Volumen, um zu einer interessanten Tiefbaßwiedergabe zu gelangen.

Die Acapulco von Mivoc zeigt hier eine Lösung, die von Bereitschaft zur Innovation und Sachkenntnis zeugt. Im Grundkonzept besteht die Acapulco aus zwei schmalen, rechteckigen Gehäusen, die parallel aneinander versetzt angeordnet sind, so daß an der Verbindungsstelle eine doppelt so breite Schallwand entsteht. Das Prinzip ist so einfach und einleuchtend, daß sich sofort jeder fragt, warum er nicht schon selber darauf gekommen ist. Den-

Eine klassische 3-Weg-Weiche. Die Trennung erfolgt an allen Übergängen mit 12 dB/Oktave.



Stückliste

L1	3,3 mH (Corobar 1,4 mm)
C1	100 µF (Elko, glatt, 40VAC)
C3	68 µF (Elko, glatt, 40VAC)
L2	1,8 mH (Luftsp. 1,0 mm)
L3	0,39mH (Luftsp. 0,71 mm)
C4	10 µF (Elko, glatt, 40VAC)
R3	3,3 Ohm (5 Watt)
R4	22 Ohm (5 Watt)
C6	6,8 µF (Folie, MKT, 100VDC)
L4	0,18mH (Luftsp. 0,71 mm)

Trennfrequenzen: 300 Hz; 3,5 kHz

Systembausatz Mivoc BB 500 DM 335,- (Stück)

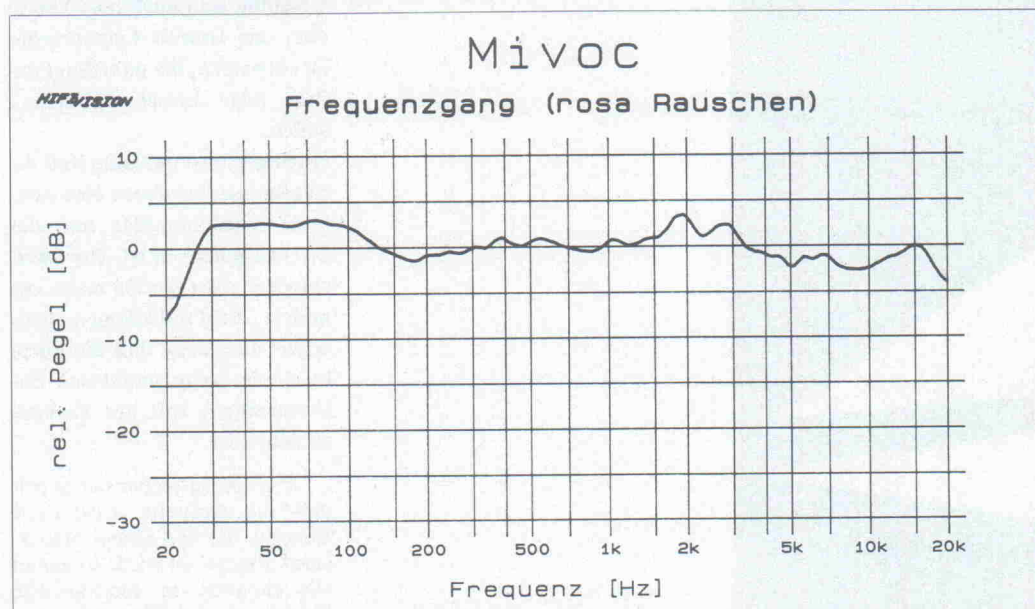
Fertigversion Mivoc BF 500 DM 1300,- (Stück)

Anschlußfertige Box in Schleiflack, lichtgrau, Schattenfuge gelb

Design: Jörn Steffens

Entwicklung: D.J. Schulz

Ein ausgeglichener Frequenzgang bis 25 Hz herunter.



bindungsstelle der beiden Quader findet das 10' Tieftonsystem WAW 254 FDC-G genügend Montagefläche. Da die beiden Quader verbunden sind und sich in den Volumina addieren, steht ein Nettovolumen von etwa 60 Litern zur Verfügung. Diese 60 Liter ermöglichen eine praxisgerechte, tiefe Einbauresonanz. Dämpfung des Tieftonsystems und Volumen sprechen dabei für eine Baßreflexabstimmung.

Die Reflexöffnung wird dezent in die Rückwand des unteren Quaders eingelassen. Als Standfläche dient ein weiterer Quader, der die Kantenmaße des Verbindungsquerschnitts der beiden Gehäusequader aufweist. In diesem Fuß, der unten offen ist, läßt sich auf einfachste Weise die Frequenzweiche montieren. Um das Gehäuse ästhetisch abzurunden, befin-

Als Erstlingsobjekt für den angehenden Heimwerker kaum geeignet: Doch deshalb gibt es den Komplettbausatz.

den sich zwischen den einzelnen Gehäusebausteinen dünne Schattenfugen.

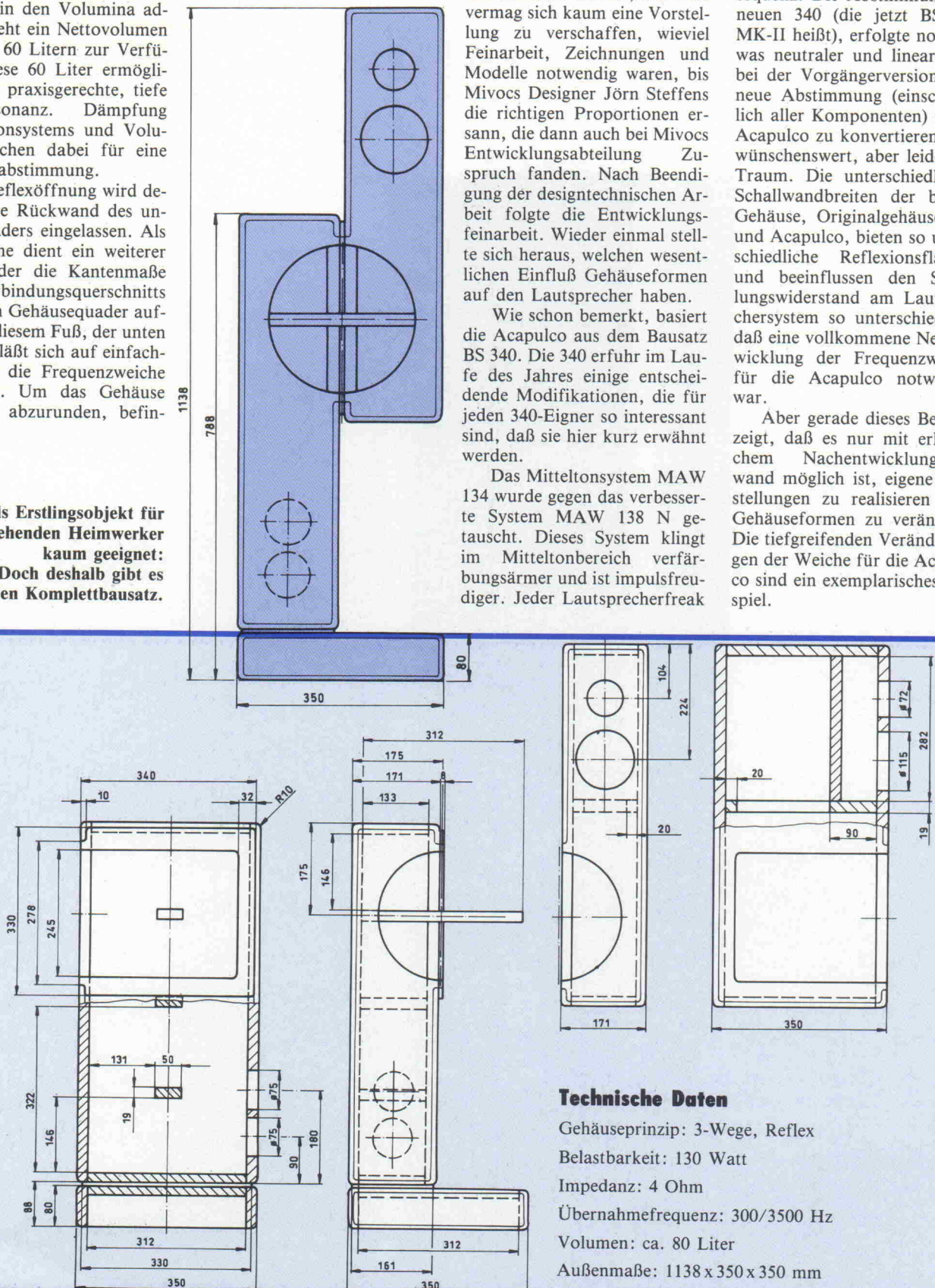
So einfach und so genial das Gehäuse scheint, der Laie vermag sich kaum eine Vorstellung zu verschaffen, wieviel Feinarbeit, Zeichnungen und Modelle notwendig waren, bis Mivocs Designer Jörn Steffens die richtigen Proportionen ersann, die dann auch bei Mivocs Entwicklungsabteilung Zuspriechung fanden. Nach Beendigung der designtechnischen Arbeit folgte die Entwicklungsfeinarbeit. Wieder einmal stellte sich heraus, welchen wesentlichen Einfluß Gehäuseformen auf den Lautsprecher haben.

Wie schon bemerkt, basiert die Acapulco aus dem Bausatz BS 340. Die 340 erfuhr im Laufe des Jahres einige entscheidende Modifikationen, die für jeden 340-Eigner so interessant sind, daß sie hier kurz erwähnt werden.

Das Mitteltensystem MAW 134 wurde gegen das verbesserte System MAW 138 N getauscht. Dieses System klingt im Mitteltönenbereich verfärbungsärmer und ist impulsfreudiger. Jeder Lautsprecherfreak

weiß, daß sich Systeme nicht nach Belieben austauschen lassen. Eine neue Frequenzweichenabstimmung war die Konsequenz. Die Abstimmung der neuen 340 (die jetzt BS 340 MK-II heißt), erfolgte noch etwas neutraler und linearer als bei der Vorgängerversion. Die neue Abstimmung (einschließlich aller Komponenten) in die Acapulco zu konvertieren, war wünschenswert, aber leider ein Traum. Die unterschiedlichen Schallwandbreiten der beiden Gehäuse, Originalgehäuse 340 und Acapulco, bieten so unterschiedliche Reflexionsflächen und beeinflussen den Strahlungswiderstand am Lautsprechersystem so unterschiedlich, daß eine vollkommene Neuentwicklung der Frequenzweiche für die Acapulco notwendig war.

Aber gerade dieses Beispiel zeigt, daß es nur mit erheblichem Nachentwicklungsaufwand möglich ist, eigene Vorstellungen zu realisieren oder Gehäuseformen zu verändern. Die tiefgreifenden Veränderungen der Weiche für die Acapulco sind ein exemplarisches Beispiel.



Technische Daten

Gehäuseprinzip: 3-Wege, Reflex

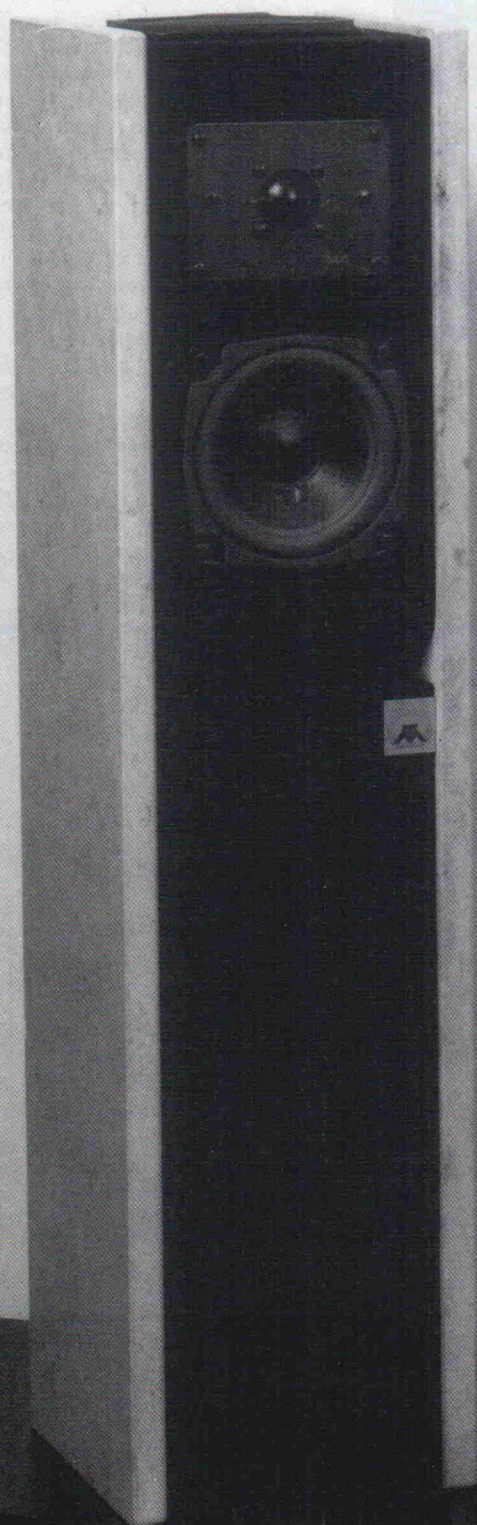
Belastbarkeit: 130 Watt

Impedanz: 4 Ohm

Übernahmefrequenz: 300/3500 Hz

Volumen: ca. 80 Liter

Außenmaße: 1138 x 350 x 350 mm



Daß zwei kleine Bässe gegenüber einem großen viele Vorteile bieten, dürfte schon lange bekannt sein. So wurde bei der Auswahl der Lautsprecherchassis im Baß-Mitteltonbereich auf zwei 13 cm-Konuslautsprecher in 8 Ω -Technik zurückgegriffen, die folgende Vorteile bieten:

- Die gesamte Membranfläche erhält durch die Auswahl von zwei kleinen Chassis ein besseres Verhältnis von Antrieb zu Membranauslenkung.

- Das Membrangewicht ist geringer, wodurch der Lautsprecher dem Musikschnell und exakter folgen kann.

- Die Verfärbungen im Mitteltonbereich sind bei kleineren Lautsprechern geringer.

- Kleinere Lautsprecher bündeln den Schall auch nicht so früh wie ihre größeren Brüder.

me Aktivitäten entfalten. Das wird einfach dadurch unterbunden, daß man den einen Tieftöner frequenzmäßig etwas früher abkoppeln läßt und zwar über eine 6 dB-Weiche. Somit sind also im Bereich bis 200 Hz beide Tieftöner parallelgeschaltet; oberhalb dieser Frequenz strahlt nur der vordere und ab 2 kHz übernimmt der Hochtöner. Durch diesen kleinen Trick ist man auch bei der Wahl der Einbauposition des zweiten Tieftöners weitgehend frei von zusätzlichen Phasenproblemen. Verfälschungen im Mitteltonbereich durch Überhöhungen und Baßauslöschungen sind damit auch minimiert.

In unserem Bauvorschlag hat der Baßlautsprecher seinen Platz im oberen Teil der Box zugewiesen bekommen. Der zweite, nach vorn strahlende Baß deckt den gesamten Baß-

SIPE-Chario

Bei der Transmissionline

ist der beste Weg der Umweg

Thomas Materne

Bei der Entwicklung der Sipe-Chario verfolgte man das Ziel, einen wohnraumfreundlichen Lautsprecher mit guter Baßwiedergabe, ausgezeichneter Räumlichkeit und Auflösung sowie mit der bei diesen Forderungen bestmöglichen Impulstreue zu entwickeln. Außerdem sollten zum Bau des Gehäuses möglichst Bauelemente mit Normmaßen aus dem Baumarkt verwendet werden.

- Die Gehäusefrontplatte kann durch die Verwendung kleinerer Lautsprecher schmäler gehalten werden, was dem Rundstrahlverhalten und damit der räumlichen Wiedergabe zugute kommt.

So kommen in unserem Bauvorschlag zwei Baßmitteltöner Sipe AS 130/40.8 zum Einsatz, die für ihre Größe eine beachtlich niedrige Resonanzfrequenz von 45 Hz besitzen und einen maximalen Hub von ± 6 mm (1,2 cm) absolvieren können. Die Belastbarkeit des einzelnen Lautsprechers liegt bei 40/80 Watt (Sinus/Musik). Da der Wirkungsgrad bei 88 dB liegt, wurden die zwei 8 Ω -Lautsprecher parallel geschaltet, um auf einen Gesamtwirkungsgrad von 91 dB zu kommen.

Diese beiden Lautsprecher nun würden sich — beim Einbau in ein gemeinsames Gehäuse — sowohl gegenseitig stören, als auch zusammen mit dem Hochtöner im Bereich der Übernahmefrequenz unliebsa-

und Mitteltonbereich bis 2 kHz ab. Eine kleine Verbesserung der Mitteltonwiedergabe brachte noch eine nachträgliche Beschichtung der Membranen (aus optischen Gründen auf beiden Bässen), die jeder selber mit einem weichen Pinsel und handelsüblicher Beschichtungsflüssigkeit durchführen kann.

Für die Hochtonwiedergabe entschied man sich für eine 25 mm-Gewebekalotte DT25/40.8RT, die mit einer Resonanzfrequenz von 1000 Hz ohne Probleme ab 2 kHz eingesetzt wird und die mit ihrem mittleren Kennschalldruck von 91 dB hervorragend zu der Kombination paßt. So konnten Pegelanpassungs-Widerstände entfallen, die ja bekanntlich immer nur die zweitbeste Lösung darstellen.

Hervorzuheben ist, daß der Sipe-Hochtöner eine der wenigen 25 mm-Kalotten mit einem linearen Frequenzgang bis über 20 kHz ist, somit auch die feinsten Höhen ohne unangenehme Schärfe wiedergibt!

Frequenzweiche

Im Tiefpaß für das obenliegende Chassis kommt eine Glockenspule mit 10 mH Induktivität zum Einsatz. Der nach vorne abstrahlende Baß wird über ein Filter 2. Ordnung (12 dB) betrieben, das ihm das richtige Musiksignal zuführt. Zum Einsatz kommt eine Luftspule (1,32 mm Ø) mit einer Induktivität von 1 mH und ein Elko mit 8,2 µF Kapazität. Der Hochtöner wird über einen Hochpaß bestehend aus einem Folienkondensator von 47 µF und einer Spule von 0,4 mH angekoppelt.

Zur Phasenkorrektur wird der Hochtöner verpolzt ange-

schlossen. Bei der Konstruktion des Gehäuses wurde speziell darauf geachtet, eine geringe Standfläche plus beste Abstrahlmöglichkeiten für die Lautsprecher mit einer angenehmen Optik zu verbinden, sowie einen einfachen Nachbau auch für Anfänger auf dem Gebiet des Lautsprecher-Selbstbaus anzubieten. So entschied sich der Entwickler für eine Standbox mit der Grundfläche 20x20 cm und einer Höhe von 80 cm. Da sich die Lautsprecherkombination auch durch beachtliche Baßwiedergabe auszeichnen sollte, wurde für das Gehäuseprinzip auf eine Transmissionline zurückgegriffen.

Diese Art der Gehäusekonstruktion ist rechnerisch leider nicht so schön erforscht wie Baßreflexgehäuse oder geschlossene Gehäuse. Daher wurde die Länge der 'Line' kurzerhand bestimmt; sie sollte 1/4 der Wellenlänge der Reso-

Die beste Weiche ist fast keine Weiche. Hier reichen fünf Bauelemente für die Versorgung der drei Lautsprecher aus ...

Stückliste

Chassis:

Tieftöner: 2x AS 130/40.8:

Hochtöner: 1x DT 25/40.8 RT

Weiche:

L1 10 mH Glockenkern

L2 1 mH Luft, 1,3 mm Ø

L3 0,4 mH Luft, 0,8 mm Ø

C1 8 µF Folie; 150 V

C2 47 µF Folie; 150 V

Holz:

19-mm-Spanplatte:

2 Stück 800 x 200 A, A'

2 Stück 200 x 160 B, B'

1 Stück 762 x 160 C

1 Stück 300 x 160 D

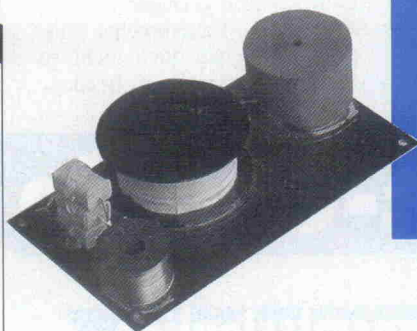
1 Stück 430 x 160 E

13-mm-Spanplatte:

1 Stück 400 x 160 F

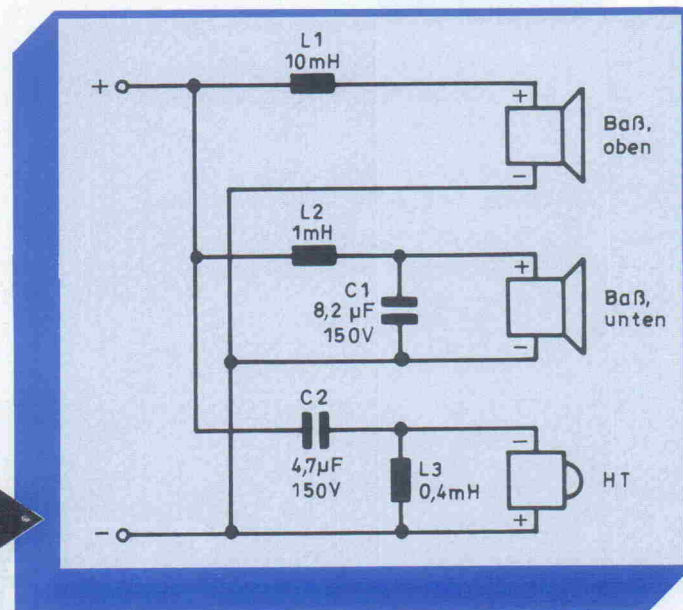
2 Stück 100 x 160 G

mit 2x 45° Gehrung



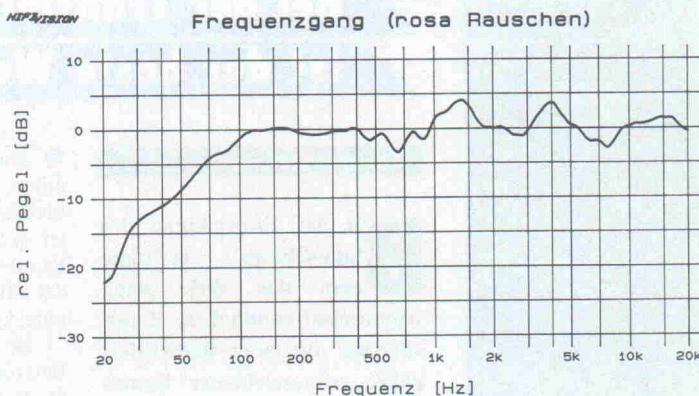
... Entsprechend kompakt ist auch das äußere Erscheinungsbild.

Ab ca. 60 Hz ist der Frequenzgang nahezu linear; für die Größe der Box recht beachtlich.



Sipe

Frequenzgang (rosa Rauschen)



M+EN

MATZKER + ENGELS GmbH

KÖLN

SCHAEVENSTR. 1-3
KUNDENPARKPLATZ
TEL. 02 21-23 75 05

KREFELD

ALTE LINNEN STR. 119
TEL. 0 21 51-2 05 15
FAX 02 21-23 68 51

LAUTSPRECHERBOXEN · BAUSÄTZE · CAR-HIFI · ZUBEHÖR

VISATON
LIEFERPROGRAMM KOMPLETT VORRÄTIG!
MANHATTAN III Originalkit 329,- DM
ATLAS DSM Originalkit 949,- DM
VIB extra II Originalkit 529,- DM
VIB Originalkit 299,- DM

Teufel
MODULSYSTEM VORFÜHRBEREIT!
LT 22 Originalbausatz 180,- DM
LT 33 mit Fertigerhäuse 599,- DM
LT 66 Bausatz zum Sonderpreis 1.299,- DM

FIDIBUS
BR 5 298,- DM

McFARLOW
SK 5208 Lautsprechersatz 78,- DM

TopCom
Topcom 730 mit Gehäuse 599,- DM

OLSEN
MARMORLAUTSPRECHER

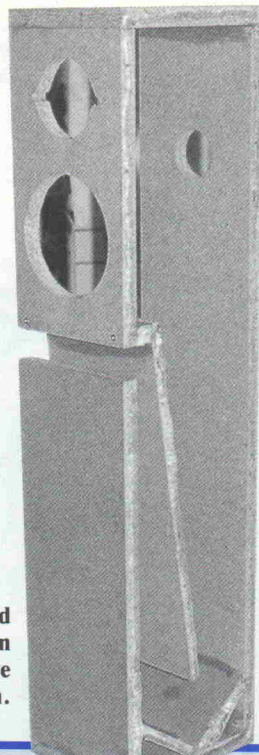
NEU - DIE CAR-HIFI
SELFMADE-WERKSTATT
mit Frequenzgangmessung

ARCUS·ETON·KEF
PEERLESS·IT·SEAS
LM-Elektronik·VIFA
IEM·AUDAX·WHD
GROSSES FREQUENZWEICHEN-
BAUTEILE-LAGER!
SCHNELLVERSAND
KATALOG
ANFORDERN!

nanzfrequenz des Lautsprechers betragen, wobei wir auf eine mittlere Schallweglänge von 1,7 m kommen. Dieses hat den Vorteil, daß die Box nicht groß mit Umlenkbrettern im Gehäuseinneren gefüllt werden muß; lediglich eine Vierkantleiste, sowie ein Brett, welches das Gehäuse in zwei Hälften teilt, und zwei kleine Bretter mit 45° Gehrung dienen der Schallführung.

So kann der Gehäuseaufbau auf den Seitenteilen vorgenommen werden; die vorher gesägten Frontwand-, Rückwand-, Deckel- und Bodenbretter können, mit Holzleim verbunden, einfach auf einem Sei-

Zwischen Wunsch (unten) und Wirklichkeit (oben) liegen Säge, Leim und ein paar (er)bauliche Heimwerkerstunden.



tenteil montiert werden. Danach werden die Umlenkbretter eingeleimt und angepaßt. Als Hilfe können auch Nägel oder Schrauben verwendet werden, wenn nicht genug Schraubzwingen zur Verfügung stehen.

Wir haben für unser Mustergehäuse aus mehreren Gründen Seitenteile aus Mar-

mor gewählt: Erstens sieht dieses Material gut aus, zweitens hat es akustisch gute Eigenschaften (geringe Gehäuseresonanzen) und drittens kann man — mit etwas Glück — alte Marmorfensterbänke ergattern und zu Boxen-Seitenwänden umarbeiten. Das zweitbeste Material für diese Teile sind die in jedem Baumarkt erhältlichen Fensterbänke aus Kunststein.

Ebenso sind natürlich die auch in jedem Baumarkt erhältlichen Fertig-Regal-Bretter aus Spanplatte verwendbar.

Bei Stein- oder Marmorseitenwänden können die Verklebungen mit den Holzteilen nicht mit Weißleim vorgenommen werden; hier ist Silikon-Dichtungsmasse aus dem Sanitärbereich der Kleber der Wahl. Die Verbindungen müssen ca. 24 Stunden unter Druck gelagert werden. Nach dem Abbinden wurde auf die rohen Spanplatten eine selbstklebende Veloursfolie aufgebracht, die es in jedem Bau- und Bastelmarkt gibt. Sauber an den Kanten abschneiden, 'fertig'.

Diese einfache und saubere Art des Gehäuseaufbaus bietet jedem Heimwerker die Möglichkeit, eine seinen Vorstellungen optisch entsprechende Box zu bauen.

Bedämpfung

Seitenteile, Rückwand und Umlenkbrett im vorderen Teil der Line sind mit Pritex (20 mm Stärke) zu bekleben, die Kammer hinter den Lautsprechern wird mit Polyester-Watte gefüllt und kann nach eigenem Hörempfinden abgestimmt werden. Die Frequenzweiche findet an der Gehäuserückwand, durch den vorderen Baß zugänglich, ihren Platz. Die Lautsprecherbox ist für Räume bis zu einer Größe von ca. 35 m² geeignet.

Erste Hörprobe

Nachdem der erste Prototyp fertiggestellt im Hörstudio stand, waren natürlich alle gespannt. Das Ergebnis konnte sich auch richtig gut 'hören' lassen. Nach diesem ersten Erfolgserlebnis wurden im Nachhinein am Gehäuse und an der Weiche nur noch Kleinigkeiten geändert. Man kann ruhig zugeben: 'Probieren ging hier über Studieren'.

Technische Daten

Prinzip:

3-Weg-Transmissionline

Belastbarkeit: 80 W

Impedanz: 4 Ohm

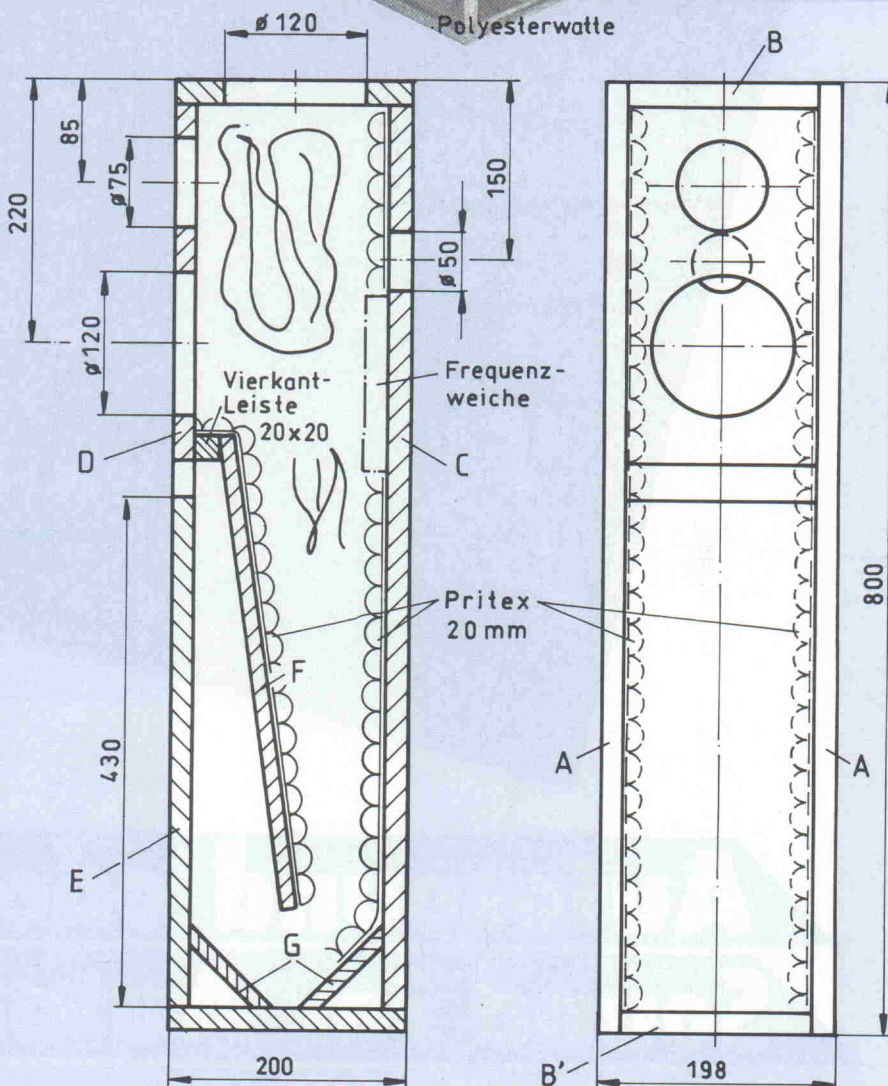
Kennschalldruck: 91 dB

Übernahmefrequenzen:
200/3500 Hz

Volumen: 30 Liter

Außenmaße:

800 mm x 200 mm x 198 mm

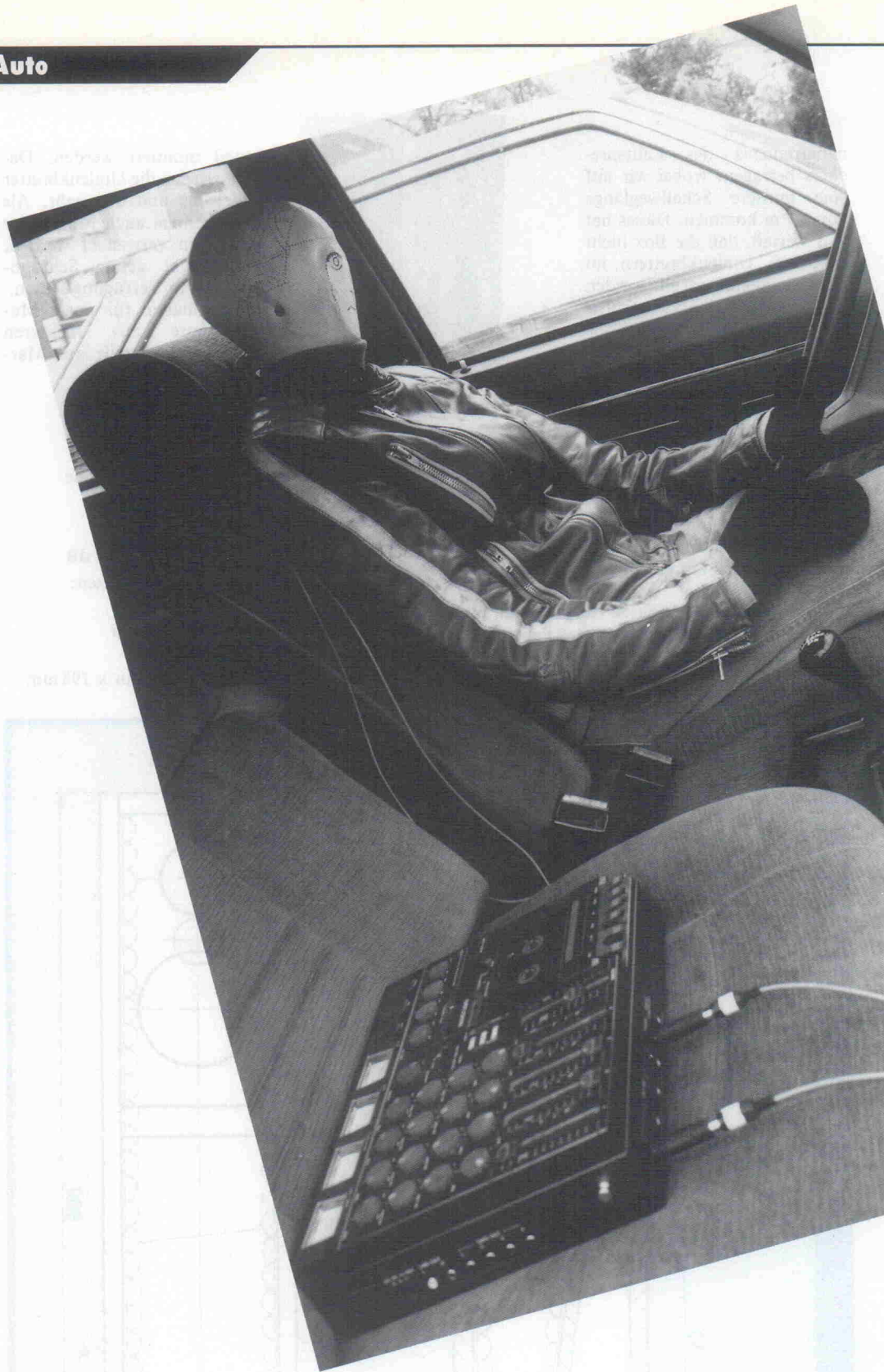


Daß der Sound im Auto nur bedingt hifidelen Ansprüchen genügen kann, dürfte in Fachkreisen bekannt sein. Ein wesentlicher Grund sind die hohen Geräuschpegel von Motor und Fahrwerk; ein anderer die begrenzten Möglichkeiten, (gute) Lautsprecher irgendwo unterzubringen, ferner die gesamte, meist unglückliche Geometrie des Fahrzeuginnenraums und schließlich die akustischen Eigenschaften der verwandten Baumaterialien. Gleiche Lautsprecher klingen in verschiedenen Fahrzeugen unterschiedlich; auch dies ist in gewöhnlich gut informierten Kreisen bekannt: 'Im alten Dreier kam der gut, aber im neuen...'. Allerdings beruht dieses Wissen fast ausschließlich auf Hörerfahrung, es läßt sich nur schlecht in gezielte, reproduzierbare Verbesserungen umsetzen.

Wir wollten es jedoch genauer wissen und haben gemessen. Daß dies in der Vergangenheit wenig gemacht worden ist, dürfte daran liegen, daß Frequenzgänge im Auto in aller Regel so niederschmetternd aussehen, zum anderen auch daran, daß sich mit konventionellen Linienschreibern Kurven nicht korrelieren lassen. Rechnergesteuerte Meßtechnik hilft hier weiter.

Zur weiterführenden Information seien hier noch die Artikel von W. Kuhlmann, P. Geukes und D. Michel im elrad-Boxenheft Nr. 5 empfohlen. Es interessierte uns der Einfluß verschiedener Einbaupositionen in verschiedenen Fahrzeugen auf den Klang. Einen mehr oder weniger linearen Frequenzgang zu erzielen, stand zunächst nicht im Vordergrund. Dabei wollten wir möglichst praxisgerechte Meßbedingungen schaffen. Zum Beispiel konnten wir uns vorstellen, daß die gesamte physische Existenz des Hörers (Fahrer oder Beifahrer) das Schallfeld in dem winzigen Abhörraum Auto nennenswert stören kann. Wir haben deshalb den Hörer simuliert - mit einer Meßpuppe.

Vor allem interessierte uns die Fahrerposition, weil hier



Autosound oder Sound im Auto?

Rechnergestützte Meßtechnik

am meisten gehört wird. Die Beifahrerposition haben wir nur in einem Fall gemessen; Rückbankplätze wurden nicht berücksichtigt. Als Einbauposition für die Lautsprecher kommen aus praktischen Gründen effektiv nur zwei Möglichkeiten in Frage: Vordertüren und Hutablage (Bild 1,2).

Wir wählten für alle Messungen einen Satz von weitverbreiteten 12 cm-Zweiweg-Koaxiallautsprecher (Magnat), Standardware mit gutem Preis-Leistungsverhältnis, die sich sowohl für Tür — als auch für Hutablage-Montage eignen. Als Versuchsfahrzeuge wählten wir ein Exemplar der Kleinwagenklasse (Ford Fiesta), einen Mittelklassewagen (Audi 80) und ein etwas größeres Modell

(Renault 20). Alle Autos waren zwar nicht frisch aus der Fabrik, aber wir gehen davon aus, daß sich auf dem Gebiet der Autoakustik von Seiten der Kfz-Hersteller nicht viel geändert hat. Außerdem interessierten uns vor allen Dingen Unterschiede!

Flankierend zu den Messungen haben wir Audio-Signale in die Lautsprecher eingespeist und die Kunstkopf-Signale auf einen 4-Kanal-Rekorder aufgenommen, jeweils parallel 2 Kanäle für die Tür- und die Hutablagen-Position. Die Aufnahmen wurden später abgehört und miteinander sowie mit den Messungen verglichen.

Gemessen wurde mit dem Kemtec-Meßsystem AMS-ST (für Atari-Computer), mit dem es möglich ist, Frequenzgänge elektroakustischer Systeme nach der Sweep-Sinus-Methode aufzunehmen (integrierend, ähnlich einem Linienschreiber) und diese miteinander zu verknüpfen, sowohl als Summen wie auch als Differenzbildung von Meßkurven. Durch Addition mehrerer Kurven und anschließende Teilung durch deren Anzahl läßt sich eine Mittelung erreichen (z.B. bei Raummessungen), wo bedingt durch Reflexionen an jedem Ort ein anderer Frequenzgang entsteht. Das Ergebnis entspricht dem arithmetischen Mittel der Pegelwerte (dB). Die Differenzbildung ermöglicht z.B. äußerst elegant die Messung des Übertragungsfrequenzganges von

Mikrofonen. Es wird mit einem Referenzmikro guter Linearität und dem zu messenden Mikro jeweils der Frequenzgang eines beliebigen Lautsprechers aufgenommen. Die Differenzbildung dieser beiden Kurven bringt dann den Frequenzgang des interessierenden Mikros.

Beim Meßdummy handelt es sich um eine Neopren-Schau fensterpuppe, natürlich mit aufgesetztem Kunstkopf. An den Ohrpositionen sind Elektret-Mikrokapseln montiert. Auf eine Nachbildung des Innenohrkanals und der Ohrmuscheln wurde verzichtet. Wir gehen davon aus, daß diese Vereinfachungen nur zu geringen Klangfärbungen führen, die auch von Kopfpositions-Veränderungen verursacht werden könnten, die also wohl hörbar, aber kaum meßbar sind (Bild 3).

Im freien Schallfeld produziert der Kunstkopf (abgesehen von einer leichten Welligkeit bei 10 kHz) den theoretisch zu erwartenden Frequenzgang mit dem leichten Höhenanstieg (Diagramm 1, Kurven 1 und 2 für linkes und rechtes Ohr). Die Gleichheit der beiden Ohren ist akzeptabel.

Das Freifeld-Übertragungsmaß unseres Kunstkopfes haben wir durch Differenzbildung zu Messungen mit einem Meßmikro und bei jeweils gleichen Meßbedingungen (Lautsprecher, Abstand) gewonnen (Diagramm 1, Kurven 3 und 4). Der Vollständigkeit halber haben

wir die ursprünglichen Frequenzgänge von Kunstkopf-Diffusfeld und Referenzmikro mit ausgedruckt. Unterschiede sind kaum feststellbar; sie werden erst in der Differenz deutlich.

Wir werden auch in weiteren Teilen dieses Artikels immer wieder Differenzen und Summen von Frequenzgängen begegnen: Die Meßkurven sind mit relativem Pegel untereinander dargestellt. Der Abstand der Kurven sagt nichts über absolute Pegeldifferenzen. Diese Darstellungsart wurde wegen der besseren Sichtbarkeit von Unterschieden bei ähnlichen Kurven gewählt.

Schon bei den ersten Messungen im Auto zeigten sich starke Einbrüche des Frequenzgangs bis zu 20 dB, vor allem im Hochtonbereich (Diagramm 2, Kurve 2). Diese waren übrigens mit dem Meßmikrofon ausgeprägter als mit dem Kunstkopf. Da so schmalbandige Einbrüche in ihrer Lage stark von der Hörposition abhängen und für die Klangqualität von untergeordneter Bedeutung sind (elrad Boxenheft Nr. 5, Seite 39), wurden die Messungen in einer gemittelten Form dargestellt (Kurve 1); dies entspricht einer reduzierten Schreibgeschwindigkeit bei mechanischen Linienschreibern — also einer Integration.

Um abschätzen zu können, was uns mit den Lautsprechern erwartet, wurden zunächst die Thiele-Small-Parameter aufge-

Der Meß-Dummy an seinem „Arbeitsplatz“. Mit ihm sollte untersucht werden, ob — und wenn ja, wie — sich die Anwesenheit eines Beifahrers oder Fahrers auf die Wiedergabe im Auto auswirkt.

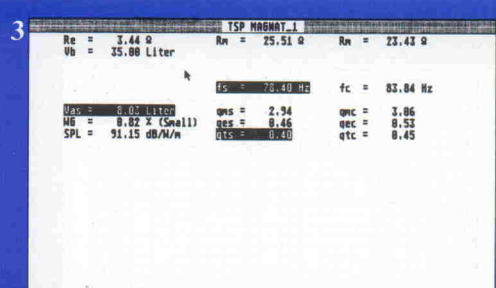
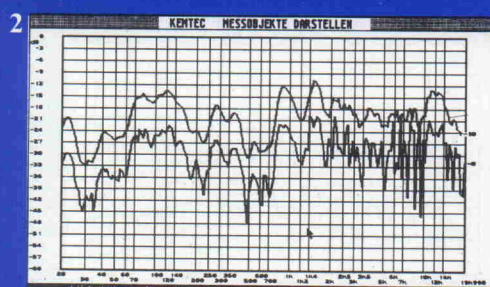
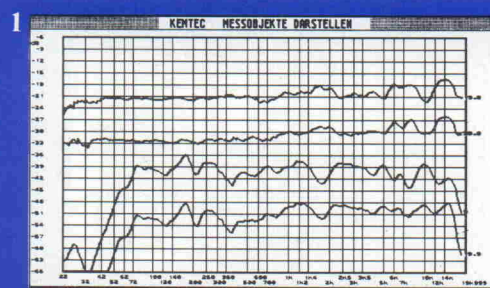


Diagramm 1 zeigt oben die Frequenzgänge des Kunstkopf-Mikros im Freifeld, darunter in Schrieb 2 sind die Frequenzgänge im Auto zu sehen — einmal mit dem Kunstkopf und einmal mit dem Meßmikrofon.

nommen (Diagramm 3). Die Werte sind nicht schlecht für Lautsprecher dieser Preisklasse.

Wir wollten dann wissen, wie die Lautsprecher unter optimalen Bedingungen arbeiten. Für eine Montage im geschlossenen Gehäuse und eine Systemgüte von 0,7 empfahl die Formel aus elrad Boxenheft Nr. 5, Seite 22 ein Sollvolumen von 5 Litern. Wir haben die Lautsprecher in eine solche Box eingebaut und den Frequenzgang gemessen. Die Ergebnisse entsprechen voll den Erwartungen (Diagramm 4, Kurven 1 und 2): Im Baßbereich sieht man einen Abfall unterhalb der Resonanzfrequenz mit 12 dB/Oktave. Daß sich bei einem F_s von 76 Hz kein Tiefbass erreichen läßt, war nicht anders zu erwarten. Kurve 3 zeigt den Unterschied zwischen den beiden Lautsprechern. Bis auf den Bereich um 4 kHz ist die Gleichheit als gut anzusehen.

Im Auto wird man wohl kaum von so idealen Bedingungen ausgehen können: Die Montagefläche wirkt als Resonanzkörper, von einem dicht geschlossenen Gehäuse kann nicht die Rede sein und die Geometrie des Innenraums wird den Frequenzgang weiter verändern. Deshalb haben wir noch die Lautsprecher in einem 35 Liter-Gehäuse unter Freifeldbedingungen gemessen. 35 Liter stellen ein Mittelding zwischen Tür- und Kofferraumvolumen dar. Der Baßabfall ist

weniger stark ausgeprägt, der Mittel- und Hochtonbereich ist weitgehend identisch mit dem 5 Liter-Gehäuse, die Welligkeit ist geringer (wahrscheinlich durch gedämpfte Gehäuseresonanzen). Um Einflüsse des Einbaus im Auto zu erforschen, haben wir das Mittel der Frequenzgänge beider Lautsprecher als Referenz benutzt (Diagramm 5).

Und dann haben wir also gemessen, in jedem der drei Fahrzeuge jeweils den linken wie den rechten Lautsprecher in der Tür- und in der Hutablage-Position in ihrer Wirkung auf jedes der beiden Ohrmikrofone. Außerdem wurde in einem Fahrzeug mit Meßdummy in der Beifahrerposition, sowie mit einem üblichen Meßmikro an der Fahrer-Kopfposition gemessen. Insgesamt 34 Frequenzgänge mit jeweils 220 Meßpunkten wurden zunächst auf Diskette gespeichert und später ausgewertet.

Zunächst interessierte uns der Einfluß der Meßpuppe. Diagramm 6 zeigt uns das Signal der beiden Kunstkopfhörer mit dem gleichen Lautsprecher (Türmontage links) sowie die Differenz der beiden Messungen (Kurve 3). Schon aus diesen gewaltigen Unterschieden wird deutlich, wie schwierig die Beschallung im Auto ist.



Bild 1.
Einbau-
position der
Lautsprecher
in der
Seitentür.

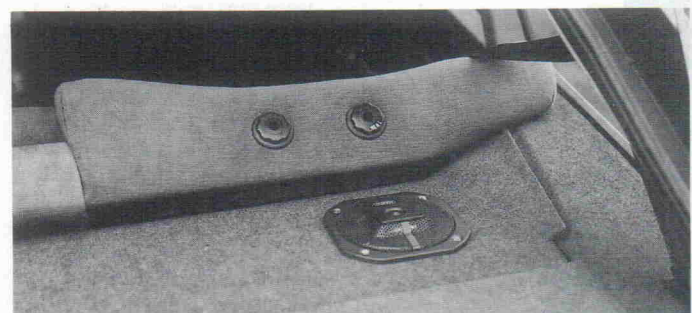
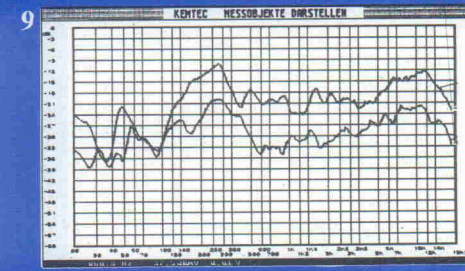
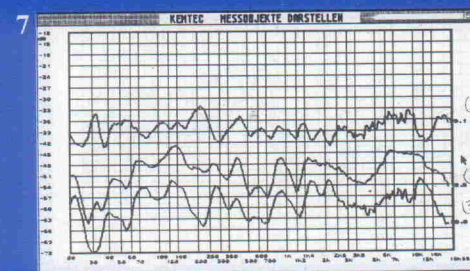
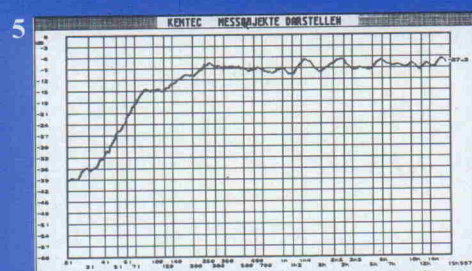
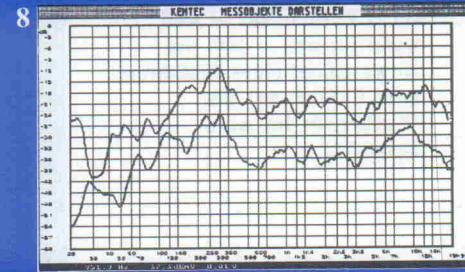
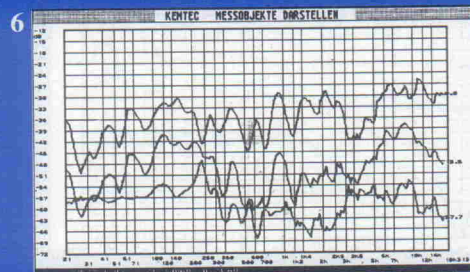
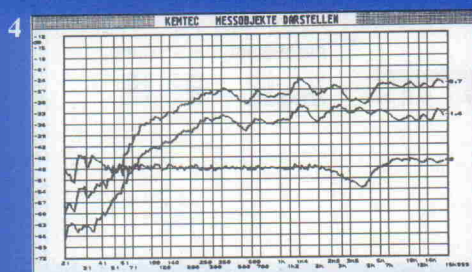


Bild 2. Einbauposition
der Lautsprecher
in der Hutablage.



Ohrdifferenzen dieser Art lassen sich praktisch nicht beseitigen. Wir haben deshalb für die Messungen stets die Summe der beiden Kunstkopfhoren gebildet. Letztlich werden diese Frequenzgänge im Kopf auch summiert.

In Diagramm 7 sehen wir die Summe beider Ohren und beider Lautsprecher (4 Messungen, Kurve 3) in Türposition im Vergleich zu der Summe beider Lautsprecher, aber gemessen mit dem Meßmikrofon (Kurve 2) und die Diffe-

renz beider Kurven (oben). Verglichen mit den Unterschieden zwischen den beiden Ohren und den beachtlichen übrigen Nichtlinearitäten erscheinen uns Messungen mit konventionellem Meßmikrofon durchaus aussagekräftig. Solange man sowieso mit Pegelsprüngen von 10 bis 20 dB rechnen muß, kann man unseres Erachtens auf einen Meßdummy verzichten.

Zum Einfluß des Einbaus in den verschiedenen Fahrzeugen: Diagramm 8 zeigt die nach der

oben beschriebenen Methode ermittelten Frequenzgänge im Ford, oben Tür-, unten Hutablageneinbau. Auffällig ist die starke Resonanz bei 300 Hz in beiden Fällen. Im Audi (Diagramm 9) sehen die Frequenzgänge sehr ähnlich aus, jedoch kommt es bei Hutablageneinbau zu einer stärkeren Höhenanhebung (Kurve 2). Wir vermuten eine stärkere Reflexion an der schrägeren Heckscheibe direkt über den Lautsprechern. Die Frequenzgänge im Renault (Diagramm 10) sehen wesentlich ausgeglichener aus. Im Gegensatz zu den beiden anderen Fahrzeugen sind hier die Montageflächen wesentlich stabiler und überdies gepolstert (Plüscheffekt). Allerdings haben wir in der Hutablagenposition einen stärkeren Bassabfall. Als Ursache vermuten wir breite Schlitze auf der Montagefläche direkt neben den Lautsprechern.

Welchen Einfluß Einbauposition und Fahrzeuginnenraumgeometrie auf den Klang haben wird noch deutlicher, wenn der Referenzfrequenzgang der Lautsprecher, ermittelt wie oben beschrieben (Diagramm 5), von den Fahrzeugfrequenzgängen abgezogen

wird. Diagramm 11 zeigt die Ergebnisse aller drei Fahrzeuge bei Türmontage der Lautsprecher; Kurve 1: Renault, Kurve 2: Ford, Kurve 3: Audi. Diagramm 12 zeigt die Ergebnisse bei Hutablageneinbau in der Reihenfolge Ford, Audi, Renault. Sie sehen im Schnitt etwas ausgeglichener aus. Das Diagramm hat im Gegensatz zu den anderen 6 dB Linienabstand (den halben Amplitudenmaßstab).

Würde man die Kurven auf das übliche Raster übertragen, sähe die einbaubedingte Verstärkung im Bassbereich noch stärker aus. Interessant ist auch der Vergleich zwischen Fahrer- und Beifahrerplatz. Diagramm 13 zeigt die Gegenüberstellung der Summenkurven von Fahrer und Beifahrer; oben bei Türmontage, unten bei Hutablageneinbau. Hier macht sich in der Summe die Symmetrie des Fahrzeugs bemerkbar. Die einzelnen Kurven weisen dagegen nennenswerte Unterschiede auf.

Die Abhörergebnisse der Kassettenaufnahmen decken sich gut mit unseren Meßergebnissen. Bei Audi und Ford konnte man gut einen topfigeren Sound hören. Mit Ausnahme des Renault bringt die Hutablageneinbau eine kräftigere Baßübertragung, aber in allen Fällen einen schwammigeren Klang; vor allem die Stereo-Abbildung leidet.

Ob bei den gemessenen Unterschieden zwischen den verschiedenen Fahrzeugen eine Optimierung der Lautsprecher selbst möglich ist, erscheint uns fraglich. Elektronische Mittel zur Frequenzgang-linearisierung erscheinen hier angebrachter - auch wenn der Hifi-Purist schon bei der Erwähnung des Wortes 'Equalizer' leichte Schüttelfrostanfälle bekommt.

Mit Meßergebnissen dieser Art lassen sich unseres Erachtens Equalizereinstellungen finden, die den Klang verbessern. Die durch die Filter verursachten Phasenverzerrungen dürfen, gemessen an den erreichbaren Linearisierungen, wenig ins Gewicht fallen. Es erscheint uns allerdings sinnvoll, hier Terz- oder Parametrikequalizer einzusetzen - einige Einbrüche sind nämlich recht schmalbandig (Diagramm 10).

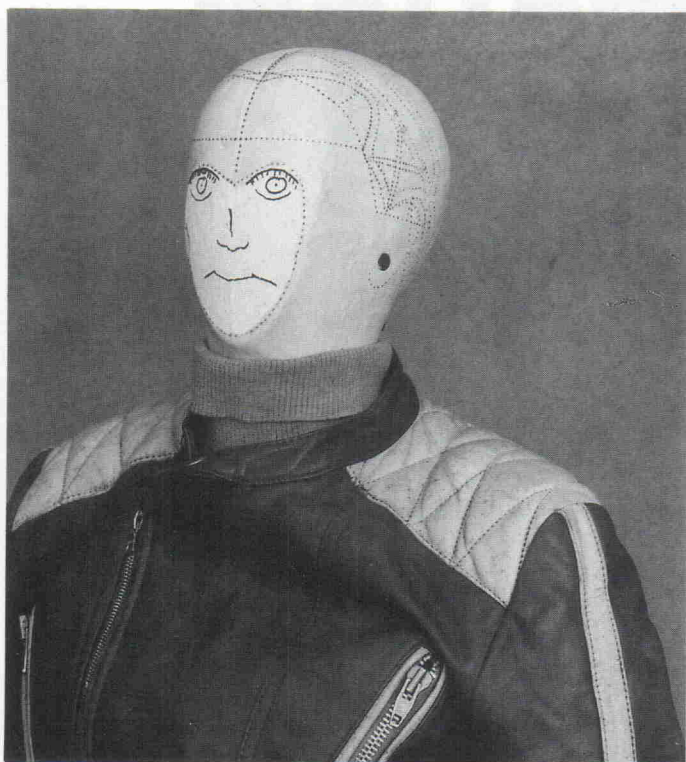
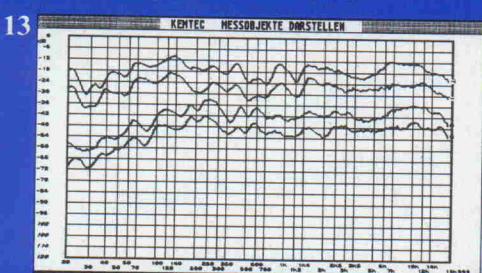
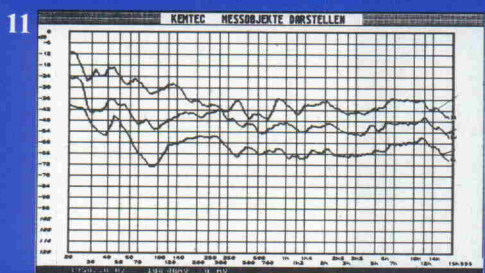
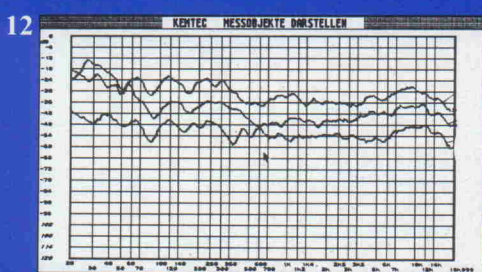
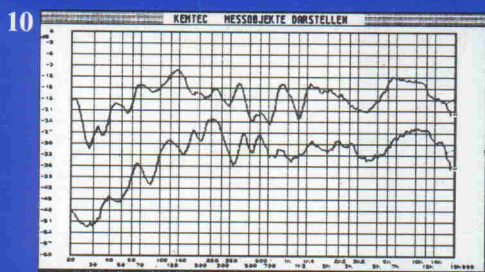


Bild 3.
Heinrich der Aufblasbare
in voller Ledermontur — aber
trotz der Rockerkluft ein eher
stiller Begleiter.



Das MANHATTAN-Projekt

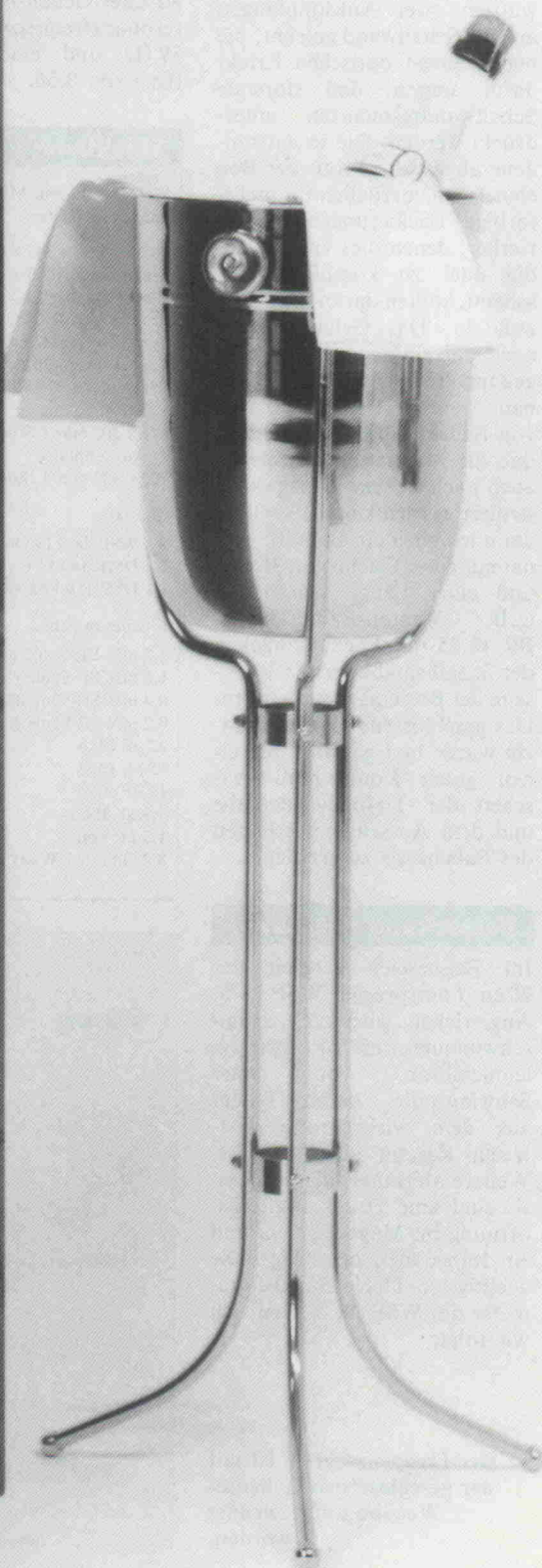
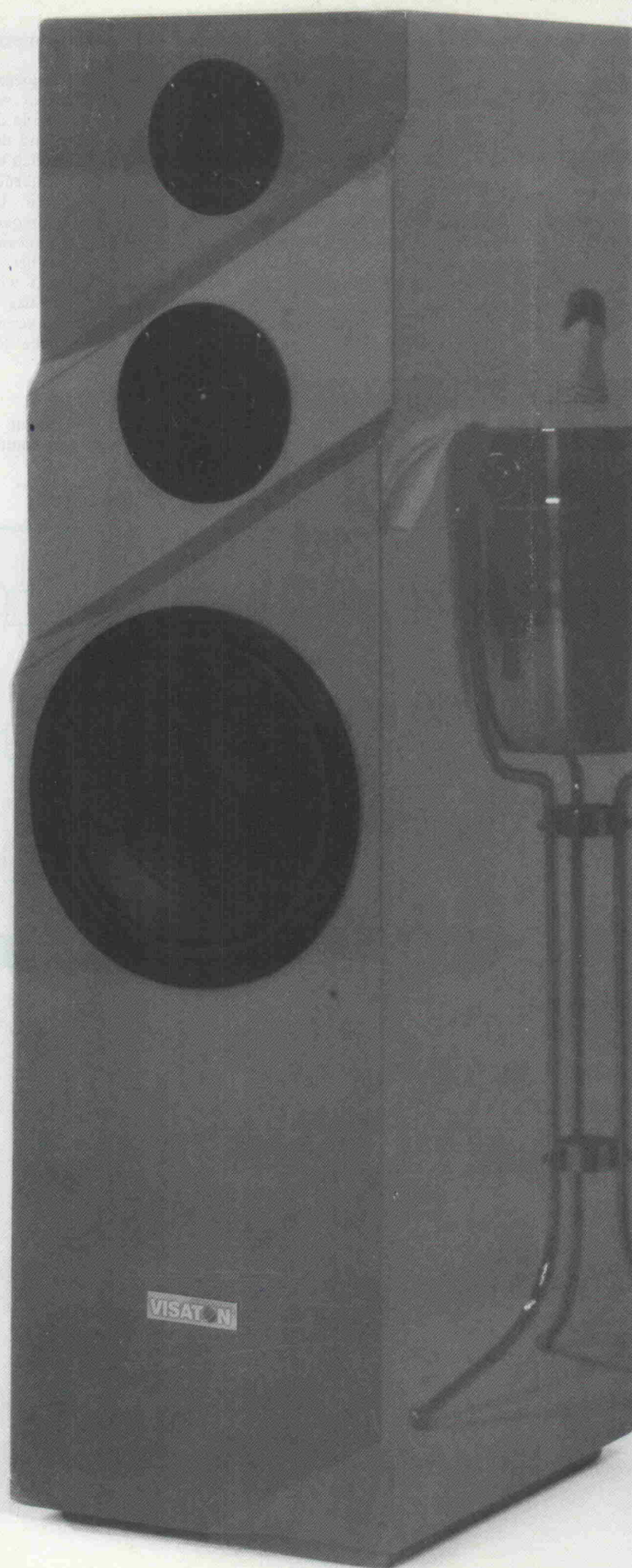
Die Standbox in verschiedenen Variationen

Andreas Bauer

In der Boxenserie Manhattan ist bisher nur der Bauvorschlag für eine 3-Wege-Hifi-Box, die Manhattan III, als Anleitung veröffentlicht worden. Die Vorgaben für die Entwicklung des Konzeptes waren folgende:

- Die Produktlinie sollte ein einheitliches, optisch ansprechendes Design haben und trotzdem vom Heimwerker im Selbstbau ohne großen Aufwand nachgebaut werden können.
- Für jede Box der Manhattan-Serie sollte es mehrere Bestückungsvorschläge geben, um den verschiedenen Geldbeuteln der Boxenselbstbauer gerecht zu werden.

Der Hinweis auf die Möglichkeit, die Gehäuse in 'optisch abgespeckter' Form aufzubauen, richtet sich an die ungeübten Boxenbauer und all jene, denen das Design zu aufwendig erscheint.



Die aus diesem Konzept nachfolgend vorgestellte Box ist die Manhattan III Spezial, eine geschlossene 3-Wege-Box.

Gehäusekonstruktion

Die Manhattan III Spezial ist als geschlossenes 80-Liter-Gehäuse aufgebaut. Um sich von der traditionellen 'Holzkisten-Konstruktion' abzusetzen, wurden zwei Aufdopplungen auf die Schallwand geleimt, die neben einem optischen Effekt dafür sorgen, daß störende Schallwandresonanzen unterdrückt werden. Die so entstandene abgestufte Front der Box eignet sich vorzüglich für mehrfarbige Lackierungen. Heimwerker, denen dies zu aufwendig oder zu kompliziert erscheint, sollten daran nicht zweifeln. Das Gehäuse kann auch mit einfacher, nicht aufgedoppelter Schallwand aufgebaut werden. Den Anhängern von Baßreflexboxen sei gesagt, daß die Manhattan III Spezial auch nach diesem Prinzip konstruiert werden kann. Es müßte dann lediglich ein Baßreflexkanal mit einer Fläche von 36 cm^2 und einer Länge von 12 cm (z.B. Visaton-Baßreflexrohr BR 13.25 mit 12 cm Länge) in der Schallwand oder der Rückseite der Box eingebaut werden. Das geschlossene Gehäuseprinzip wurde hier gewählt, um einen guten Kompromiß zwischen der Tiefbaßwiedergabe und dem Ausschwingverhalten des Baßchassis zu erzielen.

Bestückung der Box

Im Baßbereich arbeitet der 26 cm-Lautsprecher WSP 26 S. Angetrieben wird die partialschwingungsarme Polypropylenmembran von einer Schwingspule, deren Träger aus dem wirbelstromverlustfreien Kapton aufgebaut ist. Weitere Merkmale dieses Chassis sind eine Druckausgleichsöffnung im Magnetsystem und ein Impedanzkontrollring. Die wichtigsten Thiele/Small-Parameter des WSP 26 S lesen sich wie folgt:

- niedrige Freiluftresonanzfrequenz ($f_s = 19 \text{ Hz}$)
- kleiner Freiluft-Q-Faktor durch kräftigen Antrieb ($Q_{ts} = 0,26$)
- durch weiche Membraneinspannung und Gesamtkonstruktion bedingtes VAS von 310 Litern.

Aus diesen Parametern ergibt sich in dem geschlossenen 80-Liter-Gehäuse eine Einbauresonanzfrequenz (f_c) von 39 Hz und eine Einbaugüte (Q_{tc}) von 0,56.

Stückliste

Material: 19 mm MDF oder Spannplatte

Decke/Boden 343 x 262 mm 2 Stück
Seitenwände 1050 x 343 mm 2 Stück
Rückwand 1012 x 262 mm 1 Stück
Schallwand 1050 x 300 mm 1 Stück
Versteifungen 324 x 100 mm 3 Stück
Versteifungen 262 x 100 mm 2 Stück
Sockelplatte 370 x 270 mm 1 Stück
1. Aufdopplung 977 x 300 mm 1 Stück
2. Aufdopplung 780 x 300 mm 1 Stück

Chassis:

1 x WSP 26 S (8 Ohm)
1 x DMR 140 FFL (8 Ohm)
1 x DTW110 FFL (8 Ohm)

Frequenzweiche:

4,7 mH LR-Spule (1,8 mm Draht)
1,8 mH SP-Spule (1,0 mm Draht)
0,4 mH SP-Spule (1,0 mm Draht)
0,2 mH SP-Spule (0,6 mm Draht)
22 μF Elko
15 μF Elko
15 μF Elko
3,3 μF Elko
1,5 μF Folie
8,2 Ohm (11 Watt)

Bei Baßreflexabstimmung stellt sich eine Tuningfrequenz (f_b) von 29 Hz mit einer Wellenlänge im Baßbereich von 0,7 dB ein. Der Mitteltonbereich wird durch die Gewebekalotte DMR 140 FFL abgedeckt. Über 800 Hz eingesetzt, zeichnet sich die Kalotte durch einen linearen Frequenzgang und ein exzellentes Rundstrahlverhalten aus.

Die höchsten Töne der Manhattan III Spezial übernimmt die Gewebekalotte DTW 110 FFL.

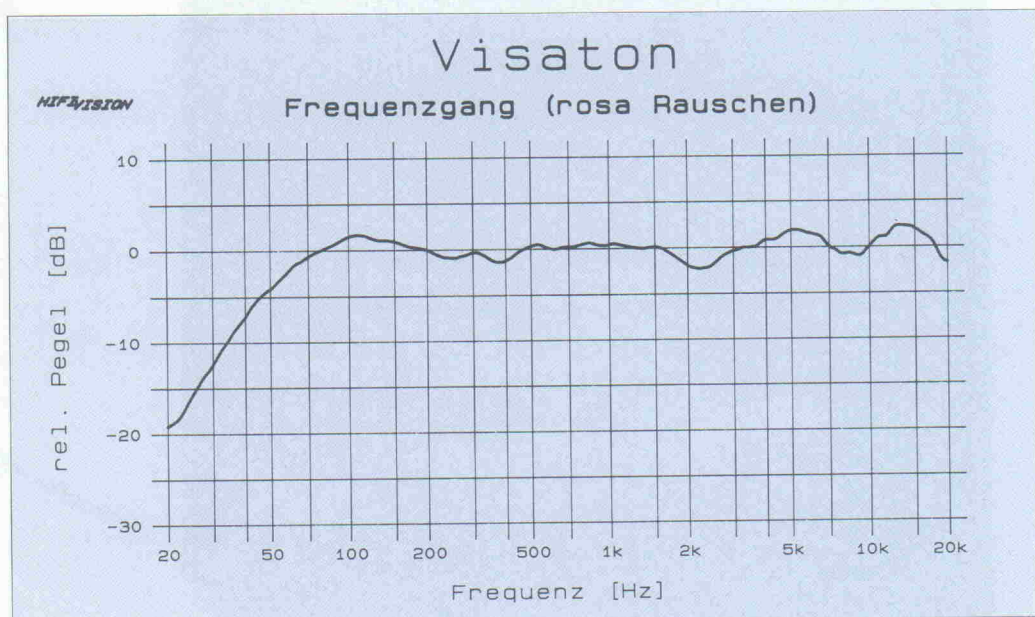
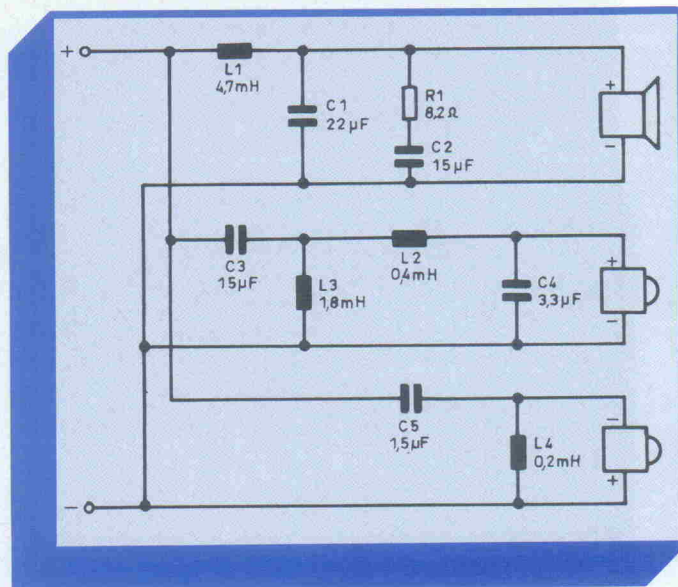
dringliches und dynamisches Klangbild der Box.

Die Übernahmefrequenzen und Filtercharakteristika sollten so gewählt sein, daß in den Übernahmebereichen und dem kritischen Mitteltonbereich keine breitbandigen Einbrüche oder Anstiege auftreten. Der 12 dB-Tiefpaß der Frequenzweiche ist daher so bemessen, daß der WSP 26 S bei ca. 350 Hz sanft abgesenkt wird. Um einen Impedanzanstieg bei höheren Frequenzen zu vermeiden, wurde die übliche RC-

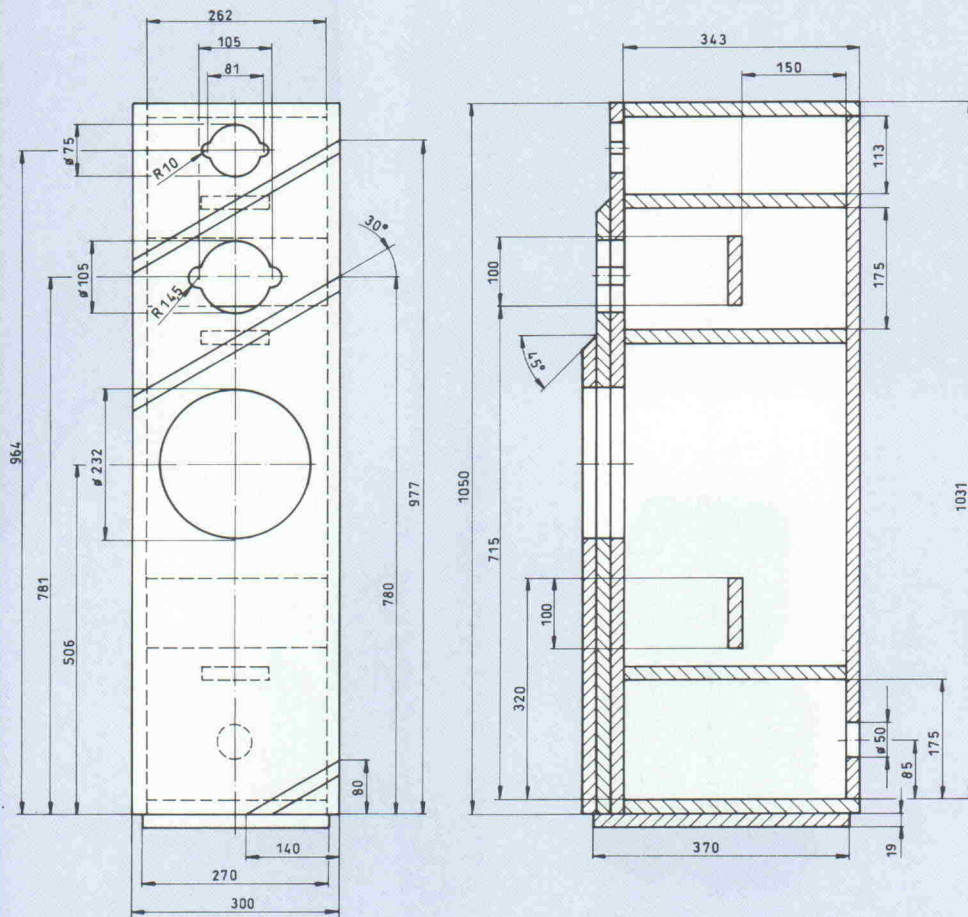
Frequenzweiche

Wie es sich immer wieder herausgestellt hat, ist die Konstruktion der Frequenzweiche ein oft unterschätzter Faktor für ein angenehmes, unauf-

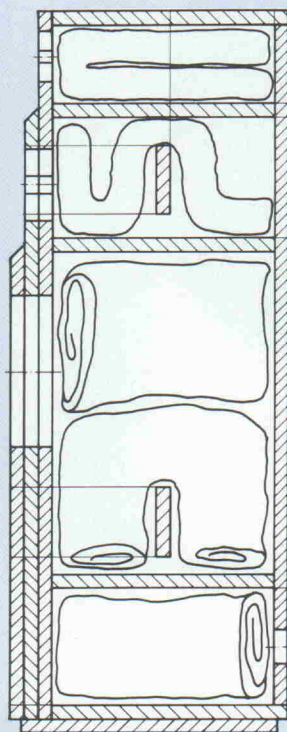
Die Weiche ist konsequent mit 12 dB-Pässen aufgebaut. Zusätzlich wurde am Baßchassis der Impedanzanstieg kompensiert.



Der Frequenzsrieb ist mit der geschlossenen Gehäuse-Version aufgezeichnet worden.



Die mehrfache Aufdoppelung auf der Schallwand kann weggelassen werden, wenn auf eine ausgefeilte und aufwendige Optik verzichtet wird.



Technische Daten

Gehäuseprinzip: 3-Wege, geschlossen

Belastbarkeit: 140 Watt

Impedanz: 8 Ohm

Kennschalldruck: 89 dB

Übernahmefrequenz: 1 kHz/7 kHz

Volumen: 80 Liter

Außenmaße: 1070 x 300 x 400 mm.

Kombination parallel zum Baßchassis geschaltet. Die Mitteltonkalotte DMR 140 FFL, die dann bei ca. 1 kHz mit 12 dB/Okt. angekoppelt wird, arbeitet phasengleich mit dem Baßchassis. Hierdurch wird in dem Bereich zwischen den Trennfrequenzen eine Linearisierung des Frequenzgangs erreicht. Die obere Grenzfrequenz des Bandpasses liegt bei ca. 5 kHz. Die beiden letzten Oktaven des Frequenzbandes übernimmt der Hochtöner DTW 110 FFL.

Die Kalotte arbeitet phasenverpolt zum Mitteltöner, wodurch eine Linearisierung des Frequenzgangs erreicht wird.

Durch die Gesamtkonzeption der Frequenzweichenschaltung erübrigt sich eine Pegelabsenkung durch einen Festspannungsteiler oder L-Regler.

Klangeindruck

Der Klang der Box zeichnet sich im Tieftonbereich durch einen sehr straffen, impulstreuen und trotzdem kräftigen Baß aus. Der WSP 26 S arbeitet in dem geschlossenen 80-Liter-Volumen selbst bei höchsten Pegeln noch absolut verzerrungsfrei. Die Mittel- und Hochtönerkalotten DMR 140 FFL und DTW 110 FFL reproduzieren den für diesen Lautsprechertyp so markanten weichen, unaufdringlichen Klangeindruck mit einer räumlichen Fülle. Dieser Eindruck wird zusätzlich noch durch den nach höheren Frequenzen hin leicht abfallenden Frequenzgang der gesamten Box mitbestimmt.

Um der Entwicklungsvorgabe nach einer alternativen Bestückung für kleinere Geldbörsen gerecht zu werden, kann die Box auch mit dem Visaton-Tieftöner W 250 und der Visaton-Fertigweiche HW 3/200 NG bestückt werden. In dieser Version ist, durch die Frequenzweichen-Charakteristik bedingt, der Einsatz von Pegelreglern (Visaton LC 57 H/M) im Mittel- und Hochtonbereich zu empfehlen. Diese Version, ist eingehend im Visaton-Heft Hi-Fi-Bauvorschläge II beschrieben und kostet (ohne Gehäuse) rund 200 DM weniger als die Manhattan III Spezial. Bei dieser preiswerten Alternative sind allerdings kleine Einbußen in der Baßwiedergabe und der Frequenzganglinearität in Kauf zu nehmen.



Platin 3

Neuer Schwung mit alten Hasen

Peter Röbbke-Doerr

Der Lautsprechervertrieb IEM aus Welden genießt in der Selbstbaubranche den Ruf, mit einer zwar etwas altväterlichen, aber soliden Marktstrategie die mehr unflip-pig eingestellten Käuferschichten zu bedienen. Das hat beispielsweise den unbestreitbaren Vorteil, daß Modellreihen nicht jedes Jahr wechseln und daß man heute noch Ersatzchassis für die Bauanleitung vom letzten Boxenheft bekommt.

Trotzdem — nach einigen Jahren ist es dann soweit, einmal Neues vorzustellen. Erfreulich für uns, wenn dieses Neue dann tatsächlich besser ist als das Alte und wir dem Leser die nette Botschaft mitteilen dürfen.

Aus der neuen Modellreihe von IEM haben wir uns die 3-Wege-Version ausgesucht, die mit Baßreflexabstimmung betrieben wird.

Das Gehäuse ist ein Mittelding zwischen Regal- und Standbox und sollte auf jeden Fall für eine optimale Baßwiedergabe auf einem Sockel frei im Raum stehen. Die Abstimmung erfolgte nämlich für eine Aufstellung ohne die baßunterstützende Hilfe von Raumecken oder Fußböden auf eine Gesamtgüte von Chassis und Gehäuse von etwas über 1. Falls eine solche Box dann in einer Raumecke aufgestellt wird, könnte ein 'dröhniger' Eindruck entstehen. ►

Stückliste

Holz, 22 mm MDF
2 Stück 576 x 270 mm
2 Stück 576 x 256 mm
2 Stück 270 x 300 mm

Weiche:

2 Stück 4 mH
2 Stück 2 mH
1 Stück 0,4 mH
33 μ F
10 μ F
3 μ 3
2 μ 2
20R/5 W
2R2/5 W

Chassis:

Baß KW 200/1318
Mitten XM 110/518
Höhen ODT/19/6

Das Baßchassis KW-200-1318 hat einen Korbdurchmesser von 200 mm bei einem nutzbaren Membrandurchmesser von etwa 180 mm. Die beschichtete Papiermembran wird oben durch eine Gummisicke und unten durch eine Gewebespinne im Blechkorb geführt. Für die etwas ungewöhnliche Abstimmung des Gehäuses wurde eine leichte Resonanzüberhöhung im Baß für die 'Gestaltung' des Gesamtfrequenzgangs ausgenutzt.

Der Mitteltöner mit der Bezeichnung XM-110-518 ist eine Neuentwicklung von IEM. Es handelt sich um einen Konuslautsprecher mit beschichteter und weich aufgehängter Papiermembran, der mit einem speziell auf das Chassis abgestimmten Plastiktöpfchen geliefert wird; daher entfällt der meist etwas 'fummelige' Auf-

bau eines separaten Mitteltongehäuses. Der Korbdurchmesser beträgt 100 mm.

Beim Hochtöner handelt es sich wieder um einen alten IEM-Bekannten: Der Lautsprecher ODT-19/6 ist die seit Jahren immer wieder verbesserte 19 mm-Kalotte, die dem Klangbild die nötige Brillanz verleiht. Ein Streustern vor der Membran linearisiert den Frequenzgang und schützt das empfindliche Teil beispielsweise vor Kinderhänden.

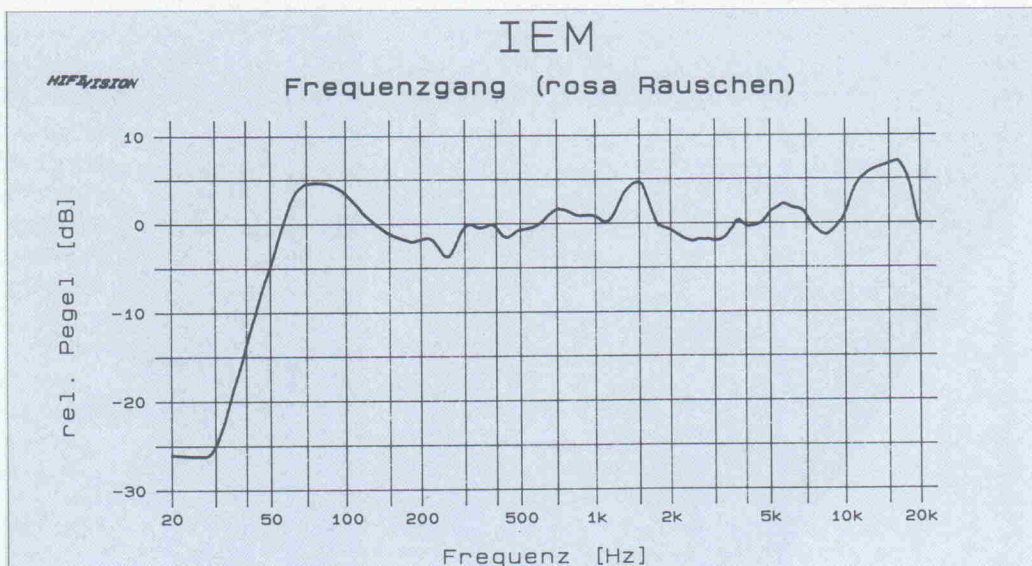
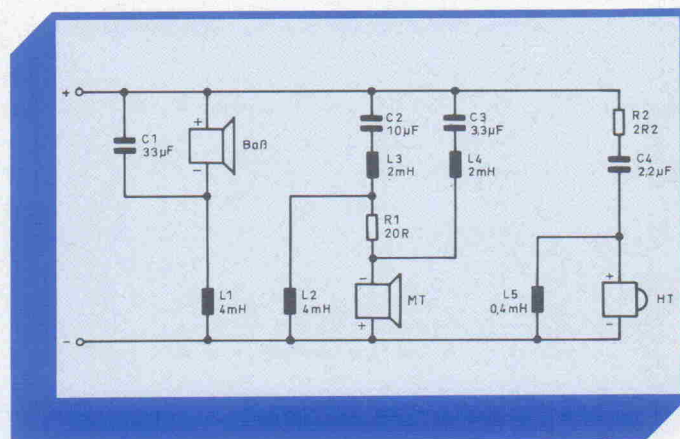
In der Weiche (rechts) steckt im 12 dB-Bandpaß für die Mitten doch einiger Entwicklungsaufwand.

Die leichte Anhebung im Baßbereich (unten) ist so gewollt und rührt von der Abstimmung des Reflexgehäuses her.

Die Weiche weist im Baßkanal (12 dB-Tiefpaß) und im Hochtonbereich (12 dB-Hochpaß) außer dem Pegelanpassungswiderstand R2 keine Besonderheiten auf. Im Mitteltongang steckt jedoch aufwendige Entwicklungsarbeit, wobei es sich aber — trotz einer gewissen Unübersichtlichkeit — um einen 12 dB-Bandpaß handelt. Aus dem Akustiklabor

von IEM hörten wir 'munkeln', daß an diesem Bandpaß eventuell noch Vereinfachungen geplant sind.

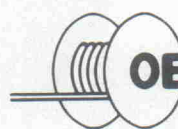
Nichts zu vereinfachen gibt es dagegen am Gehäuse: Sechs rechteckige Spanplatten, die winklig zusammengeleimt werden müssen, und fünf Löcher für Lautsprecher, Reflexrohr und Anschlußklemme. Etwas Fingerspitzengefühl verlangen



Bei Ihrem Fachhändler

Das könnte Ihren Boxen so passen!

Das ausgereifte Programm vom Spezialisten: ● Lautsprecher-Spezialkabel ● NF-Spezialkabel ● Kabelsets ● hochwertige Stecker + Buchsen ● Optoelektronik ● HiFi-Zubehör von A bis Z

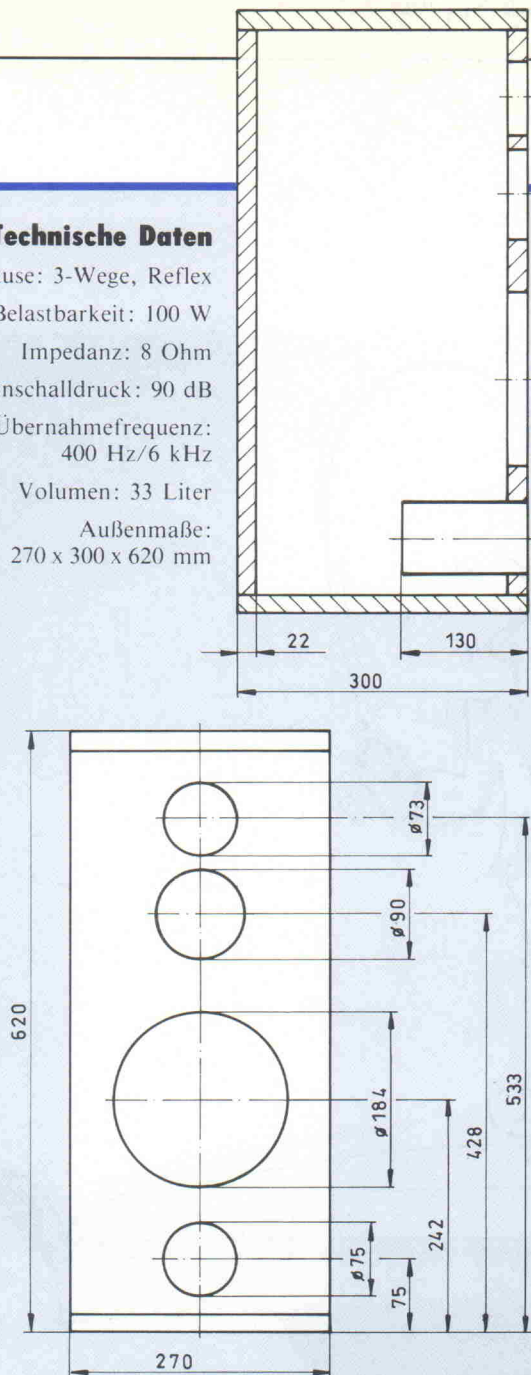


OEHLBACHKABEL

Carl-Benz-Straße 1 · 7513 Stutensee 3
Tel. 0 72 49/40 06 · Telefax 0 72 49/40 94
Produktinformationen erhalten Sie kostenlos von unserer Abteilung B1

Technische Daten

Gehäuse: 3-Wege, Reflex
 Belastbarkeit: 100 W
 Impedanz: 8 Ohm
 Kennschalldruck: 90 dB
 Übernahmefrequenz:
 400 Hz/6 kHz
 Volumen: 33 Liter
 Außenmaße:
 270 x 300 x 620 mm



die 45°-Schrägen, die auf unserem Foto zu sehen sind. Diese werden entweder nach dem Verleimen des Gehäuses mit der Kreissäge oder der Oberfräse angebracht. Wenn die Maschinen fehlen oder wer diese Schrägen für optische Spielereien hält, kann sie natürlich auch weglassen; unsere Zeichnungen sind auch 'ohne' dargestellt.

Unproblematisch ist auch die Gehäusedämpfung, die mit einer dünnen Lage Polyesterwatte (50 mm) auf allen Innenwänden — außer der Schallwand — ausgeführt wird. Sinnvollerweise sollte die Platine mit der Frequenzweiche unter dem Dämpfungsmaterial auf der Rückwand 'versteckt' werden.

Klang statt Ton

Natürlich sind subjektive Beurteilungen von Lautsprechern so eine Sache, geben Sie doch eher die Vorlieben oder Abneigungen des Beurteilers wieder. Doch bei aller gebotenen Vorsicht kann man sagen, daß die Platin 3 über ein ausgewogenes Klangbild verfügt, allerdings mit einer leichten Höhenbetonung, wie es eher von den jüngeren HiFi-Fans bevorzugt wird. Die Breiten- und Tiefenstaffelung des Stereobildes ist so wie sie sein soll; empfehlenswert ist aber eine sorgfältige Ausrichtung der Hochtöner auf den Hörplatz — diese Mühe lohnt besonders bei kritischen Wohnräumen.

Mc Farlow

professional speakers

hifi-line



neu
 endlich lieferbar
 ++ stop ++
 die brandneue,
 exclusive Serie
 - hifi-line -
 ++ stop ++
 von Mc Farlow
 ++ stop ++
 erhältlich nur im
 guten Fachhandel
 ++ stop ++

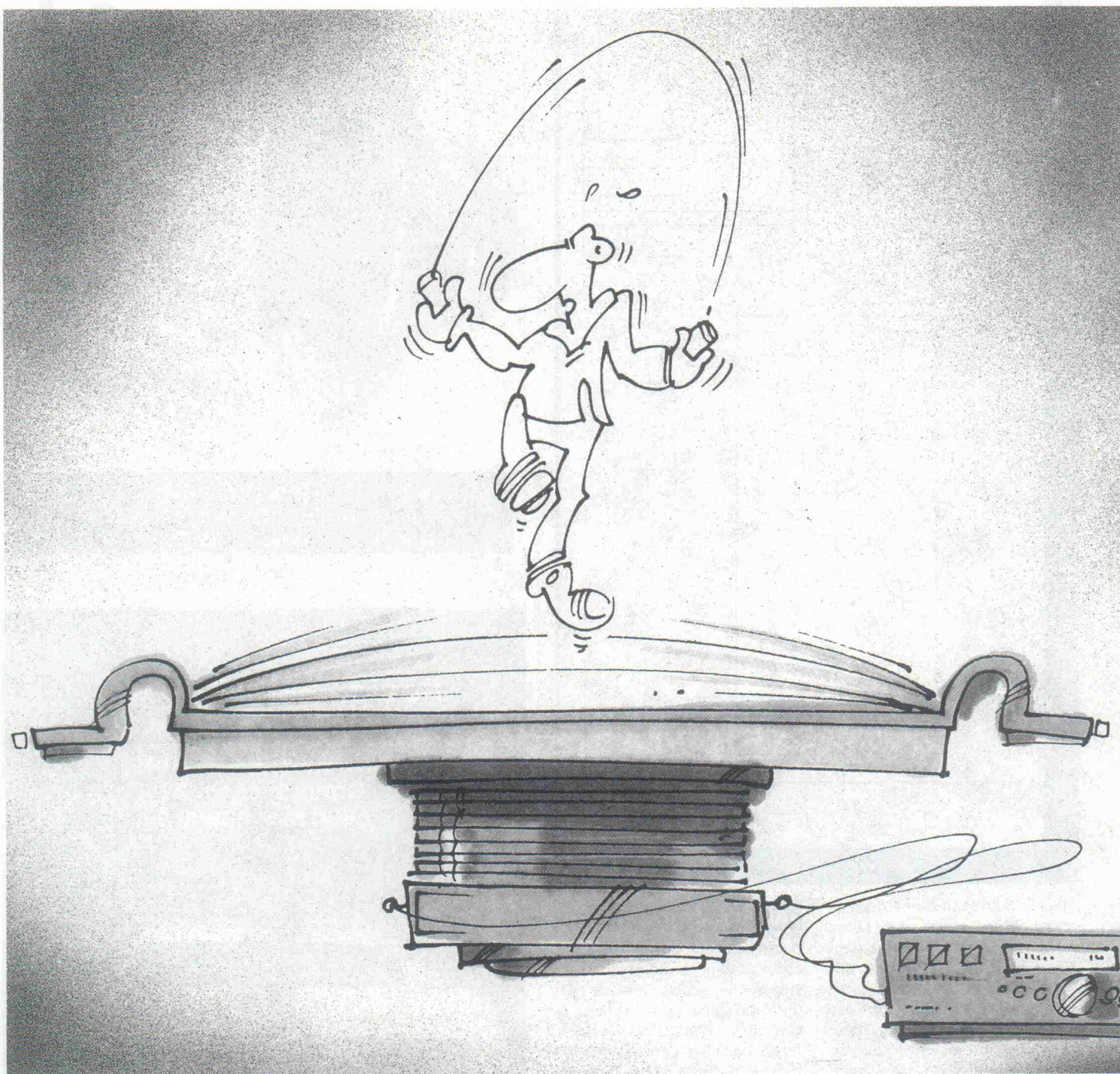
Im Vertrieb der: **Dr. Hubert GmbH**
 Im Westenfeld 22 · D-4630 Bochum 1
 Telefon 02 34/70 46 13 · Telefax 02 34/70 30 27

Power-Sound by H.S.

Katalog anfordern DM 5,-

H.S. Elektronik GmbH
 Cannabichstr. 22
 6800 Mannheim 1





Flachmembranen

Die platte Antwort für alle, die nicht
auf den Trichter kommen wollen

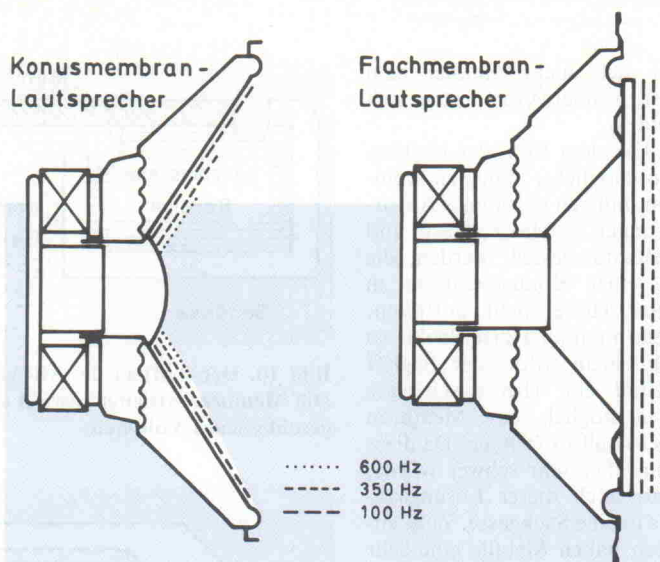


Bild 1. Konus und Flachmembran im Vergleich (links). Die bekannten Partialerschwingungen (unten, Bild 2) treten bei beiden Membranen auf.

Josef Tenbusch

Schon immer geisterte durch die interessierte Hifi-Gemeinde die Frage nach der richtigen Membran: Flach oder Konus?! Wie so oft gibt es auch hier nur ein glasklares 'Sowohl - als auch', das heißt, optimale Lösungen für den einen oder anderen Anwendungsfall.

Gehen wir doch einmal von der Theorie aus: Was soll eine flache Membran für Vorteile bringen (Bild 1)?

- Alle Frequenzen werden von der vollen Membranfläche abgestrahlt.
- Die gesamte Membran bewegt sich einheitlich, keine Phasenverschiebungen.
- Niedrigere Verzerrungen, da sich die Membranoberfläche kohärent bewegt.

Bild 3. Aufbruchstimmung: Oberhalb einer bestimmten Frequenz zeigt jeder Lautsprecher einen welligen Frequenzgang.

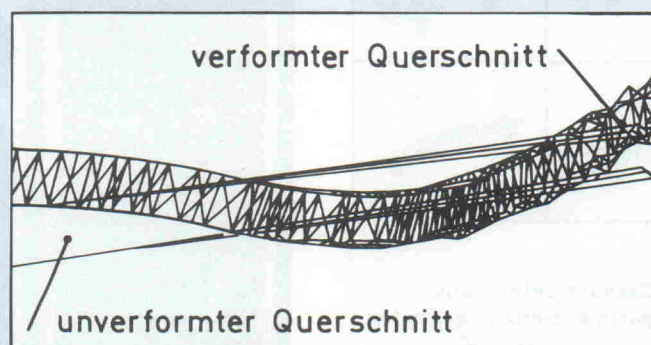
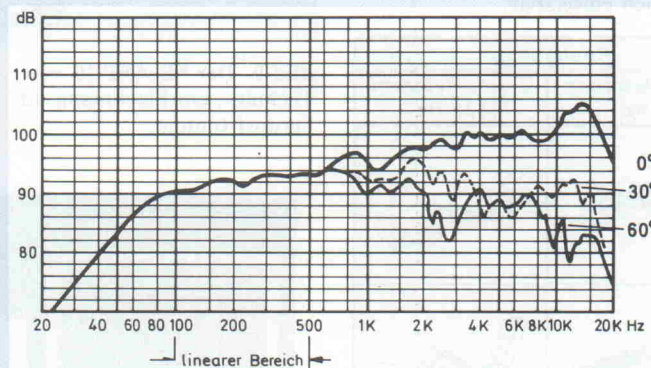
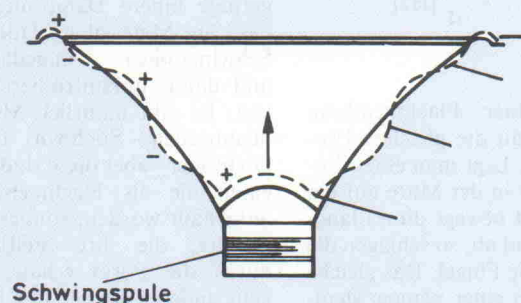


Bild 4. Wellenschlag tritt auch bei Flachmembranen auf, wenn sie nicht ausreichend hart sind (Bild oben).

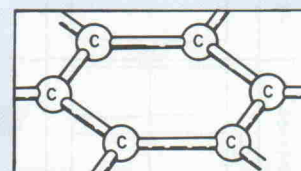


Bild 6. Polymere Kohlenstoffketten (oben) sollen für Härte sorgen. Unten (Bild 5) eine Tabelle unterschiedlicher Metalle, die für Membranen verwendet werden können.

Material	spezifisches Gewicht	Elastizitäts-Modul
Aluminium	2,7 kg/dm ³	6,1 · 10 ¹⁰ N/m ²
Magnesium	1,8 kg/dm ³	4,5 · 10 ¹⁰ N/m ²
Titan	4,5 kg/dm ³	11,6 · 10 ¹⁰ N/m ²
Bor	2,4 kg/dm ³	39,0 · 10 ¹⁰ N/m ²
Beryllium	1,8 kg/dm ³	25,0 · 10 ¹⁰ N/m ²

Doch wie so oft im Leben klappt eine Lücke zwischen Theorie und Praxis. Betrachten wir die Punkte einmal im einzelnen. Beim Konus schwingt die gesamte Membran nur in einem ganz bestimmten Frequenzbereich praktisch wie der ideale Kolben. Oberhalb dieser Frequenz (Bild 2) schalten sich einzelne Membrananteile einfach ab (im positiven Fall), oder sie schwingen genau ge-

gensätzlich. Verformungen der Membran werden Partial-schwingungen genannt und führen zu Klangverfärbungen. Nimmt man einen Frequenz-schrieb von einem beliebigen Chassis auf, so wird der lineare Teil bald von einem welligen Teil abgelöst (Bild 3), man sagt dann, daß die Membran an dieser Stelle 'aufbricht'. Als Regel gilt, daß einem Lautsprecher keine Frequenzen zugemutet werden sollten, deren Wellen-längen kleiner sind als der Membrandurchmesser.

$$f_{\max} = \frac{c}{d} \text{ [Hz]}$$

Bei einer Flachmembran treten genau die gleichen Probleme auf. Legt man einen Bogen Papier in der Mitte auf ein Lineal und bewegt dieses langsam auf und ab, so schlagen die Hälften wie Flügel. Das gleiche passiert bei einer planen Membran, wenn sie zentrisch angetrieben wird. Die Ränder bewe-

gen sich nicht parallel zum Rest, sondern verformen sich (Bild 4).

Um dem Ideal des Kolbens also möglichst nahe zu kommen, müssen bestimmte Anforderungen an Masse, Härte und Elastizität gestellt werden, die bei einer Konusmembran in dieser Höhe nicht auftreten. Wenn man an Härte denkt, so fällt einem sofort der Begriff 'Metall' ein. Theoretisch wäre es ja möglich, eine Membran aus Metall zu fertigen. Da diese dann aber sehr schwer würde, führt auch dieser Lösungsansatz in eine Sackgasse. Zum anderen haben Metalle eine sehr geringe innere Dämpfung, so daß im Material verlaufende Schwingungen ungedämpft und damit unkontrolliert wirken. Es gibt natürlich Metallmembranen - Stichwort Titan-hochtöner - aber diese sind zum einen nie als Flachmembran aufgebaut worden, sondern als Kalotte, die ihre Steifigkeit durch die Form erhält, und zum anderen immer nur in einem relativ engen Frequenzbereich einsetzbar.

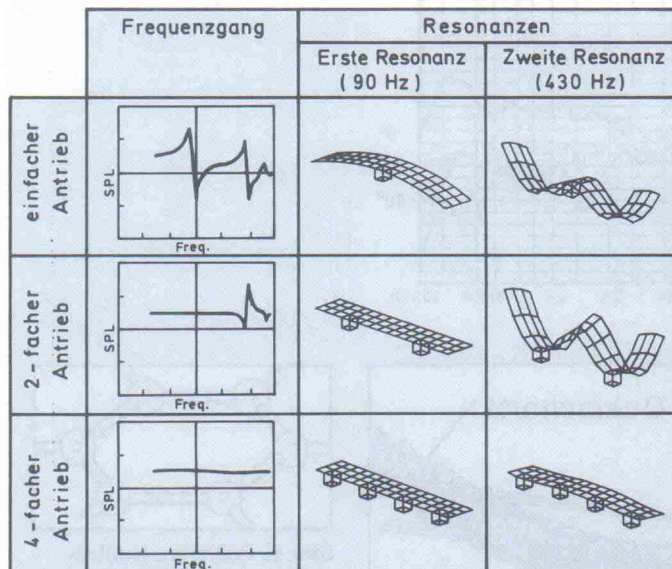
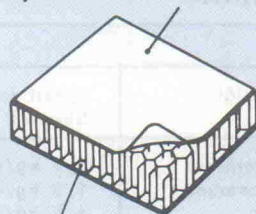


Bild 8. Mit Allradantrieb gegen Aufbruchstimmung. Vier Schwingspulen statt einer glätten den Frequenzgang.

Bild 7. Den Bienen über die Schulter geguckt: Wie so oft findet die Technik ihr Vorbild in der Natur.

Deckschichten aus polymerisiertem Kohlenstoff



Aluminium-Waben

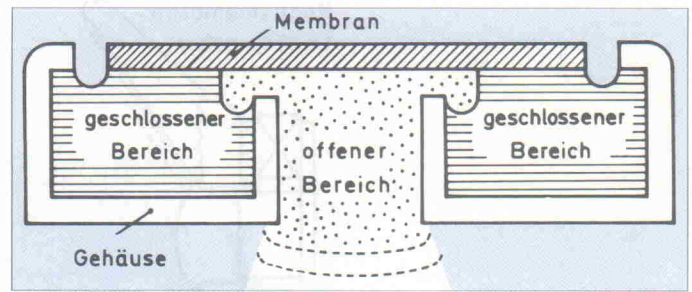


Bild 10. Der Aufbau des SB-AFP 10 von Technics: Die Membran arbeitet sowohl auf eine offenes als auch ein geschlossenes Volumen.

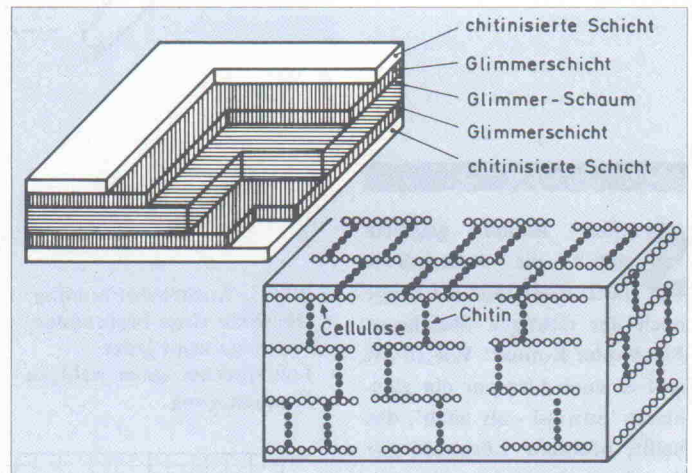


Bild 9. Der SB-AFP 10 von Technics, ein Flachmann aus Fernost (unten).

Bild 11. Der Membranaufbau in mehreren Schichten (oben)



Damit diese vier Antriebseinheiten auch wirklich gleichmäßig arbeiten, nur kleinste Verzögerungen würden schon zu einer Schiefstellung der Membran führen, müssen in der Fertigung die Einzelkomponenten exakt aufeinander abgestimmt werden. Dies ist natürlich mit einem größeren Kostenaufwand verbunden. Als Beispiel für einen wirklich interessanten Flachmembran-

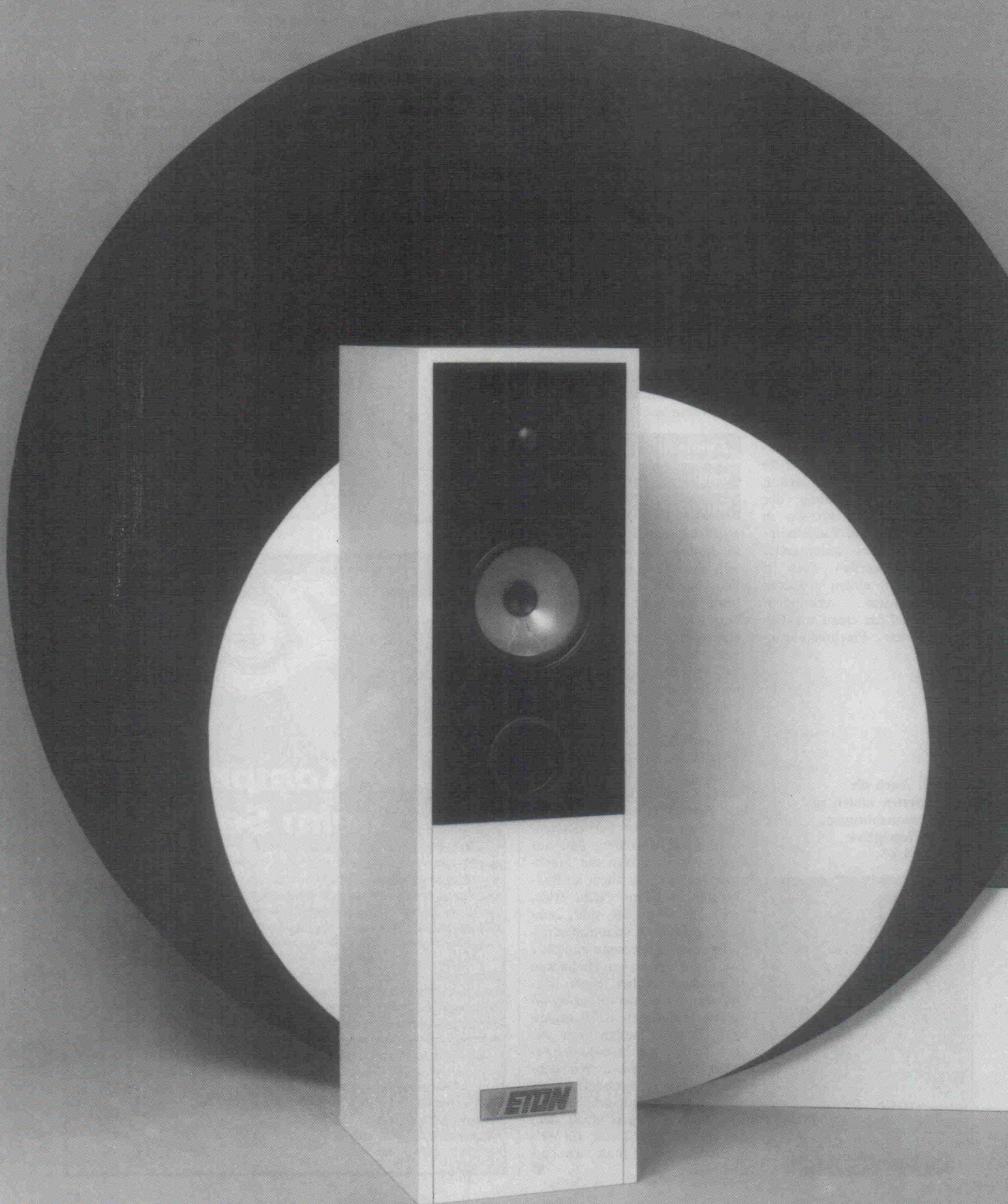
Bei der großflächigen Baßmembran wurde der Antrieb ebenfalls dezentralisiert und auf vier Treiber verteilt. Als Werkstoff für die Membran dient eine Spezial-Papiermischung (Bild 11), die durch Glimmerflocken (Mica) und einen chitinähnlichen Stoff verstärkt wurde.

Betrachtet man sich einmal das Angebot an Fertigboxen, wird man feststellen, daß nur ganz wenige Boxen mit Flachmembranen, vor allem im Baßbereich, arbeiten. Nicht etwa, weil sie schlechter sind, sondern weil der fertigungstechnische Aufwand wesentlich höher ist, als bei einem vergleichbaren Konuslautsprecher. Einen Mittelweg ist KEF bei ihrem inzwischen legendären B139 gegangen, der von außen zwar wie ein Flachmembran-Lautsprecher aussieht, aber in Wirklichkeit ein mit Schaumstoff aufgefüllter Konuslautsprecher ist. So bleibt es letztendlich dem Geldbeutel überlassen, für welche Alternative man sich entscheidet.

IEM Industrie Elektronik GmbH,
Postfach 40, 8901 Welden, Tel. 0 82 93/19 79

[illegible]

Eton



Die Entwicklung der Eton-Bausätze in den letzten Jahren ist sicherlich von unseren Lesern mit gemischten Gefühlen verfolgt worden. Auf der einen Seite konnten mit der Hexacone-Technologie völlig neue Qualitätsbereiche erschlossen werden, die dem Unternehmen auch den Weg auf den anspruchsvollen amerikanischen Markt geöffnet haben, auf der anderen Seite sind diese Produkte durch den getriebenen Entwicklungs- und Fertigungsaufwand aber auch preislich in der Spitzenklasse angesiedelt. Um so erstaunlicher mag es erscheinen, daß die Produktionskapazitäten im Hause Eton vollkommen mit den Hexacone-Chassis ausgelastet werden konnten.

Die Problematik der Produktgestaltung wird dann auch von Eton folgendermaßen auf den Punkt gebracht: 'Selbstverständlich gab es in unserem Hause bereits seit über einem Jahr Pläne für eine audiophile Lautsprecherlinie, die preislich unterhalb der Hexacone-Modelle angesiedelt werden sollte. Allerdings konnten die notwendigen Fertigungskapazitäten nicht schneller aufgebaut werden, so daß unausweichlich Liefer- und Serviceprobleme aufgetreten wären. Hierbei sollte berücksichtigt werden, daß die Problematik in der Produktionsausweitung vorrangig in der Ausbildung des Personals, der Entwicklung von Fertigungsprozessen und Erstellung neuer Werkzeuge besteht. Darüber hinaus bezie-

Eton Vita 10

**Die neue Linie mit
Polypropylen**

hen wir in diesem Jahr ein neues Gebäude, damit die geplanten Ziele endlich auch räumlich verkraftet werden können'.

Der Vorwärtsdrang bei Eton wird also auch in diesem Jahr nicht abreißen, was die elrad-Redaktion nach längerer Abstinenz endlich wieder in die Lage versetzt, einen Eton-Bausatz zu veröffentlichen. Es handelt sich um das erste Modell mit Polypropylenmembran. Konzeption und Verarbeitung auf der einen, der Preis auf der anderen Seite weckten sofort unser Interesse, und so feiert die Eton Vita 10 in diesem Sonderheft Premiere. Immerhin ist dieser Lautsprecher mit einem Stückpreis von DM 300,— (Komplettbausatz) um DM 100,— günstiger als das Hexacone-Schwestermodell Veloce 110. Beide Boxen stellen 2-Wege-Konstruktionen mit 17 cm-Baßmitteltönen dar. Wie bei allen Eton-Komplettbausätzen üblich, umfaßt der Lieferumfang neben den Chassis fertig aufgebaute Frequenzweichen mit bereits angelöteten dicken Kabeln aus OFC-Kupfer, vergoldeten Anschlußbuchsen, Bedienungsanleitung und Kleinmaterial wie Schrauben und Einschlaggewinde. Für die Frequenzweiche kommen nur hochwertige Luftspulen und Kondensatoren zum Einsatz. Lediglich die Spezial-Kondensatoren Eton Caps konnten in der Kalkulation nicht mehr untergebracht werden. Ein 'Upgrading' stellt allerdings für den Interessenten kein Problem dar. Bezüglich der Produktionsqualität legt man bei Eton Wert auf die Tatsache, daß hierin kein Unterschied hinsichtlich der teureren Hexacone-Treiber besteht. Der Preisvorteil kommt ausschließlich durch günstigere Materialien (Membran), vereinfachte Fertigungsverfahren und größere Stückzahlen zustande.

Der Schrieb deutet es an; klassische Musik kommt mit dieser Box besonders gut.

Weder auf Aluminium-Druckguß-Körbe noch auf Flachdrahtspulen muß hier verzichtet werden.

Historisches

Die Abstimmung des Lautsprechers wurde auch im Fall der Vita 10 mit der gleichen Sorgfalt vorgenommen wie die der Hexacone-Linie. Eton umschreibt das Entwicklungsziel folgendermaßen: 'Wir haben uns die Aufgabe gestellt, einen audiophilen 2-Wege-Lautsprecher zu realisieren, der es auch mit fertigen Edel-Konstruktionen aufnehmen kann. Wir mußten also auch bei dem neuen Modell auf besondere Membranen zurückgreifen. Nach einigen Untersuchungen kam nur noch Polypropylen in Frage, auf das wir trotz der schwierigen Verarbeitung in der Produktion nicht verzichten woll-

ten. Darüberhinaus sollte der neue Lautsprecher einen ausgewogenen Impedanzverlauf und guten Wirkungsgrad aufweisen, damit sich die erwarteten Ergebnisse auch mit normalen Vollverstärkern einstellen. Wir halten es für unrealistisch, Boxen zu bauen, die nur mit solchen Anlagen gut klingen, die sich niemand leisten kann oder will'.

Nun aber endlich zum Lautsprecher selbst: Die äußere Erscheinung ähnelt natürlich stark der Veloce 110, das heißt,

auch hier handelt es sich um einen Standlautsprecher mit eingebautem Sockel zur Entkopplung vom Boden (s. auch Baulplan). Wer hierdurch Platzprobleme bekommt, kann den Lautsprecher natürlich in seiner Höhe beschneiden und auf den Sockel verzichten.

Die Form selbst, mit den angeschrägten Seitenwänden, kann inzwischen wohl als klassisch bezeichnet werden, zumal sie allorts kopiert wird (was bei Eton durchaus als positiv gesehen wird). Die aktuellen Eton-Gehäuse zeigen eine elegante, neue Variante: Die Seite ist jetzt keilförmig angeschrägt. Wir haben bei unseren Mustergehäusen und bei unseren Zeichnungen allerdings darauf verzichtet, da die Herstellung einer solchen Verzierung den Heimwerker doch vor erheblichen Problemen stellt.

Im Hörraum kamen wir mit der Vita 10 schnell zurecht. Ein geringer Abstand zu den

Der ohmsche Widerstand von L1 sollte eingehalten werden, da er mit in die Baßreflex-Abstimmung eingeht.

Stückliste

Chassis

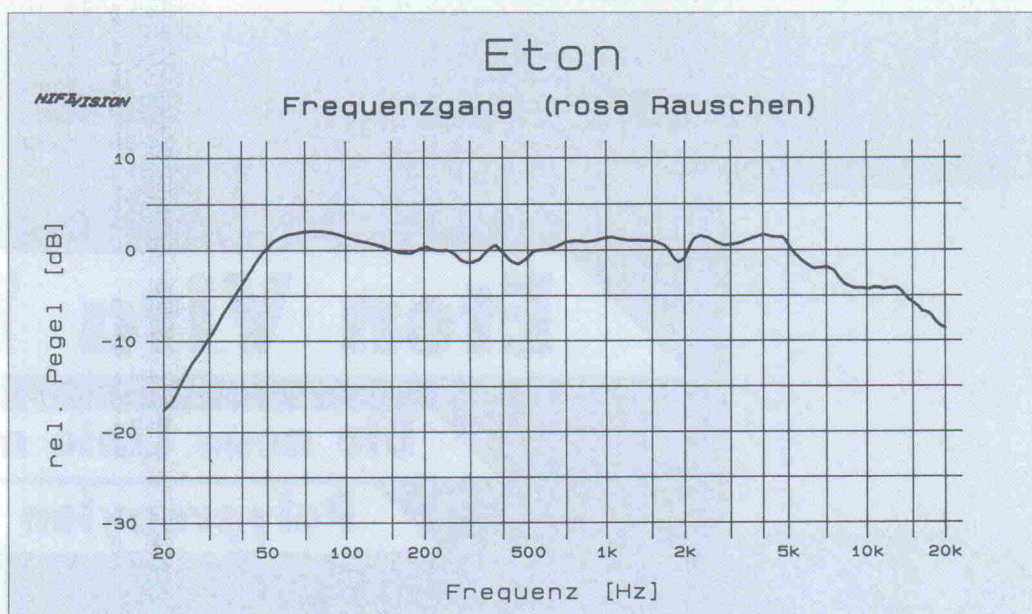
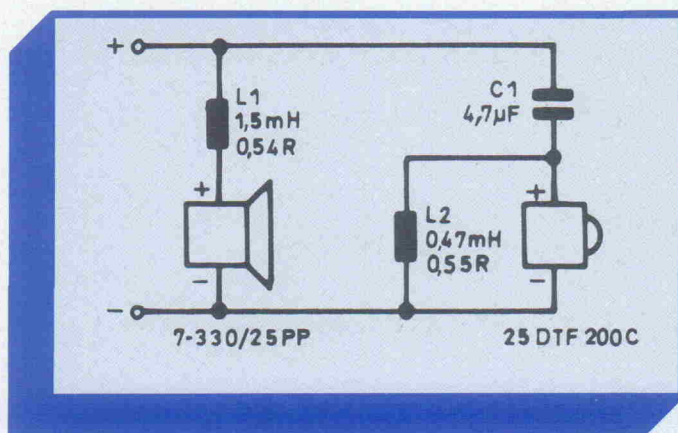
Tieftöner 7-330/25 pp
Hochtöner 25 DTF 200 C

Weiche

L1 1,5 mH/
Luftspule 0,54R
L2 0,4 mH/
Luftspule 0,55R
C1 4µ7/MKT

Holz

Fertiggehäuse oder 19 mm-Spanplatte nach Zeichnung



Raumwänden und leichte Ausrichtung auf den Hörplatz genügen, um auch für klassische Musik eine gute Wiedergabe — übrigens ohne die übliche deutsche 'Badewannen-Abstimmung' — zu erreichen.

Holz und Leim

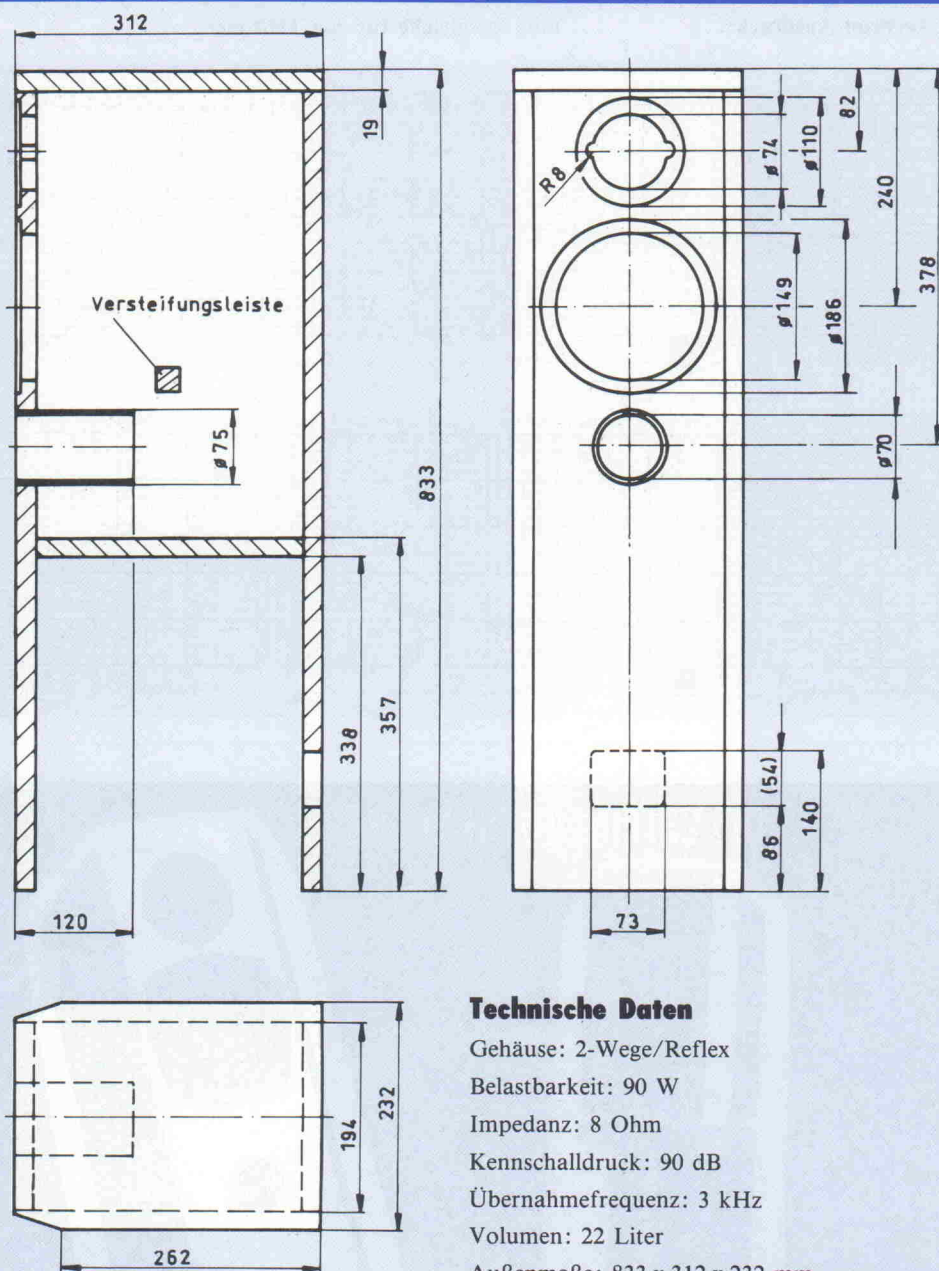
Das neue Eton-Gehäuse mit den angeschrägten Seitenteilen ist eigentlich ganz einfach aufzubauen. Trotzdem gibt es fertige Leergehäuse mit (fast) allen gewünschten Oberflächen sowie fertig zugeschnittene Gehäusebausätze mit unbehandel-

ter Oberfläche zu kaufen. Wer sich die Gehäuse selbst baut, benötigt wohl keine Anleitung mehr, wo bei einer Spax-Schraube vorn und hinten ist. Trotzdem wollen wir einige Sätze zum Zusammenbau und der entsprechenden, einzuhaltenen Reihenfolge verlieren.

Wichtig ist, daß die Gehäuse dicht sind und die Lautsprecheranordnung eingehalten wird. Als erstes wird die Frequenzweiche in den hohlen Standfuß eingeschraubt; hier ist übrigens soviel Platz vorgesehen, daß später auch einmal eine Aktiv-Elektronik Raum

finden könnte. Die Zuleitungskabel führt man durch Löcher, die dann mit Holzleim wieder abgedichtet werden.

Das Lautsprechergehäuse wird an allen Innenseiten, mit Ausnahme der Schallwand, mit Pritex-Matten belegt. Diese können mit einem Teppichmesser auf die vorgegebenen Größen zugeschnitten werden. Dazu führt man den Schnitt an der ebenen (nicht genoppten) Rückseite aus. Nun werden die Rückseiten mit Leim eingestrichen und die Matten eingeklebt. Damit die Lautsprecherchassis im Bedarfsfall leicht



Technische Daten

Gehäuse: 2-Wege/Reflex

Belastbarkeit: 90 W

Impedanz: 8 Ohm

Kennschalldruck: 90 dB

Übernahmefrequenz: 3 kHz

Volumen: 22 Liter

Außenmaße: 833 x 312 x 232 mm

**KLANG
FARBE**
bekennen!

Unsere
Testsiegerparade

AUDAX

WEST GERMANY

VISATON

HECO TopCom

ETON®

FIDIBUS®

CELESTION
INTERNATIONAL

WHD

Selbstbau-Lautsprecher

HÖRSTUDIO

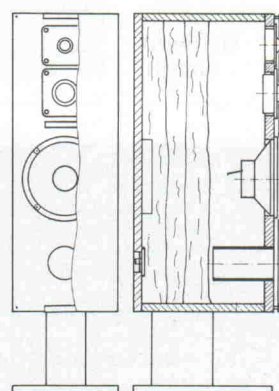
S 6, 37 · 6800 Mannheim 1
Tel. 06 21 141 43

FRAGEN SIE BEI HIFI-SPEZIALISTEN
NACH

SIPE

BAUVORSCHLAG

SBR 200



LAUTSPRECHER FÜR DEN PROFI

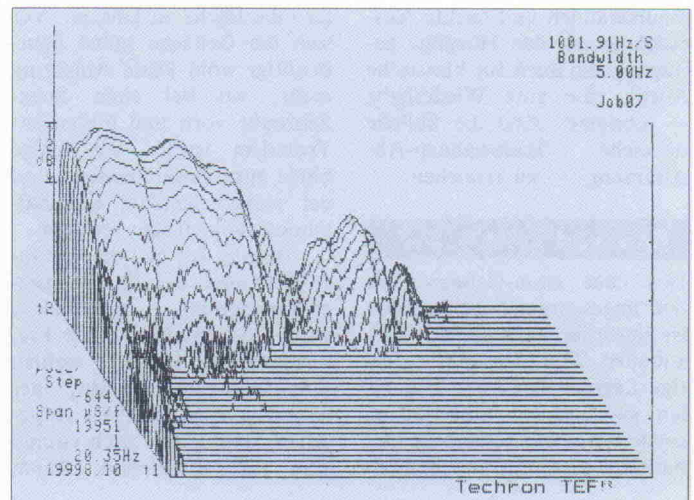
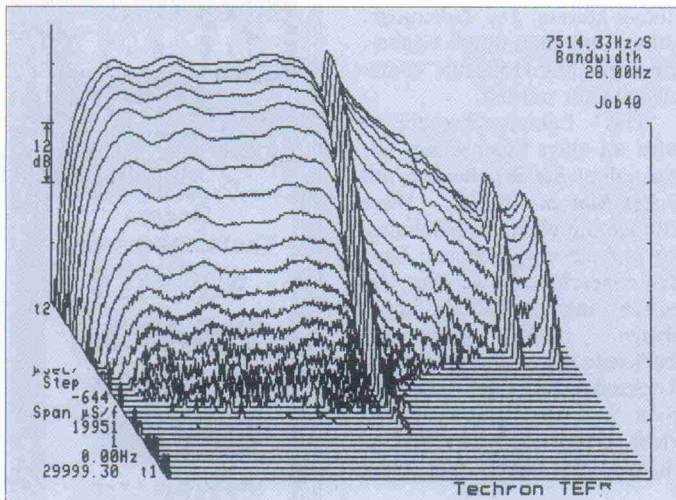
- INDUSTRIE
- SELBSTBAU
- AUTO-HIFI
- MUSIKER

NEUER KATALOG DM 2,- BRIEFM.

WBE

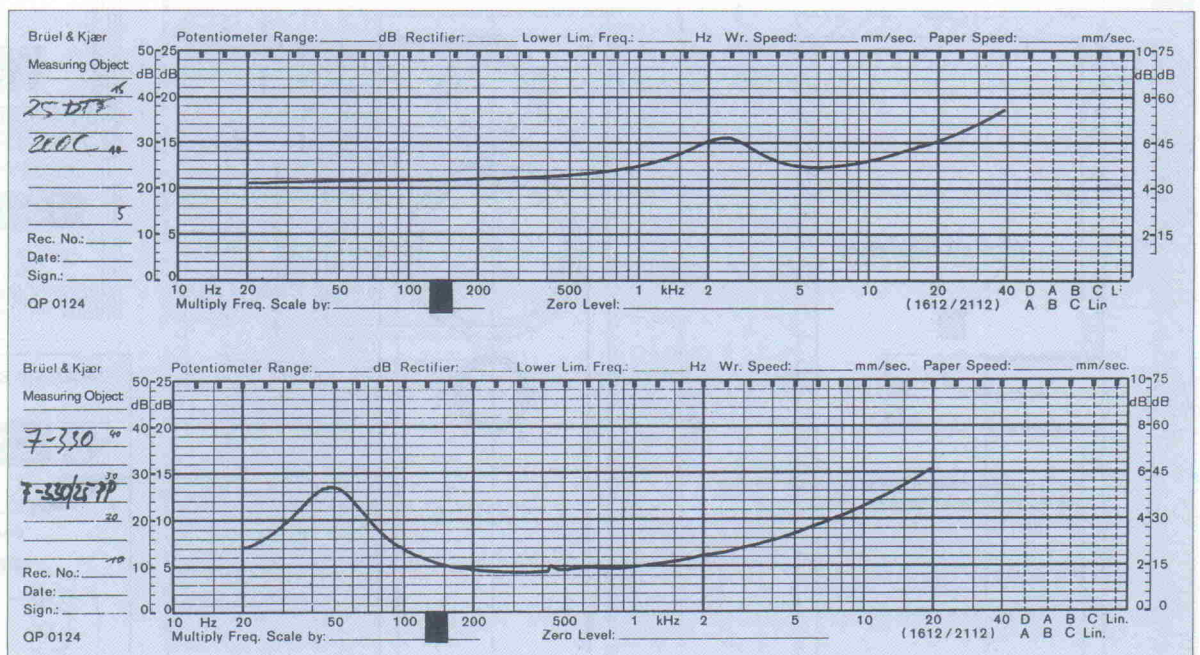
WIRTH ELEKTRONIK GMBH

POSTFACH 10C348 3004 ISERNHAGEN 1
TELEFON 05 11/81 00 74 TELEX 921 148



FFT-Darstellung des Hochtöners als Techron-Ausdruck ...

... und das gleiche für den Tieftöner.



Impedanzgang des Hochtöners (oben) und des Tieftöners (unten).

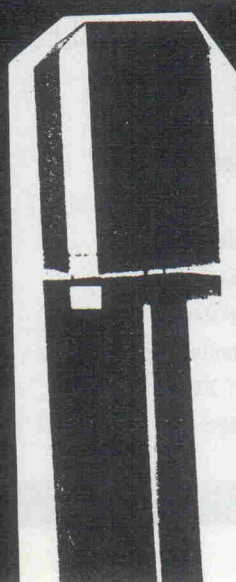
ZU HÖREN BEI:

OPEN AIR · Rentzelstraße 34
2000 Hamburg · Telefon: 0 40 / 44 58 10
BLUE BOX · Langemarkstraße 232
2800 Bremen · Telefon: 04 21 / 50 64 95
KLEIN ABER FEIN · Tonhallenstraße 49
4100 Duisburg · Telefon: 02 03 / 2 98 98
AUDIO DESIGN · Kurfürstenstraße 53
4300 Essen · Telefon: 02 01 / 27 74 27
HIFISOUND · Jüdefelderstraße 35
4400 Münster · Telefon: 02 51 / 4 78 28
AB · SOUNDTECHNIK · Kamekestraße 2-8
5000 Köln 1 · Telefon: 02 21 / 56 16 93
KLANGPYRAMIDE · Karlsgraben 35
5100 Aachen · Telefon: 02 41 / 3 52 06
AB · SOUNDTECHNIK · Maxstraße 36
5300 Bonn 1 · Telefon: 02 28 / 65 28 87
PINK NOISE · Morianstraße 32
5600 Wuppertal-Elberfeld · Telefon: 02 02 / 44 34 76
MEMBRAN · Kreuzstraße 21
7500 Karlsruhe · Telefon: 07 21 / 66 10 68
NF-LADEN · Bergmannstraße 3
8000 München · Telefon: 0 89 / 5 02 40 91
FLSV · Michael Munk · Innere Löwenstraße 6
8600 Bamberg · Telefon: 09 51 / 6 69 85

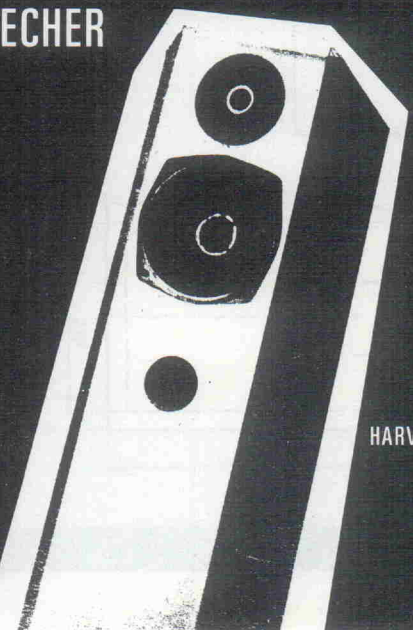
VERTRIEB:

AB · SOUNDTECHNIK · Adrian Bankewitz · Kamekestraße 2-8
5000 Köln 1 · Telefon: 02 21 / 56 16 93 · Fax 02 21 / 56 24 23

DIE CHITINLAUTSPRECHER



MARVIN



HARVEY

ausgebaut werden können, werden Einschlaggewinde und Inbusschrauben verwendet. Man legt die Chassis in die vorgesehenen Ausfräsungen, um die exakte Position für die Schraubenlöcher festzulegen. Nun wird die Inbusschraube auf einer Unterlegscheibe durch das Loch gesteckt und das Einschlaggewinde von innen — mit den Krallen nach oben — aufgeschraubt. Sobald die Krallen Kontakt mit der Schallwand bekommen, sollten Sie die Schraube mit Hilfe des Inbusschlüssels anziehen und hinterher wieder herausdrehen.

Vor dem Einbau der Chassis lötet man die — ausreichend langen — Anschlußkabel an die Lautsprecher und achtet dabei auf die korrekte Polung. Neben dem Zusammenbau der Lautsprecher ist deren Aufstellung im Raum von entscheidender Bedeutung für das Klangverhalten. So können Baß- und Höhenwiedergabe sowie Räumlichkeitsabbildung sehr unterschiedlich ausfallen. Eton empfiehlt den Einsatz von Spikes, die die Baß- und Mitteltonpräzision gleichermaßen verbessern sollen. Obwohl Spikes den Teppichboden durchbohren, hinterlassen sie keine sichtbaren Schäden. In speziellen Fällen soll man selbst abwägen, ob auf den Einsatz der Nägel verzichtet werden kann (z.B. bei Parkettböden oder wertvollen Teppichen).

Aufstellung

Die zweite wichtige Komponente für die Baßwiedergabe ist der Abstand der Lautsprecher zu den Zimmerwänden. Dieser sollte ca. 50 cm nicht unterschreiten, wobei eine freiere Aufstellung in Einzelfällen weitere Vorteile bringen kann. Auf jeden Fall ist es sinnvoll, die Boxen in Richtung der langen Raumseite aufzustellen. Ist erst einmal eine einwandfreie Grundposition gefunden, so können die Lautsprecher in der Anwinkelung variiert werden. Während bei einer starken Ausrichtung auf den Hörplatz die Räumlichkeit in der Tiefenstaffelung gewinnt, wird bei gerader Aufstellung die räumliche Breite verbessert. Eine pauschale Empfehlung können wir Ihnen hier leider nicht geben, da diese Faktoren stark von den individuellen Umständen

(Anlage, Raum, Hörgeschmack) abhängig sind.

Tuning

Lautsprechertuning bzw. Weichentuning sind in letzter Zeit recht beliebt geworden. Daher wollen wir an dieser Stelle auf solche 'Verbesserungen' eingehen. Ein Lautsprecherchassis kann nur das Signal verarbeiten, das ihm zugeführt wird. Daher sind gewisse Ansprüche auch an Weichen und Kabelverbindungen zu stellen. Man verwende daher im Signalweg grundsätzlich Bauteile angemessener Qualität.

In sehr wenigen Einzelfällen, nämlich dann, wenn Sie Ihren Lautsprecher an einem Spitzenverstärker betreiben, kann überhaupt eine Verbesserung der Baßpräzision durch Austausch der Induktivität vor dem Tiefmitteltöner (im Schaltplan L1) erreicht werden. In diesem Fall bitten wir Sie, folgende Punkte zu berücksichtigen, um eine Fehlinvestition zu vermeiden:

- Induktivitäten beginnen bei einer bestimmten zugeführten Verstärkerleistung durch Kernsättigung zu verzerren. Dieses gilt nicht (oder jedenfalls nur sehr eingeschränkt) für die von Eton eingesetzte Luftspule, da konstruktiv bedingt kein Kern vorhanden ist. Für dieses Kriterium kann also keine Verbesserung erreicht werden.

- Induktivitäten weisen als zweites wesentliches Qualitätsmerkmal einen Gleichstromwiderstand auf. Je kleiner dieser Widerstand ausfällt, um so besser kann der Verstärker das Chassis kontrollieren.

- Der Widerstand der Induktivität geht aber in die Berechnung von Gehäuse und Reflex-tunnel ein. Falls Sie die Spule austauschen, muß also auch der Tunnel abgeglichen werden, da Sie anderenfalls durch eine Fehlabbastimmung mit größerem finanziellen Aufwand ein schlechteres Ergebnis erzielen würden.

- Eine Induktivität, die eine Verbesserung gegenüber dem Originalteil sicherstellen soll, ist sehr teuer. Sie sollten selbst abwägen, ob in Ihrem Fall eine Verbesserung überhaupt möglich ist und ob Sie bereit sind, den entsprechenden Aufpreis zu zahlen.

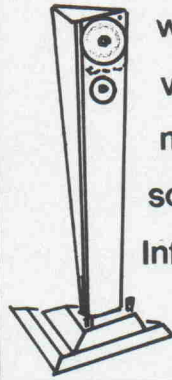
Lautsprecher für Leute, die hören wollen,

was gespielt wird!

von: SEAS, PEERLESS, VIFA,

mit: Selbstbau- u. Fertigboxen

sowie: Zubehör u. MDF Zuschnitt



Info gibt's von
stübinger sonderham 3
8380 Landau
09951/6797

elrad

ist ein Fachmagazin für
praktische Elektronik
und Schaltungstechnik.

Know-how-Transfer jeden
Monat.

Erhältlich bei Ihrem Zeit-
schriftenhändler oder
beim Verlag.



Verlag Heinz Heise
GmbH & Co KG
Helstorfer Str. 7
3000 Hannover 61

Lautsprecher-
Bausätze und
hochwertiges
Zubehör

im Schnellversand

Fordern Sie unseren
aktuellen, kostenlosen
Gesamtkatalog an.
Postkarte genügt!

Service: Thiele-Small-
Parameterrmessung und
Computer-Gehäuse-
berechnung

Super: Aktiv-Frequenz-
weichen und - Sub-
woofer, Endstufen im
Bausatz-
Set

hifisound
Lautsprechervertrieb

hifisc
Bestell-l

Jüdefelderstr. 52
4400 Münster
Tel. 0251-47828

Ihr Spezialist
für
Boxen-Bausätze

Wir führen Lautsprecher
der Marken

EV	DYNAUDIO
VIFA	VISATON
CRAFFT	SEAS
CELESTION	ETON
uvm.	JBL

Rufen Sie uns an oder
kommen Sie vorbei.
Fachgerechte Beratung
und bester Service sind
für uns selbstverständlich.

06152 **KKSL** 39615
KKSL · Beschallungstechnik,
Otto-Wels-Str. 1, 6080 Groß-Gerau

»Die
Kombination«
macht's

Wir kombinieren
Lautsprecher
von

Focal	Morel
Vifa	Scan-Speak
Dynaudio	TDL
Seas	Peerless

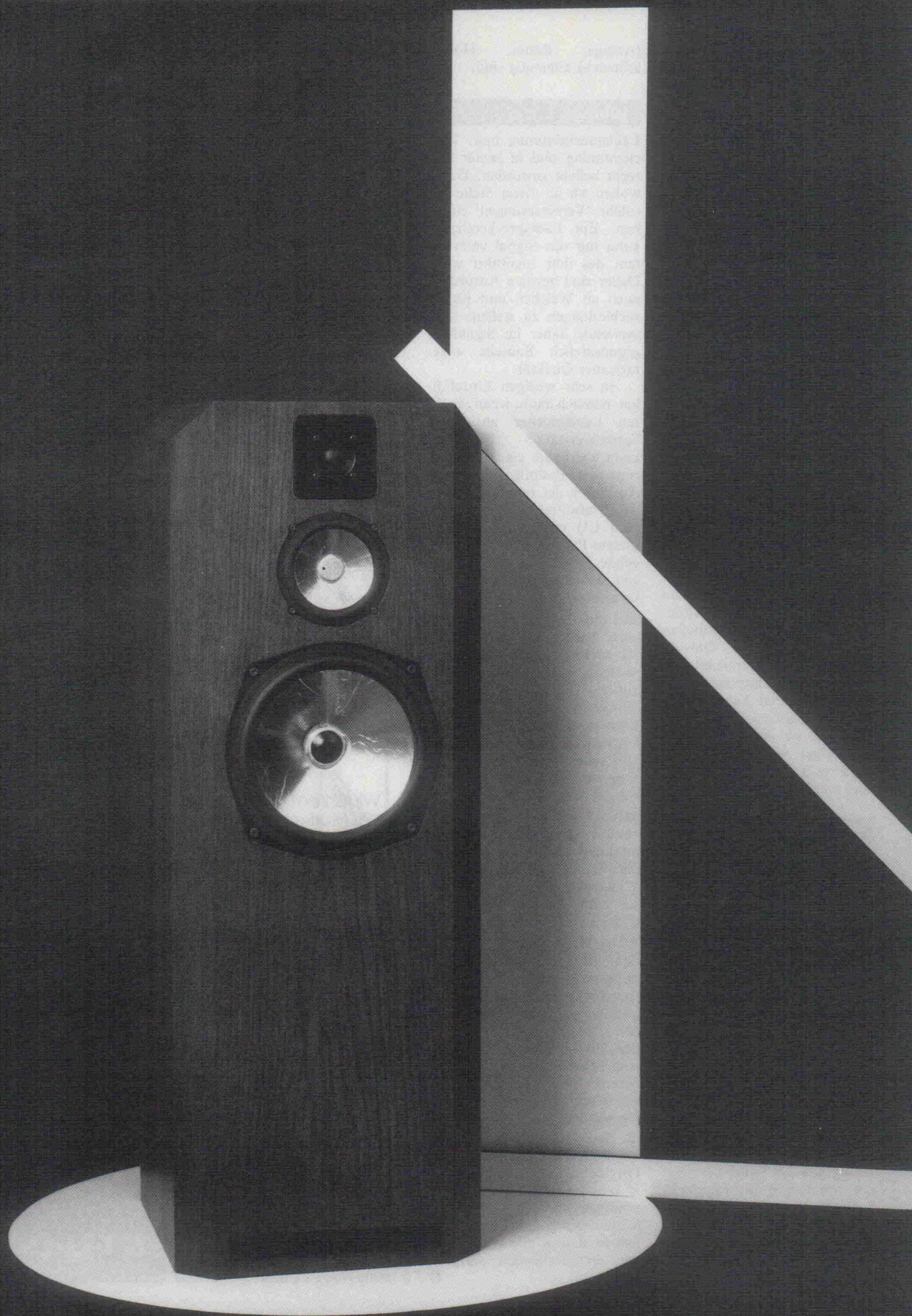
mit
Audio-Komponenten
von

Audiolabor	NAD
Rotel	Mission
Naim	Monitor PC
Phonosophie-Thorens	

und
viele mehr
in unseren 3-Wohn-
raum-Studios

HIFI & LAUTSPRECHER
S.T.U.D.I.O.
7410 Reutlingen · Metzgerstr. 45 · ☎ (07121) 340522

Görlich/KEF



Silberpfeil

Händlerkombination mit Görlich-Chassis und KEF-Hochtöner

Gores/Szlosze

Die Dialog II ist eine recht imposante 3-Wege-Box. Sie ist für die Aufstellung in größeren Räumen konzipiert und sollte, um ihre klanglichen Vorzüge voll auszunutzen zu können, möglichst frei im Raum aufgestellt werden. Ist dies nicht zu realisieren, so empfiehlt es sich, die Boxen auf Möbelrollen zu stellen und die Anschlußleitungen etwas länger vorzusehen. Man erhält mit dieser Maßnahme die nötige Flexibilität, die Boxen bei Bedarf in die richtige Position zu bringen.

Ebenso wie bei der Dialog I prägen die verwendeten Chassis vom 'Lautsprecherbau Görlich' das Klangbild dieser Box. In der Dialog II befinden sich gleich zwei Görlich-Systeme, die sich den Mitteltonbereich von 400-2000 Hz und den Tieftonbereich unterhalb 400 Hz teilen. Wir entschieden uns für den Einsatz dieser Chassis, weil gerade die dynamischen Anforderungen an die Hifi-Anlagen seit der Einführung digitaler

Aufnahme- und Wiedergabegeräte enorm gestiegen sind und meistens die Lautsprecher, die ja bekanntlich das Ende der Übertragungskette bilden, daran Schuld sind, daß der neue CD-Spieler die Hifi-Anlage klanglich nicht aufwerten kann.

Kenner der Hifi-Szene sind die Chassis sicherlich seit geraumer Zeit bekannt. Den Lesern, die diese Systeme jedoch noch nicht oder nur vom Hörensagen kennen, möchten wir an dieser Stelle die konstruktiven Besonderheiten der Görlich-Lautsprecher darstellen: Auffälligstes Merkmal ist sicherlich die silberglänzende Membran, die auch für die hervorragenden Wiedergabeeigenschaften dieser Systeme verantwortlich ist. Ihr Hauptbestandteil ist der hinter der silbernen Alufolie befindliche Hartschaum. Er verleiht dem Lautsprecher durch seine geringe Masse (spezifisches Gewicht $0,1 \text{ g/cm}^3$) und seine sehr hohe Festigkeit enorm gute Impulseigenschaften. Dies wirkt sich außerdem auch positiv auf den Klirrfaktor der Görlich-Chassis aus. Er liegt im Übertragungsbereich der Systeme unter 1% bei Schallpegeln von 100 dB.

Hörbar werden die eben geschilderten Vorzüge zum einen in einem überdurchschnittlichen Auflösungsvermögen bei komplexem Musikmaterial und zum anderen in einer besonders guten Fähigkeit Dynamiksprünge zu reproduzieren.

Als Fazit der vorhergehenden Beschreibung könnte man die Görlich-Systeme auch als 'Silberpfeile' unter den Lautsprechern bezeichnen, da sie sich nicht nur durch ihr Äußeres, sondern auch durch ihre Impulsschnelligkeit von den üblichen Systemen unterscheiden.

Um den Hochtonbereich würdig zu vertreten, erwies sich der neue Kalottenhochtöner T33B aus der 'audiophile Series' des renommierten Lautsprecherherstellers KEF als besonders gut geeignet. Hatte dieser doch schon in der Dialog I seine enormen Qualitäten unter Beweis gestellt.

Der Frequenzweiche muß bei Verwendung solcher hochwertiger Systeme besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Im Falle der Dialog II wurden die Filter genauestens auf die Parameter der verwendeten Chassis zugeschnitten. Selbstverständlich wurde auch

auf die Qualität der Einzelbauteile geachtet. Es werden hier im Signalweg ausschließlich verlustarme Folienkondensatoren und Luftspulen mit angemessenen Drahtquerschnitten eingesetzt.

Um das Äußere einer Box dieser Größe attraktiv zu gestalten, haben wir einige 'Fasen' am Gehäuse vorgesehen. Wem die Schrägen an der Gehäuseoberseite mißfallen, der kann diese auch weglassen. An der Vorderseite der Box sollte die Breite der Frontplatte beibehalten werden, da bei einer Verbreiterung die reflektierende Fläche vergrößert wird und somit das Klangbild der Box verfälscht werden kann.

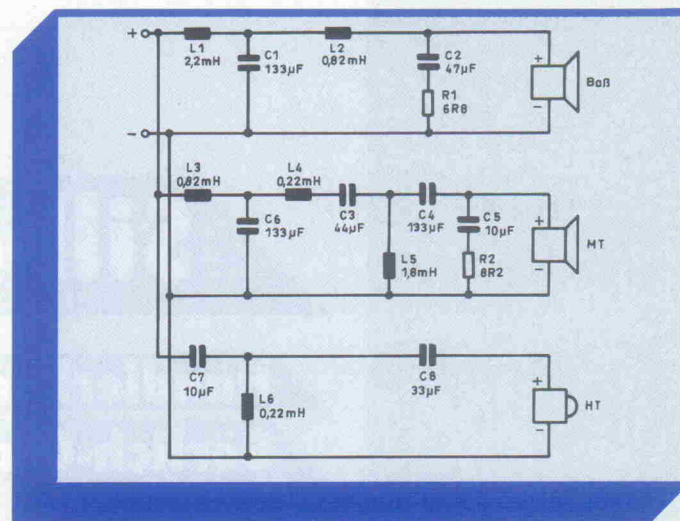
Der Musikliebhaber, der wegen mangelnder Möglichkeiten einen Gehäusebau nicht realisieren kann, sollte auf vorgefertigte Gehäuse bis zum lackierten oder furnierten Rohgehäuse zurückgreifen, die vom Entwickler angeboten werden. Für die 'Self-made Frauen und Männer' unter den HiFi-Freunden folgt nun die detaillierte Baubeschreibung der Dialog II.

Stückliste

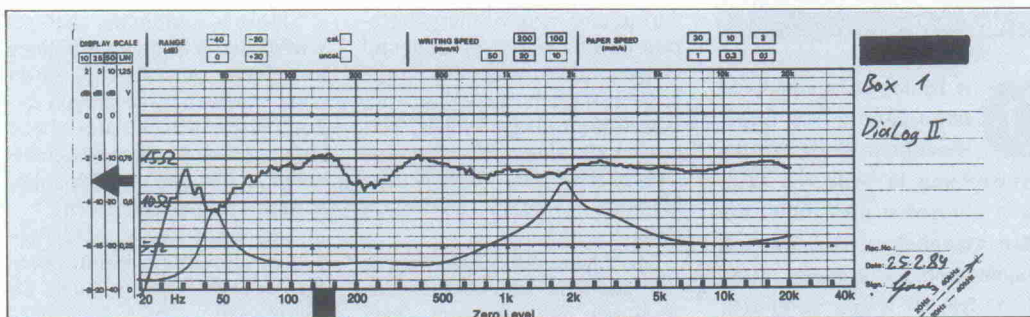
Spannplatte 19 mm	
Front	1000 x 321
Seiten	1000 x 383
Deckel	364 x 321
Rückwand	981 x 321
Boden	345 x 321
Tunnel	288 x 110
Tunnel	31 x 110
MT Kammer	120 x 140
MT Kammer	120 x 160
MT Kammer	160 x 160
MT Kammer	165 x 160
Stabilisator	345 x 321
Reflektor	385 x 290
Vierkantleisten	30 x 30

L1	2,2 mH
L2,3	0,82 mH
L4,6	0,22 mH
L5	1,8 mH
C1,4,6	133 µF
C2	47 µF
C3	44 µF
C5,7	10 µF
C8	33 µF
Tieftöner	Görlich 245/37/8 S
Mitteltöner	Görlich 130/25/8 N
Hochtöner	KEF T33 B

Die Frequenzweiche ist als steifflankiges 18 dB/Okt-Filter ausgeführt, dadurch bedingt findet man einige „zusammengestückelte“ Kondensatorwerte.



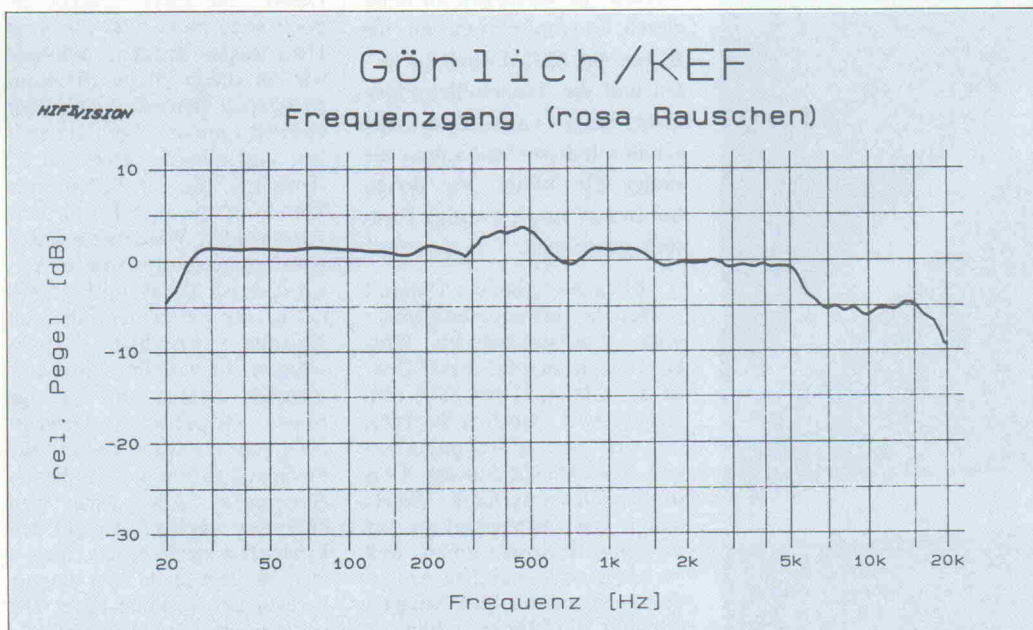
von ca. 150 mm in die Platten geschraubt werden. Diese Maßnahme erhöht die Stabilität der Box und ermöglicht ein zügiges Arbeiten, ohne daß gewartet werden muß, bis der Leim getrocknet ist. In den entstandenen Korpus der Dialog II sind jetzt die beiden längeren Vierkantleisten (962x30x30 mm) in die Winkel zwischen Frontplatte und Seitenteile einzuleimen. Anschließend werden die kürzeren

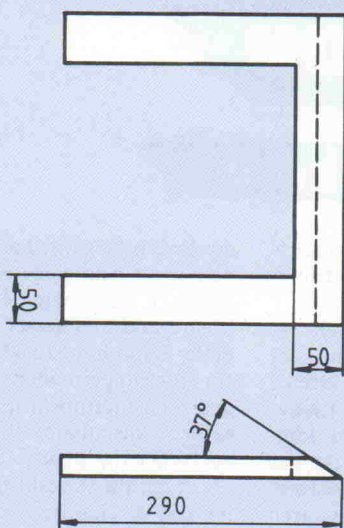
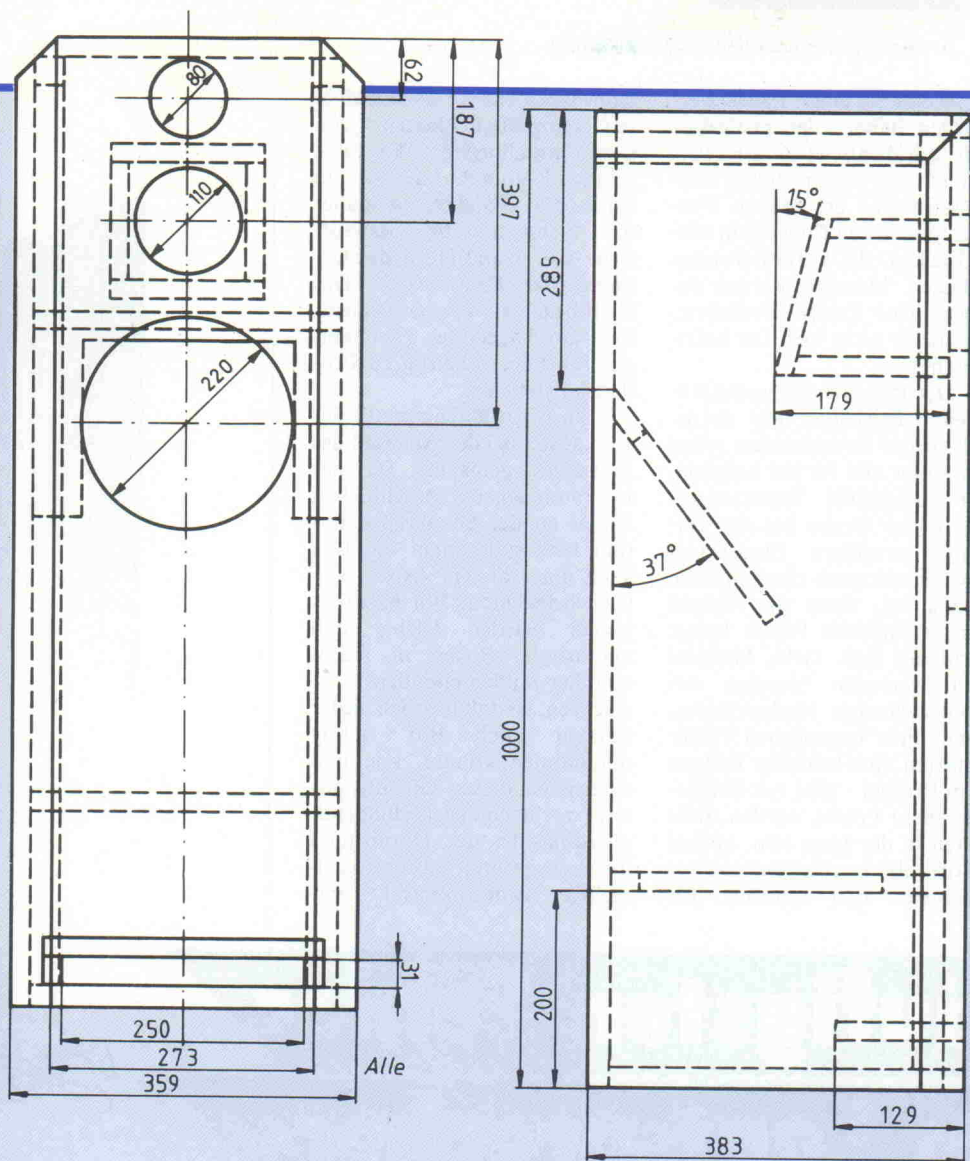


Der Impedanzschieb (links) zeigt Maximalwerte bei 12 Ohm und Minimumwerte bei 3 Ohm. Was durch die Schalldruckkurve (unten) nicht dargestellt werden kann, ist die Impulstreue und saubere Stereoabbildung der Kombination.

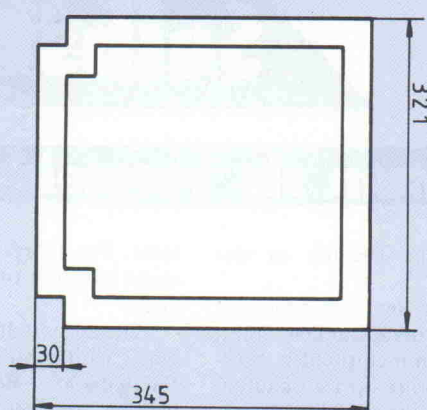
Zusammenbau der Dialog II

Nachdem Sie sich die maßgenau zugeschnittenen Holzteile von Ihrem Schreiner oder Baumarkt abgeholt haben, geht es nun an den Aufbau der Gehäuse. Zuerst sortieren wir uns die Frontplatte, den Deckel und das Bodenbrett heraus. Diese drei Teile leimen wir zu einem U-förmigen Gebilde zusammen. Hierbei können handelsübliche Winkelschraubzwinge ein nützliches Hilfsmittel sein. Nun montieren wir an das U-förmige Gebilde die Seitenteile. Um einen gleichmäßigen Anpreßdruck auf die zusammengeleimten Stellen zu erhalten, können Spaxschrauben (4 x 35 mm) in einem Abstand





Etwas Erfahrung im Holzbau ist nötig, wenn dieses Gehäuse nachgebaut werden soll.



Technische Daten

Gehäuse: 3-Wege Reflex
 Belastbarkeit: 80 W
 Impedanz: 4 Ohm
 Kennschalldruck: 89 dB
 Übernahmefrequenz: 400 Hz/2 kHz
 Volumen: 100 Liter
 Außenmaße: 359 x 383 x 1000 mm

Vierkantleisten (315x30x30 mm) in die Winkel zwischen Deckel und Seitenteilen eingeklebt. Dem nun entstandenen Rohling kann jetzt erst einmal eine Trockenpause gegönnt werden.

Als nächster Bestandteil der Dialog II wird nun die Mitteltonkammer in Angriff genommen. Hierzu nehmen wir den Deckel, den Boden und die Seitenteile der MT-Kammer und leimen diese vier Teile zu dem im Bauplan ersichtlichen Quadrat zusammen. Anschließend zeichnen wir den 15°-Winkel an den Rohling an und sägen die Auflagefläche der Rückwand ab. Dies sollte möglichst sorgfältig geschehen, da die MT-Kammer 100 % luftdicht sein muß. Nun bringen wir die Rückwand der MT-Kammer auf Maß, indem wir die Ober- und Unterkante ebenfalls um 15° anschrägen. Jetzt können wir die Rückwand mit den anderen Teilen der MT-Kammer verbinden. Als nächsten Arbeitsgang leimen wir die Teile, die den Reflextunnel bilden, zu einem U zusammen.

Holzarbeiten und Dämpfung

Das Zurichten des Reflektors und des Stabilisators ist nun an der Reihe. Zunächst schrägen wir die Oberkante des Reflektors um 37° an. Danach wird die Aussparung ausgesägt. Am Stabilisator werden als erstes die Ecken ausgesägt, in denen sich später die Vierkantleisten der Frontplatte befinden. Anschließend wird der Ausschnitt aus der Brettmitte herausgetrennt. Jetzt können aus der Frontplatte der Box die Löcher für die Lautsprecherchassis und die Öffnung des Reflextunnels gesägt werden.

Der Noppenschaumstoff wird nun an den Seitenwänden, dem Deckel, der Front (unterhalb des Baßlautsprechers) und an der Rückwand befestigt. Mit dem Einbau der Rückwand wird das Gehäuse geschlossen. Die 45°-Schrägen an den Außenkanten der Box läßt man am besten bei einem Schreiner auf der großen Tischkreissäge schneiden. In den abzusägenden Kanten dürfen sich aber keine Schrauben oder Nägel befinden (vor dem Schließen des Gehäuses auch die Vierkantleisten in der Box von Schrauben befreien!), da sonst die Säge beschädigt wird!

R. Hormann

Wie bei allen schöpferisch produktiven Arbeiten gilt auch beim Boxenbau der altbekannte Spruch: 'Wer arbeitet macht Fehler, wer viel arbeitet macht viele Fehler und wer keinen Fehler macht...'

Diese Erkenntnis ist zwar im Wesen so alt wie die Arbeit selbst, aber doch beim passionierten Lautsprecher-Selbstbauer nicht mehr so zutreffend, wie noch in den Anfängen der 'Made for self'-Lautsprecher. Seit jener Zeit, als Selbstbauboxen hoffähig wurden, lief in der Szene eine Entwicklung ab, die den schöpferischen Akt des Selbstbaus mehr und mehr zum 'Schraubenstündchen' und dem Hobbykonstrukteur vielleicht gerade noch bei der Farbauswahl seines Gehäuses einen Freiraum gestattete.

Wenn Sie einen Bausatz erworben haben, der professionell durchentwickelt ist, verknüpfen Sie sich jegliche 'Verbesserungen' bei diesem Projekt. Nur selten findet man echte Lücken, die Verbesserungen zulassen. Meistens werden dagegen neue Fehler produziert, die später nicht mehr zu korrigieren sind.

Der Reiz für den hochkarätigen Selbsterbauer liegt natürlich in der Kombination selbst gewählter und für gut befundener audiophiler Tonerzeuger. Für dieses Genre hat der eingangs erwähnte Sinnspruch aber immer noch eine immense Bedeutung, denn die Anzahl der begangenen Fehler kostet nicht nur Zeit, Geld, Material und wertvolle Stunden des wohlverdienten Nachschlafes, nein, diese begangenen Fehler schaffen eine kritische Distanz zum Projekt - eine Art Haßliebe. Diese Freaks werden nicht selten in der Lage sein, andere 'Hörfaule' zu missionieren, sie kritischer und sensibler für

bausatzes steht vor allen kleineren Unzulänglichkeiten, von denen anschließend die Rede sein wird. Vom Anfang bis zum Ende des Projektes ist daher die fachmännische 'Bauaufsicht' das A und O für das Gelingen des Bauobjektes. Das Nichtbeachten von gutgemeinten Ratschlägen des Fachmannes führt recht häufig zu Produktionsfehlern.

Ein oft praktizierter Fehler wird schon bei der Auswahl des Bausatzes gemacht. Da der Hörraum einen beträchtlichen Anteil an der Schallreproduktion hat, sollte man die Box auch unter diesem Aspekt kritisch beleuchten. Wir haben es immer wieder erlebt, daß mannshohe Boxen in Dachkammer-Studentenbuden wuchsen, so daß letztlich weder Student noch Box richtig durchatmen konnte. Hin und wieder ist dieser Gigantismus zwar recht eindruckschindend, allerdings ist der Hörabstand meist so gering, daß ein regelrechter Kopfhörereffekt ent-

Die häufigsten Fehler beim Lautsprecher- Selbstbau

und wie man sie vermeiden kann

All denjenigen Boxenbauern, die sich am Sonntagmorgen aufmachen den Bauplan zu studieren, können wir nur eines raten: Lesen Sie gründlich und sorgfältig, wenn es viel zu lesen gibt.

Setzen Sie dann die Bauanleitung möglichst 1:1 am Objekt in die Tat um. Am Abend werden Sie höchstwahrscheinlich den audiophilen Klängen Ihrer eigenen Selbstbaubox lauschen können - fehlerlos selbstverständlich. Alle die 'Boxenbauer', die kein 'Risiko' eingehen wollen, sollten solche zerlegten Fertigboxen aufbauen und Musik hören.

hochkarätige Technik zu machen.

Jedem, der sich ernsthaft mit Selbstbaugedanken trägt, kann man nur empfehlen, Software und Hardware dort zu kaufen, wo man etwas von der Materie versteht, wo nicht nur rosarote verpackte Komplettbausätze über die Ladentheke geschoben werden. Oder anders ausgedrückt: Die Software vom Freund oder Kollegen, die Hardware aus Taiwan und die Bauwut auf dem heimischen Küchentisch führen nicht selten zu Frust und Enttäuschung.

Dieser Kardinalfehler bei der Beschaffung eines Boxen-

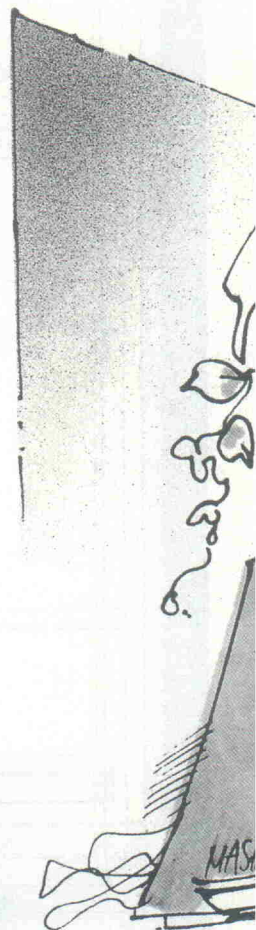
steht. Für Hörer mit Konzertsaalserfahrung oft unbefriedigend.

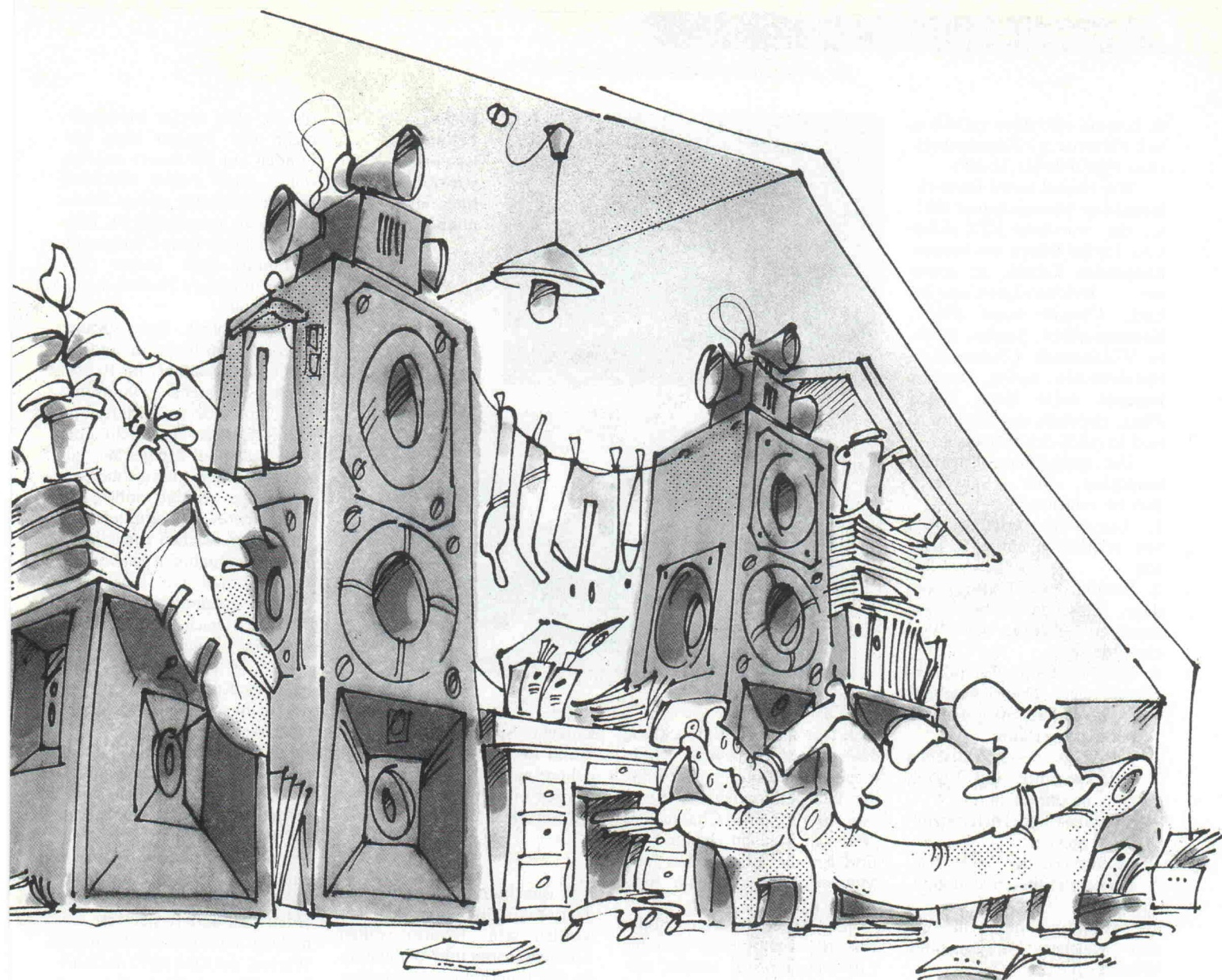
Genauso fehlangepaßt ist eine 3-Liter-Minibox in der 'Wohnhalle'. Beide Extreme werden eine natürliche Klangbalance nicht herstellen können. Ebenso unsinnig ist der Betrieb eines oder mehrerer 38er im Automobil, denn durch das kleine Luftvolumen des Innenraumes entsteht eine zweite Druckkammer vor der Lautsprechermembran. Die Folge ist ein Bandpaßlautsprecher mit zusätzlicher Hochpaßfunktion.

Eine Faustregel (die sich in

der Praxis bewährt hat) besagt, daß pro Quadratmeter Raumfläche 1 Zentimeter effektiver Membrandurchmesser bei normaler Raumhöhe (2,40-2,70 m) für eine einigermaßen ausgewogene Grundtonwärme sorgen sollte. Ausnahmen bestätigen auch hier die Regel.

Auch die Anzahl der Wege ist viel zu häufig ein starkes Auswahlkriterium. Letztlich bietet die echte 3-Wege-Box nur dann Vorteile, wenn ausschließlich laut gehört wird. In 90% aller Lautsprecherbetriebsstunden wird jedoch mit Leistungen unter 1 Watt und Pegeln unter 80 dB gehört. Da





her gilt besonders für Einsteiger: Weniger kann manchmal auch mehr sein. Auf jeden Fall gibt es beim 3-Wegerich drei Einschwingvorgänge und beim Zweitakter nur zwei zeitlich verschobene Einschwingperioden. Ideal wäre ein einziger Einschwingvorgang für ein Schallereignis. Zwar gibt es solche Lautsprecher, nur haben auch sie einige Nachteile:

1. der Preis
2. der Realismus ist nicht jedermanns Sache.

Wenn schon ein 2-Wege-System, dann taucht häufig die Frage auf, Baßreflexgehäuse oder geschlossene Version. Auch hier muß, wie schon vorher erwähnt, die 90%-Hörsituation mit herangezogen werden. Im Kleinsignalfall hat die geschlossene, günstig abgestimmte Box leichte Vorteile in der Impulswiedergabe; dieser Vorteil wandelt sich mit wach-

senden Pegeln zu Gunsten der Reflexbox und noch mehr zu hochpaßgefilterten Reflexboxen, da verringerter Membranhub zu weniger Intermodulation führt.

Die Ausführung und Anordnung des Reflaxtunnels ist immer noch ein harter Diskussionspunkt für Reflaxanhänger. Die Röhren für Druckausgleich findet man vorn, hinten, oben und unten, seitlich, dicht oder weit entfernt neben der Baßmembran, versteckt, gestopft, verteilt auf 4 Ecken, mit Strohhalm gefüllt, mit 90-Grad-Bögen umgelenkt und mit Membranen bestückt, länglich, eckig, rund, sich verjüngend und sich erweiternd, poliert, aus Kunststoff, Holz und Pappe. Sie funktionieren alle mehr oder weniger gut, wenn man Chassis, Box und Abstimmung so berechnet, daß der Baß an der richtigen Stelle un-

terstützt wird. Nach diesem Allgemein-Platz aber konkret: Röhre sollten verwendet werden für den Baß im echten 3-Wege-Bereich, wenn f_c kleiner ist als 250 Hz; Passivmembranen sind dagegen vorteilhafter bei 2-Wege-Systemen.

Gehäuseresonanzen aufgrund von Stehwellen findet man bei üblichen Abmessungen zwischen 200...1000 Hz. Da diese nicht nach draußen gelangen sollen, gibt es etwa drei Maßnahmen:

- Trennfrequenz unter 200 Hz
- dicke Doppelmembran als Passiv-Mitschwinger
- geschlossene Box.

Eine der besten Anordnungen ist der schmale, korbumlaufende Reflaxschlitz ganz nahe der Membran - leider ist er aber auch am schwierigsten zu realisieren.

Fehler die beim Entwurf von Reflaxanordnungen häufig gemacht werden:

- zu lange oder zu kurze Röhre
- zu dünne Tunnel
- dünnwandige, mitschwingende Papp- oder Kunststoff-Röhren
- schlecht zum Gehäuse abgedichtete und nicht abgestützte Röhre.

Blech-, Ofen- und Abflußrohre sind wegen Materialresonanzen oder Reflexionen weniger geeignet, ebenso dünnhäutige, schwabbelnde, einfachtzentrierte, butterweiche Passivmembranen, die ihre Zusatzmasse falsch platziert haben. Mit solchen Kardinalfehlern einhergehend ist die Verwendung von unbekannten Chassis ohne Datenblatt für den Bastler ein hoher Risikopunkt, da ein brauchbarer Klang nur in 5% aller Fälle durch Zufall zustan-

de kommt. (Genauso verhält es sich übrigens mit Standardweichen 800/3000 Hz, 12 dB.)

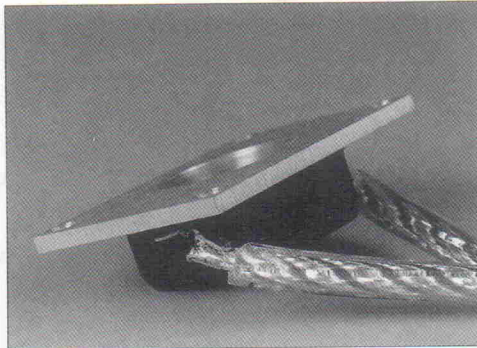
Wer einmal in ein Entwicklungslabor hineinschauen durfte, der wunderte sich sicher über fertige Boxen mit heraushängenden Kabeln, an denen ein Weichen-Igel-Ungetüm hing. Überall lagen Pläne, Kondensatoren, Spulen, Drähte, Widerstände, Lötzinn, Kaffeetassen usw. herum. Die Box dagegen hatte ihren festen Platz, ebenfalls das Meßmikro und letztlich der Hörsessel.

Der angenäherte Entwicklungsgang einer High-Tech-Box ist folgender:

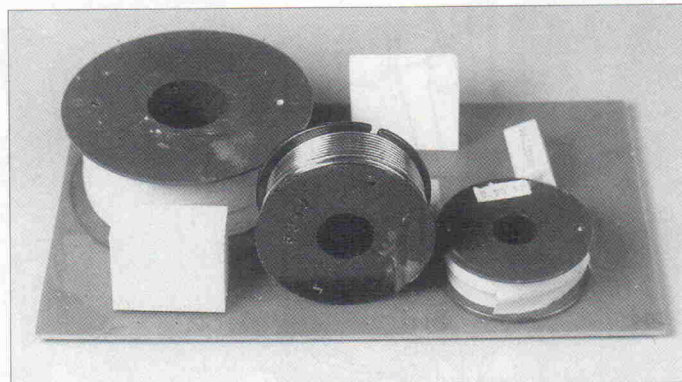
1. Lautsprechersysteme messen, selektieren und evtl. paaren.
2. Schalldruckverläufe, Impedanz, Phasengang usw. in angepaßten Gehäusen ohne Weichen messen.
3. Wiederholtes Messen mit angeschlossenen Theorieweichen:
 - stundenlanges Modifizieren der Filterverläufe
 - Anpassen des akustischen Druckverlaufes der Einzelsysteme untereinander.
 - Summen- und Differenzbildung messen
 - Impulsverhalten mit Tonbursts simulieren und optimieren.
4. Box 'mono' hören mit immer gleichen, ausgesuchten Musikstücken.
5. Boxen 'Stereo' hören
6. Erneutes Messen und Modifizieren.
7. Musik hören
8. Boxen- bzw. Mikrofonstandortscharen aufnehmen und wenn nötig, weitere Weichenkorrekturen.
9. Wieder Messungen, akustische und elektrische Kurven normieren.
10. ...nach vielen Tagen und Nächten sich entschließen, die Box nun für 'fertig' zu erklären.
11. Genaue Unterlagen zur Reproduktion der Bauteile und Daten erstellen, und Entwicklungsmuster als Master aufbewahren.

Dieser angenäherte Entwicklungsverlauf dürfte jedem klar werden lassen, daß eine 0/8/15- Weiche eines mit Sicherheit kann: Dem Lautsprecherchassis mitsamt Konstruktion zu einem schlechten Ruf zu verhelfen.

Da die Weiche das Gehirn einer Box ist, sollte der Kon-



Dicke Leitungen lassen sich schwieriger lötten als dünne.



strukteur für diese Entwicklung auch seines gebrauchen. Rein mechanisch sollte sich der Platz der Weiche möglichst weit weg von Lautsprecher-Chassis am besten im eigenen Gehäuse befinden, um Vibrationen und Mikrofoneffekte von ihr fernzuhalten.

Ob 'Freiluftaufbau' oder Platine, wichtig sind astreine Lötverbindungen. Immer wieder findet man 'angeklebte' 6 qmm High-Flex-Spezialkabel am Hochtöner, die mit einem 30 Watt-Löteisen angebraten wurden. Oftmals lösen sich die Kabel schon beim Einsetzen des Hochtöners. Dann lieber Klingeldraht und glänzende Lötverbindungen. Daß Induktivitäten (Spulen) in gehörigem Abstand voneinander ihre Aufgaben versehen sollten, hat sich noch nicht überall rumgesprochen. Es sind Anwendungen bekannt, wo mit Hilfe von zwei Spulen per Induktionsgesetz über eine kurze Luftstrecke recht hohe elektrische Leistungen übertragen werden konnten (z.B. in jedem Trafo).

Also: Die 'Induktivspeisung' ist eine recht interessante Energieübertragung, aber für Lautsprecherweichen ist diese Koppelinduktion ein nur allzu verkanntes Übel.

Daß die pingelige Dimensionierung von ohmschen Widerständen in Induktivitäten nicht großzügig in 'Null-Ohm-Spu-

Korrekte Spulenordnung: Wenn sie schon direkt nebeneinander angebracht werden müssen, jeweils um 90° versetzen!

len' verschlimmbessert werden darf, sollte allmählich klar geworden sein. Ebenso sollten Kondensatoren und Widerstände nur innerhalb ihres angegebenen Toleranzbereichs verwendet werden.

Weiter ist eine satt verzinnte Platinenweiche immer noch professioneller als ein Weichen-Igel-Drahtverhau (Es sieht halt fertiger aus!).

Modifikation an

Lautsprecher-Chassis:

Nach wie vor beliebt ist das Beschichten der Membran. Selbst mit leichter Beschichtung kann aus einem guten Chassis ein schlechtes, aber auch ein mittelmäßiges zu einem guten werden. Können verhelfen übermotorisierten Bässen mit gezielter Beschichtung zu effizienter Baßwiedergabe. Gewußt wie, was, wo und wieviel ist das Maß aller Lautsprecherbeschichter. Der Glanz auf der Membran erzeugt häufig nur ebensolchen in den Augen des heimlichen Tüftlers. Eine Beschichtung ist eben nichts ande-

res als eine zweite Membran, mehr oder weniger innig verbunden mit der zuerst dagewesenen. Diese zweite Membran hat meistens eine andere Struktur als die ursprüngliche; folglich bricht die neue Compound-Membran auch früher oder später in andere Partialschwingungen auf.

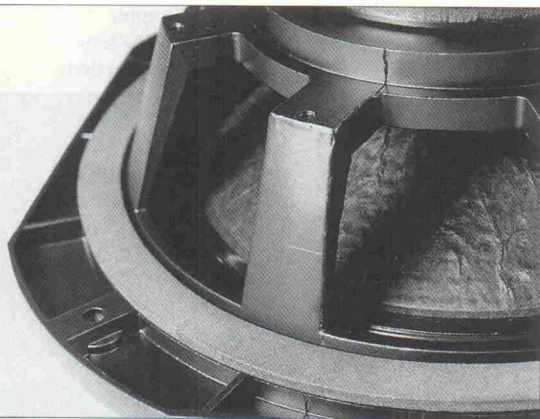
Die Folge: Der Speaker wird meistens leiser, an anderer Stelle häufig lauter, im Baßbereich meistens bumsiger, manchmal aber auch tiefer und kerniger. Wer also nicht über entsprechende Meßgeräte zur Kontrolle des hausgemachten Make ups verfügt, sollte, um Schlimmeres zu verhüten, die Finger von solchen angeblichen Tuningmaßnahmen lassen.

Hat man ein Blechkorb-Chassis erstanden und klingt der Korb nach Fingerklopfen wie eine armselige Kirchenglocke, so kann das Beschichten des Korbes mit Bitumen o.ä. nicht schaden (lange ablüften lassen!).

Manche Bastler beschichten auch die Sicken der guten Kolbenschwinger. Wer nicht nachprüfen kann was passiert, wird oft statt von dem erhofften, strammen, kernigen Baß von einem polternden, bumsigen Grollen überrollt werden. Auf jeden Fall ändert sich erst einmal der VAS-Wert zu kleineren Werten, der QM (QT) nach höheren Werten. Was sonst noch für 'Ferkelien' im Mittelbereich passieren könnten, wollen wir lieber nicht erwähnen. Solche Veränderungen sollten nur dem professionellen Entwickler vorbehalten bleiben.

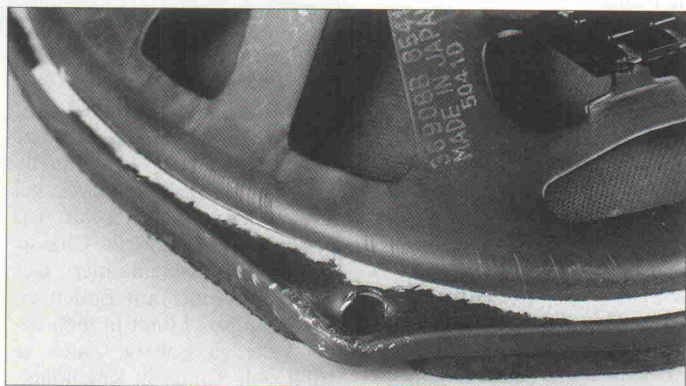
Einige Lautsprecherverliebte verpassen ihren Chassis mit chirurgischem Ehrgeiz eine neue Dust-cup. Wo vorher ein 39er Gewebe-Cup saß, strotzt jetzt eine 10er, knorrig aussehende Pappkalotte und täuscht einen 10-cm Antrieb vor. Beim Durchstimmen klirrt es jetzt allerdings im Bereich 50 - 180 Hz ordentlich. Auch solche Geniestreiche gehören nicht in die Bastelkiste des Amateurs.

Gleich schlimm ist das Verstopfen von Druckausgleichsöffnungen im Zentrum des Magneten. Allenfalls darf ein luftdurchlässiges Gewebe über das 'Loch' geklebt werden. Dazu möchten wir gleich für alle Fälle das altbekannte, etwas mühselige Vergazen der Lautsprecher-Korbfenster empfeh-



Der Dichtring unter dem Chassisflansch darf auf keinen Fall vergessen werden.

„Angeknallte“ Blechkörbe verziehen sich leicht.



len. Hin und wieder fallen irgendwelche losen Teile von Dämmstoffen hinter die Membran und verursachen hörbare Schleifgeräusche. Obwohl manchmal gut Platz auf Lautsprecher magneten herrscht, möchten wir doch dringend davon abraten, Spulen oder andere Weichenbauteile auf demselben zu befestigen.

Obwohl Qualitätslautsprecher heute vielfach verwindungssteife Gußkörbe aufweisen und sich dadurch beim Einbau nur unerheblich verziehen, wird häufig das Dichtband unter dem Korb weggelassen, weil es nicht wesentlich erscheint. Die kleinste Undichtigkeit rächt sich aber mit Sicherheit als tiefes 'Brummeln'. Bei Musik stören dann irgendwelche fremden Geräusche, die beim fertigen Lautsprecher erst mühsam gesucht werden müssen. Darum immer wieder Zwischenchecks beim Aufbau.

Chassis mit Blechkörben werden manchmal mit einer Inbrunst angeschraubt, als wollte

man den Töner mit dem Gehäuse verschmelzen. Zum Unglück hat sich dann auch noch ein Zuleitungsdraht herausgemogelt und wird arg zerdrückt. Schlimmer ist jedoch eine jetzt kratzende Schwingeneinheit. Oft bedeutet das den vorzeitigen Tod eines Speakers. Also auch hier: Schrauben nicht 'anknallen', sondern mit Gefühl eindrehen.

Einige Konusmitteltöner weisen Magnetdurchmesser auf, die schon fast den Korbbmessungen entsprechen. Eingebaut in die 38er Schallwand quält sich die verschobene Luft von der Membranrückseite, vorbei am Magnetring durch ein langes, schmales Schlitzlein endlich in den Wattetopf. Wer hier eine heimliche Klangverfärbung vermutet, sollte sich mal den Quäker anhören, wenn er frei 'durchatmen' kann.

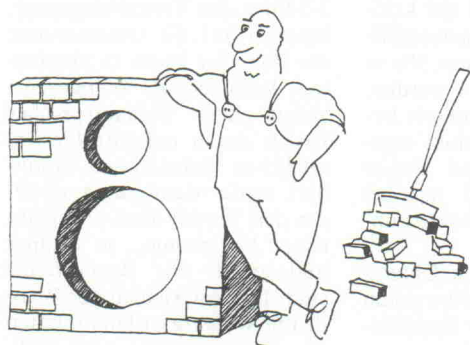
Die Befestigungskralen aus dem PA-Bereich sind zwar etwas unästhetisch, aber sie ermöglichen eine ordentliche Befestigung und einen größeren

IEM Boxenbausätze

Bauen Sie Ihre Boxen selbst!

Wir bieten ein umfangreiches Programm an preiswerten Qualitätsbausätzen. Unser Angebot reicht vom kompakten Autolautsprecher bis zur 300 Watt Box. Darüber hinaus führen wir auch Boxen in Subwoofer- und Bassreflex-technik. Sämtliche Boxen sind für CD Technik geeignet, wurden in akustischen Labors entwickelt und im Vergleich mit Spitzenboxen getestet. Für die Montage der IEM Bausätze sind weder technische Kenntnisse noch spezielles Werkzeug notwendig. Bei IEM Boxen werden die Lautsprechersysteme mit speziellen Steckverbindungen an die fertig verdrahtete Frequenzweiche angeschlossen. Umständliches Lötten entfällt. Wenn Sie mehr erfahren wollen schicken wir Ihnen gerne unser kostenloses und unverbindliches Informationsmaterial.

IEM Industrie Elektronik GmbH,
Postfach 40, 8901 Welden, Tel. 082 93/19 79



MESSEN!

Frequenzgänge von Pegel, Impedanz, Schalldruck; Hallzeiten, Thiele-Small-Parameter...

an allen Geräten der HiFi- und Tonstudioteknik

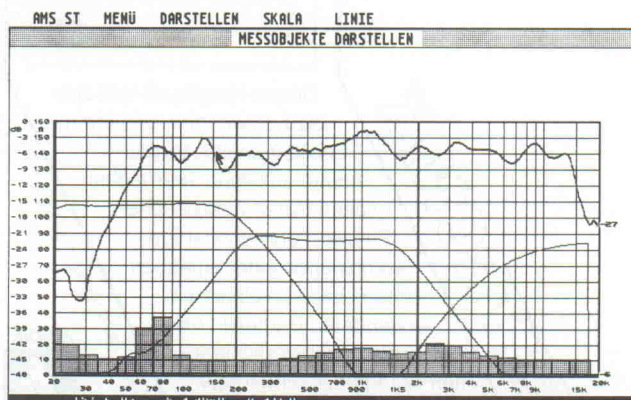
Lautsprecher, Mikrofone, Bandmaschinen...

Meßkurven speichern, umrechnen, drucken...

Die zeitgemäße Alternative zu mechanischen Linienschreibern:

AMS PC/ST Das professionelle Meßsystem für Audio und Akustik

für ATARI ST ab März '89, für IBM (kompatible) PC ab Juli '89



elektronik innovativ **KEMTEC**

KLAUS BAUMOTTE · AVENWEDDER STR. 490
4830 GÜTERSLOH 11 · TELEFON: 05209/5429

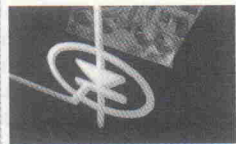
Unentbehrlich für die tägliche Laborarbeit

ELEKTRONIK

J. C. J. van de Ven

LEISTUNGSHALBLEITER-HANDBUCH

mit Leistungs-MOSFETs



Dioden
Brückengleichrichter
Thyristoren
Triacs
Leistungs-MOSFETs
und Leistungs-FETs



Hier können bestimmte Bauelemente aufgrund ihrer technischen Daten ausgesucht werden. Das Handbuch bietet die einzigartige Kombination einer alphabetischen Liste von allgemein verwendeten Bauteilen mit mehreren nach verschiedenen Kriterien zusammengestellten herstellerunabhängigen Auswahltabellen.

Broschur, 184 Seiten
DM 38,80/öS 303,-/sfr 35,70
ISBN 3-922705-46-4

Im Buch-, Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. 46/1.4

HEISE

Verlag
Heinz Heise
GmbH & Co KG
Postfach 61 04 07
3000 Hannover 61

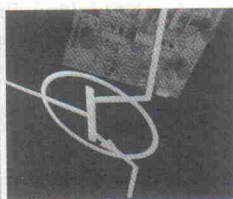
Ein Muß für jeden Elektronik- Praktiker

ELEKTRONIK

J. C. J. van de Ven

TRANSISTOR-HANDBUCH

mit SMD-Bauteilen



Dieses Handbuch läßt sich dazu verwenden, bestimmte Leistungshalbleiterbauelemente aufgrund ihrer technischen Daten auszusuchen. Es bietet die einzigartige Kombination einer alphabetischen Liste von allgemein verwendeten Bauteilen mit mehreren nach verschiedenen Kriterien zusammengestellten herstellerunabhängigen Auswahltabellen.

Broschur, 208 Seiten
DM 38,80/öS 303,-/sfr 35,70
ISBN 3-922705-45-6

Im Buch-, Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. 45/1.4

HEISE

Verlag
Heinz Heise
GmbH & Co KG
Postfach 61 04 07
3000 Hannover 61

Einbaudurchmesser zum Wohlklang des 'Quäkers'.

Chassiskörbe sollten (wenn irgendmöglich) immer eingelassen werden, auch wenn das viel Mühe macht. Messungen und Hörtests haben eindeutig den gleichmäßigeren Schalldruckverlauf belegt (auch von benachbarten Speakern wie Hoch- und Mitteltönern rühren Verfälschungen durch deren Kanten her. Glauben Sie nicht, dies seien Kleinigkeiten: Noch immer macht die Summe der Details einen guten Lautsprecher aus.

Fehler beim

Gehäusebau

Bei aufwendigen Gehäusen wie TM, Horn etc. ist ein wichtiger Punkt die richtige Reihenfolge des Zusammenbaus. Den Frust über ein vergessenes Brett in der TML kann man nur mit einer großen Säge neutralisieren. Der Aufbau eines Horns ist wie Hochsprung: Nur die intensive mentale Simulation des Ablaufs garantiert einen erfolgreichen Sprung in höhere Klangwelten.

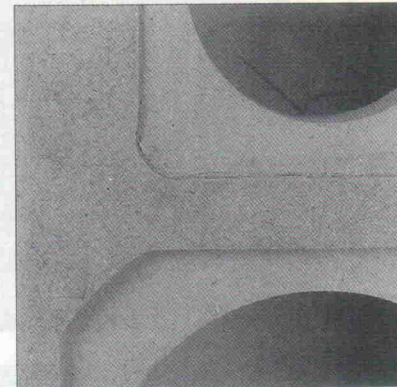
Das Nettovolumen der Box sollte nur dann variiert werden, wenn die Umgebung der Lautsprecherbox eine Verstärkung bzw. eine Abschwächung des Baßpegels hervorruft. Mehr Volumen bei nahen Reflexionsflächen, weniger Volumen bei freier Aufstellung. In jedem Fall wird die Impulswiedergabe verändert; deshalb nur Variationen im Bereich $\pm 20\%$.

Wer seine Boxen aus den Ecken des Zimmers herausholt und mehr in der Mitte des Zimmers den neuen Standort wählt, wird im ersten Moment nach dem defekten Baßlautsprecher Ausschau halten. Man sollte mit bis zu 9 dB Anhebung bei einer Eckaufstellung rechnen.

Reflexboxen sind viel kritischer für eine Volumenmodifikation. Hier dürfen nur 5% in Erwägung gezogen werden. Der immer noch verbreitete Irrglaube, größere Gehäuse ergeben mehr Bass und tiefere Grenzfrequenz, trifft nur bei einigen wenigen Reflexabstimmungen zu.

Die Platzierung der Chassis auf der Schallwand sollte genau nach Maßangabe der Bauanleitung geschehen, auch wenn es

Die Chassis sollten immer bündig mit der Frontplattenoberfläche eingelassen werden.



aufgeräumter aussieht, wenn alle Chassis gleichmäßig verteilt auf der Schallwand sitzen. Ein ernsthafter Entwickler hat die punktförmige Schallquelle als unerreichbares Ziel bei Mehrwegboxen immer vor Augen - daher sitzen die Chassis oftmals fast aufeinander. Der Baßlautsprecher am Boden einer Standbox klingt in 99% aller Fälle zu poltrig. Auch er fühlt sich wohler in Kniehöhe.

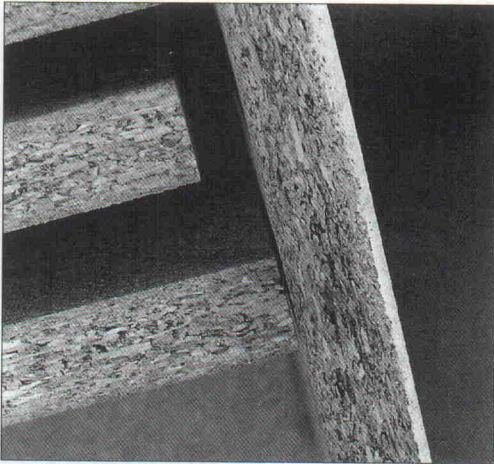
Die Oberfläche einer Schallwand ist entweder reflektierend oder absorbierend. Diese deutliche Klangveränderung muß in die Gesamtentwicklung einbezogen werden. Nachträglich Teppich auf die Schallwand geklebt, und man erkennt seinen Lautsprecher nicht wieder (auch gehörmäßig!).

Veränderungen

beim Gehäuse-

zusammenbau

Das Weglassen von sinnvollen Wandverstreben ist mit resonanzträchtiger Sicherheit schädlicher als zusätzliche hinzuzufügen. Werden drei gegenüberliegende Wände mit kräftigen Kanthölzern verbunden, so ist der beanspruchte Rauminhalt meist nicht mehr als 2-3 Liter, der Versteifungsgrad, bezogen auf die Gesamtmasse der Box aber kaum zu überbieten. Resonierende Wände entziehen dem Baßlautsprecher Druck durch unkontrolliertes, selektives Schwingen. Besonders steife Membranen verlieren den Vorteil ihres konstruktiven Vorsprungs, je dünner und größer die Boxenwände sind. Das Auskleiden der Wände mit Weichfaserdämmplatten ist recht preiswert und wirk-



**So nicht:
Beispiel für eine
schlechte — weil
nicht dichte —
Verklebung.**

sam, wenn man etwas gegen Hohlraumresonanzen und zu dünne Gehäusewände tun muß. Leider wird auf dieses probate Mittel allzu häufig verzichtet. Ein weiterer Schwachpunkt im Gehäusebau sind oft die Leimungen.

Wer hier Holzleim spart und dadurch später meist schwer zugängliche Undichtigkeiten aufspüren muß, handelt sich unnötig Arbeit ein.

Manch hektischer Werker hat sein teures Baßchassis schon mit einem kleinem Schraubenzieherabrutscher in die ewigen Jagdgründe befördert. Nur erfahrene Fachleute wagen sich an eine preiswerte Reparatur, wobei nicht immer reparaturbedingte Verzerrungen auszuschließen sind. Deshalb sollte man mindestens Kreuzschlitz- bzw. Inbus-schrauben benutzen und gefährdete Bereiche mit der Hand abdecken. Besser ist es, ein starkes Stück Pappe auszuschneiden und auf die Membran zu legen.

Große Fehler werden immer wieder bei den Lötverbindungen gemacht. Oft werden wasserleitungsähnliche Strippen zu Hochtönern verlegt, die man dann mühsam 'anbraten' muß. Wenn das Tönerchen dann eingeschraubt wird, reißt häufig das filigrane Terminal ab und der Tweeter ist hin. Auch hier gilt die Devise: Weniger Kupfer kann manchmal mehr Klang bedeuten.

Wer mit dem Lötkolben auf Kriegsfuß steht, sollte dann sowieso lieber passende Crimp-Verbindungen nehmen. Auf eine ordentliche Steckverbindung mehr oder weniger kommt es dann in der langen Kette der Steckverbinder auch nicht mehr an.

Kabel in der Box sollten so kurz wie möglich zur Weiche führen, so verlegt, daß sie vorwiegend durch Dämpfungsmaterial laufen; im Zweifelsfall an die Boxenwände kleben. Wenn das Kabel aber so kurz ist, daß nicht mal das Chassis - zwecks Reparatur - herausgenommen werden kann, war eine falsche Sparsamkeit am Platz.

In der Aufregung der letzten Arbeitsgänge werden auch noch gerne die Polaritäten an den Lautsprecherchassis vertauscht. Deshalb die Polarität nochmals mit einer 1,5 Volt-Batterie überprüfen. Kondensatoren in Weichen müssen dafür kurz überbrückt werden.

Ganz allgemein sollte man sich zum Basteln ein angenehmes Umfeld aussuchen:

1. Der Ort, an dem der Selbstbau realisiert wird, sollte nicht unbedingt der Küchentisch sein. Ein ruhiges, warmes Plätzchen im Keller, in der Garage oder auf dem Dachboden, mit einem soliden Tisch als Arbeitsfläche, ist besser als der Küchentisch und der Bitumenspachtel an der Kaffeetasse.
2. Werkzeuge sollten möglichst für alle anfallenden Arbeiten vorhanden sein. Wenn man kein Heimwerker ist und kein Werkzeug besitzt, sollte man nicht extra für den Boxeneigenbau teure und gute Werkzeuge anschaffen - finanziell ist dann die Fertigbox günstiger. Gut bestückte Freunde sind auch in diesem Fall wertvoll.

Mit diesem kurzen Streifzug durch das Labyrinth der Fehlermöglichkeiten wollen wir es für diesmal genug sein lassen.

Man sollte sich aber immer den Sinnspruch vergegenwärtigen, daß es stets nur einen Weg gibt etwas richtig zu machen, aber unendlich viele andere! ●



audio sound a/s/e exclusiv
elektroakustik · audioelektronik

Drosselweg 10 · 5130 Geilenkirchen · Telefon 0 24 51 / 663 64

Einzelchassis und Lautsprecherbausätze von
DYNAUDIO · ETON · INTERTECHNIK · PEERLESS ·
VISATON · VIFA u. a.

Weichenbauteile von INTERTECHNIK
SOUNDBOARDS für fast jeden Wagentyp
AUTOLAUTSPRECHERSYSTEME in allen Preisklassen

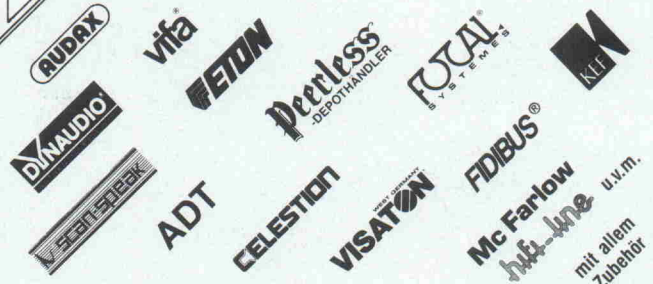
harman/kardon · NAD · Restek · Thorens · HAFLER · Ortofon Akzent Tonabnehmer

Wir beraten Sie in entspannter und angenehmer Atmosphäre ohne jeden Zeitdruck.



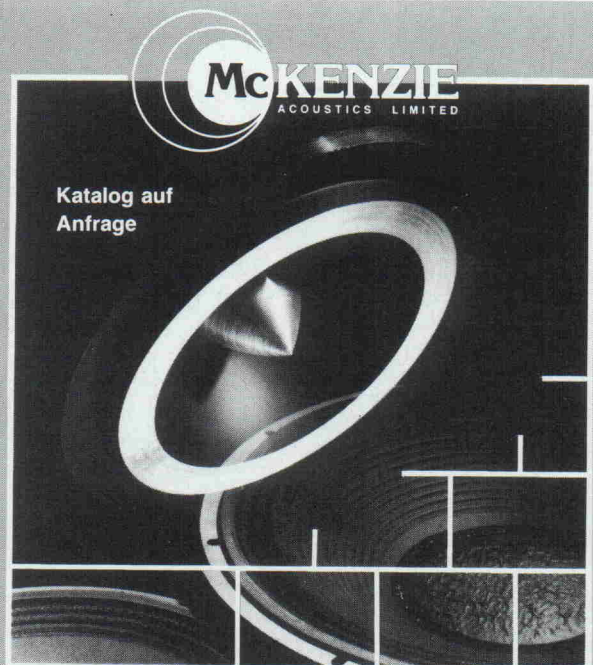
boxenwerkstatt

Sie hören mit einer HiFi-Anlage der Spitzenklasse und wollen auch beim Lautsprecher keine Kompromisse. Dann sollten Sie Ihre Boxen selbst bauen. Wir unterstützen Sie dabei und bieten Ihnen Lautsprecherbausätze von:



Wir stehen Ihnen gerne für die Realisation individueller Vorstellungen zur Seite.

Eisenbahnstr. 1a, 6072 Dreieich, Tel. 0 61 03 / 6 61 55



Händleranfragen erwünscht

**PA- + Studio-
Lautsprecher
für**

außergewöhnliche Bauvorhaben!

Exklusiv-Vertrieb in Deutschland:
INTER-MERCADOR GMBH & CO KG
IMPORT - EXPORT

Zum Falsch 36 - Postfach 448747 - 2800 Bremen 44
Telefon 04 21 / 48 90 90 - Telex 245 922 monac d - Telefax 04 21 / 48 16 35



Peter Rübke-Doerr

Das hatten wir noch nicht: Eine Sowohl-als-auch-Box. Normalerweise entscheidet sich ein Boxenentwickler bei der Durchsicht der Thiele/Small-Parameter eines bestimmten Baßchassis entweder für eine Reflexbox oder für ein geschlossenes Gehäuse. Daß beides gleichzeitig geht (dann freilich mit zwei Baßchassis), zeigen uns die Weekend-Entwickler vom Audio-Design-Team in Mülheim.

Fürwahr ein ungewöhnliches Gehäusedesign: Bei einer Standfläche von 210 x 260 mm und einer Höhe von 900 mm ist das Gesamtvolumen von 37 Litern auf ein Reflexgehäuse (unten) mit 22 Litern und eine 'geschlossene Abteilung' (oben) mit 15 Litern und jeweils einen Lautsprecher aufgeteilt. Elektrisch sind die beiden Chassis parallelgeschaltet. Der Hochtöner sitzt so weit oben wie möglich, um Verfärbungen durch 'Off-Axis'-Betrieb zu minimieren.

Zwei weitere, recht interessante Punkte sind die sogenannten Phasenkorrektur-Bretter. Bedingt durch die unterschiedlichen Einbautiefen von Hochtöner und Tieftöner, finden im Bereich der Übernahmefrequenz (3 kHz) phasenabhängige Auslöschungen statt. Diesen 'Fehler' könnte man nur dann tatsächlich beheben,

wenn sich Tieftöner und Hochtöner exakt an der gleichen Stelle befinden würden. Durch geschicktes Positionieren der Chassis auf der Schallwand und durch Verschieben des Hochtöners auf der Achse der Abstrahlrichtung (also durch eine gewisse Tiefenstaffelung der Chassis) lassen sich solche Phasenfehler aber klein halten. Interessanterweise äußern sie sich weniger im nachmeßbaren Frequenzgang, sondern mehr beim Hören: So wird Tiefen- und Breitenstaffelung des Stereobildes besser, und, was viel wichtiger ist, der Hörbereich, in dem diese verbesserte Abbildung wahrnehmbar ist, wird größer. Genau das berichten auch die ADT-Entwickler. Beim ersten Handmuster — ohne Phasenkorrektur — war zwar die räumliche Abbildung soweit befriedigend, aber leider nur in einem recht engen Bereich. Das änderte sich schlagartig, als die Tieftöner um etwa 16 mm nach vorn gerückt wurden. Das Stereobild wurde geradezu exzellent, und der Hörbereich vergrößerte sich erheblich. Aus diesem Grunde wurden die schon bei der 'Holiday' verwendeten Phasenkorrekturbretter auch für die 'Weekend' eingesetzt.

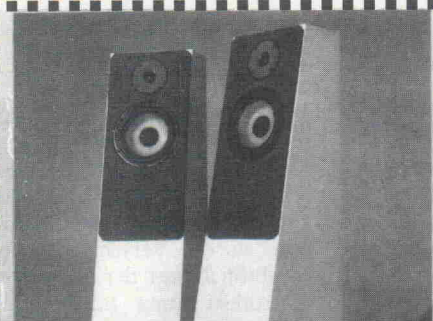
Chassis

Im Tiefmitteltonbereich finden sich zwei Chassis vom Typ AD 160B8 mit 160 mm Korbdurchmesser, heftig beschichteter Papiermembran — um die Resonanzfrequenz zu verrin-

ADT-Weekend

Preiswerte Einsteigertechnik mit professionellen Eigenschaften

SCAN-SPEAK



transvector 1

Komplettbausatz Paar

Gehäuse(MDF) Paar lackiert:

995.-*

990.-*

(unverbindlicher Preis)

SUPERTEST in KLANG+TON 6/89 (Zitat)

...Zwei besonders hochwertige Einzelchassis, eine edle Weiche und hochwertiges Zubehör ...die transvector ist als audiophiles Lautsprechersystem zu sehen ...das trockene Tieftontimbre dieses Systems harmonisiert selbstverständlich ausgezeichnet mit der bereits angesprochenen Impulsivität ...die Tendenz neuerer DDD-Aufnahmen im Präsenzbereich mit unangenehmer Schärfe und fehlender Auflösung wenig zu befriedigen, wird von diesem Lautsprecher gnadenlos entlarvt... Ein Debut wie das des neuen SCAN-Vertriebes erlebt man nicht alle Tage. Das Erstlingswerk überzeugt mit ungewohntem Design und durch überragende Klangeigenschaften. Erstklassiges und durchdachtes Chassismaterial, ein durchdachtes Konzept mit umfangreichen Extras und ein sehr greifbarer Preis führen dann hier zu einer Preis/Klangrelation von sehr gut

autorisierte Fachhändler:

1000 Berlin
Bulowstr. 89
2160 Stade
Steiermarkstr. 3
4000 Düsseldorf
Steinstr. 33
4800 Bielefeld
Breite Str. 23
5000 Köln
Kamekestr. 2-8
5100 Aachen
Karlsgraben 35
5300 Bonn
Maxstr. 36
5600 Wuppertal
Morianstr. 32
5870 Hemer
Ernst Stenner Str. 1a
6000 Frankfurt 70
Brückenstr. 31
6100 Darmstadt
Heinrichstr. 111
6460 Gelnhausen
Gelnhäuser Str. 21
6500 Mainz
Rochusstr. 11
6600 Saarbrücken
Ludwigstr. 51
6630 Saarlouis
Pavillonstr. 8-10
6800 Mannheim
D. 3, Laden 4
6900 Heidelberg
Ploek 75
7410 Reutlingen
Metzgerstr. 45
8700 Würzburg
Burkharder Str. 9

VIVAT MUSICA

030/2621952

PHONET

04141/609594

MUSIK + DESIGN

0211/131917

KLANGBAU

0521/64640

AB SOUNDTECHNIK

0221/561693

KLANGPYRAMIDE

0241/35206

AB SOUNDTECHNIK

0228/652741

PINK NOISE

0202/443476

PETER RÖSELER

02372/13747

MUSIK + DESIGN

069/612462

HIFI EXCLUSIV

06151/422744

HIFI STUDIO AVEC

06051/66442

DIE BOX

06131/231025

ACR LS-SYSTEME

0681/499329

TIP-LAUTSPRECHER

06831/49736

MUSIK + DESIGN

0621/13230

MUSIK + DESIGN

06221/163553

LS-STUDIO

07121/340522

AUDIOLADEN

0931/415391

Datenblätter und Infomaterial geg. Unkostenbeitrag (5,- in Briefmarken)

F. Müller F.M. Audio

Sandbergstr. 65 6100 Darmstadt

Tel.: 06157/7688 Fax.: /85725

SCAN-SPEAK

gern —, einem Blechkorb und einem Schwingspulenträger aus Aluminium. Der Hochtonbereich wird über einen Kalottenlautsprecher vom Typ ADT 20M wiedergegeben. Auch hier handelt es sich um ein Standard-Chassis mit 20 mm-Mylarkalotte, das außer dem Preis/Leistungsverhältnis eigentlich keine exotischen Besonderheiten aufweist.

Die Weiche

Die Feinheiten der Weiche erschließen sich erst auf den zwei-

Stückliste

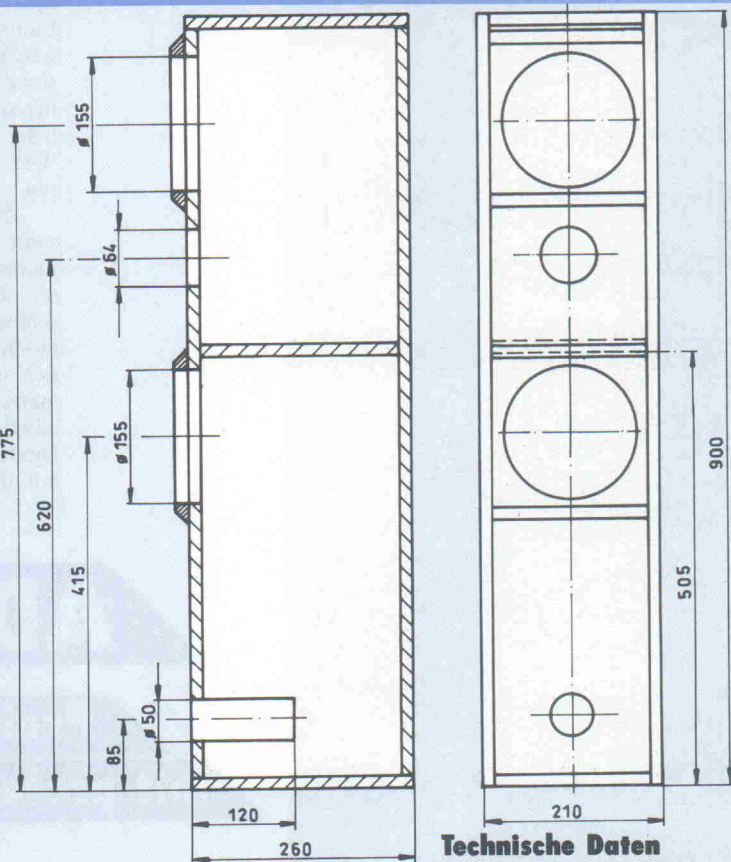
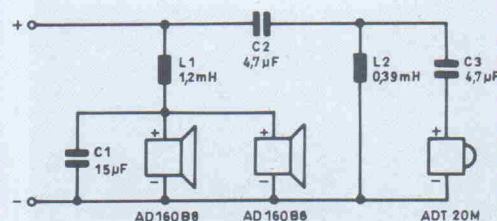
- L1 1,2 mH/0R6/0,71 Ø
- L2 0,39 mH/0,71 Ø
- C1 15 µF bipolar
- C2 4 µF Folie
- C3 4 µF Folie

Baß AD 160 B8

Hochtöner ADT 20M

Frontplatte und
Phasenkorrekturplatten
im Bausatz enthalten

Der Tieftonbereich wird über zwei Chassis gleichen Typs, aber unterschiedlicher Abstimmung wiedergegeben.



Frontplatte und
Phasenkorrekturbretter
sind bei den
Bausatz-Lieferanten
erhältlich.

Technische Daten

Gehäuse: 2½-Wege, Reflex
und geschlossen

Belastbarkeit: 100 W

Kennschalldruck: 91 dB

Übernahmefrequenz: 3 kHz

Volumen: 37 Liter

Außenmaße: 210 x 260 x 900 mm

Der Aufwand im Baßbereich schlägt sich in einer ausgesprochen tief hinabreichenden Wiedergabe nieder.

ten Blick. Hier findet man lediglich fünf Bauteile, mit denen für die Tieftöner ein 12 dB-Tiefpaß (L1 und C1) und für den Hochtöner ein 18 dB-Hochpaß aufgebaut wurde: Mit weniger gehts nimmer! Und daß die Lautsprecher gut zusammenpassen, sieht man

am Fehlen irgendwelcher Pegel- oder Impedanz-Korrekturglieder.

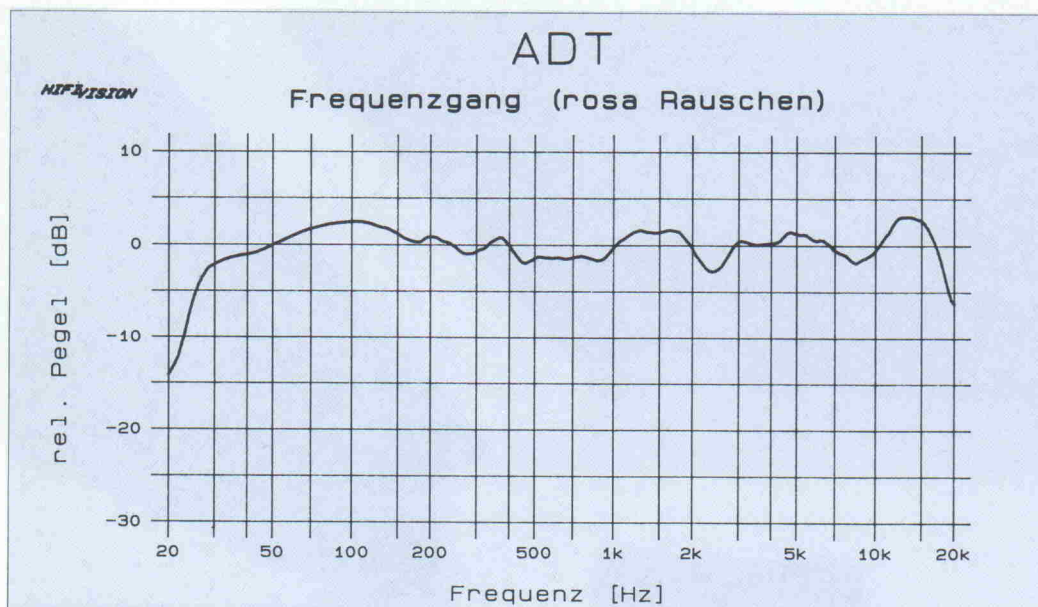
Auch das Gehäuse ist ein Muster an Einfachheit. Da im Bausatz die Frontplatte (Schallwand) mit den zugehörigen Phasenkorrektur-Brettern und allen Ausfräsungen schon ent-

halten ist, beschränkt sich der Gehäuseaufbau auf den Zugschnitt und den einfachen rechtwinkligen Zusammenbau einiger Spanplattenbretter und die Oberflächenveredelung.

... Musike drin

Die Weekend sollte möglichst frei im Raum aufgestellt und leicht nach hinten gekippt (circa 5 cm) werden. So ergibt sich ein ausgeglichener Frequenzgang und in Sessel-Sitzhöhe eine sehr gute Stereoabbildung. Die Box spielt ihre volle Begabung bei sogenannter U-Musik aus, bei klassischen Aufnahmen kommt es sehr auf die Aufnahme an: Bei einigen CDs aus unserer Sammlung wurden Blech- und Holzbläser schnell lästig. Andererseits war bei sauberer Aufnahmetechnik mit wenigen Mikrofonen eine exquisite Breiten- und Tiefenstaffelung zu verzeichnen.

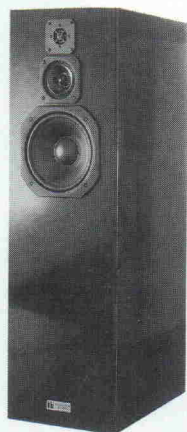
Fazit: Eine Box, die ihr Geld wert ist und auch HiFi-Einsteigern uneingeschränkt empfohlen werden kann. ●



Junior 3-Wege Serie



**KOMPAKT
DM 398,-**
inkl. Gehäuse-
zuschnitt



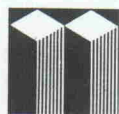
**PRIMUS
DM 498,-**
inkl. Gehäuse-
zuschnitt



**SUBWOOFER
DM 548,-**
inkl. Gehäuse-
zuschnitt



**PERFEKT
DM 598,-**
inkl. Gehäuse-
zuschnitt



MAINHATTAN ACUSTIK

— Holger Müller & Barbara Ludwig —

HENSCHELSTRASSE 32 · 6000 FRANKFURT 1 · TEL. 0 69 / 4 94 09 63, 43 58 26

UND HIER KÖNNEN SIE UNSERE LAUTSPRECHER HÖREN, SEHEN UND MITNEHMEN

1000 Berlin ACR Mehringdamm 81 Tel. 030 6918773* 2000 Hamburg Dynamik Akustik Altstätterstr. 4 Tel. 040 326695* 2120 Lüneburg Bohnhorst Apothekerstr. 6 Tel. 04131 33033* 2160 Stade Phonet Steiermarkstraße 3 Tel. 04141 609594* 2390 Flensburg ACR Neue Straße 8 10 Tel. 0461 13891* 2400 Lübeck ACR Hüxtertor Allee 17 19 Tel. 0451 794546* 2800 Bremen Blue Box Langen markstr. 232 Tel. 0421 504695* 2900 Oldenburg ACR Ziegelhofstr. 12 Tel. 0441 776220* 3000 Hannover ACR Bahnhofstr. 12 Tel. 0511 17188* 3400 Göttingen Mudra Akustik Goetheallee 6 Tel. 0551 45757* 3500 Kassel Profitronic Kurt Schumacher Str. 3 Tel. 0561 16715* 3550 Marburg EBC Electronic Pilgrimstein 26 Tel. 06421 27589* 4000 Düsseldorf ACR Steinstraße 28 Tel. 0211 133984* 4330 Mülheim/Ruhr Hifi Box Duisburgerstr. 93 Tel. 0208 425704* 4350 Recklinghausen ACR Hernestraße 24 Tel. 02631 22402* 4400 Münster ACR Aegidistr. 54 Tel. 0251 511133* 4426 Vreden Audio Systeme Tenhagenstr. 27 Tel. 02564 30920* 4500 Osnabrück ACR Iburgerstraße 26 Tel. 0541 588810* 4650 Gelsenkirchen Moving Coil Hochstraße 38 Tel. 0209 32244* 4780 Lippstadt Sound Systems Cappelstr. 23 Tel. 02941 4905* 4830 Gütersloh 1 Speaker Corner Blessestraße 28 Tel. 02403 38131* 5000 Köln ACR Hansaring 137 Tel. 0221 734860* 5060 Bergisch Gladbach Insiders Choice Laurentiusstr. 78 Tel. 02202 41345* 5160 Düren Boxenladen Im Weiden 19 Tel. 02421 83432* 5180 Eschweiler Gerd Henk Dürenerstraße 15 Tel. 02403 38131* 5270 Gummersbach F+H Am Dreieck Tel. 02261 66322* 5300 Bonn ACR Max Straße 52 58 Tel. 0228 692120* 5400 Koblenz ACR Bahnhofstraße 54 Tel. 0261 17174* 5600 Wuppertal Lenak Audio Paradesstr. 63 Tel. 0202 442789* 6000 Frankfurt Akustikladen Heidestr. 60 Tel. 069 444020* 6050 Offenbach Hifi im Hinterhof Geleistr. 5 Tel. 069 888609* 6072 Dreieich-Sprendl Boxenwerkstatt Eisenbahnstraße 1a Tel. 06103 66155* 6080 Groß-Gerau KKS! Otto Wels Str. 1 Tel. 06152 39615* 6100 Darmstadt ACR Kasinostraße 102 Tel. 06151 293818* 6233 Kelkheim Malter Tontechnik Frankfurterstr. 10 Tel. 06195 73037* 6300 Gießen ACR Bleichstraße 5 Tel. 0641 74933* 6500 Mainz Die Box Rochusstr. 11 Tel. 06131 231025* 6522 Osthofen Lautsprecherladen Friedrich Ebert Str. 35 Tel. 06242 2426* 6600 Saarbrücken ACR Ludwig Straße 61 Tel. 0681 499329* 6800 Mannheim 1 Schappach Electronic S 6, 37 38 Tel. 0621 14143* 6900 Heidelberg Pro Acoustic Friedrich Ebert Anlage 35 Tel. 06221 164180* 6908 Wiesloch Pro Acoustic Mertzenstr. 2 Tel. 06222 2540* 7100 Heilbronn ACR Karlstraße 39 Tel. 07131 89616* 7406 Mössingen Alex Sound Studio G. Schöller Straße 11 Tel. 07473 6178* 7410 Reutlingen Pro Acoustic Griesingerstr. 25 Tel. 07121 52380* 7520 Bruchsal Sound Valve Durlacherstr. 89 Tel. 07521 14985* 7800 Freiburg Philaudio Milchstraße 3 Tel. 0761 33252* 7808 Bollschweil Das Ohr Hexental 11 Tel. 07633 82561* 7801 Ehrenkirchen Hifi Marotte Niederdorfstr. 4 Tel. 07633 8650* 7900 Ulm Das Ohr Zinglerstraße 5 Tel. 0731 610852* 8000 München ACR Schwarzstraße 2 Tel. 089 488348* 8500 Nürnberg Die Lautsprecherbox Pillenreutherstraße 55 Tel. 0911 447719* 8600 Bamberg Fränkischer LSV Innere Löwenstr. 6 Tel. 0951 66985* 8751 Eisenfeld Mink Audio Nordring 18 Tel. 09022 7808* 8900 Augsburg Weiße Gasse 6 Tel. 0821 157646*

SOLLTEN SIE IN IHRER NÄHE KEINEN HÄNDLER FINDEN, SCHREIBEN SIE UNS BITTE, WIR WERDEN IHNEN WEITERHelfen.

ACR-Triangel





Peter Röbbke-Doerr

Der schweizerische Lautsprecherhersteller ACR glänzt normalerweise mit großvolumigen Boxenkonstruktionen. Nun hat dessen Entwicklungsabteilung das Pferd einmal von der anderen Seite her aufgezäumt und stellt uns einen kleinen Regallautsprecher vor, der mit circa 10 Litern Nettovolumen ein richtig handliches Format hat. Natürlich kann solch ein Winzling nicht mit dem gleichen Baß aufwarten wie seine mehr als zehnmal größeren Brüder.

ACR-Triangel

**Schweizer Modellbau
in Miniaturtechnik**

Aber trotzdem braucht sich die Triangel in diesem Punkt nicht verschämt in die Ecke zurückziehen, denn durch die Reflexabstimmung des Tieftonbereichs mit dem Doppelschwingspulen-Chassis ergibt sich eine Wiedergabe bis 30 Hz herunter.

Und damit wären wir auch schon bei der Lautsprecherbestückung der Box. Im Tieftonbereich findet — wie schon erwähnt — ein Doppelschwingspulen-Chassis Verwendung. Es trägt den Namen P17 RC4/DC und ist mit einer Polypropylen-Membran ausgestattet. Der nutzbare Membrandurchmesser beträgt 120 mm und der Korbdurchmesser 170 mm. Das ganze ist über eine Zentrierspinne und eine Gummisicke in einem soliden Druckguß-Chassis aufgehängt.

Der Hochtöner heißt TT 25 und seine Ausstattungsmerkmale sind folgende: Titankalotte mit 25 mm Durchmesser und weich aufgehängter Membran, Doppelmagnet und Equalizer-Kappe vor der Membran. Wie der Frequenzschieb der Einzelchassis zeigt, geht der Wiedergabebereich der TT 25 bis über 20 kHz linear hinaus.

Die Frequenzweiche — auch das zeigt der Schieb der Einzelchassis — ist nun wieder etwas trickreich. L 1 ist ein 6 dB-Tiefpaß, der die Baßschwingspule ab 200 Hz sanft aus dem Geschehen auskoppelt. L 2 und C 1 dagegen bilden einen 12 dB-Tiefpaß mit einer Eckfrequenz von 3,5 kHz, der die Membran im gesamten Grundtonbereich mit Energie versorgt. Ab 3,5 kHz übernimmt der Hochtöner, der über einen 12 dB-Hochpaß angekoppelt ist. R 1 und R 2 stellen einen Spannungsteiler dar, um die akustische Lautstärke des Hochtöners dem Baß-Mitteltonbereich anzupassen.

Stückliste

Holz: 20 mm MDF oder
19 mm Spanplatte
furniert
nach Zeichnung

Weiche:

L1 3,9 mH Ferrit, 1 mm Ø
L2 0,68 mH Luft, 1 mm Ø
L3 0,22 mH Luft, 0,7 mm Ø

C1 3µF Folie
C2 4µF Folie

R1 3R3 9W
R2 10R 9W

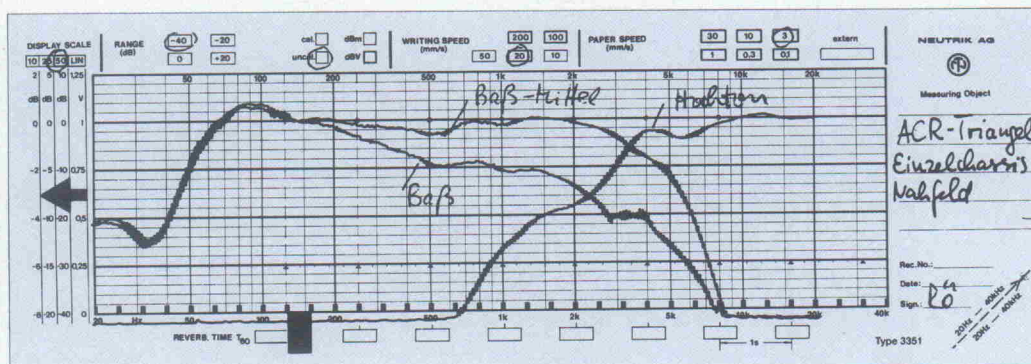
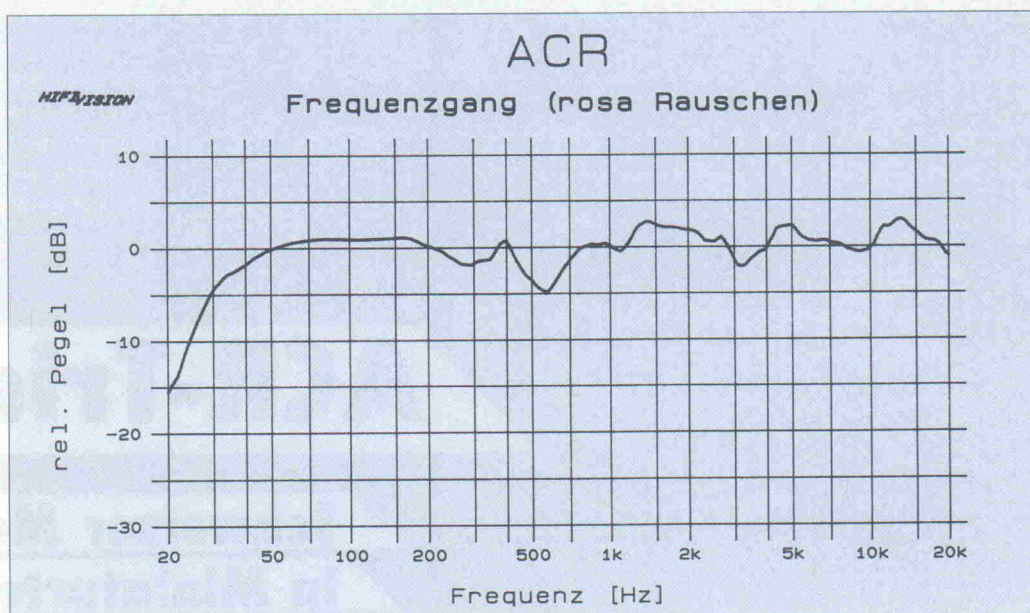
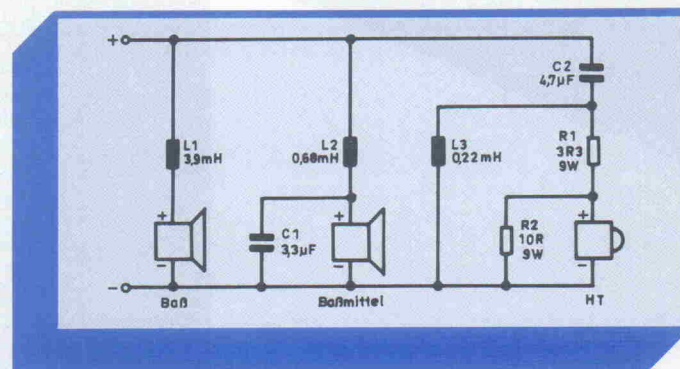
Natürlich sind Baß und Baßmitteltöner nur so gezeichnet, als wenn es sich um zwei Chassis handeln würde. In Wahrheit sind es zwei Schwingspulen, die eine gemeinsame Membran antreiben.

Von den ACR-Händlern wird für die Triangel ein recht preiswertes MDF-Gehäuse angeboten, sodaß der Selbstbau mit Zuschnitten aus dem Baumarkt nur noch für die ganz Sparsamen Vorteile bringt. Andererseits macht gerade dieser handliche 'Modellbau' vielleicht wieder einmal Spaß.

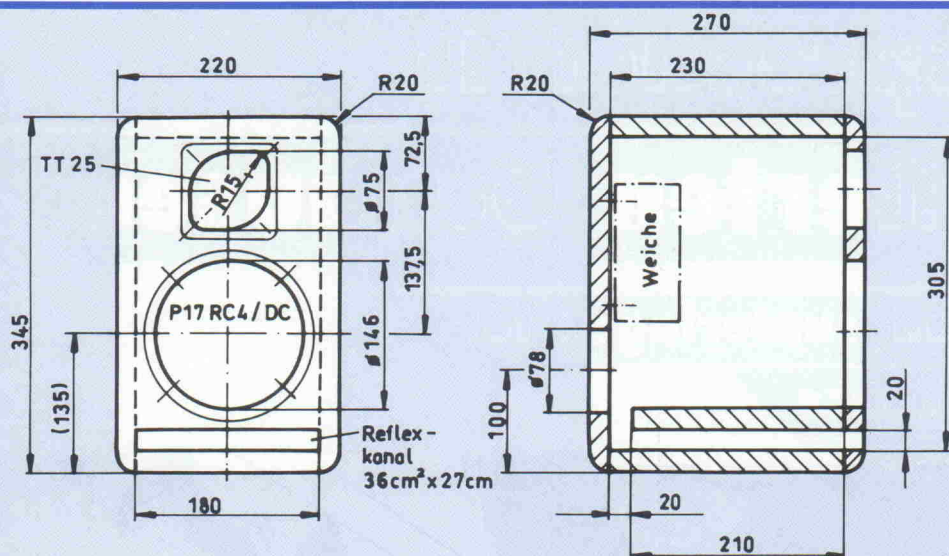
Eine Seitenwand wird auf die Werkbank gelegt und Deckel, Rückwand, Boden, Reflexkanal und Schallwand im 'Kreisverkehr' auf ihr festgeleimt. Dann folgt die zweite Seitenwand. Nach dem Aus-

trocknen des Klebers werden die Ausschnitte für die Chassis gesägt. Wer hat, schwinde jetzt die Oberfräse, um die Chassis in die Schallwand einzulassen und mit dem Kantenfräser die Rundungen schön zu 'soften'.

Zur Bedämpfung benötigt man Mineralfaserplatten (40 mm) oder 50 mm Noppenschäumstoff. Alle Innenwände außer der Schallwand werden damit belegt. Zusätzlich ist der verbleibende Innenraum mit Polyesterwatte locker zu füllen, wobei darauf zu achten ist, daß der Reflexkanal frei bleibt.



Eigentlich kaum zu glauben, dieser Gesamtfrequenzgang (oben); aber wenn das Nahfeld schon bis 60 Hz herunterreicht (unten) und dann noch der Reflexanteil addiert wird, ist die Kurve doch plausibel.



Bei einer solch kompakten Box ist besonders auf stabilen Bau und luftdichte Verleimung zu achten. Fertige Gehäuse gibt es in allen möglichen Varianten.

Technische Daten

Gehäuse: 2½-Wege, Reflex
Belastbarkeit: 60 W
Impedanz: 4 Ohm
Kennschalldruck: 88 dB/1 W, 1 m
Übernahmefrequenz: 3,5 kHz
Volumen: ≈ 10 Liter
Außenmaße: 220 mm x 270 mm x 345 mm

Nun ist die Frequenzweiche an der Reihe. Falls man sie als Fertigteil erstanden hat, wird sie jetzt nur noch mit längeren Spaxschrauben an der Rückwand befestigt. Falls nicht, muß sie nach Schaltbild zusammen gelötet werden und vorsichtig bei geringer Lautstärke auf richtige Funktion getestet werden.

Der Oberflächenveredelung und dem Einbau der Lautsprecherchassis steht jetzt nichts mehr im Wege.

Die Triangel ist — wie anfangs schon erwähnt — ein kleiner Regallautsprecher. Das heißt, daß er seine Qualitäten eher in kleinen Räumen bei eher geringeren Lautstärken und relativ kurzen Entfernungen zwischen Hörer und Lautsprecher entfaltet. Die Schublade 'Regallautsprecher' soll aber hier nicht heißen, daß eine andere Aufstellung als im Regal nicht auch möglich wäre; eher das Gegenteil ist der Fall: Eine freie Aufstellung in Ohrhöhe auf einem kleinen Podest kommt der räumlichen Abbildung des Musikgeschehens durchaus zugute.

BETON-AKUSTIK

Lautsprechergehäuse aus Kunstharzbeton. Original Akustik-Beton!
Unübertroffen in der Dämpfung der Eigenresonanzen durch monolithische Herstellungsverfahren.

Neu im Programm:

lt./Mühlbach Referenz!

Entkoppelte Gehäuse, absolut neutral und realistisch — besonders Grundtonbaß. Naturmatt, lackiert oder geschliffen lieferbar.

Alfred Mühlbach

Hindenburgstr. 86 · D-6424 Grebenhain · Tel. 0 66 43/4 70

Schweiz:

OEG Akustik · Staudnerbach · CH-9472 Grabs · Tel. 0 85/7 38 41

Österreich:

IBG Akustiks · Storkgasse 12 · A-1050 Wien · Tel. 0 22 22/55 71 31

Holland:

Wotan Beschallung · Im Weldchen 19 · D-5160 Düren/Hoven · Tel. 0 24 21/8 34 32

Händleranfragen erwünscht!

Baß erstaunt AKTIVE SUBWOOFER WEICHE

Tiefpaß für beide Kanäle, programmierbar auf fg = 35, 50, 77, 120, 175 Hz mit je 5 Filtercharakteristiken.

Fertiger Baustein mit Netzteil nur DM 80,—

Das Lautsprecherfachgeschäft in Braunschweig, Wendenstr. 53

Tel.: 05 31/4 64 12

HiFi Manufaktur

Klang —

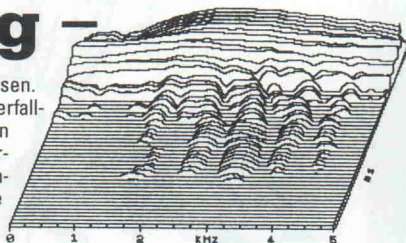
Das läßt sich beweisen. Nebenstehendes Zerfallsspektrum wurde von einem Lautsprechersystem gemacht, angesteuert über eine AFW 1 Allpaß-Frequenzweiche und

zwei unserer MOS-FET-Verstärker. Diese modernste analytische Meßmethode beweist das perfekte Übertragungsverhalten. Auch konservative Meßdaten wie Amplituden- und Phasengang, Klirr- und Impulsverhalten beweisen unsere Spitzen-Technologie an der Grenze des heute Machbaren.

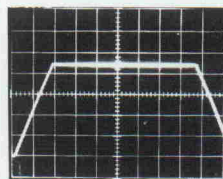
*Mit weniger sollten Sie nicht zufrieden sein. Es gibt ja die Klein-HiFi-Produkte. Unsere Produktpalette umfaßt

Vorverstärker, MOS-FET-Verstärkermodule

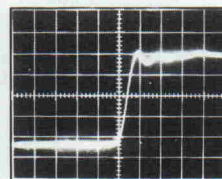
von 20-800 Watt sowie zahlreiche Zusatzschaltungen von höchster



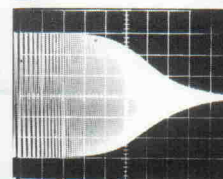
dem Original gleich *



Übersteuerung ohne hörbare Effekte (TID-Freiheit)



Extrem hohes Slew rate



Äußerst linearer Frequenzgang

Qualität. Wir sind äußerst preiswert und liefern sofort. Unser Informationspaket steht Ihnen kostenlos zur Verfügung. Fordern Sie es noch heute an.

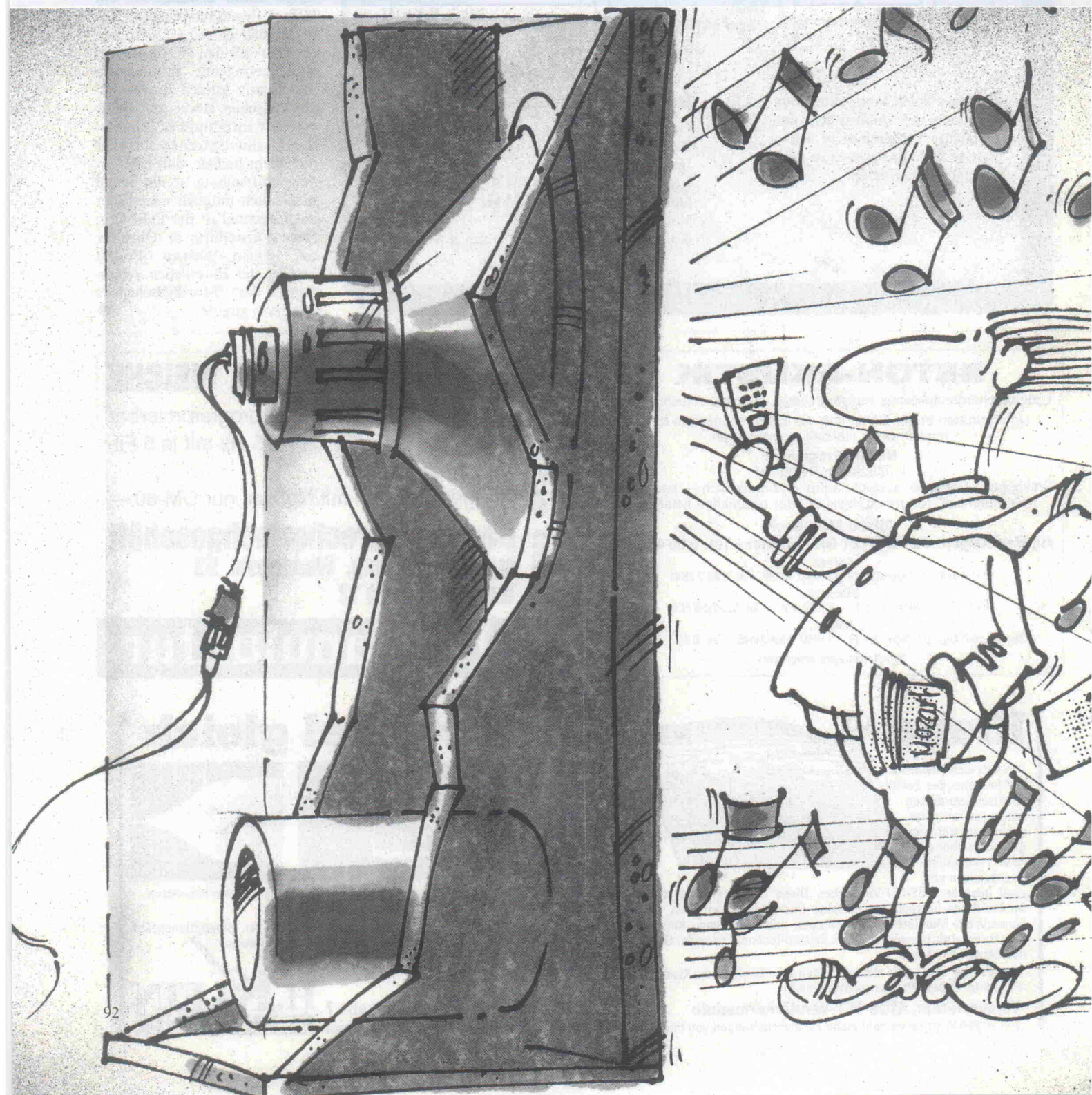
Telefon (07234) 7783 · Fax (07234) 5205

H. Klein Elektronik · Schubertstraße 7
7531 Neuhausen-Hamberg b. Pforzheim

H. KLEIN
ELEKTRONIK

Lautsprecher in ventilierten Gehäusen

Die Berechnungsunterlagen für
Baßreflexgehäuse



Eine Untersuchung der Ersatzschaltbilder von Lautsprechern in ventilierten Gehäusen (Baßreflexprinzip) zeigt die Möglichkeit, das akustische Verhalten dieser Kombination bei tiefen Frequenzen dem Übertragungsverhalten eines idealen Hochpaßfilters oder eines beliebigen anderen Hochpasses anzugleichen. Die Vereinfachungen sind praktisch gerechtfertigt und die verwendete Technik ist einfach.

Das Tieffrequenzverhalten eines Lautsprechers kann durch drei Parameter beschrieben werden: Die Resonanzfrequenz f_s , ein Luftvolumen V_{AS} , welches der akustischen Komplianz des Lautsprechers entspricht, sowie das Verhältnis Q_e seines elektrischen Widerstandes zur dynamischen Reaktanz bei der Resonanzfrequenz. Mit Hilfe dieser drei Parameter kann auch der elektroakustische Wirkungsgrad formuliert werden. Der Einfluß anderer Lautsprecherkonstanten auf diese Größen ist bekannt.

Sind f_s und V_{AS} bekannt, dann kann ein Lautsprechergehäuse mit einer ganzen Reihe vorhersagbarer Übertragungseigenschaften entworfen werden, die alle unterschiedliche Arten eines Hochpaßfilters mit 24 dB pro Oktave Flankensteilheit darstellen. Zu jedem Übertragungsverhalten gehört ein bestimmter Wert von Q , der aber nicht nur vom Q_e des Lautsprechers abhängt, sondern auch vom Dämpfungsfaktor des Verstärkers. In vielen Fällen wird von ihm gefordert, daß seine Dämpfung negativ ist.

Üblicherweise wird die Übertragungsfunktion so eingestellt, daß sich der Frequenzgang eines Butterworthfilters 4. Ordnung ergibt. Das ist aber, wie bereits gesagt, nur ein Spezialfall aus einer ganzen Familie von Übertragungsfunktionen, die durch Variation des Volumens und akustische Abstimmung des Gehäuses eingestellt werden können. Außerdem wird häufig von dem empirischen 'Gesetz' ausgegangen, daß die untere Eckfrequenz bei vorgegebenen Lautsprechern nahezu dem Kehrwert der Quadratwurzel aus dem Gehäusevolumen proportional ist. Die durch dieses 'Gesetz' vorgegebenen Begrenzungen können durch Filterung im zugehörigen Verstärker überwunden werden. So kann beispielsweise zur Einhaltung eines gewünschten Frequenzganges das Gehäusevolumen reduziert und gleichzeitig der niederfrequente Signalinhalt am Ausgang des Verstärkers dementsprechend angehoben werden und umgekehrt.

Es zeigt sich, daß eine akustische Bedämpfung der Gehäuseöffnung unnötig ist. Es werden Beispiele für typische Parameter und Gehäuseentwürfe angegeben.

1. Einführung

Seit vielen Jahren werden Lautsprecher in ventilierten Gehäusen zur Verbesserung des akustischen Übertragungsverhaltens bei tiefen Frequenzen eingesetzt. Das Prinzip scheint einfach, die Ergebnisse sind aber unterschiedlich. Insbesondere für die akustische Messung des Tieffrequenzverhaltens von Lautsprechern existieren bislang keine vertretbar billigen und gleichzeitig zuverlässigen Methoden. Aus diesem Grund muß das akustische Verhalten einer Lautsprecherkonstruktion häufig allein durch einen 'Hörtest' beurteilt werden. Der Hörtest ist selbstverständlich das entscheidende Kriterium zur Beurteilung der Eigen-

schaften eines elektroakustischen Systems. Als Methode für den optimalen Abgleich ist er aber ungeeignet. Ganz abgesehen von persönlichen Vorlieben und Vorstellungen über 'akzeptable elektroakustische Ausrüstung' erfordert der Abgleich ventilierten Lautsprechergehäuse ohne Kenntnis der Lautsprecherparameter zwei parallel verlaufende Arbeitsgänge, und zwar die Abstimmung des Gehäuses und der Verstärkerdämpfung. Der subjektive Hörtest führt häufig auch dazu, daß das Übertragungsverhalten bei tiefen Frequenzen auf etwas anderes als flachen Verlauf eingestellt wird, um so Übertragungsfehler bei hohen Frequenzen auszugleichen. Diese beiden Probleme werden aber sinnvoll getrennt behandelt. Lange Zeit erschien es dem Autor so, als seien die Entwurfsmethoden für ventilierte Lautsprechergehäuse unbefriedigend, so daß eine Reihe von Fragen unbeantwortet bleiben mußte.

1. Welche Gehäusegröße sollte gewählt werden?

Üblicherweise scheint zu gelten: je größer, desto besser! Aber um wieviel besser ist ein großes Gehäuse und welche Einbußen sind bei einem kleinen Gehäuse zu erwarten? Und was ist bei einem gegebenen Lautsprecher ein großes und was ist ein kleines Gehäuse?

2. Welche Verstärkerdämpfung sollte verwendet werden?

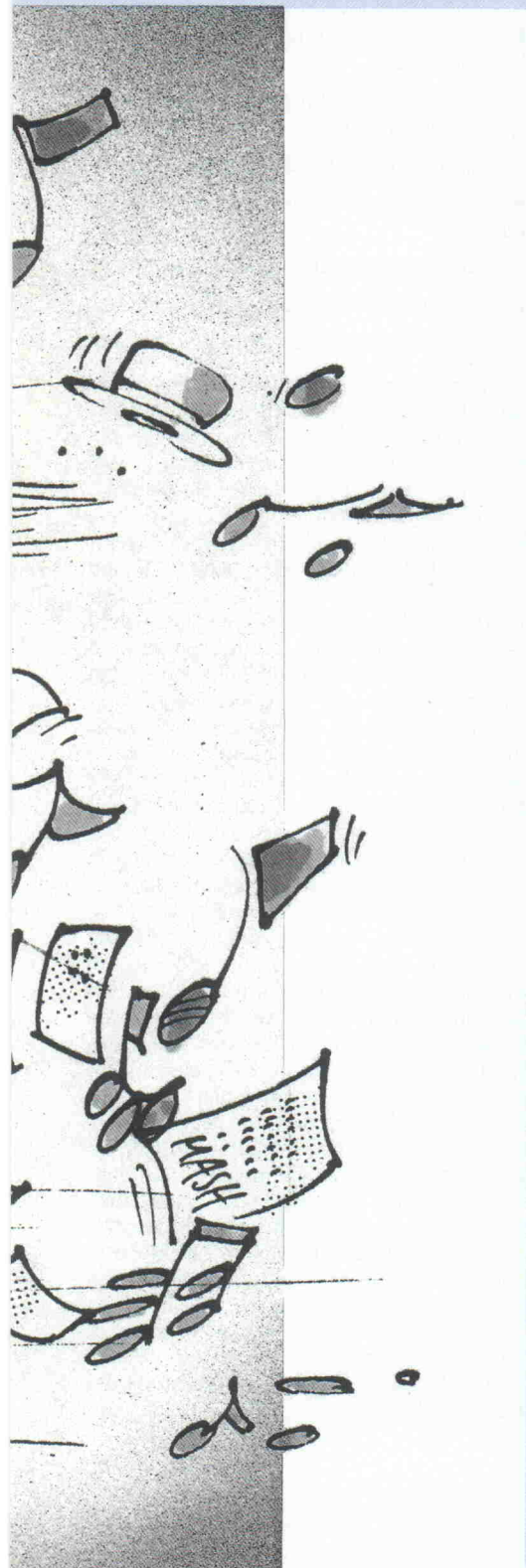
Im allgemeinen gilt, je stärker die Dämpfung, desto besser! Das kann jedoch bei Lautsprechern mit hohem Wirkungsgrad zu einem Verlust an tieffrequenter Übertragung führen. Andererseits wird in einigen Fällen aber auch negative Dämpfung verwendet. Und warum werden einige Lautsprecher in ventilierten Gehäusen akustisch als exzellent bezeichnet und warum sind sie andererseits als 'Dröhnboxen' bekannt?

3. Ist es empfehlenswert oder notwendig, den Frequenzgang durch akustische Dämpfung zu glätten? Einerseits ist von guten Ergebnissen (1) zu hören, andererseits (2) wird davor gewarnt. Grundsätzlich erscheint es falsch, Frequenzgänge mit zusätzlichen Widerständen zu glätten, weil darin mühsam erzeugte Leistung verloren geht. Das gilt ganz besonders in Ausgangsstufen, von denen maximale Bandbreite gefordert wird. Das trifft sowohl für die Kombination von Verstärker und Lautsprecherbox als auch für Videoausgangsstufen zu.

4. Auf welche Frequenz sollte die Gehäuseöffnung abgestimmt werden?

Üblich ist der Abgleich auf die Lautsprecherresonanzfrequenz, aber Beranek (3, S. 254) merkt an, daß 'für sehr große Gehäuse' die Abstimmung der Ausgleichsöffnung auf eine Frequenz unterhalb der Lautsprecherresonanz erlaubt ist. Hingegen werden kleine Gehäuse in einigen Fällen auch auf Frequenzen eingestellt, die oberhalb der Lautsprecherresonanz liegen.

5. Wie sollte die Gehäuseöffnung ausgeführt werden?



Die konventionelle Antwort darauf ist, sie so groß zu machen wie die sich kolbenförmig bewegende Membranfläche des Lautsprechers. Novak (2) sagt aber auch, daß die Öffnung eine beliebige Fläche aufweisen kann, jedoch nicht kleiner als 4 inch² sein darf. Soll die Öffnung als einfaches Loch, Rohrleitung oder Tunnel ausgeführt werden?

6. Welche Nachteile z.B. hinsichtlich der Verzerrungen sind in Kauf zu nehmen, wenn im Verstärker akustische Schwächen des Lautsprechers und des Gehäuses ausgeglichen werden? Können Verstärkerleistung und Gehäusegröße gegeneinander aufgerechnet werden?

7. Angenommen es sei bekannt, wie eine Lautsprecherbox (und der zugehörige Verstärker) zu entwerfen ist, wie können dann die Lautsprecherparameter gemessen werden?

Es existiert noch eine Reihe anderer Fragen, aber die sieben oben aufgeführten scheinen die wichtigsten zu sein. Der vorliegende Beitrag soll darauf Antworten geben.

2. Herleitung der Theorie

Die Theorie und der Betrieb von Lautsprechern in ventilierten Gehäusen sind bereits sehr häufig in der Literatur (3, S.208-258, 4) beschrieben worden, so daß eine Wiederholung an dieser Stelle unnötig ist. Hier wird nur soviel Theorie benutzt, wie zum Verständnis des vorliegenden Ansatzes notwendig ist. Der hier erläuterte Ansatz geht auf Novak (2) zurück, auf den auch häufig verwiesen wird.

Es handelt sich hier um eine etwas von Novaks Ausführungen abweichende Weiterentwicklung. Sie gilt, wenn nichts anderes gesagt wird, nur für den Frequenzbereich, in dem der Lautsprecher als Kolbenstrahler (Pistonphon) arbeitet. Das gilt für Frequenzen, deren Luftschall-Wellenlänge größer ist als der Membranumfang. Für einen 12 inch-Lautsprecher sind das Frequenzen unter 400 Hz und für einen 5 inch-Lautsprecher liegt der Gültigkeitsbereich unterhalb 1 kHz. Die Eigenschaften von Lautsprechern oberhalb des Pistophon-Frequenzbereiches bedürfen einer grundsätzlich anderen Beschreibung.

Zunächst wird das in akustischen Termen entwickelte, vollständige Ersatzschaltbild eines Lautsprechers mit Gehäuse (Bild 1) betrachtet; ein vereinfachtes Ersatzschaltbild wird später eingeführt.

Grundsätzlich gilt, daß Ersatzschaltbild der auf Basis elektrischer, mechanischer oder akustischer Komponenten entwickelt werden können. Für die Konvertierung elektrischer in mechanische Einheiten gilt:

$$Z_m = B^2 I^2 / Z_e \quad (1)$$

Darin ist
 Z_e elektrische Impedanz
 Z_m äquivalente mechanische Impedanz
 B magnetische Flußdichte im Luftspalt
 l Drahtlänge im Luftspalt

Für die Konvertierung mechanischer in akustische Einheiten gilt:

$$Z_a = Z_m / S_d^2 \quad (2)$$

mit

Z_a akustische Impedanz

S_d äquivalente Pistophonfläche der Membran (üblicherweise wird hier die Fläche innerhalb der ersten Verrippung angenommen)

Betrachten wir nun entsprechend Bild 1 die Serienschaltung der ersten Impedanz hinter dem Generator, die das akustische Äquivalent des elektrischen Widerstandes der Ausgangsimpedanz des Verstärkers R_g ist, mit dem Schwingspulenwiderstand R_e , dann lauten die verschiedenen Äquivalente dieser Impedanz

$$Z_e = R_g + R_e \quad (3)$$

$$Z_m = B^2 I^2 / (R_g + R_e) \quad (4)$$

$$Z_a = B^2 I^2 / S_d^2 (R_g + R_e) \quad (5)$$

In Bild 1 bedeuten die Bezeichnungen der Elemente folgendes:

E_g Spannung am offenen Verstärkerausgang

M_{ad} ($= M_{md} / S_d^2$) akustische Masse von Membran und Schwingspule

M_{md} mechanische Masse, wie üblicherweise gemessen

C_{as} akustische Komplianz der Aufhängung

R_{as} akustische Resistanz der Aufhängung

R_{ar1} akustische Strahlungsresistenz für die Vorderseite der Lautsprechermembran

M_{a1} akustische Strahlungsmasse (Luftbelastung) auf der Vorderseite der Membran

M_{ab} akustische Masse der Luftbelastung an der Rückseite des Lautsprechers

R_{ab} akustische Resistanz des Gehäuses

C_{ab} akustische Komplianz des Gehäuses

R_{ar2} akustische Strahlungsresistenz der Gehäuseöffnung

M_{a2} akustische Strahlungsmasse (Luftbelastung) der Öffnung

M_{ap} akustische Luftmasse in der Öffnung

R_{ap} akustische Luftresistenz in der Öffnung

U_c Volumengeschwindigkeit des Konus

U_b Volumengeschwindigkeit des Gehäuses

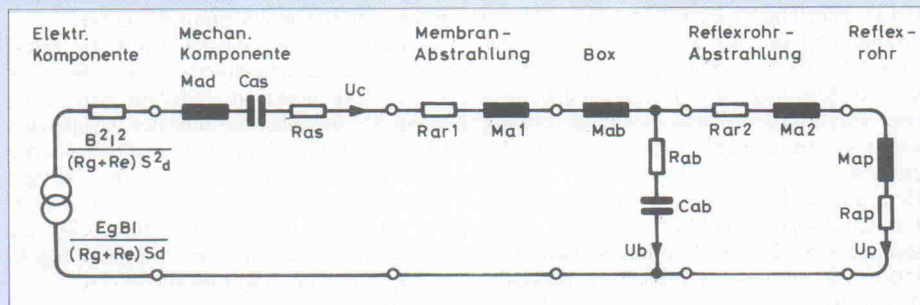
U_p Volumengeschwindigkeit der Öffnung

Der Gebrauch dieses vollständigen Ersatzschaltbildes hat den Vorteil, daß die Wegnahme des die Öffnung repräsentierenden Zweiges zur Beschreibung des Lautsprechers im völlig geschlossenen Gehäuse führt. Zur Beschreibung des Lautsprechers in einer unendlich großen Schallwand (entspricht geschlossener Box) sind C_{ab} und R_{ab} als kurzgeschlossen zu betrachten. Der Betrieb des Lautsprechers ohne Schallwand und der in unendlich großer Schallwand stimmt im Ersatzschaltbild überein, lediglich die Werte von R_{ar1} und M_{a1} unterscheiden sich (siehe 4, Bild 5.2). Die Details dieser Schaltungen werden sehr gut in (3) beschrieben. Auch die Darstellung in Bild 1 mit ihren Bezeichnungen stammt aus dieser Quelle. Um das Ersatzschaltbild besser handhaben zu können, wird es auf den in Bild 2 dargestellten Kreis vereinfacht:

1. Die drei akustischen Massen M_{ad} , M_{a1} und M_{ab} werden zu einer einzigen Masse M_{as} zusammengefaßt. Wir müssen aber immer sorgfältig darauf achten, daß dies ein Kunstgriff ist. M_{as} ist keine feste Größe; nehmen wir im Rahmen dieser Betrachtungen dennoch an, daß sie konstant sei, so kann das zu etwas fehlerbehafteten Ergebnissen führen. So führt beispielsweise der Test eines ohne Schallwand frei im Raum betriebenen Lautsprechers zu einer Verminderung von M_{ab} und damit auch von M_{as} , was eine höhere Resonanzfrequenz zur Folge hat. Das ist bei Messungen, wie sie in Abschnitt 14 beschrieben werden, zu berücksichtigen.

2. R_{ar1} und R_{ar2} werden im vereinfachten Ersatzschaltbild vernachlässigt, obwohl sie für die akustische Ausgangsleistung des Lautsprechers verantwortlich sind. Zusam-

Bild 1. Das komplette elektromechanische und akustische Ersatzschaltbild einer Reflexbox (nach Beranek).



mengefaßt basiert Novaks theoretisches Modell auf der Annahme, daß Lautsprecher Elemente mit äußerst niedrigem Wirkungsgrad sind. 50 Lautsprecher, die nach der in Abschnitt 14 beschriebenen Methode vermessen wurden und in einem weiten Größen- und Qualitätsbereich lagen, wiesen Wirkungsgrade zwischen 0,4 und 4% auf. Aus diesem Grund dürfen die Strahlungswiderstände im Ersatzschaltbild sicherlich vernachlässigt werden. Da sich der Strahlungswiderstand mit dem Quadrat der Frequenz verändert, vereinfacht sich die Analyse beträchtlich. So gilt nach (3, S.216), daß der Strahlungswiderstand eines Lautsprechers in einem mittelgroßen Gehäuse (weniger als 220 Liter) näherungsweise der Strahlungsimpedanz eines Kolbenstrahlers entspricht, der sich am Ende eines langen Rohres befindet. Der Strahlungswiderstand der Gehäuseöffnung stimmt damit überein. Daher gilt

$$R_{ar1} = R_{ar2} = \pi f^2 \rho_0 / c \quad (6)$$

Darin ist ρ_0 die Ruhedichte der Luft und c deren Schallausbreitungsgeschwindigkeit.

Es fällt auf, daß der Strahlungswiderstand von den Abmessungen des Pistophon und der Gehäuseöffnung unabhängig ist. Gleichung 6 ist eine Näherung, die nur für Frequenzen gültig ist, bei denen der Lautsprecher als Pistophon arbeitet [vergleiche auch (3, Bild 5.7) oder (4, Bild 5.2)].

3. M_{a2} und M_{ap} werden zu M_{av} , der gesamten Luftmasse der Öffnung zusammengefaßt.

4. R_{ab} und R_{ap} werden vernachlässigt, weil ihr Q in den meisten Fällen im Vergleich zu dem des Lautsprechers sehr groß ist. Das gilt besonders dann, wenn seine Dämpfung durch den Verstärker kontrolliert wird. Später wird gezeigt, daß das Q einer Kombination aus Lautsprecher in ventiliertem Gehäuse und Verstärker üblicherweise zwischen 0,3 und 0,5 liegt. Das Q der Öffnung kann durch Kombination von (3, Glng. 5.54 und 5.55) berechnet werden und führt auf die folgende Beziehung

$$Q_v = \omega M_{ap} / R_{ap} = (S_v f / \mu)^{-1} (1 + 1,70a) / (1 + 2a) \quad (7)$$

mit

Q_v effektives Q der Gehäuseöffnung

S_v Öffnungsfläche (konstanter Öffnungsquerschnitt angenommen)

l aktuelle Länge der Gehäuseöffnung

a effektiver Radius der Öffnung

μ kinematischer Viskositätskoeffizient; für Luft unter Normalbedingungen gilt $\mu = 1,56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Damit ergibt sich für den unteren von Novak angegebenen Grenzwert der Öffnungsfläche $S_v = 4 \text{ inch}^2$ und eine Frequenz von $f = 25 \text{ Hz}$ die Öffnungsgüte $Q_v = 64$. Da die in diesem Beispiel verwendeten Werte von S_v und f untere Grenzwerte für die Praxis darstellen, kann davon ausge-

gangen werden, daß die unter Punkt 4 genannte Vernachlässigung kaum zu Fehlern führt; das wird in Abschnitt 11 noch einmal belegt.

Im Vorangegangenen wurde die Wirkung von M_{a2} und R_{ar2} vernachlässigt, weil Q_v in keinem der betrachteten Fälle unter 30 lag.

5. Die Messungen an 50 Lautsprechern ergaben auch, daß das Q_a des Lautsprechers aufgrund seines R_{as} üblicherweise zwischen 3 und 10 liegt, so daß R_{as} keinen besonderen Einfluß besitzt. Da aber R_{as} mit dem äquivalenten elektrischen Widerstand (siehe auch Glng. 8) zusammengefaßt werden kann und weil es für die Lautsprechermessungen entsprechend Abschnitt 14 einige Bedeutung hat, wird es trotzdem in die Ersatzschaltung nach Bild 2 aufgenommen. Das in Bild 3 dargestellte mechanische Ersatzschaltbild entsteht durch Multiplikation der in Bild 2 angegebenen akustischen Impedanzen mit dem Konversionsfaktor S_d^2 entsprechend Gleichung 2. So werden die an der Lautsprechermembran wirkenden mechanischen Impedanzen der gesamten akustomechanischen Konstruktion beschrieben.

Da die Konversion lediglich die Multiplikation mit einer Konstante beinhaltet, bleibt die Form der Ersatzschaltung gleich. Erfolgt allerdings die Umsetzung der Schaltung in Bild 3 zur elektrischen Ersatzschaltung in Bild 4, dann muß entsprechend Glng. 1 eine Impedanzinversion durchgeführt werden. Alle Serienelemente werden zu Parallelelementen, Induktivitäten

werden zu Kapazitäten und umgekehrt. Daher ist L_{ces} die von der Komplianz der Lautsprecheraufhängung hervorgerufene elektrische Induktivität, C_{mes} die von der Masse des Lautsprecherkonus verursachte elektrische Kapazität, C_{mev} die von der Luftmasse in der Öffnung verursachte elektrische Kapazität und L_{ceb} die von der Komplianz des Gehäuses hervorgerufene elektrische Induktivität. In Bild 4 sind gestrichelt umrahmt zwei zusätzliche Elemente aufgenommen, die in den früheren Ersatzschaltbildern vernachlässigt wurden. Sie beschreiben die Induktivität und den Parallelwiderstand (hauptsächlich verursacht durch Wirbelstromverluste im Lautsprechermagneten und an der Frontplatte) der Schwingspule. (Hoffentlich verursachen diese zusätzlichen Elemente keine Verwirrungen!) Diese Elemente tragen bei tiefen Frequenzen nur sehr wenig zum Gesamtverhalten bei, verdeutlichen aber den in Bild 5 dargestellten resultierenden elektrischen Impedanzverlauf über f_n . Im Rahmen der Prüfprozeduren nach Abschnitt 14 gewinnt das größere Bedeutung.

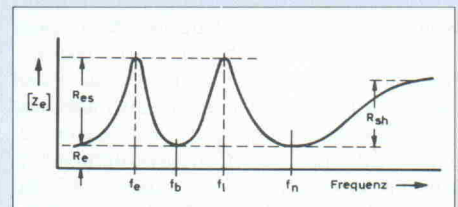


Bild 5. Der typische Impedanzverlauf einer Reflexbox.

3. Ableitung des Frequenzganges

Die mathematische Beschreibung des Frequenzganges eines Lautsprechers in ventiliertem Gehäuse folgt aus der Analyse der Ersatzschaltung in Bild 2. Zur Vereinfachung werden alle Serienwiderstände zu einem akustischen Gesamtwiderstand (Gleichung 8) zusammengefaßt.

$$R_{at} = R_{as} + [B^2 l^2 / (R_g + R_e) S_d^2] \quad (8)$$

Wir haben bereits festgestellt, daß die Strahlungswiderstände des Lautsprechers und der Öffnung immer gleich sein müssen. Und da der abgestrahlte Schall von der Summe der Volumengeschwindigkeiten U_c und U_p abhängt (genauer gesagt von ihrer Differenz, da U_p eine Funktion des Druckes auf der Rückseite des Lautsprechers ist), ergibt sich die akustische Ausgangsleistung zu

$$W_{ao} = |U_c - U_p|^2 R_{ar1} \quad (9)$$

während die elektrische Eingangsleistung

$$W_{ei} = E_g^2 R_c / (R_g + R_e)^2 \quad (10)$$

ist. Daraus folgt der Wirkungsgrad zu

$$\eta = W_{ao} / W_{ei} = [|U_c - U_p|^2 R_{ar1} (R_g + R_e)^2] / (E_g^2 R_c) \quad (11)$$

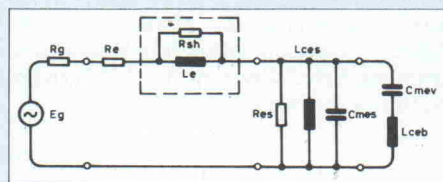


Bild 2. Das vereinfachte akustische Ersatzschaltbild.

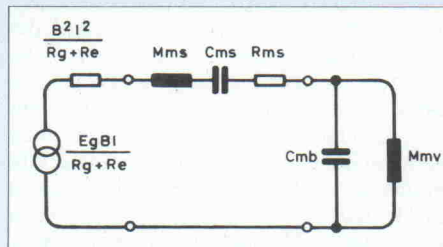


Bild 3. Das vereinfachte mechanische Ersatzschaltbild.

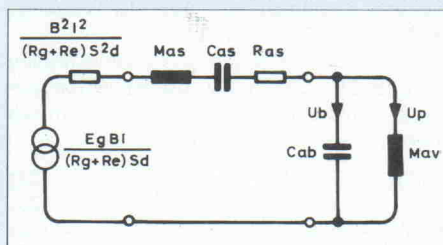


Bild 4. Das vereinfachte elektrische Ersatzschaltbild.

Durch Analyse der Schaltung finden wir

$$(U_c - U_p) / [E_p B / S_d (R_g + R_e)] = 1 / p M_{as} \times \left[\frac{p^2 M_{as} M_{ab} C_{ab} C_{as}}{p^4 M_{as} M_{ab} C_{ab} C_{as} + p^3 M_{as} C_{ab} R_{at}} + p^2 (M_{as} C_{as} + M_{ab} C_{ab}) + p C_{ab} R_{at} + 1 \right] \quad (12)$$

Zur Vereinfachung dieses etwas länglichen Ausdrucks bezeichnen wir den Inhalt der eckigen Klammern auf der rechten Seite als $E(p)$. Dadurch wird ein Hochpaßfilter 4. Ordnung beschrieben. Der Übergang von p auf $j\omega$ führt dann auf den Frequenzgang $E(j\omega)$ im eingeschwungenen Zustand. Außerdem wird der Ausdruck $p M_{as}$ aus der Operatorform in die stationäre Form $j\omega M_{as}$ überführt und dann die Substitution durchgeführt.

$$M_{ms} = M_{as} S_d^2 \quad (13)$$

So wird die Massenformulierung verständlicher, obwohl dabei vorausgesetzt ist, daß die mechanische Gesamtmasse M_{ms} des Lautsprechers nicht nur die Masse des Konus und der Schwingspule umfaßt, sondern auch das mechanische Äquivalent der akustisch wirksamen Luftbelastung. Letzteres macht zwar nur einen kleinen Teil der Gesamtmasse aus, ändert sich aber mit den Einbaubedingungen des Lautsprechers, z.B. mit dem Gehäusevolumen (3). Durch Einsetzen der Gleichungen 6, 12 und 13 in Gln. 11 folgt der Wirkungsgrad zu

$$\eta = \rho_0 B^2 l^2 S_d^2 |E(j\omega)|^2 / 4\pi c R_e M_{ms}^2 \quad (14)$$

oder zu

$$\eta = (\rho_0 / 4\pi c) (B^2 l^2 S_d^2 / R_e M_{ms}^2) |E(j\omega)|^2 \quad (15)$$

Der mathematische Ausdruck für den Wirkungsgrad beinhaltet demnach 3 Teile:

1. einen konstanten Teil, der die physikalischen Konstanten beinhaltet,
2. einen konstanten Teil, der die Lautsprecherparameter umfaßt,
3. $|E(j\omega)|^2$, der sich als Funktion der Frequenz ändert.

4. Die Beeinflussung des Frequenzganges

Größtes Interesse besteht daran, den Frequenzgang gezielt zu beeinflussen. Daher betrachten wir zunächst $|E(j\omega)|^2$ oder besser die Operatorform $E(p)$. Um damit einfacher arbeiten zu können, ersetzen wir im $E(p)$ der Gln. 12

$$T_s^2 = (1/\omega_s)^2 = M_{as} C_{as} \quad (16)$$

$$T_b^2 = (1/\omega_b)^2 = M_{av} C_{ab} \quad (17)$$

$$Q_t = (M_{as} / C_{as})^{1/2} / R_{at} \quad (18)$$

Darin ist ω_s die Resonanzfrequenz, während ω_b die Eigenfrequenz des Gehäuses oder exakter ausgedrückt, die Frequenz ist, bei der die akustische Masse der Gehäuseöffnung zusammen mit der akustischen Kapazität des Gehäuses in Resonanz gerät. Diese Frequenz sollte nicht, wie das häufig passiert, mit f_h oder f des Bildes 5 verwechselt werden, die Nebenprodukte von f_s und f_b sind (siehe dazu auch die Gleichungen 105 u. 106).

Q_t ist die wirksame Güte Q des an den Verstärker geschalteten Lautsprechers. Während R_{as} nur wenig Wirkung zeigt, tragen Lautsprecherwiderstand R_e und das R_g des Verstärkers wesentlich zur Güte Q_t bei. Das $E(p)$ aus Gleichung 12 kann nun folgendermaßen formuliert werden:

$$E(p) = \frac{p^4 T_b^2 T_s^2}{\left\{ \frac{p^4 T_b^2 T_s^2 + p^3 (T_b^2 T_s^2 / Q_t)}{1 + p^2 [T_b^2 + T_s^2 + T_b^2 C_{as} / C_{ab}] + p (T_s / Q_t) + 1} \right\}} \quad (19)$$

Für viele Zwecke ist folgende Schreibweise günstiger:

$$E(p) = 1 / \left\{ 1 + 1/p Q_t T_s + \frac{(1/p^2) [1/T_b^2 + 1/T_s^2 + C_{as}/C_{ab} T_s^2]}{1 + 1/p^3 T_b^2 T_s Q_t + 1/p^4 T_b^2 T_s^2} \right\} \quad (20)$$

Dieser Ausdruck entspricht dem von Novak in seiner Gleichung 15 formulierten, der dann in seiner Gleichung vereinfacht wird.

Wie bereits erwähnt, beschreibt $E(p)$ die Übertragungsfunktion eines Hochpasses 4. Ordnung, die sich im Sperrbereich asymptotisch einer mit 24 dB/Oktave abfallenden Geraden nähert. Ein Hochpaß 4. Ordnung kann allgemein durch folgenden Ausdruck beschrieben werden:

$$E(p) = 1 / \left\{ 1 + x_1/p T_0 + \frac{x_2/p^2 T_0^2}{x_3/p^3 T_0^3 + 1/p^4 T_0^4} \right\} \quad (21)$$

Die definierten Parameter umfassen eine Zeitkonstante T_0 (gleich $1/\omega_0$, die nominelle Eckfrequenz) und drei Koeffizienten X_1 , X_2 und X_3 , die den Verlauf der Übertragungsfunktion bestimmen. Betrachten wir Gleichung 20 nun unter dem Gesichtspunkt, wie der Frequenzgang eines vorgegebenen Lautsprechers mit den festen Parametern C_{as} und T_s günstig beeinflusst werden kann. Mit Hilfe der drei Variablen Q_t , T_b und C_{ab} ist es nun möglich, jeden gewünschten Verlauf der Übertragungsfunktion einzustellen (genauer gesagt, jede gewünschte Kombination der drei Koeffizienten). Dadurch wird aber T_0 festgelegt (siehe auch Gleichung 27).

Für Übereinstimmung der Gleichungen 20 und 21 müssen die Koeffizienten der entsprechenden p -Teilausdrücke identisch sein; im einzelnen muß gelten:

$$x_1/T_0 = 1/Q_t T_s \quad (22)$$

$$x_2/T_0^2 = 1/T_b^2 + 1/T_s^2 + C_{as}/C_{ab} T_s^2 \quad (23)$$

$$x_3/T_0^3 = 1/Q_t T_b^2 T_s \quad (24)$$

$$1/T_0^4 = 1/T_b^2 T_s^2 \quad (25)$$

Daraus lassen sich folgende Beziehungen herleiten:

$$T_b/T_s = x_1/x_3 \quad (26)$$

$$T_0/T_s = (x_1/x_3)^{1/2} \quad (27)$$

$$Q_t = 1/(x_1 x_3)^{1/2} \quad (28)$$

$$C_{as}/C_{ab} = (x_1 x_2 x_3 - x_3^2 - x_1^2)/x_1^2 \quad (29)$$

Das Hurwitz'sche Stabilitätskriterium fordert für das durch Gleichung 21 definierte Netzwerk, daß

1. alle X -Koeffizienten positiv sind und
2. $X_1 X_2 X_3 - X_3^2 - X_1^2$ positiv ist.

Sind die Bedingungen 1 und 2 erfüllt, dann sind alle in den Gleichungen 26-29 festgelegten Parameter positiv und daher realisierbar. Wir besitzen also mit diesen vier Gleichungen einen Satz einfacher Beziehungen, die es uns erlauben, jedem Lautsprecher im Bereich seiner unteren Grenzfrequenz einen beliebigen Verlauf der Übertragungsfunktion zu geben (4. Ordnung). Die einzige Bedingung ist, daß wir genügend Freiheit bei der Auswahl der Gehäuseresonanzfrequenz $1/T_b$, des Gehäusevolumens C_{ab} und der Gesamtgüte Q_t von Lautsprecher plus Verstärker besitzen und den resultierenden Wert von T_0 akzeptieren können.

Die Beeinflussung des ersten Parameters T_b bereitet praktisch keine Schwierigkeiten. Die Veränderung von C_{ab} kann Probleme bereiten, wenn die Wahl der Abmessungen eingeschränkt ist. Aber in diesem Fall können wir, wie Abschnitt 7 zeigen wird, die Arbeit von hinten beginnen und über einen akzeptablen Frequenzgang die Gehäusegröße festlegen. Der dritte Parameter Q_t wird durch die Quellenimpedanz des Verstärkers (Ausgangsimpedanz) beeinflusst. Ist das notwendige Q_t größer als das Q des Lautsprechers selbst, dann wird dem Verstärker eine positive Ausgangsimpedanz abverlangt. Deren Einstellung erfolgt mit den üblichen Gegenkopplungsmaßnahmen. Muß Q_t kleiner als Q sein, ist eine negative Ausgangsimpedanz erforderlich. Sie kann beispielsweise durch eine zusätzliche Rückkopplung von einer separaten Schwingspulenwicklung erfolgen oder durch Kombination einer positiven Strom- und negativen Spannungsrückkopplung. Hierfür existiert eine praktische Grenze, wenn nämlich der erforderliche Wert der negativen Impedanz zu groß wird; näheres dazu siehe in Abschnitt 12.

5. Einige praktische

Verläufe von

Übertragungsfunktionen

Butterworth - Verhalten 4. Ordnung:

Vorsehen mit den Gleichungen 26 bis 29 können wir die Parameter von Übertragungsfunktionen mit unterschiedlicher Charakteristik berechnen. Am naheliegendsten ist die Bestimmung eines maximal flachen Frequenzganges (Butterworth), für den gilt:

$$|E(j\omega)| = 1/[1 + (\omega_0/\omega)^8]^{1/2} \quad (30)$$

oder

$$|E(j\omega)|^2 = 1/[1 + (\omega_0/\omega)^8] \quad (31)$$

In Operatorform lauten diese Beziehungen

$$E(p) = 1/(1 + 2,613/pT_0 + 3,414/p^2T_0^2 + 2,613/p^3T_0^3 + 1/p^4T_0^4) \quad (32)$$

Beachten Sie, daß in Gleichung 31 und anderen noch folgenden das Verhältnis irgendwelcher Frequenzen, z.B. ω_a/ω_b identisch ist mit f_a/f_b . Für alle Butterworth-Frequenzgänge gilt, daß sie bei $\omega = \omega_0$ oder $\omega T_0 = 1$ um 3 dB gegenüber dem Durchlaßbereich abgefallen sind.

Eine weitere, für Butterworth-Frequenzgänge und auch andersartige geltende Vereinfachung, die auch die Rechnung erleichtert, ist

$$x_1 = x_3. \quad (33)$$

Damit folgt

$$T_b = T_s \quad (34)$$

$$T_o = T_s \quad (35)$$

$$Q_t = 1/x_1 \quad (36)$$

$$C_{as}/C_{ab} = x_2 - 2 \quad (37)$$

Im Fall des Filters 4. Ordnung ist

$$x_1 = x_3 = 2,613 \quad (38)$$

$$x_2 = 3,414 \quad (39)$$

und

$$Q_t = 0,383 \quad (40)$$

$$C_{as}/C_{ab} = 1,414 \quad (41)$$

Dem entspricht die Kombination Nr. 5 in Tabelle 1. Es handelt sich hier offensichtlich um die konventionelle Form des Gehäuseabgleichs, da die Gehäusefrequenz f_b identisch mit der Resonanzfrequenz f_s des Lautsprechers ist und außerdem der Frequenz f_3 entspricht, bei der im Frequenzgang ein Abfall von -3 dB auftritt. Beachten Sie, daß sich aufgrund der starken Änderung der Abschwächung im Übergang zum Sperrbereich das Übertragungsverhalten bei 1,2 f_s lediglich um -0,9 dB verringert hat.

Es wird aber auch deutlich, daß ein wirklich gerader Frequenzgang nur mit korrekten Werten für die Gehäusegröße C_{as} und besonders Q_t erzielt werden kann. Anhand Gleichung 20 kann einfach gezeigt werden, daß für jede Parameterkombination bei der oberen Resonanzfrequenz (f_h in Bild 5) das Übertragungsverhalten durch

$$E(j\omega) = j(Q_t\omega_h/\omega_s)/[1 - (\omega_b^2/\omega_h^2)] \quad (42)$$

beschrieben werden kann. Dieser Ausdruck hängt direkt von Q_t ab. Weiterhin gilt bei der Resonanzfrequenz f_b des Gehäuses

$$E(j\omega) = (C_{ab}/C_{as}) (\omega_b^2/\omega_s^2) \quad (43)$$

Demnach ist bei dieser Frequenz keine Beeinflussung durch Q_t zu erwarten.

Nimmt Q_t das Zweifache des optimalen Wertes an, dann wird im Frequenzgang eine Überhöhung um 6 dB auftreten. Als Richtwert gilt, daß ein Lautsprecher mit einem Q von ca. 0,4, wie es in diesem Fall gefordert wird, üblicherweise von guter Qualität ist.

Ein Q von 0,8 ist typisch für mittelmittlere Lautsprecher und ein Q von 1,6 weist auf 'Allerwelts'-Lautsprecher hin. Da diese Lautsprecher (in diesem Fall bei 1,76 ω_s) Überhöhungen von 6 dB, bzw. 12 dB aufweisen, wenn sie von einem Verstärker mit der Ausgangsimpedanz Null angesteuert werden, treten sogar Überhöhungen von 12 dB bzw. 18 dB auf, wenn die Ausgangsimpedanz des Verstärkers dem Lautsprecherwiderstand R_e entspricht. Die Resonanzwirkung nimmt mit wachsender Verstärkerimpedanz noch zu. Nun wird der Ausdruck 'Dröhnbox' verständlich.

Ein Verstärker mit negativer Ausgangsimpedanz, die betragsmäßig halb so groß ist wie der Lautsprecherwiderstand R_e , läßt sich gut realisieren und kann einen Lautsprecher mittlerer Qualität korrigieren und die Überhöhung eines billigen Lautsprechers um 6 dB vermindern. Besitzt der Verstärker eine Ausgangsimpedanz, deren Betrag 0,75 von R_e ist, so lassen sich auch schwache Lautsprecher korrigieren; allerdings können in diesen Fällen schon Stabilitätsprobleme auftreten (siehe auch Abschnitt 12).

Butterworth-Filter 5. Ordnung

Diese Filter besitzen folgende Charakteristik:

$$|E(j\omega)|^2 = 1/[1 + (\omega_0/\omega)^{10}] \quad (44)$$

Der entsprechende Operationsausdruck kann auf folgende Form gebracht werden:

$$E(p) = 1/[(1 + 1/pT_0)(1 + \sqrt{5}/pT_0 + 3/p^2T_0^2 + \sqrt{5}/p^3T_0^3 + 1/p^4T_0^4)] \quad (45)$$

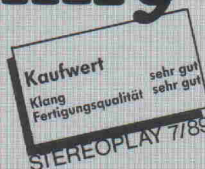


139,-

unverbindliche
Preisempfehlung
inklusive
MDF-Gehäuse-
Bausatz

ADT · Family

„Die superpreiswerte
ADT · Family hatte ...
soliden Baß und viel
Lebendigkeit, ...
was preisklassenbezogen
ein hervorragendes
Ergebnis darstellt.“
Textauszug Stereoplay 7/89



A. Bankewitz
Maxstr. 36
5300 Bonn 1
0228 · 652741



klein aber fein
Tonhallenstr. 49
4100 Duisburg 1
0203 · 29898



Audio Design GmbH &
Kurfürstenstr. 53 CO KG
4300 Essen 1
0201 · 277427



Pink Noise · W. Stahl
Morianstr. 32
5600 Wuppertal
0202 · 443476



M. Orthen
Karlsgraben 35
5100 Aachen
0241 · 35206



A. Bankewitz
Kamekestr. 2-8
5000 Köln 1
0221 · 561693

Vertrieb: Audio Design GmbH & Co KG
4300 Essen 1 Kleine Steubenstr. 26
Tel. 0201 · 283061/62 Fax 0201 · 277448

Dadurch wird die Charakteristik zweier in Kaskade geschalteter Filter beschrieben:

1. ein Filter erster Ordnung, das aus einem RC-Netzwerk mit der Zeitkonstanten T_0 besteht und

2. ein Filter 4. Ordnung, welches durch die Kombination eines Lautsprechers und eines Gehäuses mit folgenden Kennwerten gebildet wird:

$$T_0 = T_s = T_b \quad (46)$$

$$Q_t = 0,447 \quad (47)$$

$$C_{as}/C_{ab} = 1 \quad (48)$$

Die Kombination Nr. 10 in Tabelle 1 hat den Vorteil, daß bis zur Lautsprecherresonanzfrequenz ein maximal flacher Frequenzgang erzielt werden kann. Dafür muß aber eine gewisse Zunahme des Gehäusevolumens toleriert werden. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß das Eingangssignal des Verstärkers mit einem einfachen Rumpelfilter von tieffrequenten, bereits im Sperrbereich der Lautsprecheranordnung liegenden Frequenzkomponenten befreit werden kann, so daß der Lautsprecher vor zu großen Membranauslenkungen bewahrt wird.

Butterworth-Filter 6. Ordnung

Diese Filter besitzen folgende Charakteristik:

$$|E(j\omega)|^2 = 1/[1 + (\omega_0/\omega)^{12}] \quad (49)$$

Die entsprechende Operatorform lautet:

$$E(p) = 1/[(1 + 1,932/pT_0 + 1/p^2T_0^2) \cdot (1 + 1,414/pT_0 + 1/p^2T_0^2) \cdot (1 + 0,518/pT_0 + 1/p^2T_0^2)] \quad (50)$$

Wie im vorherigen Fall entsteht das Übertragungsverhalten zum einen durch ein externes Filter zweiter Ordnung und zum anderen durch die als Filter 4. Ordnung wirkende Kombination von Lautsprecher und Gehäuse. Daher können wir auf 3 verschiedenen Wegen identisches Übertragungsverhalten erreichen. Sie sind als die Kombinationen 15, 20 und 26 in Tabelle 1 angegeben. Die drei getrennten Klassen er-

geben sich, wenn die zusätzliche elektrische Schaltung den niedrigsten, mittleren oder höchsten X-Wert der 3 Faktoren in der Kombination annimmt. Die drei Kombinationen ergeben nicht nur das gleiche Übertragungsverhalten, sondern verursachen, wie später (Abschnitt 10 und Bild 10) noch gezeigt wird, identische Konus- oder Membranbewegungen.

Daraus folgt das grundlegende Prinzip, daß Gehäusegröße gegen Verstärkerleistung getauscht werden kann. Die einzigen zusätzlichen Einschränkungen lauten:

1. zusätzliche Erwärmung der Schwing-spule durch Signalkomponenten im Bereich der Eckfrequenz und

2. das Erfordernis nach einem kleineren Wert von Q_t , wenn das Gehäusevolumen sinkt.

Die erforderlichen Eigenschaften der externen Filterschaltung sind in den letzten vier Spalten von Tabelle 1 angegeben. Bild 6 stellt die zugehörigen Terme graphisch dar. Anstatt des Parameters X im Ausdruck

$$E(p) = 1/(1 + x/pT_0 + 1/p^2T_0^2) \quad (51)$$

wird das Übertragungsverhalten in Tabelle 1 durch den Parameter Y im Ausdruck

Tabelle 1. Es sind natürlich noch mehr Abstimmungsvarianten möglich als die hier angegebenen 28. Sie können durch Interpolation gefunden werden.

Alignments					Gehäuse-Daten				Vorentzerrung				Gleichbleibende Faktoren	
	No.	Typ	k	Welligkeit (dB)	f_3/f_s	f_3/f_b	C_{as}/C_{ab}	Q_t	f_{aux}/f_3	y_{aux}	Anhebung (dB)	f_{pk}/f_3	$\frac{C_{as}f_s^2}{C_{ab}f_3^2}$	$\frac{Q_tf_h}{f_s}$
Quasi-3. Ordnung	1	QB ₃	—	—	2,68	1,34	10,48	0,180	—	—	—	—	1,47	0,360
	2	QB ₃	—	—	2,28	1,32	7,48	0,209	—	—	—	—	1,44	0,362
	3	QB ₃	—	—	1,77	1,25	4,46	0,259	—	—	—	—	1,43	0,367
	4	QB ₃	—	—	1,45	1,18	2,95	0,303	—	—	—	—	1,41	0,371
4. Ordnung	5	B ₄	1,0	—	1,000	1,000	1,414	0,383	—	—	—	—	1,41	0,383
	6	C ₄	0,8	—	0,867	0,935	1,055	0,415	—	—	—	—	1,41	0,384
	7	C ₄	0,6	0,2	0,729	0,879	0,729	0,466	—	—	—	—	1,37	0,386
	8	C ₄	—	0,9	0,641	0,847	0,559	0,518	—	—	—	—	1,36	0,392
	9	C ₄	—	1,8	0,600	0,838	0,485	0,557	—	—	—	—	1,35	0,398
5. Ordnung	10	B ₅	1,0	—	1,000	1,000	1,000	0,447	1,00	—	—	—	—	—
	11	C ₅	0,7	—	0,852	0,934	0,583	0,545	1,43	—	—	—	—	—
	12	C ₅	0,4	0,25	0,724	0,889	0,273	0,810	2,50	—	—	—	—	—
	13	C ₅	0,355	0,5	0,704	0,882	0,227	0,924	2,93	—	—	—	—	—
	14	C ₅	0,278	1,0	0,685	0,877	0,191	1,102	3,60	—	—	—	—	—
6. Ordnung Klasse 1	15	B ₆	1,0	—	1,000	1,000	2,73	0,299	1,00	—1,732	+ 6,0	1,07	—	—
	16	C ₆	0,8	—	0,850	0,868	2,33	0,317	1,01	—1,824	+ 7,7	1,06	—	—
	17	C ₆	0,6	—	0,698	0,750	1,81	0,348	1,02	—1,899	+ 10,1	1,05	—	—
	18	C ₆	0,5	—	0,620	0,698	1,51	0,371	1,03	—1,930	+ 11,6	1,05	—	—
	19	C ₆	0,414	0,1	0,554	0,659	1,25	0,399	1,04	—1,951	+ 13,2	1,04	—	—
6. Ordnung Klasse 2	20	B ₆	1,0	—	1,000	1,000	1,000	0,408	1,00	0	—	—	—	—
	21	C ₆	0,8	—	0,844	0,954	0,722	0,431	1,10	—0,438	+ 0,2	2,36	—	—
	22	C ₆	0,6	—	0,677	0,917	0,500	0,461	1,21	—0,941	+ 1,1	1,77	—	—
	23	C ₆	0,5	—	0,592	0,902	0,414	0,484	1,27	—1,200	+ 1,9	1,63	—	—
	24	C ₆	0,414	0,1	0,520	0,890	0,353	0,513	1,31	—1,414	+ 3,0	1,55	—	—
6. Ordnung Klasse 3	25	C ₆	0,268	0,6	0,404	0,876	0,276	0,616	1,37	—1,732	+ 6,0	1,47	—	—
	26	B ₆	1,0	—	1,000	1,000	0,732	0,518	1,00	+ 1,732	—	—	—	—
	27	C ₆	0,268	0,6	0,778	0,911	0,110	1,503	2,73	0	—	—	—	—
	28	QB ₃	—	—	0,952	0,980	1,89	0,328	1,08	—	6,0	0	—	—

$$|E(j\omega)|^2 = 1/[1 + y(\omega_0/\omega)^2 + (\omega_0/\omega)^4] \quad (52)$$

angegeben. Es gilt

$$y = x^2 - 2 \quad (53)$$

Ist Y gleich Null oder positiv, dann tritt im Frequenzband, wie Bild 6 zeigt, keine Überhöhung auf. Ist Y jedoch negativ, dann folgt daraus eine Resonanzüberhöhung mit einer Frequenz und Amplitude, wie sie in Tabelle 1 angegeben ist. Die Amplitude dieses zusätzlichen Filters bei der nominellen Eckfrequenz f_{aux} folgt aus

$$|E(j\omega)| = 1/(2+y)^{1/2} \quad (54)$$

Tschebyschev-Frequenzgänge

Werden die reellen Werte der Polstellen einer Butterworthfunktion insgesamt mit einem gleichen Faktor k multipliziert, der kleiner als eins ist, dann beschreibt die Übertragungsfunktion ein Tschebyschevfilter oder wie es auch genannt wird, ein Filter mit konstanter Welligkeit (7). Tschebyschevfilter sind durch einen flachen Frequenzgang im Durchlaßband charakterisiert, wobei die restliche Welligkeit konstante Amplitude aufweist (siehe dazu auch Kurve 8 in Bild 8). Jenseits der Eckfre-

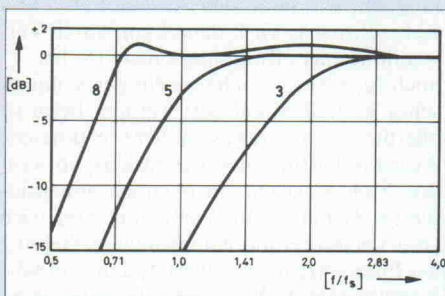


Bild 8. Typische Wiedergabekurven eines Lautsprechers in verschieden abgestimmten Gehäusen. Die Ziffern entsprechen den Alignments in Tabelle 1.

quenz ist der Abfall im Frequenzgang größer als die Steigung der Asymptote. Typische Werte für Tschebyschevfilter vierter, fünfter und sechster Ordnung sind unter der Typenbezeichnungen c4, c5 und c6 in Tabelle 1 angegeben. Die Tabelle macht deutlich, daß der Systemabgleich erheblich verändert werden muß, bevor die Welligkeit auf ein akzeptables Maß sinkt. Für unsere Zwecke soll der Tschebyschevfrequenzgang dazu dienen, den nutzbaren Frequenzbereich der Lautsprecher-Gehäuseselektion auf Frequenzen unterhalb der Resonanzfrequenz des Lautsprechers f_s zu erweitern (f_s ist mit der Eckfrequenz f_0 von Butterworthfunktionen identisch). Das wird erreicht, indem das Gehäuse auf eine Frequenz unter f_s abgestimmt wird, aber wiederum nicht so tief wie die Eckfrequenz (hier als f_3 definiert; die Frequenz, bei der der Frequenzgang um 3 dB abgefallen ist). Die Gehäusegröße C_{ab} und in gewissem Maß auch Q_t nimmt zu.

Die Anhebung tieffrequenter Signalkomponenten ist beträchtlich. Mit der Kombination Nr.9 gelingt sie bis hinunter zu $0.6 f_s$ ohne zusätzliche Maßnahmen am Verstärker, vorausgesetzt, eine Welligkeit von 1.8 dB kann toleriert werden. Mit Kombination 25, zu der auch der Verstärker mit einer Anhebung von 6 dB beitragen muß, kann ein flacher Frequenzgang bis nahezu $0.4 f_s$ erreicht werden.

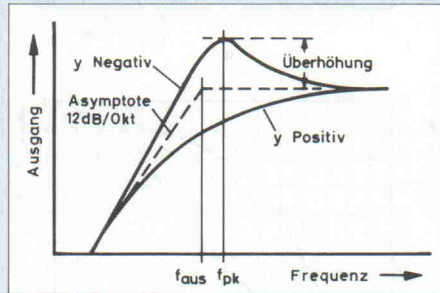


Bild 6. Typische Durchlaßkurven für ein Hochpaßfilter 2. Ordnung.

Quasi-Butterworthfrequenzgänge 3. Ordnung

Unter dieser Bezeichnung werden folgendermaßen charakterisierte Frequenzgänge verstanden:

$$|E(j\omega)|^2 = 1/[1 + y_3(\omega_0/\omega)^6 + y_4(\omega_0/\omega)^8] \quad (55)$$

In dieser Beziehung sind die Koeffizienten der Teilausdrücke zweiter und vierter Ordnung identisch Null, während die Ausdrücke achter und sechster Ordnung von Null verschiedene Koeffizienten aufweisen. Dieser Typ von Frequenzgang umfaßt die Kombinationen 1 bis 4 der Tabelle 1. Dafür liegt die Grenzfrequenz (wiederum definiert als f_3 mit einem Abfall von 3 dB) oberhalb der Resonanzfrequenz des Lautsprechers. Das gleiche gilt auch für die Resonanzfrequenz des Gehäuses, allerdings nicht im gleichen Maße. Wird die Grenzfrequenz höher gelegt, dann kann das Gehäusevolumen und auch Q_t abnehmen.

6. Diskussion der Tabelle 1

Mit den Kombinationen 1 bis 9 kann die Grenzfrequenz einer Lautsprecher-Gehäuse-Kombination in weiten Grenzen variiert werden. In den beiden letzten Spalten der Kombinationen werden interessierende Eigenschaften angegeben, die innerhalb dieses weiten Frequenzbereiches im wesentlichen konstant bleiben (+/- 5%).

1. Der Ausdruck $C_{as} \cdot f_s^2 / C_{ab} \cdot f_3^2$ besitzt einen im wesentlichen konstanten Wert um 1.414. Wird also ein gegebener Lautsprecher mit festen Werten für C_{as} und f_s zur Erzeugung unterschiedlicher Eckfrequenzen in verschiedene Gehäuse eingebaut, dann muß sich das Gehäusevolumen umgekehrt proportional zum Frequenzquadrat verändern. Dieser Zusammenhang ist den Konstrukteuren ventilier-

ter Gehäuse bereits seit langem bekannt, er wurde aber durch solche Schlagworte wie 'revolutionär neue Konzepte' etwas verwischt. Sie besagen, je größer das Gehäuse, desto besser das tieffrequente Übertragungsverhalten. Außerdem soll auf folgenden interessanten Zusammenhang hingewiesen werden:

$$C_{as} f_s^2 = 1/4 \pi^2 M_{as} = S_d^2 / 4 \pi^2 M_{ms} \approx 1,41 \quad (56)$$

Er besagt, daß das Gehäusevolumen bei vorgegebener Eckfrequenz proportional dem Quadrat der Membranfläche S_d und invers proportional zu M_{ms} ist. Wird also die Masse des Lautsprechers M_{ms} festgehalten und die Komplianz C_{as} variiert, um unterschiedliche Resonanzfrequenzen f_s zu erreichen, dann bleibt das Gehäusevolumen C_{ab} bei vorgegebener Eckfrequenz f_3 im wesentlichen konstant. In diesem Rahmen und auch in Gleichung 66, die den Wirkungsgrad beschreibt, ist die Komplianz des Lautsprechers unwichtig.

2. Der Quotient $Q_t \cdot f_b / f_s$ liegt bei einem Wert von ca. 0.38. Wird Gleichung 18 umschrieben als

$$Q_t = \omega_s M_{as} / R_{at} \quad (57)$$

dann erhält der obige Ausdruck folgendes Aussehen: $\omega_b \cdot M_{as} / R_{at}$.

Er kann als das gesamte Q des Lautsprechers bei der Resonanzfrequenz des Gehäuses interpretiert werden. Diese Güte bleibt in den Kombinationen 1 bis 9 nahezu konstant.

Gewisse Kombinationen, z.B. 13, 14 und 27 mit Nr. 12 ergeben einen Gehäusegrenzfall, der zusätzliche Filterung mit starker Abschwächung bei der Eckfrequenz des Gesamtsystems erfordert. Solche Entwürfe müssen mit Vorsicht betrachtet werden, weil sie im Bereich der Eckfrequenz hohe akustische Wirkungsgrade aufweisen. Denken Sie daran, daß die Basis der hier erläuterten Theorie von einem insgesamt geringen Wirkungsgrad ausgeht. Für den Grenzfall Nr.12 tritt der Spitzenwirkungsgrad unmittelbar oberhalb der Eckfrequenz auf und nimmt hier einen Wert an, der um den Faktor 2.5^2 größer ist als der Wirkungsgrad des Lautsprechers. Ist dessen Wirkungsgrad beispielsweise 4%, dann bedeutet das einen maximalen Gesamtwirkungsgrad von 25%. In einem solchen Fall gelten die grundlegenden Annahmen nicht mehr, besonders dann, wenn die Widerstandsverluste groß sind.

Aus ähnlichen Gründen sollten wegen der zu erwartenden Konusausslenkungen (in Abschnitt 10 näher betrachtet) Kombinationen wie Nr. 17 bis 19 vermieden werden. Sie weisen niedrigere Werte für den Quotienten f_3 / f_b auf. Diese Kombinationen ergeben zwar auch in kleinen Gehäusen ein gutes Übertragungsverhalten bei tiefen Frequenzen, erfordern aber im Bereich der Eckfrequenz eine sehr große Verstärker-Ausgangsleistung.

Kombination 28 ist insofern interessant, als damit eine reine Baßanhebung erreicht wird. Der Frequenzgang anderer Kombinationen mit 'Verstärkerunterstützung' wächst nahe der Eckfrequenz häufig etwas an und fällt unmittelbar nach Unterschreiten dieser Frequenz mit 6 oder 12 dB/Oktave ab.

Obwohl innerhalb eines relativ schmalen Frequenzbereiches eine erhöhte Ausgangsleistung erforderlich ist, muß der Verstärker eine insgesamt geringere Ausgangsleistung bei tiefen Frequenzen liefern. Damit ist auch eine im allgemeinen wünschenswerte Verringerung der Membranauslenkung bei tiefen Frequenzen verbunden. Dagegen beschreibt Kombination 28 eine einfache Amplitudenanhebung zu tiefen Frequenzen um 6 dB, so wie sie durch ein aus zwei Widerständen und einem Kondensator bestehendes Netzwerk realisiert werden kann. Die Frequenz, bei der ein Anwachsen der Übertragungsfunktion um 3 dB auftritt, liegt bei $1,08 \cdot f_3$. Da nun aber maximale Anhebung bei tiefsten Frequenzen erfolgt, wird der Verstärker in größerem Maße dazu neigen, mit 'Rumpelkomponenten' Intermodulationsverzerrungen zu generieren. Kombination 28 hat den Vorteil, daß im Vergleich zur Kombination Nr. 5 ein etwas geringeres Gehäusevolumen erforderlich ist.

Es soll hervorgehoben werden, daß diese Kombinationen auf keinen Fall die einzig möglichen sind. Die in Tabelle 1 angegebenen werden jedoch sehr häufig verwendet und ermöglichen eine Betrachtung des Trends bei Parametervariation. Ist im Verstärker eine aufwendigere Filterung möglich, dann nehmen die Auswahlmöglichkeiten stark zu. So stehen beispielsweise 6 Kombinationen für einen Butterworth-Frequenzgang 8. Ordnung zur Verfügung, jede mit ihrem Verstärkerfilter 4. Ordnung bei Werten C_{as}/C_{ab} von 0,581, 0,681, 1,000, 1,316, 1,932 und 2,543.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, anstatt 'Quasi-Butterworth-Frequenzgängen' 'Sub-Tschebyschev-Frequenzgänge' zu realisieren. Diese Übertragungsfunktionen entstehen durch Multiplikation der reellen Koordinaten der Butterworthpole mit einem konstanten Faktor k , der größer als 1 ist.

Jetzt können wir noch einmal auf die in Abschnitt 1 gestellte Frage 1 - Was ist ein großes Gehäuse? - eingehen: Mittelgroße Gehäuse sind dadurch gekennzeichnet, daß V_b ungefähr den gleichen Wert wie V_{as} besitzt, wenn das Verhältnis C_{as}/C_{ab} zwischen 1 und 1,414 liegt. Für große Gehäuse ist C_{as}/C_{ab} kleiner als 1 und für kleine Gehäuse größer als 1,414. Nach Tabelle 1 erfordern kleinere Gehäuse auch kleinere Werte von Q_t . Wird daher Q nicht sauber kontrolliert (eingestellt), dann neigen kleinere Boxen zu einer stärkeren Überhöhung des Frequenzganges bei f_h . Bei größeren Boxen verschwindet diese Überhöhung. Bild 7 stellt Tabelle 1 in graphischer Form dar. Typische Frequenzgänge für die Kombinationen 3, 5 und 8 zeigt Bild 8.

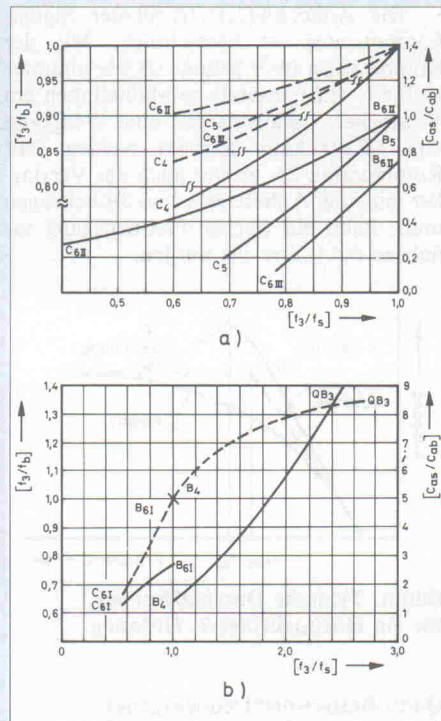


Bild 7. Die graphische Darstellung der Tabelle 1:
a (oben) für mittlere und große Boxen,
b (unten) für kleine Gehäuse.

7. Der Entwurf eines Gehäuses bei gegebenem Lautsprecher

Zunächst müssen die folgenden drei Lautsprecherparameter bekannt sein:

1. Resonanzfrequenz f_s ,
2. die Güten Q_a und Q_e ,

wobei letztere die im allgemeinen beeinflusste Komponente ist. Darauf wird detaillierter in Abschnitt 9 mit Gleichungen 71 und 72 eingegangen.

3. die akustische Kompliance C_{as} . Sie wird sinnvoll durch V_{as} ausgedrückt. Es handelt sich dabei um das Luftvolumen, dessen akustische Kompliance mit der des Lautsprechers übereinstimmt (Kompliance $\triangleq 1/\text{Steifigkeit}$).

Wird die akustische Kompliance entsprechend [3, Glng. 5.38] folgendermaßen ausgedrückt

$$C = V/\rho_0 c^2 \quad (58)$$

dann gilt:

$$C_{as}/C_{ab} = V_{as}/V_b \quad (59)$$

Darin ist V_b das Gehäusevolumen.

Für den Beginn des Gehäuseentwurfes stehen zwei Wege offen:

1. Ist das Gehäusevolumen begrenzt, dann ist V_b ein fester Wert. Bedenken Sie, es handelt sich hierbei um das Nettovolumen, das sich durch Subtraktion des Lautsprecher- und Öffnungsvolumens so-

wie der inneren Gehäuseverstreibungen (ca. 10%) vom Bruttovolumen des Gehäuses ergibt. Mit diesem Wert und der bekannten Größe von V_{as} wird das Verhältnis C_{as}/C_{ab} bestimmt. Dann erfolgt unter Verwendung von Bild 7 oder durch Interpolation in Tabelle 1 die Bestimmung der Werte f_3/f_s , f_3/f_b und Q_t . Anschließend werden f_3 und f_b berechnet.

2. Wenn ein bestimmter Frequenzgang gefordert ist (vorgegeben ist), dann sollte f_3 den Ausgangspunkt des Entwurfes bilden. Nachdem das Verhältnis f_3/f_s berechnet ist, kann wiederum aus Bild 7 oder durch Interpolation in Tabelle 1 f_3/f_b , C_{as}/C_{ab} und Q_t gefunden werden. Daraus ergeben sich f_b und V_b .

Die Entscheidung für eine bestimmte Kombination hängt stark davon ab, welche Möglichkeiten die Verstärkerschaltungen bieten. Für einfache Verstärker ohne Filterung sollten die Kombinationen 1 bis 9 gewählt werden. Kann das Gehäuse etwas größer ausgelegt werden, bieten sich die Kombinationen 10 und 11 mit ihrer einfachen RC-Filterung an. Damit nehmen die Leistungsanforderungen sowohl an Lautsprecher als auch Verstärker etwas ab. Ist eine etwas aufwendigere Eingangsfilterung möglich, wie sie in den Abschnitten 5 und 12 beschrieben wird, dann kann durch Verwendung der Kombinationen 15 bis 17 auch für kleinere Gehäuse ein gutes akustisches Verhalten realisiert werden. Dazu ist allerdings eine etwas höhere elektrische Ausgangsleistung des Verstärkers notwendig. Steht dagegen ein reichlich dimensioniertes Gehäuse zur Verfügung und wird vom Verstärker nur eine mäßige Anhebung des Frequenzganges erwartet, dann sind die Kombinationen 20 bis 25 am besten geeignet. Werden Frequenzgänge fünfter und sechster Ordnung realisiert, dann nimmt die vom Verstärker zu liefernde Leistung und die notwendige Auslenkung des Lautsprechers unterhalb der Eckfrequenz stark ab.

Sind f_b und V_b bestimmt, dann können die Abmessungen der Gehäuseöffnung mit den in [8] beschriebenen Methoden berechnet werden. Die folgende Näherung liefert brauchbare Ergebnisse. Die Standardform lautet:

$$V_b = 1,84 \times 10^8 S_v / \omega_b^2 L_v \quad (60)$$

Darin ist S_v der Querschnitt der Gehäuseöffnung in inch^2 und L_v ihre wirksame Länge in inch . Sie setzt sich aus der physikalischen Länge und einer Mündungskorrektur zusammen. Gleichung 60 wird in folgender Form

$$L_v/S_v = 1,84 \times 10^8 / \omega_b^2 V_b \quad (61)$$

etwas praktikabler. Der Ausdruck L_v/S_v hat die Einheit inch^{-1} und ist der Induktanz (akustische Masse) äquivalent. Sie bildet zusammen mit der Kapazitätz (akustische Kompliance) V_b ein schwingungsfähiges System, das bei ω_b resoniert. Ist der Quotient L_v/S_v bestimmt, dann liegt auch

der Öffnungsquerschnitt S_v fest. In Verbindung mit Gleichung 6 wurde bereits gezeigt, daß der Strahlungswiderstand und damit auch der Betrieb der offenen Box von S_v unabhängig ist. Nun wird S_v üblicherweise so groß gemacht wie die wirksame 'Abstrahl'-Fläche der Membran [8], genau gesagt also S_d . Bei dieser Dimensionierung ist aber häufig eine übermäßige Öffnungslänge notwendig. Dies gilt ganz besonders für kleine Gehäuse und niedrige Eckfrequenzen, weil bei festem Verhältnis L_v/S_v das bewegte Luftvolumen $L_v \cdot S_v$ dem Wert S_v^2 proportional ist. Hierbei wird eine geringe Verzerrung in der Öffnung erzeugt (siehe [4, Gln. 6.33]), die ihr Maximum nahe der Resonanzfrequenz des Gehäuses ω_b erreicht und proportional zu L_v ist. Andererseits gibt Novak [2] einen Wert von 4 inch² als untere Grenze an. Wie bereits erläutert, weisen auch Öffnungen mit einer kleinen Fläche hohe Werte von Q auf. Da in der Öffnung dann auch größere Wechselschnellen des Luftschalls auftreten, ist die noch linear übertragene akustische Leistung begrenzt. Die einzige Empfehlung, die gegeben werden kann, besteht darin, den Öffnungsquerschnitt so groß wie im speziellen Fall möglich zu machen. Die Obergrenze stimmt mit der Kolbenstrahlerfläche des Lautsprechers überein.

Die maximale Länge von L_v wird üblicherweise mit $\lambda/12$ angegeben. Das λ ist die Luftschallwellenlänge bei der Resonanzfrequenz f_s des Lautsprechers. Die Öffnung, die im wesentlichen als Übertragungsleitung anzusehen ist, sollte für alle Frequenzen, bei der das Gehäuse wirksam ist, wie eine konstante Masse wirken. Das bedeutet, die Länge der Öffnung muß bis zu Frequenzen etwas oberhalb von f_h in Bild 5 deutlich kürzer als $\lambda/4$ sein. Der Wert von f_h ist im Vergleich zu f_s von der akustischen Abstimmung des Gehäuses abhängig. Darüber hinaus besteht aber auch zwischen f_h und dem Quotienten C_{as}/C_{ab} eine Abhängigkeit. Mit sinkendem Gehäusevolumen wächst f_h an.

Anhand des gewählten Öffnungsquerschnittes wird zunächst der dem Mündungskorrektur-Term entsprechende Anteil im Quotienten L_v/S_v bestimmt. Diese Länge 'L' wird üblicherweise als

$$L'' = 1,70 R \quad (62)$$

angegeben. Darin ist R der wirksame Öffnungsradius. Dann ergibt sich

$$(L_v/S_v)_{\text{end}} = 0,958/\sqrt{S_v} \quad (63)$$

Das gilt für Rohre mit Flanschenden. Wird ein freistehendes Rohr verwendet, dann ist die Mündungskorrektur

$$L'' = 1,46 R \quad (64)$$

und

$$(L_v/S_v)_{\text{end}} = 0,823/\sqrt{S_v} \quad (65)$$

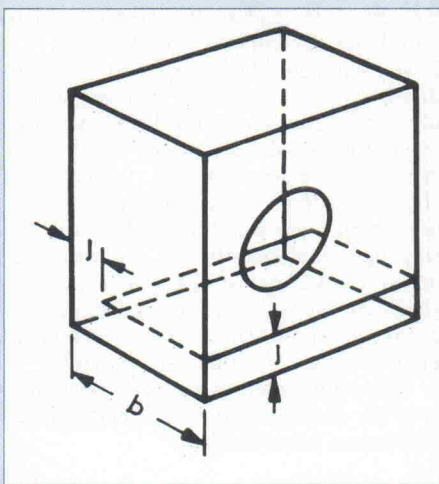


Bild 9. Der normalerweise runde Reflextunnel kann auch als flacher Kanal ausgeführt werden.

Bei der Verwendung von Rohren ist die Mündungskorrektur üblicherweise kein wesentlicher Anteil im Quotienten L_v/S_v . Dieser Anteil wird jedoch größer, wenn die Öffnung ein einfaches Loch in der Frontplatte des Gehäuses ist. Dann gilt Gleichung 63.

Eine vom Autor empfohlene Konstruktion besteht darin, über dem Gehäuseboden entsprechend Bild 9 einen Schirm zu installieren, dessen Abstand l von der Rückwand mit der Höhe der Öffnung in der Frontplatte des Gehäuses (Schallwand) übereinstimmt. In diesem Fall ist die wirksame Länge des Tunnels identisch mit der Tiefe des Gehäuses d plus Mündungskorrektur entsprechend Gleichung 62. Die akustische Abstimmung des Gehäuses erfolgt durch Variation von l .

Wenn der Ausdruck für die Mündungskorrektur (L_v/S_v)_{Mündung} ermittelt worden ist, wird er vom erforderlichen Wert L_v/S_v subtrahiert und aus dem Ergebnis die geometrische Länge L_v' berechnet. Kann diese Länge nicht realisiert werden, dann muß ein anderer Wert für S_v angenommen und damit die Prozedur wiederholt werden (siehe Anhang).

Bei der Dimensionierung des Gehäuses sollten alle Vorsichtsmaßnahmen zur Vermeidung starker stehender Wellen berücksichtigt werden. Soll ein Gehäuse mit ungerader Eckzahl realisiert werden, dann sind solche Probleme recht einfach zu beseitigen, weil die Innenflächen zumindest in zwei Dimensionen schräg zueinander verlaufen. In Rechteckgehäusen sollten die Innenabmessungen die bevorzugten Längen-Verhältnisse für kleine Räume von 0,8:1,0:1,25 oder 0,6:1,0:1,6 aufweisen. Auf jeden Fall ist die Montage des Lautsprechers in Schallwandmitte zu vermeiden.

Auf die Notwendigkeit einer guten akustischen Abdichtung mit vollständig geklebten Verbindungen, wirksamer Versteifungen und ausreichender Dämpfung der

Innenflächen ist bereits mehrfach hingewiesen worden, daher wird in diesem Beitrag nicht näher darauf eingegangen. Das gleiche gilt auch für die Diskussion der durch geschicktes Aufstellen von Lautsprechergehäusen erreichbaren akustischen Verbesserungen. Damit gemeint ist beispielsweise die Positionierung des Gehäuses in einer Raumecke und der Entwurf von Gehäusen, deren Seitenflächen bis ganz auf den Boden reichen. Letzteres wird bislang noch nicht ausreichend berücksichtigt, sondern vielmehr dem Trend nachgegeben, alle möbelartigen Gegenstände auf Füße zu stellen. Dadurch können sich aber die akustischen Eigenschaften einer Lautsprecher-Gehäusekombination deutlich verschlechtern.

Schließlich müssen beim Entwurf eines Lautsprechergehäuses noch die zur Verfügung stehenden Werte Q_a und Q_e mit dem notwendigen Q_t der zu realisierenden Kombination verglichen werden. Durch passenden Abgleich des Verstärkers läßt sich ein weitgehend korrektes Q_t einstellen. Darauf wird in Abschnitt 12 noch näher eingegangen. Der Anhang enthält ein ausgearbeitetes Beispiel.

8. Lautsprecher-

Wirkungsgrad

In Gleichung 12 wurde ein aus 3 Teiltermen bestehender Ausdruck für den Wirkungsgrad einer Lautsprecher-Gehäusekombination hergeleitet. Wir haben zwischenzeitlich den dritten frequenzabhängigen Term näher betrachtet. Nun soll auf den ersten und zweiten Teilterm eingegangen werden. Die Basisbeziehung für den Wirkungsgrad lautet:

$$\eta_{\text{ob}} = (\rho_0/4\pi c) (B^2 l^2 S_d^2 / R_e M_{\text{ms}}^2) \quad (66)$$

Es stellt sich heraus, daß der von Beranek in seiner Gleichung 7.19 angegebene Wirkungsgrad nur ein Viertel von dem in Gleichung 66 ist, wenn folgende Unterschiede in der Schreibweise erlaubt sind:

1. Multiplikation mit 100 zur Umwandlung in eine Prozentangabe.
2. Die Definition der 'nominellen Eingangsleistung' in Gleichung 10 dieses Aufsatzes als die Leistung, die von Verstärker an die nominelle Lautsprecherimpedanz R_g geliefert wird. Beraneks Betrachtungen basieren darauf, daß maximale Leistung dann transportiert wird, wenn nach seiner Gleichung 7.14 Lastimpedanz und Generatorimpedanz übereinstimmen. Wird diese Bedingung $R_g = R_e$ in seiner Gleichung 7.19 ersetzt, dann ist eine der Bedingungen für die Vergleichbarkeit mit Gleichung 66 erfüllt. Hinsichtlich der Betrachtungen zur Ausgangsleistung des Verstärkers bevorzugt der Autor, die Ausgangsimpedanz R_g des Verstärkers bei der Leistungsangabe an eine Last außer Acht zu lassen. Der Grund liegt darin, daß die Beziehung zwischen R_g und der optimalen Lastimpedanz in erster

Linie von den Eigenschaften der Leistungsbauteile in der Ausgangsstufe, wie Transistor, Pentode oder Triode abhängig ist. Außerdem kann R_g durch Rückkopplungstechniken (siehe Abschnitt 12) auf nahezu jeden gewünschten Wert manipuliert werden, ohne die Bedingung für optimale Ausgangsleistung zu beeinflussen. Daher wird in diesem Aufsatz eine abweichende Betrachtungsweise erläutert.

3. Die hier vorgenommene Zusammenfassung aller mechanischen Massen in M_{ms} .

4. Beraneks Beziehung geht von einer beidseitigen Abstrahlung der Lautsprechermembran aus, so daß im eingebauten Zustand von der Membranvorderseite doppelte Schalleistung erzeugt wird.

5. Hier wird von der Vorstellung ausgegangen, daß der Strahlungswiderstand in einem Gehäuse gleich dem eines Kolbenstrahlers am Ende eines langen Rohres ist [3, S. 216].

Dieser Strahlungswiderstand ist halb so groß wie der eines Kolbenstrahlers in unendlich großer Schallwand.

Die unterschiedlichen Ergebnisse sind daher erklärlich. Wir werden mit dem Wirkungsgrad nach Gleichung 66 weiterarbeiten, solange nicht auf etwas anderes hingewiesen wird, weil es wichtig ist, den Wirkungsgrad in praktikabler Form zu definieren. Nochmals: Der Wirkungsgrad η_{ob} beschreibt den Basiswirkungsgrad in einem Gehäuse und ist halb so groß wie der Wirkungsgrad bei Betrieb des Lautsprechers in einer unendlich großen Wand und ein Viertel so groß wie der Wirkungsgrad, der sich bei Abstrahlung von Vorder- und Rückseite in einer unendlich großen Wand ergibt.

Zum besseren Verständnis von Gleichung 66 führen wir eine weitere Substitution durch. Es kann gezeigt werden, daß folgendes gilt.

$$l^2/R_e = V_{cu}/2\sigma \quad (67)$$

Darin ist σ der Widerstand des Leiters und V_{cu} das Volumen des Schwingspulen-drahtes unter der Annahme, daß er sich vollständig im Luftspalt befindet. Ragt der Leiter aus dem Luftspalt heraus, dann muß ein Korrekturfaktor berücksichtigt werden. Dann kann Gleichung 66 folgendermaßen umschrieben werden:

$$\eta_{ob} = (\rho_o/8\pi c\sigma) (B^2 S_d^2 V_{cu}/M_{ms}^2) \quad (68)$$

Ist demnach das Leitermaterial der Schwingspule und damit σ festgelegt, dann hängt der Wirkungsgrad des Lautsprechers von den 4 Parametern im zweiten Klammerausdruck ab. Ohne zu stark in die Entwurfstechnik von Lautsprechern eindringen zu wollen, weist Gleichung 68 auf die zwei grundlegenden Fragen zur Konstruktion von Lautsprechern mit gutem Wirkungsgrad bei tiefen Frequenzen hin.

1. Wie kann das Produkt $B^2 \times V_{cu}$ bei vorgegebenem Magneten maximal gemacht werden? Problematisch ist dabei, daß mit steigendem V_{cu} eine Aufweitung oder Ver-

längerung des Luftspaltes erforderlich ist und daher die Induktion B abnimmt.

2. Wie kann ein Maximalwert für den Ausdruck S_d^2/M_{ms}^2 gefunden werden, da doch mit größer werdender Fläche bei vorgegebener Konusdicke die Masse steigt. Wird der Durchmesser reduziert, können eher Nichtlinearitäten in der Kolbenbewegung und damit unerwünschte Effekte im Übertragungsverhalten auftreten. In konventionellen Entwürfen ist die Masse im Vergleich zur Konusmasse gering (weniger als 20%), so daß nur eine geringe Wechselwirkung zwischen V_{cu} und M_{ms} auftritt.

Der Autor zieht es vor, den Wirkungsgrad als elektroakustischen Übertragungsmeßverlust auszudrücken:

$$dB_{ea} = 10 \log_{10} \eta \quad (69)$$

Dann entspricht beispielsweise dem Wirkungsgrad 1% eine Übertragungsdämpfung von 20 dB. Dadurch werden Vergleiche unterschiedlicher Entwürfe und der auf Basis einer bestimmten Kombination für unterschiedliche Räume berechneten Schalldruckpegel erleichtert (siehe Anhang).

9. Beziehung zwischen

Wirkungsgrad η , Q und

dem Gehäusevolumen.

Zunächst zerlegen wir Q_t der Gleichung 57 in zwei Terme, die einerseits akustische Widerstände beschreiben und andererseits die elektrische Dämpfung:

$$1/Q_t = 1/Q_a + (1/Q_e)[R_e/(R_g + R_e)] \quad (70)$$

Mit den Gleichungen 8 und 57 gilt für das akustische Q des Lautsprechers:

$$Q_a = \omega_s M_{as}/R_{as} \quad (71)$$

und für das elektrische Q des Lautsprechers

$$Q_e = \omega_s M_{as} R_e S_d^2 / B^2 l^2 \quad (72)$$

oder

$$Q_e = 2\sigma \omega_s M_{ms} B^2 V_{cu} \quad (73)$$

Berücksichtigen wir außerdem die in Tabelle 1 angegebene Näherungsbeziehung

$$C_{as} f_s^2 / C_{ab} f_3^2 \cong \sqrt{2} \quad (74)$$

und konvertieren die akustische Komplianz des Gehäuses in ein äquivalentes Luftvolumen, dann läßt sich das Gehäusevolumen folgendermaßen ausdrücken:

$$V_b \cong (\rho_o c^2 / \omega_3^2 \sqrt{2}) (S_d^2 / M_{ms}) \quad (75)$$

Achten Sie aber darauf, daß diese Näherung nur dann günstig ist, wenn keine Unterstützung durch den Verstärker erfolgt.

Die gemeinsame Betrachtung der Gleichungen 68, 73 und 75 führt auf folgende Zusammenhänge:

1. Die Betrachtungen zur Einstellung eines hohen Wirkungsgrades führen automatisch auf ein niedriges Q_e , abgesehen davon, daß Q_e von der Kolbenfläche S_d unabhängig ist und zur Konusmasse M_{ms} keine quadratische, sondern nur lineare Proportionalität besteht.

2. Das Gehäusevolumen hängt abgesehen von der Eckfrequenz f_3 nur von S_d^2 und M_{ms} ab. Soll das Gehäusevolumen durch Verminderung von S_d verringert werden, dann ist bei vorgegebener akustischer Leistung mit einer vergrößerten, zu S_d und ω_b^2 invers proportionalen Konusablenkung zu rechnen. Soll das Gehäusevolumen durch Erhöhung von M_{ms} reduziert werden, nimmt η weiter ab (siehe Gleichung 68), so daß zusätzliche Verstärkerleistung notwendig wird.

Die Öffnung vor dem Konus ist beschränkt, so daß sich die Massebelastung M_{a1} aus Bild 1 genauso erhöht wie durch eine Gehäuseöffnung. Auf diese Weise nimmt M_{ms} zu und das Gehäusevolumen V_b bzw. C_{ab} bei vorgegebener Eckfrequenz ab. Der Preis dafür ist ein verminderter Wirkungsgrad im gesamten Frequenzbereich mit Kolbenstrahlerbetrieb.

3. Der beste Weg zur Anhebung und Absenkung von Q_e ist die Erhöhung der magnetischen Flußdichte B . Wird von einem normalen Lautsprecher mit normalem B ausgegangen, dann kostet jedes Extrazetzel richtiges Geld. Um also in einem vorgegebenen Kostenrahmen eine akustische Leistung zu erzeugen, muß ein Kompromiß zwischen Magnetabmessungen, Gehäuse und Verstärker gefunden werden. Die vorangegangenen Betrachtungen zeigen deutlich, warum in 'Bücherregalboxen' mit kleinen Abmessungen große Magnete, große Membranhübe und schwere Membranen verwendet werden.

Es ist zu beachten, daß Q_a in Gleichung 71 nur von der akustischen Reaktanz und Resistanz abhängig ist, was bedeutet, Q_a hat keinen Zusammenhang mit B .

Durch Einsetzen der Gleichungen 58 und 73 in 68 erhalten wir folgende interessante Beziehung:

$$\eta_{ob} = \omega_s^3 V_{as} / 4\pi c^3 Q_e \quad (76)$$

Darin ist V_{as} das zur akustischen Komplianz des Lautsprechers äquivalente Luftvolumen, so daß

$$\eta_{ob} = 8,0 \times 10^{-12} f_s^3 V_{as} / Q_e \quad (77)$$

mit V_{as} in inch^3 gilt. An dieser Stelle können wir feststellen, daß der Basiswirkungsgrad eines Lautsprechers mit den drei Parametern berechnet werden kann, die wir auch zum Entwurf des Gehäuses heranziehen. Eine physikalische Erläuterung der Variation von η und Q_e erfolgt am Ende von Abschnitt 12.

10. Auslenkung des

Lautsprecherkonus

In der Herleitung von Gleichung 12 wurde folgender Zusammenhang festgestellt:

$$\frac{U_c}{(U_c - U_p)} = \frac{1 - 1/\omega^2 M_{av} C_{ab}}{1 - (\omega_b/\omega)^2} \quad (78)$$

Damit gilt für die allein vom Konus erzeugte akustische Leistung

$$W_{aoc} = W_{ci} \eta_{ob} [1 - (\omega_b/\omega)^2]^2 |E(j\omega)|^2 \quad (79)$$

Wird nun von der Beziehung

$$W_{aoc} = (R_{ma} \dot{x}^2) 10^{-7} \quad (80)$$

aus [4. Gleichung 6.13] ausgegangen, in der R_{ma} den mechanischen Strahlungswiderstand der Membran und x den Effektivwert ihrer Schnelle in cm/s beschreibt, dann ist es möglich, einen Ausdruck für die Maximalauslenkung der Membran zu formulieren:

$$x_{pk} = 1,31 \times 10^5 \sqrt{W_{aoc}/f^2 S_d} \quad (81)$$

oder

$$x_{pk} = 5,17 \times 10^6 \sqrt{W_{aoc}/\omega^2 S_d} \quad (82)$$

Darin besitzt x_{pk} die Einheit inch (beachten Sie, daß dieses x für die Auslenkung steht und keine Beziehung zu dem Formparameter von Gleichung 21 und folgenden besitzt), S_d wird in inch^2 eingesetzt und W_{aoc} in Watt. Wiederum wird berücksichtigt, daß der Lautsprecher in ein Gehäuse eingebaut ist und daher der Strahlungswiderstand halb so groß ist wie bei Einbau in eine unendlich große Schallwand. Daher führen die Gleichungen 81 und 82 auf Wegamplituden, die um den Faktor $\sqrt{2}$ größer sind als die in [4, Bild 6.9] angegebenen. Dann gilt:

$$x_{pk} = 5,17 \times 10^6 (\eta_{ob} W_{ci})^{1/2} [1 - (\omega_b/\omega)^2] |E(j\omega)| / \omega^2 S_d \quad (83)$$

Durch Umschreiben auf die Form

$$x_{pk} = [1,31 \times 10^5 (\eta_{ob} W_{ci})^{1/2} / f_b^2 S_d] [(f_b/\omega)^2 - (\omega_b/\omega)^4] |E(j\omega)| \quad (84)$$

treten zwei Teilterme auf, von denen einer bei vorgegebenen Eigenschaften von Laut-

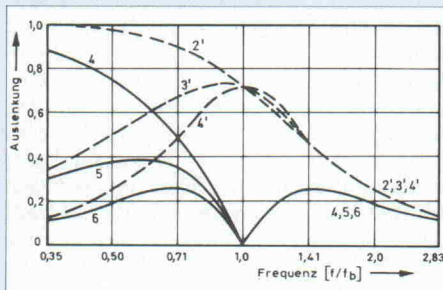


Bild 10. Membranauslenkung über der Frequenz (beide Achsen normiert). Durchgezogene Linien für Reflexboxen, gestrichelte für unendliche Schallwände. Die Ziffern bezeichnen die Ordnung der Filter.

sprecher und Gehäuse konstant ist (nur die Frequenz f_b taucht darin auf) und der andere eine Funktion der Frequenz ist. Letzterer ist in Bild 10 für unterschiedliche Butterworth-Übertragungsverläufe dargestellt, wobei Gehäuse, Lautsprecher und Eckfrequenz identisch sind. Die durchgezogene Kurve 4 gibt die Konusauslenkung der klassischen Butterworth-Kombination Nr. 5 der 4. Ordnung aus Tabelle 1 an. Kurve 5 bezieht sich auf ein Butterworth-Übertragungsverhalten 5. Ordnung entsprechend Kombination 10, in die ein einfaches zusätzliches Filter eingeschlossen ist. Kurve 6 beschreibt die Auslenkung einer Butterworth-Kombination 6. Ordnung, die den Tabellenpositionen 15, 20 und 26 entspricht, da in allen sowohl Frequenzgang als auch Resonanzfrequenz des Gehäuses übereinstimmen. Im Vergleich dazu zeigen die gestrichelten Kurven die Auslenkungen für den Fall, daß derselbe Lautsprecher in eine unendlich große Wand (völlig geschlossenes Gehäuse) eingebaut ist und mit der gleichen Leistung angesteuert wird. Kurve 2 gehört zu einem Lautsprecher mit einem Butterworth-Übertragungsverhalten 2. Ordnung ($Q_t = 0,707$). Kurve 3 beschreibt einen Butterworth-Frequenzgang 3. Ordnung ($Q_t = 1$, mit einfachem zusätzlichem Filter). Kurve 4 entsteht, wenn ein Butterworth-Frequenzgang 4. Ordnung realisiert wird ($Q_t = 1,307$, mit zusätzlichem Filter 2. Ordnung). Der Frequenzgang ist der gleiche wie in Kurve 4 (durchgezogen), aber er wird mit anderen Mitteln eingestellt. Bild 10 zeigt folgendes:

1. Die Membranauslenkung unterhalb der Resonanz reduziert sich in Reflexgehäusen und geschlossenen Gehäusen ganz erheblich, wenn ein zusätzliches Hochpaßfilter verwendet wird. Bereits Filter 1. Ordnung führen zu einer deutlichen Verbesserung bei geringem zusätzlichem Aufwand. Zusatzfilter 2. Ordnung ermöglichen nicht nur die stärkere Verminderung von Membranauslenkungen sondern gestatten auch die Auswahl dreier unterschiedlicher Gehäuseentwürfe für das gleiche Übertragungsverhalten und erlauben im Fall des Reflexgehäuses, daß das Gehäusevolumen gegen notwendige Verstärkerleistung aufgerechnet werden kann. Die Butterworthkurven mit Zusatzfiltern 2. Ordnung sind bezüglich der Eckfrequenz symmetrisch. Daher erscheint die Notwendigkeit einer zusätzlichen, aufwendigeren Filterung gering.

2. Noch viel bedeutsamer ist, daß die Konusauslenkung dann besonders stark vermindert wird, wenn der Lautsprecher in ein Reflexgehäuse eingebaut wird. Der Kurve entsprechend tritt bei der Resonanzfrequenz des Gehäuses keine Membranauslenkung auf. Dieser Kurvenverlauf entsteht unter der Annahme, daß das Q der Gehäusekonstruktion unendlich ist. Dieser Idealfall wird praktisch nicht erreicht, die Restauslenkung bei der Resonanzfrequenz bleibt klein, solange das Verhältnis der Gehäusegüte zur Lautsprechergüte groß ist.

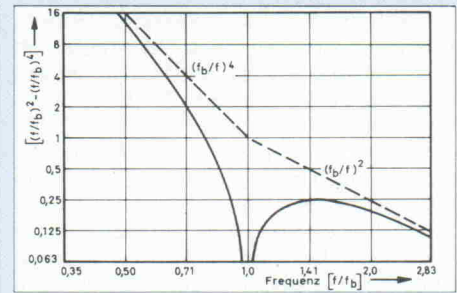


Bild 11. Mit dieser Kurve kann die Membranauslenkung bestimmt werden, wenn der Frequenzgang bekannt ist (Gleichung 84).

Auch dann, wenn mit Bedacht eine Zusatzdämpfung für das Gehäuse vorgesehen wird z.B. dadurch, daß die Gehäuseöffnung aus vielen kleinen Einzelbohrungen hergestellt oder mit strömungswirksamem Material versehen wird, nimmt das Q stark ab, so daß einige Vorteile des Reflexgehäuses verloren gehen. Darauf wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen. Die Darstellungen in Bild 10 beziehen sich ausschließlich auf Butterworth-Frequenzgänge. In Bild 11 wird der Verlauf von $[(f_b/\omega)^2 - (\omega_b/\omega)^4]$ als Funktion der Frequenz gezeigt. Soll beispielsweise für einen bekannten Tschebyschev-Frequenzgang bei verschiedenen Frequenzen die Auslenkung bestimmt werden, dann wird zunächst bei der gewünschten Frequenz aus Bild 11 der Amplitudenwert abgelesen und dieser anschließend mit dem Übertragungsfaktor des Frequenzganges bei der gleichen Frequenz multipliziert. Der starke Funktionsanstieg zwischen den bezogenen Frequenzen 1 und 0,71 weist darauf hin, daß ein Übertragungsverhalten bevorzugt werden sollte, bei dem f_b nicht sehr viel größer ist als f_3 . Mit Rücksicht auf die Konusauslenkung sollten Kombinationen aus der Gruppe 20 bis 25 denen in der Gruppe 15 bis 19 mit geringeren Werten von f_3/f_b vorgezogen werden.

Es wird deutlich, daß die Angabe der maximalen Membranauslenkung x_{max} in den Lautsprecherdaten nützlicher ist als die weit verbreitete Angabe der maximalen Eingangsleistung. Die Kenntnis des letzteren Wertes mag zwar den Lautsprecher vor einer geschmolzenen Schwingspule bewahren; soll aber eine mechanische Zerstörung oder verzerrte Wiedergabe vermieden werden, dann ist x_{max} zusammen mit der Art des Gehäuses und der Abstimmung des Systems entscheidend.

11. Gehäuse mit resistiver

Last in der Öffnung

In [1] wird über gute Erfahrungen mit zusätzlicher Dämpfung in der Gehäuseöffnung berichtet. Entsprechend Bild 12 wurde Dämpfung in Serie und parallel zum Reflex-Tunnel untersucht. In beiden Fällen wird davon ausgegangen, daß der Strömungswiderstand frequenzunabhängig konstant ist und festgestellt, daß eine Über-

Auf diese Weise können die Abweichungen zwischen den Aussagen in [3, S.244] und [2, S.11] erklärt werden, daß im Frequenzgang oberhalb der Eckfrequenz ein Abfall von 18 dB auftritt, obwohl in [2, Gleichung 15] und der äquivalenten Gleichung 20 dieses Beitrages ein asymptotischer Abfall von 24 dB pro Oktave gefunden wird. Wird also bewußt eine zusätzliche Bedämpfung der Gehäuseöffnung vorgesehen (sei sie auch klein!), dann kann es möglich sein, daß die Übertragungsfunktion nur noch um 18 dB/Oktave abfällt. Solange aber die ursprünglichen vereinfachenden Annahmen gültig sind, tritt in der Übertragungsfunktion innerhalb der uns interessierenden Frequenzregion immer ein Abfall von 24 dB/Oktave auf.

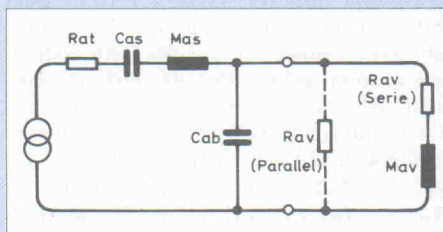


Bild 12. Akustisches Ersatzschaltbild mit Dämpfungsmaterial im Reflexkanal.

Für die Seriendämpfung gelten folgende Ausdrücke:

$$E(p) = \frac{1/[1 + (1/p)(1/Q_b T_b + Q_b T_b/T_s^2 + (1/p^2)(1/T_s^2 + 1/T_b^2 + C_{as}/C_{ab} T_s^2) + Q_b/p^3 T_s^2 T_b)]}{(85)}$$

Darin ist

$$1/Q_t = T_s/Q_b T_b + Q_b T_b/T_s \quad (86)$$

und Q_b das Verhältnis von akustischem Massenwiderstand zum akustischen Serienwiderstand der Öffnung bei der Resonanzfrequenz des Gehäuses.

Für den Fall der Paralleldämpfung gilt:

$$E(p) = \frac{1/[1 + (1/p)(Q_b T_b/T_s^2 + 1/Q_b T_b + C_{as} T_s/C_{ab} T_s^2 Q_b) + (1/p^2)(1/T_s^2 + 1/T_b^2 + C_{as}/C_{ab} T_s^2) + Q_b/p^3 T_s^2 T_b)]}{(87)}$$

Darin ist

$$1/Q_t = Q_b T_b/T_s + T_s/Q_b T_b + C_{as} T_b/C_{ab} T_s Q_b \quad (88)$$

und Q_b das Verhältnis des akustischen Parallelwiderstandes zur Öffnung (der Serienwiderstand wird als vernachlässigbar klein angenommen) zur akustischen Massenreaktanz. Zu beachten ist die Inversion der Ausdrücke für paralleles und seriell Q_b . Da die Gleichungen von 3. Ordnung sind und eine zusätzliche Variable Q_b enthalten, ergeben sich für den Systementwurf zwei zusätzliche Freiheitsgrade. Einer davon wird allerdings eliminiert, wenn eine Allpolfunktion, wie beispielsweise die Gleichungen 86 und 88, gewünscht wird. Vor dem Abgleich muß ein weiterer Parameter willkürlich festgelegt werden. Das Verhältnis C_{as}/C_{ab} scheint dafür am besten geeignet zu sein. Wird für diesen Quotienten ein

Wert von 1,414 gewählt (entsprechend der Butterworth-Abstimmung 4. Ordnung Nr.5 in Tabelle 1), dann folgen daraus die in Tabelle 2 angegebenen Resultate.

Es zeigt sich, daß die Eckfrequenz bei resistiver Zusatzlast um die Faktoren 1,32 und 1,42 höher liegt als bei Verwendung des gleichen Gehäuses und Abgleich entsprechend Nr.5 in Tabelle 1. Im Vergleich mit den Einstellungen Nr.1 bis 9 in Tabelle 1 sind diese in Tabelle 2 hinsichtlich der

Art der Belastung	f_3/f_s	f_3/f_b	C_{as}/C_{ab}	Q_t	Q_b
Serien-Resistanz	1,317	1,285	1,414	0,379	2,22
Parallel-Resistanz	1,420	1,120	1,414	0,352	2,25
ohne Resistanz (z. B. Alignment Nr. 5)	1,000	1,000	1,414	0,383	∞

Tabelle 2. Parameter für ein Butterworth-Alignment 3. Ordnung mit resistiver Tunnelkopplung.

Ausnutzung des Gehäusevolumens wenig effizient. Es gibt keinen Kompensationspielraum für die Verwendung eines höheren Q_t -Wertes. Im Gegenteil, er muß sogar etwas kleiner sein und was noch wichtiger ist, die Membranauslenkung nimmt nahe der Eckfrequenz stark zu. Aus diesen Gründen ist die Verwendung akustischer Zusatzdämpfung wenig empfehlenswert. In den hier betrachteten Fällen wird davon ausgegangen, daß der Strömungswiderstand frequenzunabhängig ist. Einige akustische Widerstände, wie sie beispielsweise in [3, Gleichungen 5.54 und 5.56] angegeben werden, verändern die Frequenz und können daher etwas abweichend wirken. Insgesamt betrachtet scheint es so, daß der Systemabgleich unter Verwendung akustischer Zusatzdämpfung ein prinzipiell falscher Weg ist, obwohl dazu keine gangbaren Alternativen gefunden werden können. Die davon abweichende, in diesem Beitrag beschriebene Abgleichmethode ist eine echte Alternative.

12. Die Wirkung von Verlusten im Gehäuse und in der Öffnung

Nachdem deutlich wurde, daß eine absichtliche Zusatzdämpfung der Gehäuseöffnung wenig wünschenswert ist, besteht ein Interesse an der Wirkungsweise kleiner, unvermeidbarer Verluste im Gehäuse und seiner Öffnung auf das ideale, als völlig verlustfrei angenommene Übertragungsverhalten. Wir werden lediglich das Verhalten bei der Resonanzfrequenz des Gehäuses betrachten, weil bei dieser Frequenz 1. das Gehäuse am meisten und im Idealfall allein zur akustischen Ausgangsleistung beiträgt und

2. die Verluste in der Gehäusekonstruktion am größten sind.

Im Idealfall beträgt die Übertragungsimpedanz zwischen der Eingangskraft $E_g \times B \times 1/S_d \times (R_g + R_e)$ und der Volumengeschwindigkeit U_p der Öffnung nach Bild 2 bei der Resonanzfrequenz ω_b des Gehäuses gerade $j \times \omega_b \times M_{av}$. Bezeichnen wir nun alle Verluste in der Öffnung und dem Gehäuse als Q_b , dann wird die Übertragungsimpedanz und damit auch

der Frequenzgang bei ω_b um einen Faktor reduziert, den wir als maximalen Gehäuseverlustfaktor $(A_b)_{max}$ bezeichnen. In guter Näherung gilt:

$$(A_b)_{max} = 1/[1 + (1/Q_b)(C_{ab}/C_{as})(\omega_b/\omega_s)] \quad (89)$$

Verwenden wir die unter Punkt 1 und 2 in Abschnitt 6 erläuterten Näherungen für die nicht verstärkerunterstützten Parameterkombinationen 1 / 9 aus Tabelle 1, dann vereinfacht sich Gleichung 89 auf

$$(A_b)_{max} = 1/[1 + (1,85/Q_b)(f_b^2/f_s^2)] \quad (90)$$

Dieser Ausdruck besagt, daß die Gehäuseverluste bei einem gegebenen Wert Q_b mit steigendem Quotienten f_b/f_s und damit größeren Gehäuseabmessungen zunehmen.

Um die Wirkung von Gehäuseverlusten zu veranschaulichen, wird Gleichung 89 auf verschiedene Parameterkombinationen angewendet. Betrachten wir zunächst die klassische Kombination Nr.5 in Tabelle 1. In diesem Fall betragen die maximalen Gehäuseverluste bei einem Q_b von 30 gerade 0,5 dB und wachsen auf 1,5 dB an, wenn sich Q_b auf 10 verringert. Für die Extremkombinationen Nr.1, 9, 19 und 25 treten bei einem $Q_b = 30$ Verluste von 0,3 dB, 0,7 dB, 0,5 dB und 0,7 dB auf. Es wird deutlich, daß ein Q_b von 30 auf alle Parameterkombinationen einen nur geringen Einfluß hat. Nimmt Q_b den Wert 10 an, dann steigen die Verluste auf 0,9 dB, 1,9 dB, 1,5 dB und 2,2 dB. Wird die Güte Q des Gehäuses um den Faktor 3 verringert, dann nehmen die maximalen Gehäuseverluste in allen Kombinationen um einen Faktor von ca. 3 zu. In Abschnitt 14 wird eine Meßmethode zur Bestimmung von Q_b angegeben und im Anhang illustriert.

Verstärkerschaltungen,

negative

Ausgangs impedanz

Für die hier beschriebene Entwurfsmethode ist wichtig, daß der Gesamtwert Q_t des Lautsprechers mit Verstärker auf $\pm 10\%$ eingehalten wird, um die Toleranzen im Frequenzgang auf ± 1 dB begrenzen zu können. Wie in Abschnitt 5 erläutert, tritt eine Überhöhung von 6 dB auf, wenn Q_t doppelt so groß wie der optimale Wert ist. Sinkt Q_t darunter ab, dann erfolgt ein Einbruch im Frequenzgang. Daher ist es wichtig, das Q_e des Lautsprechers in Erfahrung zu bringen, sei es durch Herstellerinformationen oder durch Messung, und dann die Ausgangsimpedanz des Verstärkers so abzugleichen, daß sich der erforderliche Wert Q_t ergibt. Im folgenden wird angenommen, daß das Q_e des zur Verfügung stehenden Lautsprechers größer als das erforderliche Q_t ist. Davon kann in den meisten Fällen ausgegangen werden, besonders dann, wenn billigere Lautsprecher Verwendung finden sollen. Im umgekehrten Fall ist ebenfalls auf einfache Weise ein passender Abgleich möglich. Das gelingt beispielsweise durch Änderung der positiven in eine negative Stromrückkopplung.

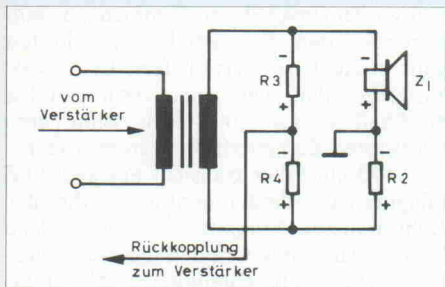


Bild 13. Methode zur Erzeugung positiver und negativer Rückkopplungsspannungen.

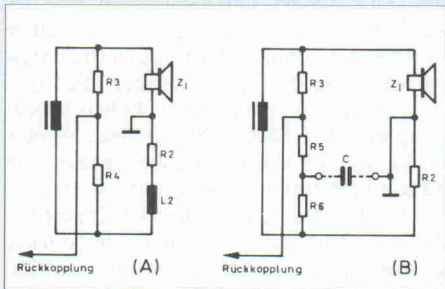


Bild 14. Methode zur Kompensation negativer Ausgangsimpedanzen bei höheren Frequenzen.

Zusätzliche Filter

Die für Frequenzgangkombinationen 6. Ordnung notwendige zusätzliche Filterung wird sinnvoll durch RC-Netzwerke in Rückkopplungsschleifen vor dem Hauptverstärker realisiert. Es ist im allgemeinen nicht vernünftig, die Rückkopplungsschleife des Hauptverstärkers einerseits zur Er-

zeugung negativer Impedanz und andererseits für Hochpaßfilterung zu verwenden. Hier soll nicht näher auf die Realisierung zusätzlicher Filter eingegangen werden, sondern lediglich der Hinweis auf entsprechende Literatur, z.B. [9] und [10], erfolgen.

Maximale Leistung bei

maximaler Impedanz

Die an den Anschlüssen eines Lautsprechers auftretende Impedanz ist stark frequenzabhängig, während die Ausgangsstufe eines Verstärkers nur innerhalb eines vergleichsweise kleinen Impedanzbereiches maximale Ausgangsleistung liefern kann. Zur Betrachtung der maximalen akustischen Leistung, die ein Verstärker mit angeschlossenem Lautsprecher erzeugen kann, kehren wir zur äquivalenten elektrischen Ersatzschaltung nach Bild 4 und zum prinzipiellen Impedanzverlauf in Bild 5 zurück. Dabei ignorieren wir im Moment die Induktivität L_e mit ihrem elektrisch parallelgeschalteten Verlustwiderstand R_{sh} und nehmen an, daß die Kurve in Bild 5 oberhalb f_n einen Endwert R_e erreicht.

Die akustische Ausgangsleistung ist abhängig von der Spannung über R_{es} , der das elektrische Äquivalent des Strahlungswiderstandes R_{ar1} einschließt. Da sich R_{ar1} mit dem Frequenzquadrat verändert, ist es notwendig, daß R_{es} umgekehrt zur Frequenz proportional ist, damit sich konstante akustische Leistung ergibt. Bei den höheren Frequenzen ist die dynamische Impedanz erheblich geringer als R_e und durch die Reaktanz $C_{mes} = B^2 \times l^2 / M_{ms}$ bestimmt. Damit ist die Bedingung für flachen Frequenzgang erfüllt.

Wird B bei konstantem R_e variiert, dann ist die dynamische Impedanz bei einer gegebenen hohen Frequenz innerhalb des Pistophon-Frequenzbereiches B^2 proportional. Das elektrische Äquivalent des Strahlungswiderstandes nimmt dann, obwohl klein, zu und damit auch das ebenfalls kleine Verhältnis von akustischer Ausgangsleistung zu elektrischer Eingangsleistung des Lautsprechers. Der Wirkungsgrad ist daher B^2 proportional. Andererseits verursacht die Zunahme der dynamischen Impedanz bei konstantem Widerstand R_e eine Abnahme der elektrischen Güte Q_e , die dem B^2 umgekehrt proportional ist.

Unsere Gehäuse halten jeder Welle stand

Preisbeispiel:
 Typ ECO Br 022 M
 DM 1150,00/Pair
 kompl. fertig
 mit Mivoc 220 S
 (siehe Abbildung)

Planung und Fertigung von
Keramik-Lautsprechergehäusen
 nach Ihren Vorstellungen

ECOTHERM

Huckarder Straße 12, D-4600 Dortmund 1, Tel. 0231-160072

Die dynamische Impedanz nimmt aber mit sinkender Frequenz zu und erreicht bei f_h und auch f_e einen Maximalwert R_{es} der i.d.R. um ein Mehrfaches größer ist als der Widerstand R_e . Bei diesen Frequenzen wird demnach die dynamische Impedanz, die bei hohen Frequenzen im Vergleich zu R_e vernachlässigbar ist, zum bestimmenden Anteil der insgesamt wirksamen Impedanz. Der Einfachheit halber kann angenommen werden, daß sie dann die gesamte Lautsprecherimpedanz darstellt. Wird in diesem Fall B variiert und ändert sich die dynamische Masse mit B^2 , dann muß für konstante akustische Ausgangsleistung die Spannung über R_{es} , die als virtuelle Eingangsspannung betrachtet werden kann, mit steigendem B ebenfalls zunehmen. Zusammengefaßt gilt, daß für konstante akustische Ausgangsleistung ein Anwachsen von B zur Verringerung der bei hohen Frequenzen benötigten Eingangsspannung führt und die in den Impedanzspitzen erforderliche Eingangsspannung zunehmen muß. Außerdem nimmt Q_e ab. Wird der Verstärker mit einer sehr viel größeren als der nominellen Lastimpedanz betrieben, dann ist der Beurteilungsmaßstab für den Verstärker nicht mehr die maximale Ausgangsleistung, sondern die Größe der gerade noch unverzerrt am offenen Ausgang verfügbaren Spannung. Diese wird immer größer sein als die Ausgangsspannung bei nomineller Last. Die Größe des Unterschiedes hängt von der Verstärkerschaltung ab. Wenn nun das für geraden Frequenzgang erforderliche Q_t mit dem Q_e des Lautsprechers identisch ist, dann muß unter Vernachlässigung von Q_a die Generatorimpedanz R_g zu Null werden. Daher wird für konstante akustische Ausgangsleistung bei allen Frequenzen und allen Impedanzen die gleiche Spannung an den Lautsprecheranschlüssen benötigt. Also ist bei der Frequenz f_h eine etwas größere maximale akustische Ausgangsleistung verfügbar als bei höheren Frequenzen.

Ist das erforderliche Q_t kleiner als Q_e , dann muß R_g negativ werden, und für konstante akustische Ausgangsleistung sinkt die Ausgangsspannung am Verbindungspunkt von R_g und R_e (Bild 4) bei der Frequenz f_n . Ist das erforderliche Q_t dagegen größer als Q_e , dann muß R_g positiv sein, und die Ausgangsspannung des Verstärkers steigt für konstante akustische Ausgangsleistung bei f_n an. Ist das erforderliche Spannungs-Zuwachsverhältnis größer als das Verhältnis von unverzerrter Spannung am offenen Verstärker Ausgang zur Ausgangsspannung unter Last, dann ist es möglich, daß im Bereich der Frequenz f_n eine geringere maximale akustische Leistung erzeugt werden kann als bei anderen Frequenzen innerhalb des Übertragungsreiches. Da aber niedrige Q_e -Werte normalerweise mit hohen Wirkungsgraden verbunden sind, können solche Probleme nur einmal bei qualitativ hochwertigen Lautsprechern mit hohem Wirkungsgrad auftreten. Solange Q_e nicht kleiner als $Q_t/2$

ist, ist nicht mit Schwierigkeiten zu rechnen. Hinzu kommt, daß die meisten zu übertragenden Signale unterhalb 1000 Hz geringere Pegel liefern als um 400 Hz.

Demnach kann es vorkommen, daß ein Lautsprecher mit hohem Wirkungsgrad im Bereich der Frequenz f_h geringere akustische Leistung erzeugen kann als bei hohen Frequenzen, während ein Lautsprecher mit kleinerem Wirkungsgrad bei f_h eine größere Leistung erzeugen kann. Das ist abhängig vom Verhältnis Q_e/Q_t und dem Verhältnis der Verstärker-Ausgangsspannungen 'ohne Last/ mit Last'.

Daraus entsteht üblicherweise der Wunsch nach Glättung des Impedanzverlaufes eines Lautsprechers in Reflexgehäuse. In Bezug auf Bild 5 und im Vergleich mit Bild 16 folgt unter der vereinfachten Annahme vernachlässigbar kleiner Verluste in Gehäuse und Öffnung, daß bei den Frequenzen f_n und f_e Impedanzmaxima mit $R_e + R_{es}$ auftreten und zur minimalen Impedanz bei f_b abfallen. Aber die relativen Maximalwerte treten etwas zufällig auf und besitzen keine größere Bedeutung. Aus diesem Grund ist auch die Gehäuseabstimmung auf gleichhohe Impedanzmaxima bei f_n und f_e nicht optimal. Für den Impedanzverlauf eines Lautsprechers in offenem Gehäuse ist, solange Gehäuse- und Öffnungsdämpfung nicht zu stark werden, die nützlichste Information nicht in den Impedanzwerten zu sehen, sondern in der Lage der Frequenzen f_n , f_b und f_e . Allein die Kenntnis dieser drei Frequenzen ermöglicht den Gehäuseabgleich entsprechend Glng. 105 und 106.

Es sollte klar sein, daß der Impedanzverlauf keinesfalls das akustische Übertragungsverhalten charakterisiert. Betrachten wir in Analogie beispielsweise zwei gekoppelte abgestimmte Kreise: Verläuft die Ausgangsspannung oder genauer gesagt die Transferimpedanz maximal flach, dann weist die Eingangsimpedanz zwei Maxima auf. Ist ein Parameter bekannt, z.B. das Verhältnis von primärem zu sekundärem Q , dann kann die Transferimpedanz aus der Eingangsimpedanz berechnet werden, gerade so, wie wir es für Lautsprecher in den Glngen 105 und 106 tun. Andererseits folgt aber aus einem flachen Verlauf der Eingangsimpedanz nicht auch eine flach verlaufende Transferimpedanz. Die Lautsprecherimpedanz weist höhere Maximalwerte auf, die vollständig von der akustischen Dämpfung abhängen, obwohl sie zur Gesamtdämpfung des Systems und damit auch zu dessen Frequenzgang wenig beiträgt.

13. Effektive Nachhallzeit

Eine gelegentlich verwendete Argumentation gegen den Einsatz von Lautsprechern in Reflexgehäusen besteht darin, daß der Abfall des Frequenzganges jenseits der Eckfrequenz mit 24 dB/Oktave erfolgt und damit erheblich steiler ist als der Abfall mit 12 dB/Oktave von Lautsprechern in ge-

schlossenen Gehäusen. Daraus wird auf ein schlechtes Impulsverhalten geschlossen. In Tiefpaßfiltern kann das Nachschwingen aufgrund eines steilflankigen Abfalls in den Sperrbereich durch Verwendung von Thompson- oder kritisch gedämpften Übertragungsfunktionen weitgehend vermindert werden. Die hier betrachteten Hochpaßfilter verursachen jedoch immer ein gewisses Ausklingen nach transienter Erregung, wenn sie zweiter oder höherer Ordnung sind. Um die Wirkung dieses Nachklings auf das Gehör zu beschreiben, benutzen wir hier das Konzept der 'effektiven Nachhallzeit'.

Stellen wir uns eine Schallquelle vor, die in einem Raum zeitstationär emittiert und somit ein stationäres Schallfeld aufgebaut hat. Dann werde die Schallquelle abrupt abgeschaltet. Der mittlere Schalldruck verschwindet nicht genauso plötzlich, sondern nimmt exponentiell mit der Zeit ab. Die Nachhallzeit charakterisiert den Zeitraum, in dem der Schalldruckpegel um 60 dB abgefallen ist. In kleinen Räumen liegt die Nachhallzeit meist zwischen 400 ms bei hoher Dämpfung und 1 s (oder mehr) in normal reflektierenden Räumen.

Für den Fall, daß zwei Hallräume miteinander gekoppelt werden, existiert keine ausreichende Beschreibung der resultierenden Nachhallzeit. Berechnungen an kaskadierten Hochpaßfiltern kommen zu dem Ergebnis, daß eine Effektivwertaddition ganz brauchbare Werte liefert. Es ist festzustellen, daß bei einer resultierenden Nachhallzeit von 200-300 ms keine nennenswerten Klangverfärbungen auftreten.

Wird ein Filter transient angeregt und klingt es nach, dann nimmt unser Ohr oder Gehirn diesen Vorgang als eine zeitliche Verlängerung des Originalimpulses wahr. Zur objektiven Beschreibung des Nachklings wird eine aus der Bauakustik stammende Meßmethode verwendet. Danach ist die effektive Nachhallzeit eines Filters als die Zeit definiert, in der die Hüllkurve des Ausklings nach Erregung mit einer Sprungfunktion um 60 dB gegen die Originalamplitude des Sprunges abgefallen ist.

Für die Filterfunktionen höherer Ordnung mit zwei oder mehr Faktoren zweiter Ordnung muß nur der weniger gedämpfte Faktor in Betracht gezogen werden, da dessen Nachhallzeit am größten ist. Innerhalb dieser Zeit ist das Nachklingen der stärker gedämpften Faktoren bereits auf sehr kleine Amplituden abgefallen. Durch diesen Umstand vereinfachen sich Berechnungen.

Bei tiefen Frequenzen sind die Nachhallzeiten gemäß obiger Definition erheblich länger als die akustischen Wahrnehmungszeiten des Hörenden. Warum das so ist, läßt sich aus den häufig recht abfällig beurteilten Fletcher-Munsonkurven [4, Bild 12.11] ablesen.

Nehmen wir beispielsweise an, daß der Originalschall auf einem Pegel von 100 dB liege. Das ist sicherlich das Maximum dessen, was ein System wiedergeben und was an Lautstärke ertragen werden kann. Bei

50 Hz liegt nun die Hörschwelle 51 dB über dem Referenzpegel bei 1 kHz und damit 49 dB unter dem angenommenen Schallpegel. Bei 25 Hz steigt (oder vielmehr fällt) die Hörschwelle auf 67 dB über dem Referenzwert und liegt daher nur 33 dB unter unserem angenommenen Hörpegel. Bei 25 Hz kann daher die effektive Nachhallzeit für den Hörenden nicht größer sein als die Zeit, in welcher der Schallpegel um 33 dB abfällt, also die Hälfte der konventionell definierten Nachhallzeit. Daher führt die auf dem 60 dB-Abfall basierende konventionelle Definition der Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen im allgemeinen auf Zeiten, die erheblich länger sind als die Wahrnehmungsdauer (das ist wahrscheinlich der Grund für die beobachtete Zunahme der optimalen Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen; siehe dazu auch [4, Bild 11.11]).

Am Ausgang eines steil in den Sperrbereich abfallenden Filters tritt das Nachklingen hauptsächlich mit einer nahe bei der Eckfrequenz liegenden Frequenz auf. Bei gegebener Übertragungsfunktion kann die Nachhallzeit durch eine bestimmte Anzahl von Schwingungsperioden bei der Eckfrequenz beschrieben werden (siehe Tabelle 4). Es gilt, daß die Nachhallzeit mit sinkender Eckfrequenz ansteigt. Andererseits nimmt unterhalb von ca. 50 Hz auch deren Wirkung auf die hörende Person mit ungefähr der gleichen Rate ab. Daher kann für alle Filter vorgegebenen Übertragungsverhaltens die Nachhallzeit bei 50 Hz als Näherung für die maximale, vom Hörenden aufgenommene Nachhallzeit angesehen werden.

ung) keine wahrnehmbare Klangverfärbung durch Filterklingeln. Bedingung dafür ist allerdings ein korrekter Abgleich. Tabelle 4 zeigt, daß eine Überhöhung um 4 dB im Frequenzgang des Lautsprechers in geschlossenem Gehäuse die Nachhallzeit verdoppeln kann. Ist sie von vornherein klein, dann kann eine derartige Zunahme toleriert werden. Aber im Fall des Reflexgehäuses und insbesondere bei Verstärkerunterstützung ist eine Verdoppelung der Nachhallzeit etwas ernster zu betrachten. Das macht wiederum die Wichtigkeit adäquater Dämpfung (zur Einstellung des korrekten Q_1 -Wertes n) durch den Verstärker deutlich.

14. Meßtechnische

Bestimmung der

Lautsprecherparameter

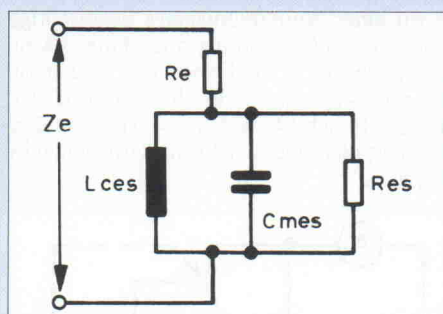


Bild 15. Stark vereinfachtes elektrisches Ersatzschaltbild für ein Lautsprecher-Chassis.

In früheren Abschnitten wurde gezeigt, wie ein gewünschtes Übertragungsverhalten eines Lautsprechers im Reflex-Gehäuse eingestellt werden kann, wenn einige Parameter bekannt sind. Es bleibt die Frage, wie diese Parameter gefunden werden können.

Eigentlich sollten diese Informationen vom Hersteller des Lautsprechers mitgeliefert werden. Das ist dann besonders wichtig, wenn eine große Anzahl von Boxen hergestellt werden soll. Dann ist auch die Kenntnis der Mittelwerte einschließlich ihrer Toleranzbänder notwendig. Stehen diese Werte nicht zur Verfügung oder sollen sie überprüft werden, dann kann ihre Bestimmung anhand der nachstehend beschriebenen Vorgehensweise erfolgen.

Meßmethoden zur Bestimmung von Q sind in [2, S.13] angegeben, erscheinen aber etwas ungenau. Die hier beschriebene Methode kann durch Betrachtung der Bilder 15 und 16 erläutert werden. Bild 15 ist aus Bild 4 abgeleitet; nur hier lassen wir das Reflex-Gehäuse außer Acht und ignorieren L_e und R_{sh} , die erst bei sehr viel höheren Frequenzen wirken. Dann gilt:

$$Q_a = \omega_s C_{mes} R_{es} \quad (91)$$

$$Q_e = \omega_s C_{mes} R_e \quad (92)$$

Diese in den Gleichungen 71 und 72 als Terme des akustischen Ersatzschaltbildes definierten Größen werden hier als Terme der elektrischen Ersatzschaltung formuliert. Wir definieren r_0 als das Verhältnis von Impedanz bei Resonanz ($R_{es} + R_e$) zu Gleichspannungswiderstand der Schwing-

Filtertyp	B ₂	C ₂	C ₂	B ₄	C ₄	B ₆	C ₆	C ₆	C ₆
Q_1 (für Alignments 2. Ordnung)	0,707	1,000	1,414	—	—	—	—	—	—
k (für Alignments 6. Ordnung)	—	—	—	—	—	1,000	0,600	0,414	0,268
Alignment Nummer	—	—	—	5	8	15, 20, 26	17, 22	19, 24	25, 27
Zeit (in Perioden der Eckfrequenz)	1,63	2,24	3,17	2,87	7,09	4,77	6,79	9,67	14,86
Zeit (für 50 Hz Eckfrequenz, ms)	33	45	63	57	142	95	136	193	297

Tabelle 4. Nachklingzeit für verschiedene Alignments.

In Tabelle 4 sind berechnete Nachhallzeiten angegeben. Die drei ersten Kombinationen sind von zweiter Ordnung und beschreiben Lautsprecher in einer unendlich großen Schallwand (geschlossenes Gehäuse). Dafür sind die Werte von Q_1 genannt. Beachten Sie, daß sich die Nachhallzeit, obgleich klein, verdoppelt, wenn Q_1 von 0,707 auf 1,414 ansteigt. Dann erscheint im Frequenzgang eine Überhöhung, die maximal 4 dB über dessen flach verlaufendem Teil liegt. Die Nachhallzeiten bei einer Eckfrequenz von 50 Hz liegen alle bis auf die Letzte ($k = 0,268$) mit sehr steilem Abfall unter 200 ms.

Daher erzeugt eine Reflexbox selbst bei Verstärkerunterstützung (zusätzliche Filte-

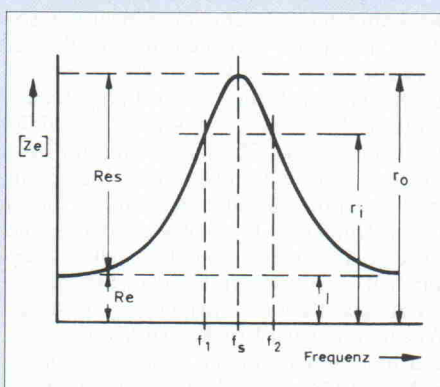


Bild 16. Typische Impedanzkurve eines Chassis, als Betrag von Z_e aus Bild 15.

spule R_e . Nun wählen wir willkürlich einen anderen Impedanzwert bei zwei anderen Frequenzen f_1 und f_2 auf den Flanken der Kurve und bezeichnen ihr Verhältnis zum Gleichspannungswiderstand als r_1 . Dann ist

$$f_1 f_2 = f_s^2 \quad (93)$$

Auf einer logarithmisch geteilten Frequenzskala ist diese Kurve symmetrisch. Damit wird

$$Q_a = [f_s / (f_2 - f_1)] [r_0^2 - r_1^2 / (r_1^2 - 1)]^{1/2} \quad (94)$$

und

$$Q_e = Q_a / (r_0 - 1) \quad (95)$$

JSL

Jerry's Sound Laboratory

Wir führen:

40 Marken
750 Lautsprecher

- E. Voice/JBL/Multicel/IT/Goodmans/Celestion/ADR/Peerless/Seas/Vifa/ADT...
- viele Bausätze...
- + Gehäuse...

Katalog kommt KOSTENLOS!

JSL, G. Koller, Barbarastraße 1
8451 Poppenricht

JSL

albs



SUB 20 – Entwickelt für den stereoplay-Subwoofer, die universelle aktive Frequenzweiche (Heft 6-7/88) • mit regelbarer Subbaßanhebung 20 Hz von 0 bis 6 dB • mit regelbarem Tiefpaßfilter 50-150 Hz und 12/24 dB • mit Subsonicfilter 18 dB/15 Hz und...und...und...

SUB 20 – Das Fertiggerät für höchste Ansprüche

Musik bleibt Musik
durch rein DC-gekoppelte Electronic

DAC-MOS – die 100% DC-gekoppelten MOS-Fet-Leistungsverstärker mit sym. Eingang vervollständigen unsere erfolgreiche Serie RAM-4/PAM-10 (Testbericht stereoplay 9/86 (absolute) Spitzenklasse).

Hi-End-Module von albs für den Selbstbau Ihrer individuellen Hi-Fi-Anlage • DC-gekoppelter, symmetrischer Linearvorverstärker mit 1-Watt-CLASS-A-Kabeltreiber • DC-gekoppelter RIAA-Entzerrervorverstärker • Aktive Frequenzweichen – variabel und steckbar • Gehäuse aus Acryl, Alu und Stahl – auch für hochprofessionelle 19"-Doppel-Mono-Blöcke • Power-Pack-Netzteile bis 440 000 µF • Vergosene, geschirmte Ringkerntrafo bis 1200 VA • Viele vergoldete Audioverbindungen und Kabel vom Feinsten • ALPS-High Grade-Potentiometer und albs Stufenschalter ...und vieles andere mehr. Ausführliche Infos DM 10,- (Briefmarken/Schein), Gutschrift mit unserer Bestellkarte. Änderungen vorbehalten. Warenlieferung nur gegen Nachnahme oder Vorkasse.

albs-Alltronic

B. Schmidt · Max-Eyth-Straße 1 (Industriegebiet)
7136 Ötisheim · Tel. 07041/2747 · Tx 7263738 albs

Grundlagen

Wählen wir zusätzlich r_1 so, daß

$$r_1 = \sqrt{r_0} \quad (96)$$

gilt, dann kann Gleichung 94 folgendermaßen vereinfacht werden:

$$Q_a = \sqrt{r_0} f_s / (f_2 - f_1) \quad (97)$$

Eine interessante Eigenschaft dieser Ausdrücke ist, daß sie keine Näherungen erfordern und daher für alle Werte von Q gültig sind. Desweiteren besitzt die Kurve um den Wert $\sqrt{r_0}$ ihre steilsten Flanken, so daß die Frequenzen f_1 und f_2 sehr genau gefunden werden können. Das ist besonders deshalb wichtig, weil in die Berechnung eine vergleichsweise kleine Differenz eingeht, wenn die Werte von f_1 und f_2 groß sind.

Üblicherweise trägt Q_2 den akustischen Widerständen im Lautsprecher Rechnung. Weist die Schwingspule aber aufgrund einer Schädigung oder im Entwurf, z.B. in Form eines Aluminiumringes beabsichtigt eine Kurzschlußwindung auf, dann macht sich auch das in Q_2 bemerkbar. Daher ist die physikalische Natur dieser Größe der des Q_e ähnlich (Wirbelstromverluste in den Magnetpolen oder der Frontplatte gehen in R_{sh} ein).

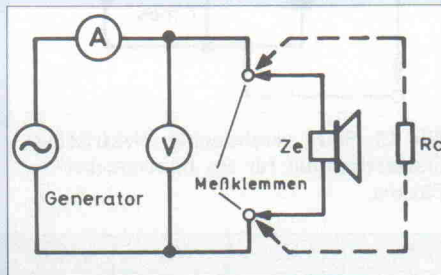


Bild 17. Testschaltung zum Aufnehmen einiger Parameter.

Bild 17 zeigt die Meßschaltung. V ist ein Voltmeter, dessen Impedanz sehr viel größer als die des Lautsprechers ist. Während der Messung wird der Generator so nachgestellt, daß V einen konstanten Wert anzeigt. Der Wert selbst besitzt keine große Bedeutung, aber als Standard kann z.B. 1 Volt gewählt werden. Die Genauigkeit des Voltmeters ist nicht von Bedeutung, solange es keine Frequenzabhängigkeiten aufweist. A ist ein Wechselstromampere-meter, das den Strom in den Lautsprecher bei fester Spannung über seinen Anschlußklemmen anzeigt. Wenn wir nun am Verlauf der Impedanz interessiert sind, dann spielt auch die absolute Genauigkeit dieses Meßinstrumentes keine Rolle, solange die Anzeige linear ist. Zur Feststellung des durch R_e verursachten Stromes bestimmen wir zunächst bei Gleichspannung mit einer Wheatstoneschen Brücke den Wert von R_e und dann einen ähnlich großen Kalibrierwiderstand R_c . Wird R_c nun mit den Testklemmen verbunden und die feste Prüfspannung beispielsweise bei einer Frequenz

f_s angelegt, dann zeigt das Amperemeter A den Strom I_c an. Jetzt läßt sich der durch R_e verursachte Strom I_e folgendermaßen berechnen:

$$I_e = I_c R_c / R_e \quad (98)$$

Anschließend wird der Lautsprecher soweit wie möglich von reflektierenden Flächen entfernt frei aufgehängt und anstatt R_c mit den Testklemmen verbunden. Die Einstellung des Generators erfolgt auf die Resonanzfrequenz f_s des Lautsprechers. Bei dieser Frequenz tritt ein minimaler Strom I_0 auf. Nun kann R_0 bestimmt werden:

$$r_0 = I_e / I_0 \quad (99)$$

Anschließend wird der Strom

$$\sqrt{I_e \cdot I_0}$$

ermittelt, der bei dem Verhältnis $\sqrt{r_0}$ und zwei bestimmten Frequenzen beiderseits der Resonanz gemessen werden kann. Es handelt sich um die Frequenzen f_1 und f_2 und sie sollten so genau, wie es die Meßeinrichtung zuläßt, abgelesen werden. Mit Glng.93 kann die Methode überprüft werden und die Glngen 97 und 95 führen auf Q_a und Q_e .

Das nächste Problem liegt in der Bestimmung von V_{as} , dem zur Lautsprecherkomplianz äquivalenten Luftvolumen. Dazu wird der Lautsprecher in ein vollständig geschlossenes Gehäuse mit bekanntem Innenvolumen V_b eingebaut. Beim Einbau muß darauf geachtet werden, daß sich die Membran bewegt und daß Luft verschoben wird. Es ist sehr wichtig, daß das Gehäuse keine Undichtigkeiten aufweist. Sind solche vorhanden, dann werden wir den um f_h auftretenden Teil des Bildes 5 messen. Hier muß also sehr sorgsam vorgegangen werden, nicht nur bei dem Aufbau des Gehäuses und dem Einbau des Lautsprechers, sondern auch bei der Durchführung der Lautsprecherleitungen durch die Gehäusewand. Feste Materialien sollten bevorzugt werden.

Eine weitere Vorsichtsmaßnahme kann notwendig sein. In den Bildern 15 und 16, aus denen die Glngen 93, 94, 95 und 97 abgeleitet sind, gingen wir davon aus, daß die Wirkung der Induktion L_e vernachlässigbar ist. Tatsächlich verursacht aber L_e zusammen mit der Parallelschaltung aus L_{ces} und C_{mes} eine Serienresonanz bei der Frequenz f_n in Bild 5. Hier wird die nominelle Impedanz gemessen. Liegt diese Frequenz von üblicherweise 400 bis 600 Hz weit über der Lautsprecherresonanz f_s , dann treten in der Kurve nach Bild 16 bei f_2 nur kleine Störungen auf und die Meßgenauigkeit ist nicht beeinträchtigt. Ist f_s aber größer als 150 Hz, was bei kleinen Lautsprechern möglich ist und noch wahrscheinlicher wird, wenn der Lautsprecher für den letzten Test in das Gehäuse gebracht wird, dann steigt die Gefahr fehlerhafter Ergebnisse. Sie können, wie in Bild 18 darge-

High End im Selbstbau

Class A-Endstufe Anergy

30 Watt an 8 Ohm, 2 Ohm laststabil
Supertest in Klang & Ton 12/1-89

Komplettpreis **380,— DM/Stück**
dazu passend

Pre-Amp „Modula 5“

Motherboard mit getrenntem Netzteil
5 Line-Input (5 Slots O-Card)

Komplettpreis **400,— DM**

MM-Phono-Card (stereo)

80,— DM

MC-Phono-Card (stereo)

Ergänzungskarte für MM

90,— DM

Wir führen außerdem die Lautsprecher der Fabrikate ACR, Seas, WHD, Isophon, Beyma, Heco u.v.a.

ACR -

**Ruhr-Lautsprechersysteme
Friedrich Wilps**

Herner Str. 24, Tel. 0 23 61/2 24 02
4350 Recklinghausen

SCHEARLO



**Klein im
Format
groß
im
Sound!**

**Bausatz
DM 268,—
Gehäuse
DM 269,—
Lack, Weiß,
Schwarz,
Zobel
(Hochglanz)**

Info und Bestellung:



CAR & AUDIO
Elektroakustik
Königswohrer Str. 19 · Tel. 0511-131377
3000 Hannover 1

Grundlagen

Das vereinfacht die Bestimmung von $(Ab)_{\max}$ ganz erheblich.

Ein ausgearbeitetes Beispiel wird im Anhang beschrieben.

15. Experimentelle Arbeiten

Als Grundlage für diesen Beitrag mußten zunächst die Parameter einer größeren Anzahl von Lautsprechern bestimmt werden. Circa 50 Exemplare wurden untersucht. Durch eine ausreichende Anzahl von Wiederholmessungen konnte diese Methode abgesichert werden. So wurde beispielsweise aus Messungen und anderen bekannten Parametern die Flußdichte berechnet und dann festgestellt, daß die Rechenwerte recht gut mit den Ablesungen eines Flußdichtemeßgerätes übereinstimmen. Auch Parameteränderungen in der Produktion können auf diese Weise festgestellt werden.

Einige der zu verallgemeinernden Meßergebnisse wurden im Vorausgegangenen bereits angesprochen. Beispielsweise konnte festgestellt werden, daß Q_a im allgemeinen zwischen Werten von 3 und 10 liegt und daher im Vergleich zu den erforderlichen Q_t -Werten von 0,2 bis 0,6 entsprechend Tabelle 1 sehr groß ist. Die Dämpfung eines gut entworfenen Gehäuse-Lautsprechersystems wird demnach durch akustische Zusatzdämpfung kaum beeinflusst. Das Q_e qualitativ hochwertiger Lautsprecher liegt zwischen 0,2 und 0,5, das von guten Mittelklasselautsprechern zwischen 0,5 und 1 und das von Billiglautsprechern zwischen 2 und 3.

Ähnliches Verhalten zeigen auch die elektroakustischen Wirkungsgrade unterschiedlicher Lautsprecher für den Fall, daß sie in eine unendlich große Schallwand eingebaut sind und Abstrahlung in eine Richtung betrachtet wird. Der logarithmierte Wirkungsgrad billiger Lautsprecher liegt bei -24 dB (0,4 %), von mittelguten bei -20 dB (1 %) und von qualitativ hochwertigen Lautsprechern bei -14 dB (4 %).

Man sollte jedoch nicht der Versuchung erliegen, die Qualität eines Lautsprechers durch massive Beeinflussung seines Q_e und seines Wirkungsgrades zu verbessern. Wird beispielsweise der Wirkungsgrad erhöht und das Q_e durch Verringerung der Konusmasse M_{ms} abgesenkt, dann können bereits bei mittleren Frequenzen Partialschwingungen in der Membran auftreten. Der beste untersuchte 8 Zoll-Lautsprecher wies eine Güte $Q_e = 0,33$ auf, dann wurde ein Lautsprecher mit sehr sauberer Wiedergabe bei hohen Frequenzen mit einem $Q_e = 1,7$ gefunden und einer mit Q_e unter 1, der weniger gute Eigenschaften besaß. Es soll aber noch einmal darauf hingewiesen werden, daß dieser Beitrag und die beschriebenen Messungen grundsätzlich nur die Eigenschaften von Lautsprechern in Reflex-Gehäusen bei tiefen Frequenzen betreffen.

16. Abschließende

Bemerkungen

Die hier beschriebenen Arbeiten erfolgten mit der Aufgabenstellung, eine Entwurfsmethodik zu entwickeln, die es erlaubt, auch für Lautsprecher in kleinen Gehäusen ein gutes tieffrequentes Übertragungsverhalten zu verwirklichen. Leider konnte kein 'revolutionär neues Konzept' gefunden werden, das als Nonplusultra anzusehen wäre. Ergebnis ist aber eine ausreichend präzise Entwurfsmethode, wie sie bislang nicht zur Verfügung stand.

Im allgemeinen kann damit ein Gehäuse-Lautsprechersystem mit gutem, flach verlaufendem Frequenzgang bis zu einer vorherbestimmbaren unteren Eckfrequenz entworfen werden, wenn die notwendigen Lautsprecherparameter Q_e (und Q_a), V_{as} und f_s bekannt sind. Das Gehäusevolumen ist im wesentlichen dem quadratischen Kehrwert der Eckfrequenz proportional, die in weiten Grenzen verändert werden kann. Die Ausgangsimpedanz R_g des Verstärkers hat großen Einfluß auf das Übertragungsverhalten. Das gilt insbesondere bei f_n , der oberen Frequenz mit maximaler Impedanz. Ob R_g positiv, null oder negativ sein muß, hängt von der gewählten Kombination und den Q-Parametern des Lautsprechers ab. Eine akustische Zusatzdämpfung in der Gehäuseöffnung ist nicht vorteilhaft und wirkt sich negativ auf das Gehäusevolumen oder die Bandbreite aus.

Die Vorteile eines berechenbaren Entwurfes schließen die Möglichkeit ein, 'Rumpelfilter' optimal auszulegen. Da unterhalb der Eckfrequenz nur eine vernachlässigbar kleine akustische Ausgangsleistung erzeugt wird, kann man Verstärker und Lautsprecher vor hohen Signalamplituden bewahren und damit auch eine wesentliche Ursache für Intermodulationsverzerrungen minimieren. Außerdem gilt, daß bei Verwendung zusätzlicher elektrischer Filter Gehäusevolumen gegen maximale Verstärker-Ausgangsleistung bei tiefen Frequenzen getauscht werden können.

Ein anderer Weg zur Verminderung des Gehäusevolumens besteht in der Vergrößerung der Konusmasse. Damit ist aber eine Abnahme des Wirkungsgrades verbunden, so daß diese Maßnahme als ein weiteres Beispiel für den Tausch von Verstärkerleistung und Gehäusegröße angesehen werden kann. In diesem Fall muß der Verstärker allerdings im gesamten Audiofrequenzbereich erhöhte Leistung liefern. Das Gehäusevolumen kann auch dadurch vermindert werden, daß ein Lautsprecher mit kleinem Membrandurchmesser verwendet wird. Dann besteht aber Gefahr, daß die Membranauslenkungen zunehmen. Es ist trotzdem eine gute Lösung, wenn der Lautsprecher einen langen linearen Hub ausführen kann, oder wenn die Ausgangsleistung und/oder das tieffrequente Übertragungsverhalten beschränkt ist.

Die Magnetabmessungen, oder präziser, die magnetische Flußdichte B hat großen Einfluß auf die elektronischen Übertragungseigenschaften. Sowohl der Wirkungsgrad und damit auch die akustische Ausgangsleistung als auch Q_e sind B^2 proportional. Es macht sich daher nicht bezahlt, auf Kosten des Magneten etwas Geld einzusparen.

Die zum Entwurf von Reflexgehäusen benötigten Parameter können mit normalen elektrischen Meßgeräten in Verbindung mit einem Prüfgehäuse bekannten Nettovolumens ermittelt werden. Diese Parameter sind für den Systementwurf wichtiger als beispielsweise die magnetische Flußdichte oder der Gesamtfluß. Die Ausgabe der letzteren ist natürlich auch hilfreich und trägt zum optimalen Einsatz des Produktes bei.

Das geschlossene Gehäuse wurde hier nur am Rande erwähnt, weil es in (2) detailliert behandelt wird. Um noch einmal den Unterschied zwischen Reflexgehäusen und geschlossenen Gehäusen deutlich zu machen, sei darauf hingewiesen, daß ein geschlossenes Gehäuse gegenüber einem nach Kombination 5 abgeglichenen offenen Gehäuse gleichen Volumens eine um den Faktor 1,55 höhere Eckfrequenz aufweist. Mit kleiner werdenden Gehäusen nehmen auch die Vorteile offener Konstruktionen ab. Für übliche Gehäuseabmessungen ist noch eine deutliche Verbesserung festzustellen: Auch in großen, völlig geschlossenen Gehäusen kann die Eckfrequenz niemals unter f_s fallen, während die Tschebyschev-Kombinationen für offene Gehäuse Eckfrequenzen ermöglichen, die beträchtlich unter f_s liegen können.

Der große Vorteil von Reflexgehäusen gegenüber dem Betrieb von Lautsprechern in unendlich großer Schallwand (entspricht dem geschlossenen Gehäuse) ist die Verminderung der Membranauslenkung, so daß eine größere akustische Ausgangsleistung oder geringere Verzerrungen realisiert werden können. Der vorliegende Beitrag erhöht die Entwurfsflexibilität und soll damit zur vermehrten Nutzung der genannten Vorteile beitragen. Der einzige scheinbare Nachteil offener Gehäuse liegt im Impulsverhalten, aber wie festgestellt werden kann, ist das 'Filterklingeln' nur bei falschem Systemabgleich wahrnehmbar. Bei sauberem Abgleich ist die effektive Nachhallzeit, auch wenn sie über dem gut abgeglichenen geschlossenen Gehäuse liegt, nicht lang genug, um den Klang im Wiedergaberaum wesentlich zu 'verfärbem'.

Abschließend sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die elektroakustischen Übertragungseigenschaften durch die Kombination von Lautsprecher, Gehäuse und Verstärker als Einheit festgelegt werden.

Anhang:

Ein Rechen-Beispiel

Das folgende Rechenbeispiel geht von einem fiktiven Lautsprecher aus, dessen Werte so gewählt sind, daß sich die Rechnungen vereinfachen. Dennoch sind die Parameter typisch für einen 8-Zoll-Lautsprecher mittlerer Qualität.

Messung der Lautsprecherparameter

Q_a , Q_e , V_{as} und f_s :

Mit der Whetstoneschen Brücke bestimmen wir den Gleichspannungswiderstand des Lautsprechers zu $R_e = 4,00 \text{ Ohm}$ und den Gleichspannungswiderstand des Kalibrierwiderstandes zu $R_c = 5,00 \text{ Ohm}$.

Nun setzen wir R_c in die Prüfschaltung nach Bild 17 ein und messen bei einer V-Anzeige von 1 Volt einen Strom $I_c = 180 \text{ mA}$

Dann ist

$$I_c R_c = 0,180 \times 5,00 = 0,900$$

Da dieser Wert 10 % unter 1 Volt liegt, ist eines oder sind beide Meßgeräte ungenau. Das ist allerdings solange nicht von Bedeutung, wie ihre Anzeigen frequenzunabhängig sind und die Anzeige des Ampereometers A linear ist.

Dann folgt aus Gleichung 98:

$$I_c = I_c R_c / R_e = (0,180 \times 5,00) / 4,00 \text{ A} = 225 \text{ mA}$$

Nun installieren wir den Lautsprecher frei im Raum und möglichst weit entfernt von schallreflektierenden Flächen und stellen dann den minimalen Strom $I_0 = 25 \text{ mA}$ bei 55,0 Hz (f_{sa} , die Lautsprecher-Resonanzfrequenz bei freiem Betrieb) fest.

Aus Gleichung 99 folgt

$$r_0 = I_c / I_0 = 225 / 25 = 9$$

$$\sqrt{r_0} = \sqrt{9} = 3$$

$$\sqrt{(I_0 R_c)} = \sqrt{(225 \times 25) \text{ A}} = 75 \text{ mA}$$

Bei konstanter V-Anzeige von 1 Volt können auf dem Amperemeter in den Frequenzen 44,0 Hz und 68,75 Hz gerade 75 mA abgelesen werden. Zunächst benutzen wir diese Ablesungen für die Überprüfung von f_{sa} nach Gleichung 93.

$$f_{sa} = \sqrt{(44,0 \times 68,75)}$$

wie oben bestimmt. Dann folgt aus Gleichung 97:

$$Q_a = f_0 \sqrt{r_0} / (f_2 - f_1) = (55 \times 3) / (68,75 - 44) = 6,67$$

und aus Gleichung 95:

$$Q_e = Q_a / (r_0 - 1) = 6,67 / (9 - 1) = 0,833$$

Nun wird der Lautsprecher in ein offenes Gehäuse mit einem Nettovolumen von 1000 inch³ eingebaut und entsprechend Bild 5 die Frequenz

$$f_b = 100 \text{ Hz}; f_0 = 60 \text{ Hz}; f_1 = 30 \text{ Hz}$$

bestimmt. Aus Glng. 105 folgt dann

$$f_{sb} = f_b f_1 / f_0 = (100 \times 30) / 60 \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}$$

und aus Glng. 106

$$V_{as} / V_b = (f_b^2 - f_0^2) (f_b^2 - f_1^2) / f_b^2 f_1^2$$

Die Berechnung wird einfacher, wenn wir Glng. 106 folgendermaßen umschreiben:

$$V_{as} / V_b = (f_b + f_0) (f_b - f_0) (f_b + f_1) (f_b - f_1) / f_b^2 f_1^2$$

und mit unseren Zahlenwerten

$$\begin{aligned} V_{as} / V_b &= (100 + 60) (100 - 60) (60 + 30) (60 - 30) / 100^2 \times 30^2 \\ &= (160 \times 40 \times 90 \times 30) / (100 \times 30 \times 100 \times 30) \\ &= 1,92 \end{aligned}$$

Demnach ist

$$V_{as} = 1,92 \times 1000 \text{ in} = 1920 \text{ in}^3$$

Im offenen Gehäuse ist die Resonanzfrequenz des Lautsprechers um den Faktor $f_{sb} / f_{sa} = 55 / 50 = 0,909$

abgesunken. Aus Glng. 103 folgt dann

$$M_{asa} / M_{asb} = (0,909)^2 = 0,826$$

Tabelle 5. Rechenergebnis für vier Butterworth-Alignments.

Alignment	QB ₃	B ₄	B ₅	B _{6(i)}
C_{as} / C_{ab}	1,92	1,414	1,000	2,732
V_b (Zoll ³)	1000	1358	1920	704
Höhe (Zoll)	13	14	16	11½
Box { Breite (Zoll)	10¼	11½	13	9
Tiefe „d“ (Zoll)	8¼	9	10	7½
Eckfrequenz f_3				
(c/s) (Hz)	58,5	50	50	50
f_B (Hz)	54,7	50	50	50
L_v / S_v (Zoll ⁻¹)	1,56	1,37	0,97	2,65
S_v (Zoll ²)	7,69	10,07	16,25	4,50
Tunnelhöhe „l“ (Zoll)	¾	⅞	1¼	½
Q_t	0,347	0,383	0,447	0,299
$(Q_e)_{total}$	0,364	0,404	0,476	0,312
R_g / R_c	0,600	0,560	0,481	0,660

und aus Glng. 104

$$Q_{ab} = 6,67/0,909 = 7,33$$

sowie

$$Q_{eb} = 0,833/0,909 = 0,917$$

Bei der Frequenz f_b wurde ein Strom I_b von 220 mA abgelesen. Damit ergibt sich aus Glng. 107 die Güte des Gehäuses mit Öffnung zu

$$\begin{aligned} Q_b &= (f_b/f_s) (C_{ab}/C_{eb}) [(Q_a + Q_e)/Q_b Q_e] [(I_b - I_0)/(I_e - I_0)] \\ &= [60 \times (7,333 + 0,917) \times (220 - 25)] / \\ &\quad [50 \times 1,92 \times 7,33 \times 0,917 \times (225 - 220)] \\ &= (60 \times 8,25 \times 195) / (50 \times 1,92 \times 7,33 \times 0,917 \times 5) \\ &= 29,9 \end{aligned}$$

Aus Glng. 108 folgen dann die maximalen Gehäuseverluste der Quasi-Butterworth-Kombination mit $Q_t = 0,347$ zu

$$\begin{aligned} (A_b)_{\max} &= 1/[1 + (Q_a Q_e / Q_b (Q_a + Q_e)) [(I_e - I_0)/(I_b - I_0)]] \\ &= 1/[1 + (7,33 \times 0,917 \times 5) / (0,347 \times 8,25 \times 195)] \\ &= 1/1,060 \end{aligned}$$

Diesem Wert entsprechen 0,5 dB.

$$\begin{aligned} \eta_{ob} &= 8,0 \times 10^{-12} f_s^3 V_{as} / Q_e \\ &= (8,0 \times 50^3 \times 1920) / (10^{12} \times 0,917) \\ &= 2,09 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

Im logarithmischen Maßstab entspricht dem ein Wert von -26,6 dB bei Betrieb in einem Gehäuse oder -23,6 dB in einer unendlich großen Schallwand (gemeint ist der Wirkungsgrad bei Betrieb in einer wirklich unendlich großen Schallwand und nicht in einem geschlossenen Gehäuse mittlerer Größe, dessen Wirkungsgrad mit dem eines offenen Gehäuses übereinstimmt). Wird für den Betrieb in idealer Schallwand Abstrahlung nach vorn und hinten angenommen, dann steigt der Wirkungsgrad auf -20,6 dB. Ist der Lautsprecher in ein Gehäuse eingebaut und mit 5 Watt elektrischer Leistung angesteuert, dann tritt eine akustische Ausgangsleistung von

$$W_{ao} = \eta_{ob} W_{ei} = 5 \times 2,09 \times 10^{-3} \text{ Watt} = 0,0104 \text{ Watt.}$$

auf.

Nehmen wir einen Wiedergaberaum von $16 \times 12,5 \times 10 = 2000 \text{ ft}^3$ an, dann erzeugt nach (4, S. 418, Bild 11, 12) eine akustische Leistung von 0,003 Watt einen Schallintensitätspegel von 80 dB. Unsere Ausgangsleistung ist um den Faktor 10,4/3 und damit 5,4 dB größer, so daß unser System in der Lage ist, einen maximalen Intensitätspegel von 85 dB zu erzeugen.

Wir gehen von einer Kombination aus, bei der das Gehäuse auf die gleiche Frequenz wie der Lautsprecher abgestimmt wird, in diesem Fall 50 Hz. Das ist typisch für Butterworth-Kombinationen. Entsprechend Glng. 84 ist der konstante Teil des Ausdrucks für x_{pk} gleich

$$(1,31 \times 10^5 \times \sqrt{W_{ao}}) / f_b^2 S_d$$

Mit einem wirksamen Membrandurchmesser für Kolbenstrahlbetrieb von 7 Zoll und

$$S_d = \pi \times 3,5 \text{ in}^2 = 38,5 \text{ in}^2$$

ergibt Glng. 84

$$1,31 \times 10^5 \times \sqrt{0,104} / (50^2 \times 38,5 \text{ in}) = 0,139 \text{ in.}$$

Der Maximalwert des frequenzabhängigen Teilausdruckes von Glng. 84 für ein Reflexgehäuse im nutzbaren Frequenzbereich (oberhalb f_b) ist nach Bild 10 ungefähr ein Viertel des konstanten Wertes und daher

$$x_{pk} = 0,139/4 \text{ in} = \pm 0,035 \text{ in}$$

Im Vergleich dazu treten bei Betrieb im geschlossenen Gehäuse (unendlich große Schallwand) maximale Wegamplituden von $\pm 0,098$ Zoll auf.

Das Gehäuse

Zunächst nehmen wir an, daß wir mit dem 1000 Zoll³-Gehäuse beste Ergebnisse erzielen wollen. Lassen wir 10 % für Versteifungen und das von der Membran verschobene Luftvolumen zu, dann sind die optimalen Innenabmessungen

$$\sqrt[3]{1100} \times (0,8, 1,0, 1,25)$$

Gerundet ergeben sich die Abmessungen 8 1/4 x 10 1/4 x 13 Zoll. Das muß überprüft werden, weil die ursprüngliche Annahme von 10% zulässiger Abweichung inkorrekt ist. Unter der Annahme korrekter Abmessungen beträgt die Weite der Gehäuseöffnung entsprechend Bild 9 10 1/4 Zoll. Die Länge des Tunnels ist $d = 8 1/4$ Zoll und zusammen mit zwei Brettstärken (jedes z.B. 0,5 Zoll) und einer quadratischen 1/2 Zoll-Versteifung an der oberen hinteren Tunnelkante ergibt sich eine Gesamtlänge von 9 3/4 Zoll.

Der einfache Abgleich für $C_{as}/C_{ab} = 1,92$ ist eine Quasi-Butterworth-Kombination zwischen Nr. 4 und 5 in Tabelle 1. Aus Bild 7b ergibt sich

$$f_3/f_1 = 1,17, \quad f_3 = 50 \times 1,17 \text{ Hz} = 58,5 \text{ Hz}$$

sowie

$$f_3/f_b = 1,07, \quad f_b = 58,5/1,07 \text{ Hz} = 54,7 \text{ Hz.}$$

Damit ist $\omega_b^2 = 1,18 \cdot 10^5$

$$\begin{aligned} (L_v/S_v)_{\text{gesucht}} &= 1,84 \times 10^9 / \omega_b^2 V_b \\ &= 1,84 \times 10^9 / (1,18 \times 10^5 \times 10^3 \text{ in}^{-1}) \\ &= 1,56 \text{ in}^{-1}. \end{aligned}$$

Mit einer Tunnelhöhe $l = 3/4$ Zoll ergibt sich die Fläche

$$S_v = 10^{1/4} \times 3/4 \text{ in}^2 = 7,69 \text{ in}^2$$

und

$$\begin{aligned} (L_v/S_v)_{\text{end}} &= 0,958/\sqrt{S_v} \\ &= 0,958/\sqrt{7,69 \text{ in}^{-1}} \\ &= 0,34 \text{ in}^{-1}. \end{aligned}$$

und

$$\begin{aligned} (L_v/S_v)_{\text{tunnel}} &= 9,75/7,69 \text{ in}^{-1} \\ &= 1,27 \text{ in}^{-1}. \end{aligned}$$

Dann ist

$$(L_v/S_v)_{\text{real}} = 1,61 \text{ in}^{-1}$$

Dieser Wert weicht nur im Rahmen der kleinsten Abmessung (3/4 Zoll) vom erforderlichen Wert ab. ●

Literatur

- (1) E.J. Jordan, "Loudspeaker Enclosure Design", *Wireless World*, Vol. 62, Seiten 8—14 (Jan. 1956); Seiten 75—79 (Feb. 1956).
- (2) J.F. Novak, "Performance of Enclosures for Low-Resonance High-Compliance Loudspeakers", *IRE Trans. Audio*, Vol. AU-7, Seiten 5—13 (Jan.-Feb. 1959)
- (3) H.F. Olson, *Elements of Acoustical Engineering*, 2nd Ed. (Van Nostrand, Princeton, N.J., 1947), Seite 154—156.
- (5) O.W. Eshbach, Ed., *Handbook of Engineering Fundamentals* (John Wiley, New York, 1936), Seiten 8—60.
- (6) A.N. Thiele, "Television IF Amplifiers with Linear Phase Response", *Proc. IRE (Aust.)*, Vol. 19, Seite 655 (Nov. 1958).
- (7) J.L. Stewart, *Circuit Theory and Design* (John Wiley, New York, 1956), Seiten 159—163.
- (8) F. Langford-Smith, *Radiotron Designer's Handbook*, 4th Ed. (A.W.V. Co., Sydney, 1952), Seite 847.
- (9) R.P. Sallen and B.L. Key, "A Practical Method of Designing RC Active Filters", *IRE Trans. Circuit Theory*, Vol. CT-2, No. 1, Seiten 74—85 (März 1955).
- (10) A.N. Thiele, "The Design of Filters Using only RC Sections and Gain Stages", *Electron. Eng.*, Seiten 31—36 (Jan. 1956); Seiten 80—82 (Feb. 1956).

Wir danken dem Autor und der "Institution of Radio and Electronics Engineers Australia" für die freundliche Genehmigung zum Übersetzen und Nachdruck dieses Artikels, der unter dem Titel "Loudspeakers in Vented Boxes" im Journal der IREE Australia erschienen ist.

ELEKTRONIK



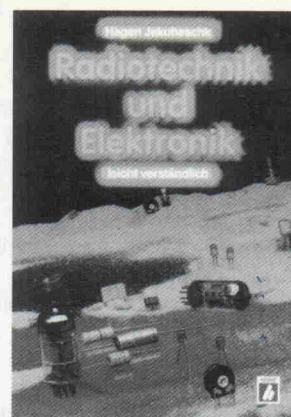
Dieses Buch bietet dem interessierten Modelleisenbahner den gezielten Einstieg in die Elektronik. In leichtverständlicher Form werden dem Leser die Kenntnisse der notwendigen Elektronikbauteile, des Lötvorganges und vollständiger Elektronikschaltungen vermittelt.

Broschur, 111 Seiten
DM 29,80/öS 232,-/sfr 27,50
ISBN 3-922705-36-7



Das Buch wendet sich vornehmlich an Kinder und Jugendliche. Schritt für Schritt wird ihnen das Basiswissen der Elektrotechnik „spielerisch“ nahegebracht, wobei leicht nachvollziehbare Schaltungen — auch unter Verwendung einfacher elektronischer Bauelemente wie Dioden und Transistoren — zu persönlichen Erfolgserlebnissen verhelfen.

Broschur, 171 Seiten
DM 24,80/öS 193,-/sfr 23,-
ISBN 3-922705-38-3



Was ist elektrischer Strom? Wie funktioniert eine Batterie, ein Radio, ein Sender? Was sind Röhren, Halbleiter, Transistoren, Integrierte Schaltkreise, Wellen und Sequenzen? Von den einfachsten physikalischen Grundlagen bis zu vollständigen Schaltungen. Hier sind die Antworten.

Broschur, 271 Seiten
DM 39,80/öS 310,-/sfr 36,60
ISBN 3-922705-39-1

COMPUTER- BUCH



Von den Grundlagen der Systemprogrammierung bis zu detaillierter Hardware- und Maschinensprache-Programmierung wird beschrieben, wie eigene Programme inkl. gewerblich nutzbarer Software aufgearbeitet oder ergänzt werden können.

Broschur, 331 Seiten
DM 68,-/öS 530,-/sfr 62,60
ISBN 3-88229-107-6



Fachübergreifend, doch gründlich bis ins Detail, dabei immer verständlich, zeigt der Autor anhand zahlreicher Fakten aus Neurologie, Linguistik, Philosophie, Logik und Informatik die elementaren Unterschiede zwischen evolutionär ausgebildeter natürlicher Intelligenz und den aus ihr geschaffenen Produkten der „Künstlichen Intelligenz“ auf.

Broschur, 255 Seiten
DM 46,-/öS 359,-/sfr 42,30
ISBN 3-88229-101-X



11 Aufgaben mit steigendem Schwierigkeitsgrad werden mit ihren Lösungen vorgestellt. Der Autor hilft kontinuierlich bei der Lösungsfindung und bereitet detailliert die mathematischen Probleme auf.

Broschur, 211 Seiten
DM 29,80/öS 232,-/sfr 27,50
ISBN 3-88229-144-3

Im Buch-, Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. BB 9.1

Firmenverzeichnis zum Anzeigenteil

AB-Soundtechnik, Köln	72	JSL, Poppenricht	108
ACR, Frankfurt	33	Kaiser, Cuxhaven	21
ACR Ruhr, Recklinghausen	110	KEMTEC, Gütersloh	81
ACR Top Audio, Nürnberg	29	KKSL, Groß-Gerau	73
AES Anlagenbau, Göttingen	21	KLEIN ELEKTRONIK, Neuhausen	91
AES Anlagenbau, Kassel	21	Kling & Freitag, Hannover	8
albs-Alltronic, Otisheim	108	Köhler, Wessobrunn	33
Audax-Proraum, Bad Oeynhausen	32		
Audio Design, Essen	41, 97	Lautsprecher Czerny, Neuss	17
Audio Sound Exclusiv, Geilenkirchen	83	Lautsprecherladen, Kaiserslautern	7
Audio Systeme, Vreden	24	Lautsprecher Studio, Reutlingen	73
Audite Akustik, Bremen	25		
		Mainhattan Acustik, Frankfurt	87
BETON-AKUSTIK, Grebenhain	91	Matzker + Engels, Köln	50
Die Boxenwerkstatt, Dreieich	83	mivoc, Solingen	9
		MONARCH, Bremen	83
Car + Audio, Hannover	110	Mundorf, Köln	43
DYNAMIK AKUSTIK, Hamburg	33	Obi-Electronic, CH-Grabs	43
		Oehlbach-Kabel, Karlsruhe	62
EBC Elektronik, Marburg	29	Open Air, Hamburg	13
Ecotherm, Dortmund	105		
electroacoustic, Linz	12	Pach, Heinsen	109
elektroakustik, Stade	24	PHONET Lautsprecher Spezialist, Stade	21
		pro audio, Bremen	12
F.M. Audio, Darmstadt	86		
Fränk. Lautsprecher Vertrieb, Bamberg	16	Scan Speak	86
		Selfmade, Augsburg	43
G + S Orwärts, Gelsenkirchen	109		
		Schappach, Mannheim	71
HiFi Box, Mülheim	24	Schuberth, Münchberg	42
HiFi-Lautsprecher, Frickingen	8		
HiFi Manufaktur, Braunschweig	91	Stübinger, Landau	73
hifisound, Münster	73		
HiFi Team, Graz	17	THIEL, Homburg	7
HS-Elektronik, Mannheim	63		
Huber, Deißlingen	7	Wirth, Isernhagen	71
Hubert Lautsprecher, Bochum	21		
Hubert, Dr., Bochum	63	Zeck Music, Waldkirch	67
IEK Akustik, St. Florian	29		
ITEM, Welden	67, 81		

Impressum:

HiFi-Boxen selbstgemacht
elrad extra 8

Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG

Helstorfer Straße 7
Postfach 610407
3000 Hannover 61
Telefon: 05 11/53 52-0
Telex: 9 23 173 heise d
Telefax: 05 11/53 52-129
Kernarbeitszeit 8.30—15.00 Uhr

Technische Anfragen nur mittwochs 9.00—12.30 und
13.00—15.00 Uhr unter der Tel.-Nr. (05 11) 5 47 47-0

Postgiroamt Hannover, Konto-Nr. 93 05-308
Kreissparkasse Hannover, Konto-Nr. 000-019968
(BLZ 250 502 99)

Herausgeber: Christian Heise

Redaktion: Peter Rübke-Doerr (verantwortlich)
Manfred H. Kalsbach, Johannes Knoff-Beyer,
Michael Oberesch, Thomas Latzke, Hartmut Rogge

Redaktionssekretariat: Dominik Schilling

Technische Assistenz: Marga Kellner, H. J. Berndt,
M. Rabe

Art Director: Marc Lauster

Grafische Assistenz: Ira Prussat

Fotografie: Lutz Reinecke

Verlag und Anzeigenverwaltung:

Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG
Helstorfer Straße 7
Postfach 610407
3000 Hannover 61
Telefon: 05 11/53 52-0
Telex: 9 23 173 heise d
Telefax: 05 11/53 52-129

Geschäftsführer: Christian Heise, Klaus Hausen

Objektleitung: Wolfgang Penseler

Anzeigenleitung: Irmgard Digens (verantwortlich)

Anzeigenverkauf: Werner Wedekind

Disposition: Gerlinde Donner-Zech, Pia Ludwig,
Christine Paulsen, Andreas Rinne

Vertrieb: Wolfgang Bornschein, Anita Kreutzer

Herstellung: Heiner Niens

Satz:
Hahn-Druckerei, Im Moore 17, 3000 Hannover 1
Ruf (05 11) 70 83 70

Druck:
CW Niemeyer Druck, Osterstraße 15—19
3250 Hameln, Ruf (05 11) 200-0

Vertrieb (auch für Österreich und die Schweiz):

VPM Verlagsunion Pabel Moewig KG
Postfach 5707
D-6200 Wiesbaden
Ruf (06 121) 266-0

Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden. Die geltenden gesetzlichen und postalischen Bestimmungen bei Erwerb, Errichtung und Inbetriebnahme von Sende- und Empfangseinrichtungen sind zu beachten.

Die gewerbliche Nutzung, insbesondere der Schaltpläne, Gehäusezeichnungen und gedruckten Schaltungen, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers zulässig. Die Zustimmung kann an Bedingungen geknüpft sein.

Honorierte Arbeiten gehen in das Verfügungsrecht des Verlages über. Nachdruck nur mit Genehmigung des Verlages. Mit Übergabe der Manuskripte und Bilder an die Redaktion erteilt der Verfasser dem Verlag das Exklusivrecht.

Sämtliche Veröffentlichungen in „HiFi-Boxen selbstgemacht“ erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patentschutzes. Warennamen werden ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benutzt.

Printed in Germany
© Copyright 1989 by Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG

ISSN 0177-0055

C

OMPUTEREI = ZAUBEREI?

ct

- GANZ OHNE ABRAKADABRA.



Verlag Heinz Heise
GmbH & Co KG
Postfach 610407
3000 Hannover 61

ct magazin für computertechnik.
Dazulernen werden Sie immer.



Erhältlich bei Ihrem Zeitschriftenhändler oder beim Verlag.



VOLLES PROGRAMM

- HIFI VISION-Tests sind keine Dutzendware. HIFI VISION-Tests machen Lust auf HiFi.
- Was Profis hören, untermauert das Meßlabor mit modernster Technik und präzisen Daten.
- In jedem Heft von HIFI VISION spielt die Musik. Aktuell, kompetent und bunt, kritisch und fundiert. Musik komplett und kompakt.
- Jeden Monat gibt's das dicke Paket. Sachkundig, unbestechlich, frank und frei. Denn: Wer Ohren hat, liest HIFI VISION.

HEISE



Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG, Helstorfer Straße 7, 3000 Hannover 61, Telefon (05 11) 53 52-0.