

Die Suche nach dem optimalen Werkstoff für Lautsprechergehäuse kennt nur ein Ziel: Stein. Masse und Steifigkeit gehen hier eine ideale Verbindung ein. Schiefer, Granit&Co« kommen in Frage, sind allerdings sehr teuer« Eine unter akustischen Gesichtspunkten ebenbürtige, aber deutlich preiswertere Lösung ist Beton; für Jedermann verfügbar und leicht zu verarbeiten. Mit

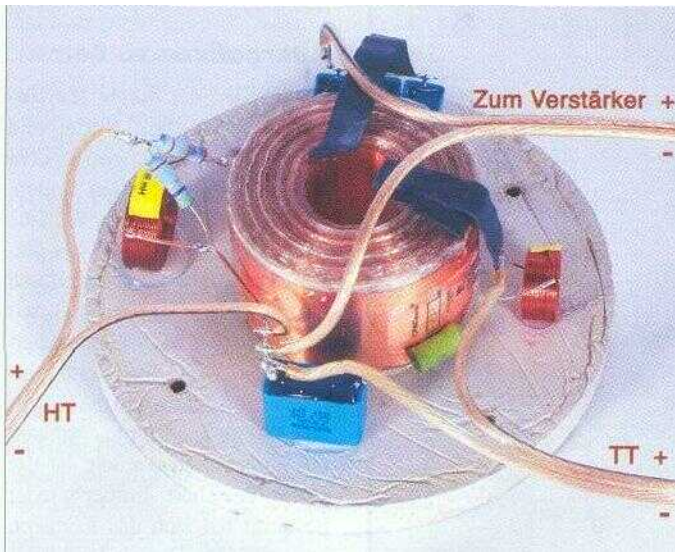
HIFI die Möglichkeiten Betonbaus in der Lautsprechertechnik aus.

Gehört, dass es so etwas gibt, hat fast jeder schon einmal, aber ein solches Projekt verwirklicht haben bisher nur Wenige. Der Grund des Zauderns: Betonboxen stehen im Ruf akustischer Perfektion, aber handwerklicher Unbezwingbarkeit.

Mit dem Start in die Gartensaison 2000 wachsen wie in jedem Sommer die Möglichkeiten, mit Beton zu arbeiten. Diese Bauanleitung erläutert minutiös den Ablauf, präsentiert aber auch eine attraktive Alternative für alle, die ein fix und fertiges Betongehä-

se - sogar mit Fräsungen für den versenkten Chassis-Einbau - erwerben möchten.

Diese Alternative stammt von der Firma Thiemann aus Potsdam, einem Spezialisten für Diamant-1 renntechnik, Thiemann höhlt unter Einsatz eines Kernbohrers einen Betonquader über 90 cm tief aus. Auch die Ausschnitte für Hoch- und Tieftöner sowie das Bassreflexrohr bringt er mittels diamantbesetzter Bohrkrönen an. Auf diese Weise gelingt es ihm sogar, Fräsungen für Hoch- und Tieftöner zu erstellen,



Die Frequenzweiche kann man auf dem herausnehmbaren Gehäuseboden aufbauen. Die Tieftonspule - auf dem Foto die High-End-Version mit Kupferfolien-Wickel - nimmt den meisten Platz für sich in Anspruch. Um sie herum gruppieren sich die übrigen Bauteile - zweckmäßig angeordnet, damit möglichst wenige Verbindungsstücke erforderlich sind.

**Der Tieftöner AL 130 mit Aluminium-Membran, das Flagg-schiff unter den 13er Tieftönern bei Visaton, und der Neodym-Hochtöner TM025F1 von Audax aus Frankreich, bestückt mit einer Gewebekalotte, harmonisieren hervorragend.**



tet sich nicht zuletzt dank seiner geringen Größe an, denn damit ergibt sich eine harmonische Optik. Er lässt eine niedrige Trennfrequenz zu, bietet ausgewogene Tonalität und hervorragendes Rundstrahlverhalten.

### **Betongehäuse selbst herstellen oder fertig kaufen**

Die Anfertigung eines Betongehäuses erläutert der Kasten „Betongehäuse selbst herstellen“. Da es sich hier um eine einseitig offene Betonschale mit aufgeschraubter Schallwand handelt, bereitet die Montage von Frequenzweiche und Dämmmaterial keine Probleme. Das Beton-Fertiggehäuse der Firma Thiemann (siehe Kasten „Lautsprechergehäuse vom Betonbohr-Spezialisten“) wird dagegen durch den Gehäuseboden bestückt. Die Frequenzweiche lässt sich hier sehr schön auf der runden Betonscheibe, die als Gehäuseboden Verwendung findet, aufbauen (siehe Foto). Gegenüber der selbst gegossenen Betonbox besitzt es, da aus einem Stück gefertigt, eine noch größere Stabilität, zumal dank rundem Querschnitt des Hohlraums in den Gehäusekanten sehr viel Material stehen bleibt.

### **Alternativen zu Beton**

Nicht jeder, der diesen Bauvorschlag interessant findet und nachbauen möchte, wird an dem Betongehäuse Gefallen finden. Aber schließlich besteht auch die Möglichkeit, auf Beton als Gehäusematerial zu verzichten und ein normales Gehäuse, z.B. aus 25 mm starken MDF-Platten, herzustellen. Wenn das Nettovolumen von 18 Litern und die Schallwandbreite von 20 plus/minus 2 cm eingehalten werden, ist der Erfolg gesichert. Immer wieder bestätigt hat sich das Konzept, etwa ein Viertel bis ein Drittel des Gehäuses abzutheilen, dort die Frequenzweiche unterzubringen und den Hohlraum anschließend mit trockenem Sand zu füllen. Gerade für ein 18 Liter großes

damit beide oberflächenbündig eingesetzt werden können.

### **Bestückung der Beton 1**

Um das Beton-Projekt in einer gewichtsmäßig überschaubaren Größenordnung zu halten, suchte HOBBY HIFI nach einem kleinen Tiefmitteltöner, der maximal 20 Liter Gehäusevolumen benö-

tigt. Im AL 130 von Visaton fand sich eine äußerst attraktive Lösung: Dieser Tiefmitteltöner besitzt eine extrem feste Alu-Membran, ist mit 18 mm Schwingspulenlänge ungewöhnlich langhubig ausgelegt (Bestwert des Vergleichstests in HOBBY HIFI 6/99) und erfüllt mit hinterlüfteter Zentrierspinne, großer Polkern-

bohrung und nichtleitendem Kapton-Spulenträger alle für dynamischen und präzisen Klang wichtigen Kriterien.

Als Hochtöner-Partner fiel die Wahl auf einen Neodym-Hochtöner aus dem Hause Audax: Der TM 025 F1, der seine Qualitäten in HOBBY HIFI 3/2000 überzeugend zu präsentieren wusste, bie-

Die abgebildeten Betongehäuse stammen von der Firma Thiemann aus Potsdam, einem Spezialisten für Diamant-Trenntechnik. Thiemann höhlt unter Einsatz eines Kernbohrers einen 20x20x100 cm messenden Betonquader über 90 cm tief aus. Auch die Ausschnitte für Hoch- und Tieftöner sowie das Bassreflexrohr bringt er mittels diamantbesetzter Bohrkronen an. Auf diese Weise gelingt es ihm sogar, Fräsungen für Hoch- und Tieftöner zu erstellen, damit beide oberflächenbündig eingesetzt werden können.

Die Beton-Rohlinge, aus denen die im HOBBY-HIFI-Lautsprecherlabor verarbeiteten Gehäuse entstanden, sind an allen Kanten 10 mal 10 mm breit gefast. Dies reduziert Kanten-Interferenzen, vermag sie aber nicht komplett zu Unterdrücken. Derzeit arbeitet Thiemann an einer verbesserten Version mit breiterer Fase, eventuell sogar einer Rundung, wie in der Gehäusezeichnung zu sehen. Auch die Anordnung von Hoch- und Tieftöner wird noch optimiert: Beide Schallwandler rücken näher zusammen, um das vertikale Abstrahlverhalten zu verbessern. Das Ergebnis lag bis zum Redaktionsschluss dieser Ausgabe aber noch nicht vor. Die Betongehäuse sollen pro Paar ca. 1.500 DM kosten und rechtzeitig zum Erscheinen dieser Ausgabe verfügbar sein.

Adresse und Telefon auf Seite 80



**W**er nicht auf ein fix und fertiges Betongehäuse zurückgreifen möchte, kann ein solches Schergewicht auch selbst herstellen. Der Sommer ist gerade die richtige Jahreszeit, um ein solches Projekt im Garten oder auf der Terrasse in Angriff zu nehmen. Eingedenk der Tatsache, dass die wenigsten HiFi-Freunde über passendes Diamant-Bohrgerät verfügen, muss dieses Gehäuse bereits mit Hohlraum gegossen werden. Da es praktisch unmöglich ist, auch die Chassis-Ausschnitte exakt passend zu gießen, sollte das Gehäuse ohne Frontwand hergestellt und die Schallwand später aufgeschraubt werden. Diese besteht sinnvollerweise aus einem sehr stabilen Werkstoff, z.B. zementgebundener Spanplatte, die es mit 20 mm Stärke in gut sortierten Holz-Fachmärkten zu kaufen gibt. Auch Birken- oder Buchenmultiplex, möglichst ab 30 mm Stärke aufwärts, eignet sich sehr gut.

## Wasserfeste Schalung

Die äußere Schalung wird aus wasserfestem Sperrholz oder gehobeltem Nadelholz hergestellt (keinesfalls aus Spanplatte oder MDF, da diese Platten sich beim Kontakt mit Feuchtigkeit auflösen). Um Kosten zu sparen, kann diese Schalung dünnwandig ausgeführt werden (ca. 10 mm Stärke), muss allerdings durch einen stabilen Rahmen, etwa aus hochkant gestellten Dachlatten, stabilisiert werden, damit sie sich nicht unter dem Druck des flüssigen Betons ausbeult.

Die innere Schalung besteht schlicht aus einem Styroporblock, der durch Beschweren mit einigen Steinen gegen Auftrieb gesichert wird. Er kann nach dem Aushärten des Betons herausgeschält werden. Dieses Vorgehen bietet auch den Vorteil einer besonders unkomplizierten Volumen-Festlegung: Der Styroporkörper muss nur das gewünschte Gehäusevolumen - in diesem Fall 18 Liter - besitzen (bei nicht-rechteckigen Formen kann man es mittels Wasserverdrängungs-Methode ermitteln), während die Außenmaße des Gehäuses beliebig sind. So lassen sich selbst ausgefallene Formen realisieren, ohne dass die Volumenberechnung zur wissenschaftlichen Arbeit ausartet.

## Beton: Fertigmischung oder selbst zubereitet

Beton lässt sich, den Platz zum Mischen vorausgesetzt, leicht selbst herstellen: Ein Sack Zement aus dem Baumarkt (ca. 5 bis 7 DM) und einige Eimer mit Sand reichen aus. Grober Betonkies, auf dem Bau verwendet, da er dem Beton größere Festigkeit verleiht, ist hier nicht sinnvoll, wohl aber eine Körnung von maximal 10 mm. Der Sand bzw. das Kies-Sand-Gemisch und der Zement werden im Verhältnis drei zu eins gründlich vermischt und dann mit Wasser angerührt, bis sich eine cremige Konsistenz einstellt. Wer den Aulwand minimieren möchte oder keine Möglichkeit zum Mischen hat, kann auch Fertigmörtel aus dem Baumarkt verwenden, der nur mit Wasser angerührt wird.

## Dübel für die Befestigung der Schallwand

Der Beton wird in die Schalung eingefüllt, bis die gewünschte Stärke der Rückwand erreicht ist, und dann die Styropor-Innenschalung darauf gesetzt und beschwert. Etwas Baustahlgewebe als Armierung einzubetten ist möglich, wenn auch nicht zwingend erforderlich. Akustisch ist es irrelevant, erhöht aber die Bruchsicherheit des Gehäuses. Dann folgt das Auffüllen der Wände, wobei allseitiges Abklopfen der Schalung mit einem (möglichst Gummi-) Hammer den Beton verdichtet,

In den noch feuchten Beton werden im Abstand von ca. 15 cm Dübel eingesetzt, die später zur Befestigung der Schallwand erforderlich sind. Die Bohrungen auf der Gehäuserückseite für die Polklemmen kann man mit einer Schlagbohrmaschine auch später noch anbringen.

Gehäuse, als Regalbox zu groß, als Standlautsprecher aber eigentlich noch zu klein, bietet sich dieses Vorgehen an.

## Frequenzweichenabstimmung

Bei der Entwicklung des Filternetzwerks stand das Schaltungskonzept schnell fest: Ein Tiefpass erster Ordnung, unterstützt durch einen Saugkreis, der die Resonanzen der Alu-Membran schluckt, besänftigt den AL 130, und für den Hochtöner kommt ein 12-dB-Hochpass mit Besselcharakteristik zum Einsatz. So ergibt sich im Übernahmebereich ein sehr flacher Filterverlauf, und die Summe aus Hoch- und Tiertonschallanteil addiert sich optimal. Der Hochtöner muss allerdings gegenphasig gepolt werden.

## Messungen

Die axiale Messung eignet sich allerdings nicht zur Beurteilung der Frequenzweichenabstimmung, denn um 3 kHz, also knapp oberhalb der Trennfrequenz von 2,3 kHz, verfälschen Interferenzen das Messergebnis. Außerhalb der Symmetrieachse zeigt sich dagegen der Erfolg der Frequenzweichenabstimmung mit einer absolut glatten Übernahmzone. Auch das Wasserfallpektrum bestätigt, dass der Übergang gelungen ist, denn ober- und unterhalb der Trennfrequenz schwingt der Lautsprecher gleich schnell aus.



**Der Blick durch den abgenommenen Gehäuseboden in das Gehäuse zeigt eine Betonröhre, geformt durch einen diamantbesetzten Kernbohrer mit 160 mm Außendurchmesser. Eine 180-mm-Bohrkrone erzeugt die umlaufende Falz, die den Gehäuseboden aufnimmt. Die vier Klotzchen sorgen für sicheren Halt der Befestigungsschrauben.**

## Klangbeschreibung

Nachdem die 40 Kilogramm schweren Standboxen im Hörraum auf je drei Spikes Platz genommen hatten, durften die Stax-Endstufen Tuchföhlung mit den Probanden aufnehmen. Der trockene und präzise Charakter des AL 130 war ja schon aus anderen Konstruktionen, etwa der Mini-TL aus HOBBY HIFI 1/2000, bekannt, aber im Beton-

gehäuse zeigt er eine bemerkenswerte Steigerung seiner Qualität. Jeder Anflug von „Boxenklang“ ist verfliegen. Besonders der Gruntonbereich profitiert: Völlig klar, seltsam schlank und dennoch mit kraftvollen Konturen stellt er sich dar. Der Männerchor in der Oper „Echnaton“ von Philip Glass ist ein besonders gutes Beispiel dafür: Viele Stimmen, die sonst im allgemeinen

Getümmel verschwimmen, lassen sich einzeln wahrnehmen, und die unerhörte Detailfülle macht atemlos. Wenn dann die Pauken ihren Einsatz haben, wird klar, dass auch der tiefste Bass noch eine Steigerung erfährt: Obwohl die untere Grenzfrequenz mit 40 Hertz im für den AL 130 typischen Bereich liegt, scheint er viel tiefer zu reichen als in anderen Konstruktionen.

Den Hochtonbereich gibt der Audax-Hochtöner sehr souverän wieder, wobei über seinen Profit von der Betonbauweise nicht viel zu sagen ist, denn aus anderen Konstruktionen kennen wir ihn nicht. Wie ein 50-Mark-Hochtöner klingt er jedenfalls nicht, selbst viele 100-DM-Konkurrenten dürften es gegen ihn schwer haben. Bemerkenswert ist der spezielle Charakter der räumlichen Wiedergabe, weit ausladend und dennoch mit sehr kompakten einzelnen Schallquellen: Die Instrumente fließen nicht ineinander, sondern lassen Freiräume zwischen ihnen.

## Fazit

Dieses Projekt beweist: Betonboxen haben eine Daseinsberechtigung. Der unglaublich klare, von allem Ballast befreite Klang entschädigt bei Weitem für den Aufwand des Gehäusebaus.



Preis: 50 DM

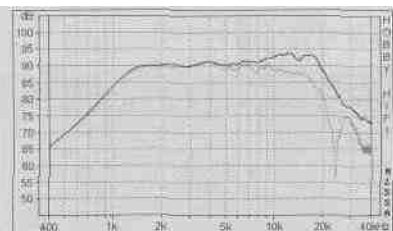
Vertrieb: Proraum, Bad Oeynhausen

Der Neodym-Hochtöner TM 025 F1 des französischen Herstellers Audax ist mit einer Gewebekalotte bestückt, die über ein kurzes Hörn abstrahlt, das den Wirkungsgrad im unteren Übertragungsbereich und damit die Breitbandigkeit verbessert. Er vereint alle positiven Eigenschaften in sich, die man von einem guten Hochtöner verlangen kann: Eine enorm lineare Wiedergabekurve - sowohl axial als auch unter 30 Grad gemessen -, eine niedrige untere Grenzfrequenz, Resonanzfreiheit am oberen Ende des Übertragungsbereichs und ausgezeichnetes Ausschwingverhalten. Der Wirkungsgrad liegt mit gut 90 dB angenehm hoch, die Verzerrungen im Bereich um 0,2 % und damit erfreulich niedrig. Angesichts dieser geballten Qualitäten löst der günstige Preis Verblüffung aus: Der liegt mit 50 DM am unteren Ende der Preispalette - Kompliment!

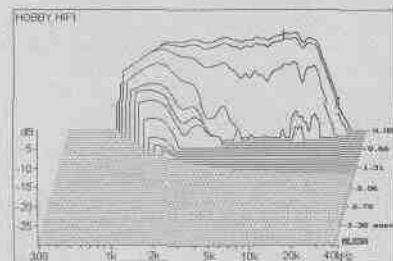
## AudoxTM025 F1

### Technische Daten

Außendurchmesser:	70 mm
Einbaudurchmesser:	48mm
Frästiefe:	2,5mm
Einbautiefe (nicht eingefräst):	20mm
Frontplatte:	Kunststoff
Membranmaterial:	Gewebe
Sicke:	Gewebe
Schwingspulendurchmesser:	25mm
Schwingspulenzuführung:	Draht
Polkernbohrung:	nein
Bedämpfung:	1°
Ferrofluid:	j a
Nennimpedanz nach DIN:	60hm
Impedanzminimum:	5,9 Ohm/3,5 kHz
Empfindlichkeit (2,83 V, 1 m, 4 kHz):	91 dB
niedrigste Trennfrequenz:	2,0 kHz
Übertragungsbereich (-6 dB)	1,0-20 kHz

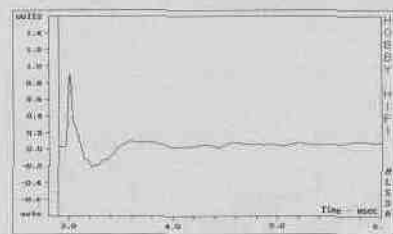


**Schalldruck-Frequenzgang auf unendlicher Schallwand axial und unter 30°**  
 Absolut vorbildlich: Extrem ausgewogener und breitbandiger Frequenzgang, auf Achse leicht ansteigend, unter 30 Grad minimal abfallend.



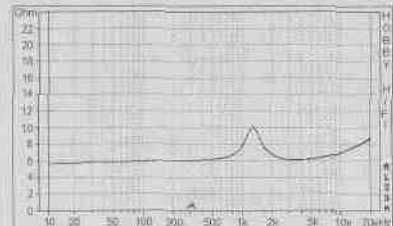
**Wasserfallspektrum auf unendlicher Schallwand axial**

Keinerlei störende Resonanzen.

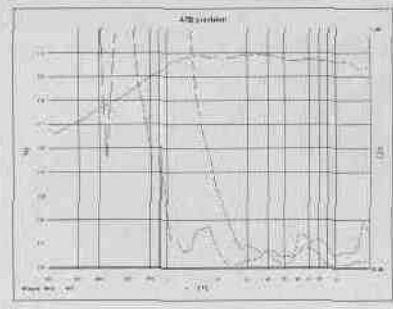


**Sprungantwort auf unendlicher Schallwand axial**

Fehlerfreie Sprungantwort.



**Impedanz-Frequenzgang**  
 Schmalbandige und relativ hohe Resonanzspitze, typisch eigentlich für Hochtöner ohne Ferrofluid - dieser besitzt ein sehr dünnflüssiges Fluid, das nur eine geringe mechanische Dämpfung hervorruft.



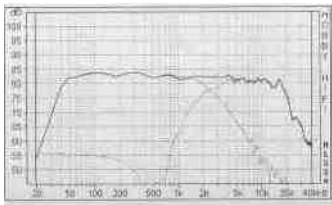
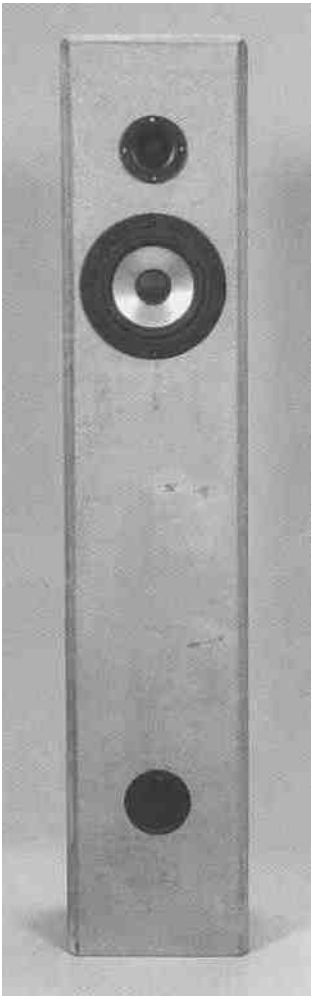
**Klirrfaktor bei 2,83 V Signalspannung**

Ab 2 kHz niedrige Verzerrungen.

**Elektromechanische Parameter:**  
 $R_e = 5,5 \text{ Ohm}$   
 $L_e = 53 \text{ } \mu\text{H}/20 \text{ kHz}$   
 $f_s = 1,3 \text{ kHz}$   
 $Q_{ms} = 2,6$   
 $Q_{es} = 3,2$   
 $Q_{ts} = 1,4$

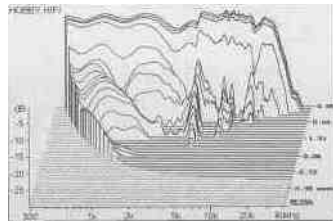




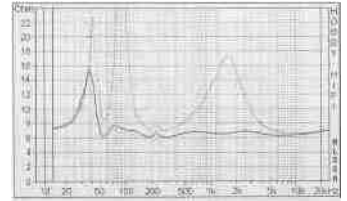


**Schalldruck-Frequenzgang  
Hochtöner, Tieftöner, Subwoofer unter 30°**

Im Winkel von 30 Grad ergibt sich eine vollkommen ausgewogene Wiedergabekurve mit vorbildlicher Ankopplung von Hoch- und Tieftöner bei 2,3 kHz.

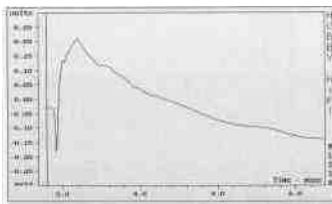


Schnelles Ausschwingen; Die Resonanzstelle bei 4,5 kHz ist darauf zurückzuführen, dass der Hochtöner nicht eingefräst war.



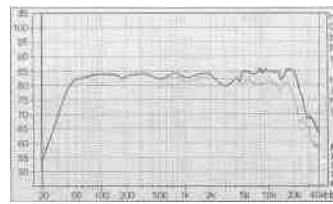
**Impedanz-Frequenzgang ohne  
und mit Impedanzkorrektur**

Für Röhrenfans äußerst interessant: Durch Hinzufügen zweier Saugkreise lässt sich die Impedanzkurve sehr präzise glätten. R2, C2 und L3 widmen sich dem oberen der beiden Bassreflexhocker, und R5, C4 und L5 sorgen im Übernahmehereich zwischen Hoch- und Tieftöner für eine klare Linie. Röhrenverstärker profitieren von einer konstanten Lastimpedanz und belohnen den Aufwand mit präzisiertem Bass und unaufdringlichen Mitten. Transistorverstärker mit hohem Dämpfungsfaktor haben von der Impedanzlinearisierung keinen Vorteil.



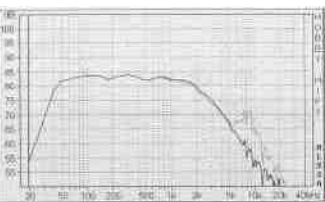
**Sprungantwort 0°**

Sehr gute Sprungantwort, fast an die Qualität einer reinrassigen 6-dB-Frequenzweiche heranreichend. Die Verpolung des Hochtöners manifestiert sich im negativen Ausschlag der ersten Impulsfront.



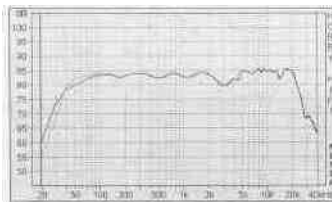
**Schalldruckpegel axial und  
unter 30 Grad**

Günstiges Rundstrahlverhalten, ab 5 kHz deutliche Richtwirkung des Hochtöners. Der axial zu beobachtende Schalldruckeinbruch bei 3 kHz ist auf Kanten-Interferenzen zurückzuführen.



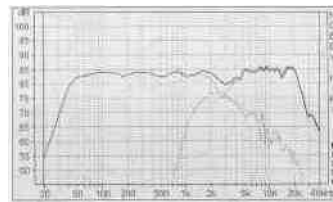
**Schalldruck-Frequenzgang des  
Tieftöners ohne und mit  
Saugkreis**

Der Saugkreis R1, C1, L2 entschärft die für Metallmembranen charakteristischen Eigenresonanzen des Visaton'schen Alu-Konus zwischen 7 und 10 kHz vollständig: Die Schalldruckkurve, ohne Saugkreis eher als problematisch zu bezeichnen, fällt bei richtiger Beschaltung vorbildlich gleichmäßig mit 12 dB pro Oktave ab.



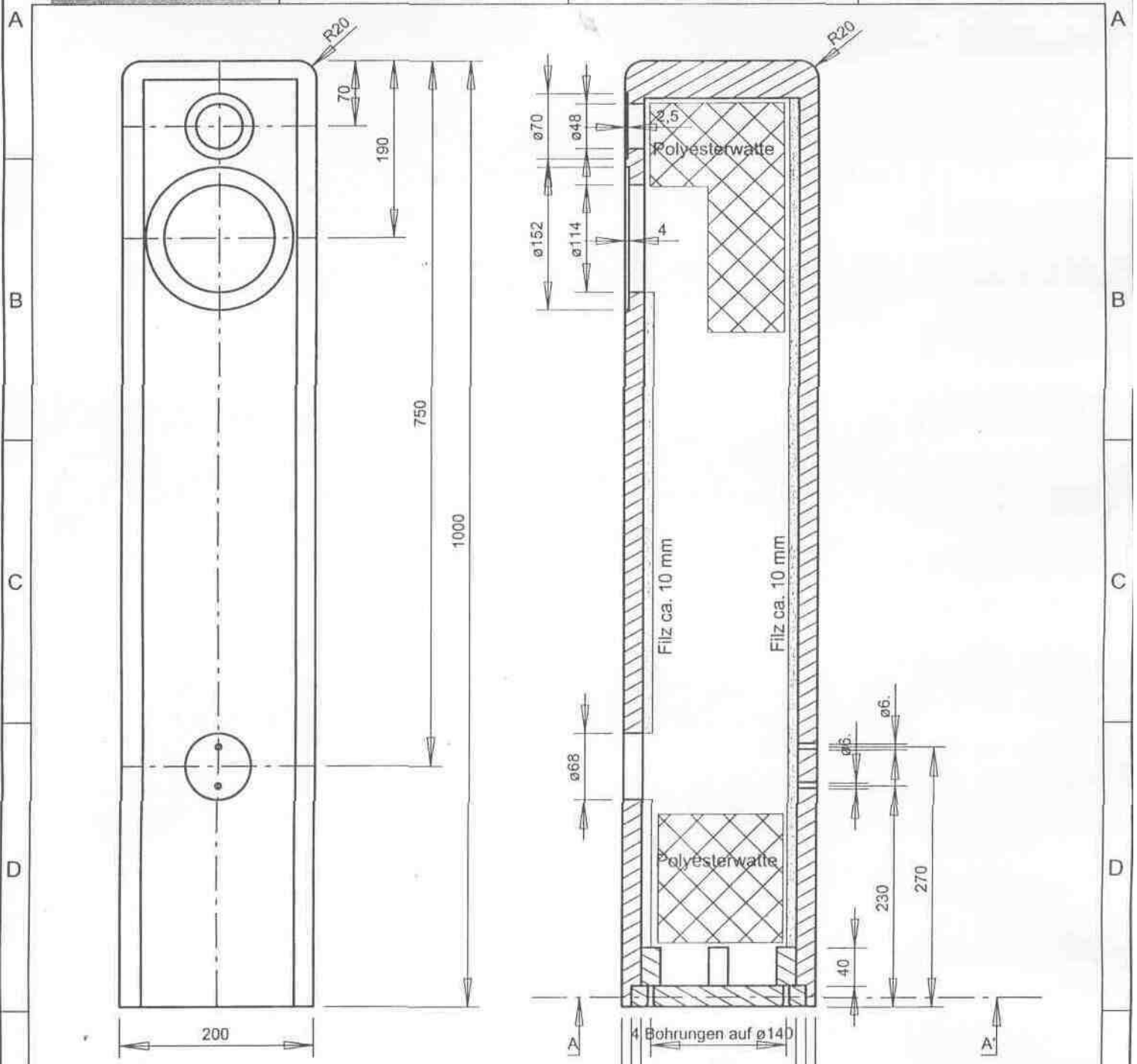
**Schalldruck-Frequenzgang mit  
2 unterschiedlichen Bassreflex-  
Abstimmungen**

Speziell in kleineren Räumen und/oder bei wandnaher Aufstellung kann man eine denkbar einfache Maßnahme gegen einen zu fetten Bass ergreifen: Wird das Bassreflexrohr nicht, wie in der Bauanleitung angegeben, auf 90 mm gekürzt, sondern in voller Länge von 140 mm eingebaut, dann gibt sich der mittlere Bass schlanker, und gleichzeitig gewinnen die untersten Lagen an Durchzugskraft.



**Schalldruck-Frequenzgang  
Hochtöner, Tieftöner, Subwoofer  
und Summe axial**

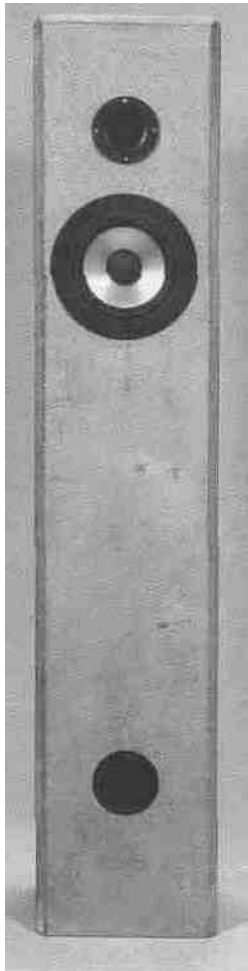
Axial zeigt sich der Einfluss der Gehäusekanten durch einen breiten Einbruch in der Gegend um 3 kHz. Die 10 mal 10 mm breite Fase an den Gehäusekanten reicht nicht aus, um diesen Effekt zu unterdrücken. Besser wäre eine 20 mm breite Fase oder ein möglichst großer Radius.



Alle Gehäusekanten mit 20 mm Radius abrunden

Material	Beton	Modell	CC 400
Stärke	Rohling 20x20x100 cm <sup>3</sup>		
Oberfläche	Beton		
Maßstab	1:6		
Datum	05.04.2000		
Zeichen	Ti		
© Bernd Timmermanns 2000			Blatt 1/1





**Name:**  
Concept 400: Beton 1

**Entwickler:**  
Dipl.-Ing. Bernd Timmermanns  
(Ing.-Büro Timmermanns, Kleve)

**Maße:**  
BxHxT 200x1000x200 mm

**Tiefton-Nettovolumen:**  
181

**Gehäuse-Funktionsprinzip:**  
Bassreflex-Gehäuse

**Nennimpedanz nach DIN:**  
80hm

**Impedanzminimum (ohne/mit  
Impedanzlinearisierung):**  
6,50hm/8,0kHz,6,00hm/150Hz

**Empfindlichkeit (2,83 V, 1 m):**  
84 dB  
**Trennfrequenz:**  
2.300 Hz

## Preise pro Lautsprecherbox:

Tieftöner:.....160DM  
Hochtöner:..... 50 DM  
Frequenzweichen-Bauteile  
(ohne Impedanzkorrektur):. ab 35 DM  
Fertiges Beton-Gehäuse:..... 750 DM  
Sonstiges: .....40 DM

Summe (ohne Gehäuse):..... 285 DM  
Summe (mit Betongehäuse): 1.035 DM

## Stückliste

**Gehäuse:**  
Beton-Gehäuse der Fa. Thiemann oder  
Eigenbau (siehe Kasten „Beton-  
Gehäuse selbst herstellen“ auf S. 33).

**Bedämpfung:**  
Das Gehäuse wird mit 8-12 mm  
starkem Nadelfilz komplett ausgeklei-  
det. Gut handhabbar ist die Befestigung  
an den Betonwänden mit Sprühkleber.  
Hinter dem Hoch- und Tieftöner sowie  
unterhalb des Bassreflexrohrs wird je  
ein Streifen Polyestwatte (20x60 cm,  
zu einer Rolle gedreht) platziert. Die  
Anordnung des Dämmmaterials ist in den  
Gehäuse-Bauplan eingezeichnet.

**Lautsprecherchassis:**  
1 Tieftöner Visaton A 1130  
1 Hochtöner Audax TM 025 H

**Bassreflexrohr:**  
Intertechnik HP 50, Länge auf 90 mm  
gekürzt

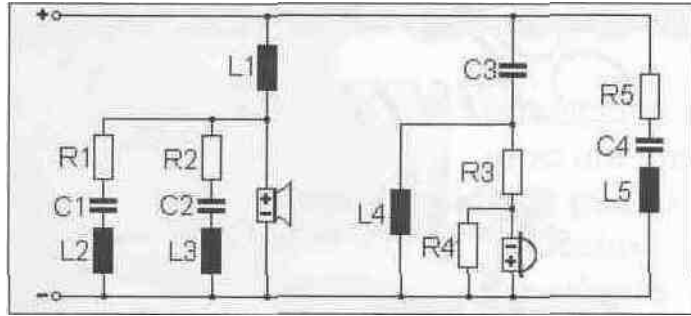
**Dichtmaterial:**  
Selbstklebende Schaumstoff-Dichtstrei-  
fen

**Anschlüsse:**  
Polklemmen sind die praktikabelste  
Lösung, da für deren Montage nur 6  
mm durchmessende Löcher in den  
Beton zu bohren sind.

**Innenverkabelung:**  
Lautsprecher-Litze 2x1,5 qmm für den  
Hochtöner, 2x2,5 qmm für Tieftöner  
und Eingang. Die Frequenzweiche kann  
auf den Gehäuseboden gesetzt werden.  
Die Bauteile werden mit Heißkleber  
platziert und frei verdrahtet - siehe  
Foto auf Seite 31.

**Schrauben:**  
8 Stück Innensechskant 4x20 mm

## Frequenzweiche;



Die Impedanzkorrekturglieder R2, C2, L3  
und R5, C4, L5 sind nur für den Betrieb  
mit einer Röhrendstufe sinnvoll und  
erforderlich.

## Preis-Leistungs-Empfehlung;

L1=1,2mH Luftspule, Backlackdraht 1,4  
mm  
L2=0,15 mH Luftspule, 0,7 mm  
Backlackdraht  
L3=22 mH Pulverkernspule, Ri=4,3 Ohm  
L4=0,68 mH Luftspule, 0,7 mm  
Backlackdraht  
L5=0,68 mH Luftspule, 0,7 mm  
Backlackdraht  
C1=2,2<sup>μ</sup>MKTFolie  
C2=180<sup>μ</sup>EIKorauh  
C3=6,8<sup>μ</sup>JMKP Folie  
C4=22<sup>μ</sup>EIKo glatt  
R1=2,20hm MOX5W  
R2=3,30hm MOX10W  
R3=3,90hm MOX5W  
R4=4,70hm MOX5W  
R5=100hm MOX10W

## High-End-Empfehlung:

L1=1,2mH Luftspule, Kupferfolie 12AWG  
L2=0,15 mH Luftspule, 0,7 mm  
Bncklackdraht  
L3=22 mH Pulverkernspule, Ri=4,3 Ohm

L4=0,68 mH Luftspule, Kupferfolie 14 AWG  
L5=0,68 mH Luftspule, 0,7 mm  
Backlackdraht  
C1=2,2<sup>μ</sup>f-MKP Folie  
C2=180<sup>μ</sup>EIKorauh  
C3=2x3,3<sup>μ</sup>KP-SN Folie  
C4=22<sup>μ</sup>JMKP Folie  
R1=2,20hm MOX5W  
R2=3,30hm MOX10W  
R3=3,90hm MOX5W  
R4=4,70hm MOX5W  
R5=100hm MOX10W

## Modifikationsempfehlungen

Der Hochtöner-Spannungsteiler ermöglicht die  
Anpassung des Hochtönerpegels:

R1/Ohm	R2/0hm	HT-Pegel
3,3	8,2	+2 dB
3,3	5,6	+1 dB
3,9	4,7	0dB
3,9	3,9	-1 dB
4,7	3,3	-2 dB

Durch Einbau eines längeren Bassreflexrohrs,  
maximal das ungekürzte HP 50 (140 mm  
lang) ergibt sich ein weniger voluminöser,  
dafür tieferer Bass.

Alternativ zum eingesetzten Gewebekalotten-  
Hochtöner ist auch die Titankalotte TM 025  
F7 von Audax ohne Änderungen an der Fre-  
quenzweiche verwendbar.