Vor vielen Jahren setzte Harwood Acoustics mit der „Harwood Reference" ein Zeichen: So gut können selbst gebaute Lautsprecher klingen. Jetzt beleben wir dieses Konzept mit aktuellen Chassis neu.

WEGWEISER

Werkstattpraxis: Gehäusebausatz à la CNC 22
Messergebnisse 24
Hochtöner: Datenblatt 26
Mitteltöner: Datenblatt 28
Tieftöner: Datenblatt 54
Gehäuse: Bauplan 30
Gehäuse: Stückliste, Bedämpfung 31
Frequenzweiche: .....
Schaltplan, Stückliste, Aufbau 32
Hersteller-/Vertriebsadressen 81

Referenz-Bauvorschlag mit den besten Chassis von Harwood Acoustics

HARWOOD-REFERENCE: HIER HOLT BARTHEL DEN MOST

Mit den Air-Motion-Transformern und den Aramidfaser-verstärkten Tieftonmembranen stellt das aktuelle Chassisprogramm von Harwood Acoustics dem Selbstbauer bessere Schallwandler als jemals zuvor zur Verfügung. Wir holen aus diesem Material alles heraus und präsentieren hier die neue „Harwood-Reference".

Auslöser für dieses Projekt waren der 2013 neu herausgekommene Air-Motion-Hochtöner AM25.2 (s. S. 26) und der aktuell vorgestellte Tiefmitteltöner TM130/25F1 (s. S. 28).

Der Folienhochtöner präsentiert sich mit perfekt linearem Frequenzgang und vorbildlich niedrigen Verzerrungen. Dank seiner großen Membranfläche bietet er restlos überzeugende Pegelfestigkeit. Seine nicht sehr niedrige mögliche Trennfrequenz von minimal drei Kilohertz fordert allerdings den anzukoppelnden Mitteltöner heraus.

Hier kommt der neue TM130/25F1 ins Spiel: Bis vier Kilohertz hinauf spielt er mit blütenreiner Weste, und einer Trennfrequenz von drei Kilohertz wird er völlig problemlos gerecht. Als eigentlicher Tiefmitteltöner hat er gleichzeitig auch überhaupt keine Probleme damit, sehr weit unten noch souverän mitzuspielen. Diese besonders breitbandige Einsatzmöglichkeit schafft nicht nur ideale Voraussetzungen für ein harmonisches, bruchloses Klangbild, sondern auch die Chance auf einen seitlich zu montierenden Tieftöner.

Langhub-Bass

Ein den grandiosen Mittel- und Hochtonchassis gerecht werdender Basstreiber steht im Chassisprogramm von Harwood Acoustics nicht zur Verfügung. Gesucht war ein sowohl tiefbassgewaltiger, pegelfester als auch feingeistig agierender Tieftöner – und er sollte kein zu großes Gehäusevolumen in Anspruch nehmen. Diese auf den ersten Blick unvereinbare Kombination positiver Eigenschaften bietet ein Chassis aus der Peerless-XXLS-Serie von Subwooferchassis: Der XXLS AL10/4 (s. S.

54) verfügt über eine besonders große bewegte Masse – gut für ein kleines Gehäusevolumen – extreme Langhubigkeit in Kombination mit einer großen Membranfläche – damit ist das Kriterium „Pegelfestigkeit" perfekt erfüllt – und trotzdem noch über verblüffend geringe mechanische Verluste – hiermit ist feines Auflösungsvermögen schon bei geringer Lautstärke gesichert.

Der Air-Motion-Hochtöner präsentiert sich mit perfekt linearem Frequenzgang

60 Liter Volumen in Bassreflex-Bauweise benötigt dieser Tiefbass-Spezialist, und noch bis unter 30 Hertz spielt er in einem solchen Gehäuse munter mit. Damit liefert er praktisch grenzenlosen Tiefbass.

Seiten-Einstieg

Auf der Front eines wohnraumfreundlich schlanken Lautsprechergehäuses ist für einen Tieftöner dieses Kalibers natürlich kein Platz. Also wanderte der zurzeit langhubigste 25-Zentimeter-Bass des Selbstbaumarkts auf eine Seitenwand des Gehäuses. Tiefen Tönen ist es gleich, in welche Richtung sich die Membran bewegt, denn tiefe Frequenzen werden generell kugelförmig, also in alle Richtungen gleich stark abgestrahlt. Anders könnten Subwoofer auch nicht funktionieren.

Problematisch wird die seitliche Anordnung vom Grundtonbereich an, also etwa ab 150 Hertz aufwärts – umso früher, je größer die Tieftonmembran ist. Sobald nämlich die Wellenlänge des Schalls in die Größenordnung des Membrandurchmessers kommt, erfolgt die Abstrahlung gerichtet. Bei einem seitlich eingebauten Bass bedeutet das, dass beim Zuhörer nicht mehr viel ankommt. Spätestens bei 200 Hertz ist für einen seitlich montierten 25-Zentimeter-Tieftöner deshalb Schluss mit lustig.

Mittelton-Spagat

Besser ist es, den Stab möglichst früh an den oder die Mitteltöner zu übergeben. Mit dem gerade erst eingeführten TM130/25F1 bietet Harwood Acoustics hierfür die Ideallösung, sowohl niedrig ankoppel- als auch breitbandig einsetzbar – wenn es sein muss, bis 3,5 Kilohertz hinauf. Seine faserverstärkte Polymer-Hartmembran spielt bis 4.000 Hertz hinauf fehlerfrei, und gleichzeitig ist sie sich nicht zu schade, auch eine respektable Tieftonvorstellung zu geben – eben ein zweiwegtaugliches 13-Zentimeter-Chassis von exzellenter Qualität. Dieser Mitteltonspagat ist klanglich gesehen eine ausgezeichnete Lösung. Dank der tieftontauglichen Mitteltöner konnte die Schnittstelle zum Tieftöner auf 150 Hertz gelegt werden. Damit agieren die beiden Mitteltöner über mehr als vier Oktaven – günstige Voraussetzung für überzeugend homogenen Klang.

D´Appolito

Den Mitteltöner setzen wir zweifach ein. Im unteren Frequenzbereich sorgt das Doppel für souveräne Pegelreserven, während im oberen Teil des Einsatzbereiches Vorteile in der räumlichen Abbildungsqualität zu Buche schlagen: Die nach dem amerikanischen Lautsprecherspezialisten Joseph D´Appolito benannte, zum Hochtöner symmetrische Chassisanordnung verbessert die Plastizität der Abbildung im Nahbereich, ohne dafür Tiefenwirkung einzubüßen. Mit Ausnahme geringer Hörabstände, bei denen diese Nahwirkung schon zu dominant wirken kann, ist eine D´Appolito-Anordnung immer sehr reizvoll. Ein geringer Hörabstand deutlich unter zwei Metern kommt bei einem Lautsprechersystem mit seitlichem Bass aber ohnehin nicht infrage. Das

Technische Daten

Harwood-Reference

Entwickler:	Dipl.-Ing. Bernd Timmermanns (Ing.-Büro Timmermanns, Kleve)
Gehäuseentwurf:	Michael Karwowski (PEAK LSV, Solingen)
Lautsprecherchassis:	Harwood Acoustics (HT, MT); Peerless (TT)
Maße BxHxT (Designergehäuse):	220x1.180x530 mm, Sockel 360x570 mm
Maße BxHxT (Standardgehäuse):	220x1.138x500 mm, Sockel 300x580 mm
Tiefton-Nettovolumen:	60 l
Mittelton-Nettovolumen:	9 l
Gehäuse-Funktionsprinzip:	Bassreflex-Gehäuse
Nennimpedanz nach DIN:	4 Ohm
Impedanzminimum:	3,0 Ohm/50 Hz
Empfindlichkeit (2,83 V, 1 m):	85 dB
Übertragungsbereich (-3 dB):	28 Hz - 32 kHz
Trennfrequenzen:	150 Hz, 3,0 kHz
Kosten (pro Lautsprecherbox):	
Tieftöner:	250 Euro
Mitteltöner:	je 100 Euro
Hochtöner:	300 Euro
Frequenzweichen-Bauteile:	200/360 Euro (*)
Holz-Zuschnitte MDF roh:	50 Euro
Gehäusebausatz Peak LSV	300 Euro
3D-gefräste Front Peak LSV	100 Euro
Bedämpfung u. Kleinteile:	120 Euro
Summe:	1.370/1.530 Euro (*)

(*) mit Bauteilen gemäß unseren Empfehlungen für „Preis-Leistung" bzw. „Highend" (s. S. 32), mit Gehäusebausatz, ohne die optionale Impedanzkorrektur. Ohne Gehäusebausatz, stattdessen mit Holzzuschnitten, aber mit 3D-gefräster Front 150 Euro Ersparnis, ohne Gehäusebausatz und ohne 3D-gefräste Front 250 Euro Ersparnis.

Werkstattpraxis

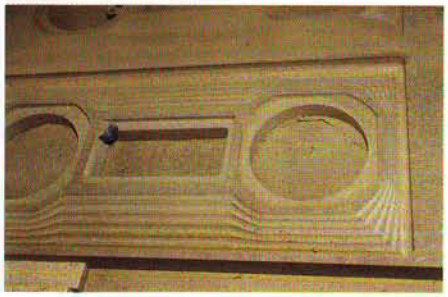
GEHÄUSEBAUSATZ À LA CNC

3D-Fräsung für anspruchsvolle Gehäuseformen

Mit seiner Firma Peak-LSV fertigt Michael Karwowski Lautsprechergehäuse-Bausätze in praktisch beliebig komplexen Formen. Die komplette computerunterstützte Entwicklungs- und Fertigungskette von CAD über CAM bis CNC steht ihm zur Verfügung. Sein Angebotsportfolio reicht von preisgünstigen Standard-Gehäusebausätzen in zahlreichen Abmessungen (WOODulo Eco) über modular aufgebaute Highend-Konstruktionen (WOOdulo) bis hin zum Wing-System mit 3D-gefrästen Gehäuseteilen.

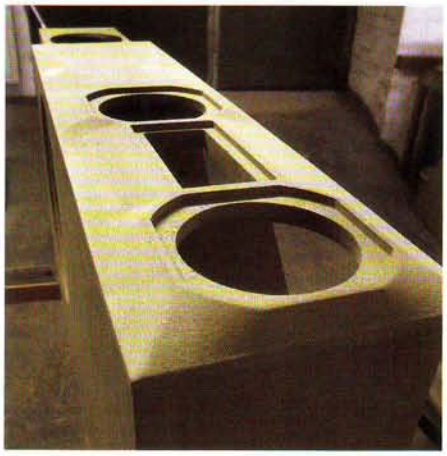
Für die Harwood-Reference entwarf der Designer Gehäuse, die optisch fast schweben. Dieser Effekt entsteht durch den unauffällig schwarz lackierten und auf allen vier Seiten jeweils um Wandstärke zurückspringenden Sockel, der den Bassreflexkanal und das Frequenzweichenfach beherbergt. Die im Sockelbereich sehr geringe Gehäuse-Innenbreite erfordert ein seitliches Beschneiden der inneren Bassreflex-Trompetenendung, was aber akustisch unproblematisch ist. Die Front ist dreidimensional gefräst, nicht nur schick, sondern auch akustisch für das Abstrahlverhalten ideal, da so die Gehäusekanten aus dem direkten Schallfeld des Hochtöner heraus rücken. Das Gehäuse erhielt einen Überzug mit grauem, der Sockel mit schwarzem Strukturlack.

Den kompletten Gehäusebausatz aus MDF einschließlich der 3D-gefrästen Front liefert Karwowski für 295 Euro, mit einer schlichteren Frontplatte für 235 Euro. Wer die einfacheren Gehäuseteile im Baumarkt besorgt, kann auch nur die 3D-Front für 95 Euro erwerben.

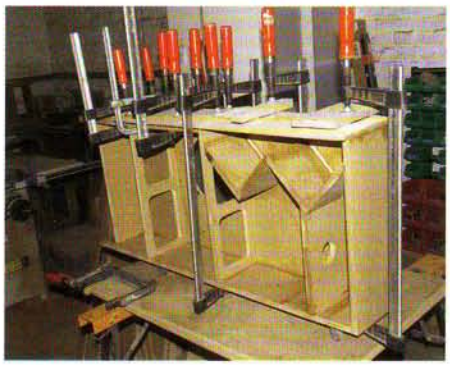


Die Fertigung der Frontplatte erfolgt in zwei Arbeitsgängen: Zunächst grob (schruppen)...

... und dann der Feinschliff (schlichten).

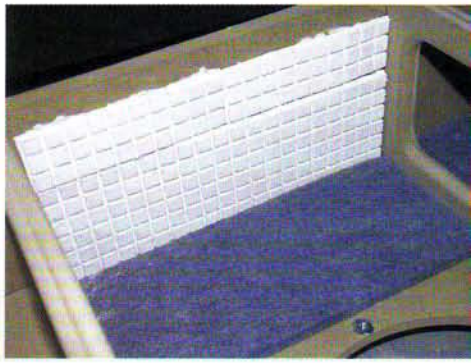


Die Front weicht unmittelbar an Mittel- und Hochtöner anschließend zurück. So rücken die Gehäusekanten aus dem Schallfeld der Chassis heraus. Schallbeugung und Interferenzen treten deshalb kaum noch auf.



Für das Verleimen der Front mit dem Gehäuse sind viele Zwingen hilfreich. Sie gewährleisten auf dem gesamten Umfang einen gleichmäßig hohen Anpressdruck.

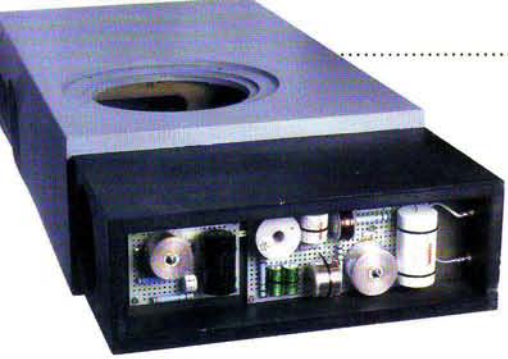
Der Bassreflexkanal entsteht aus zwei Rohren vom Typ HP100 mit einseitigem Trompetenende: Diese werden miteinander verklebt.



Hawaphon, dessen Kammern mit Stahlschrot gefüllt sind, ist ein Produkt des schweizer Herstellers Hawa. Es bietet eine hervorragende Dämmwirkung. Verklebt wird es mit Dispersionsklebstoff, z.B. „Drauf und Sitzt" von Lugato. Ausreichend ist eine Beschichtung der großen schwingfähigen Gehäuseflächen. Die Kantenbereiche dürfen bis auf vier oder fünf Zentimeter ausgespart werden.

Die Absorberkammer (Interner Helmholtz-Absorber, IHA) am oberen Ende des Gehäuses wird stark bedämpft – im Bild mit Recycling-Reißwolle, gleich gut wirkt Polyesterwatte. Der hier erkennbare Filz ist in der Kammer eigentlich nicht erforderlich. Die Reflexöffnung im Teiler mit exakt berechnetem Durchmesser stimmt den IHA auf die in Längsrichtung des Gehäuses auftretende stehende Welle ab und macht diese unschädlich.

Fotos: Peak-LSV



Das sich bei abgenommener Bodenplatte im Sockel des Gehäuses auftuende Frequenzweichenfach bietet Platz für die Mittel- und Hochtonsektion der Frequenzweiche. Das Filter für den Tieftöner montierten wir hinter diesem im Bassgehäuse.

liegt daran, dass der um etwa 20 Zentimeter nach hinten versetzte Seitenbass an der Hörposition etwas leiser als bei frontalem Einbau spielt. Diese Differenz wirkt sich bei geringem Hörabstand stärker aus als bei größerer Distanz. Die erforderliche Kompensation, die natürlich im Rahmen der Frequenzweichenabstimmung vorgenommen wurde, kann nur für einen definierten Hörabstand exakt passen. Legt man sie für einen geringen Abstand aus, dann spielt der Bass bei großer Hörentfernung etwas zu dominant. Wir optimieren auf 2,5 bis 3,0 Meter und sichern damit eine einwandfrei ausgewogene Abstimmung ab zwei Meter aufwärts, bis fünf Meter mit einer Genauigkeit von 0,25 dB.

Der Basstreiber aus der XXLS-Serie von Peerless liefert praktisch grenzenlosen Tiefbass

Designer-Gehäuse

Der Diplom-Designer Michael Karwowski aus Solingen, der schon in den letzten Ausgaben Lautsprechergehäuse für HOBBY-HiFi-Projekte entwarf, schuf auch diesmal wieder einen spannenden Gehäuseentwurf. Die Spezialität des Solingers sind dreidimensional CNC-gefräste MDF-Elemente, mit denen er Gehäusefronten realisiert, die ein praktisch perfektes Abstrahlverhalten bieten.

Durch das Lautsprecherkonzept nebst 60 Litern Tieftonvolumen waren die Gehäuseproportionen diesmal weitgehend festgelegt. Der Pfiff besteht hier im zurückspringenden Sockel, der den oberen Teil des Gehäuses optisch fast schweben lässt. Dieser Gehäuseentwurf ist natürlich nicht verbindlich: Wir entwarfen ein alternativ verwendbares, schlichter gebautes Gehäuse mit identischen akustischen Eigenschaften (s. S. 30), das mit normalen Plattenzuschnitten aus dem Baumarkt realisierbar ist. Die gezeichnete 35 Millimeter breite seitliche Anfasung der Lautsprecherfront erzeugt ein ebenso einwandfreies Abstrahlverhalten wie Karwowskis 3D-Front – nur eben nicht so schick. Auf Wunsch liefert Karwowski auch nur die Frontplatte – für alle, die das Gehäuse aus Baumarkt-Plattenzuschnitten herstellen möchten.

Bedämpfung

Um klaren und fein aufgelösten Bass zu erzielen, ist es wichtig, eine zu starke Bedämpfung zu vermeiden. Trotzdem müssen natürlich sämtliche Störungen im Mitteltonbereich wie etwa Flatterechos unterdrückt werden. Dieser Zielkonflikt löst sich bei einer Dreiwegkonstruktion in Wohlgefallen auf: Das Tieftongehäuse wird spärlich, das Mitteltonvolumen stärker bedämpft.

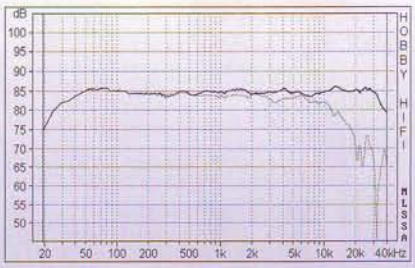
Im Tieftonabteil erfolgt die Bedämpfung ausschließlich auf den Gehäusewänden und in der Absorberkammer. Die Wände werden mit „Hawaphon"-Stahlschrotmatten und Nadelfilz ausgekleidet. Diese Kombination bietet eine hervorragende Schalldämmung, minimiert also Gehäuseschwingungen und damit den Schalldurchtritt durchs Gehäuse. Der Filz schluckt auftreffenden Schall mittlerer Frequenzen (Bedämpfung) und verhält sich gleichzeitig im Bass unauffällig, ideal für ein Tieftongehäuse. Die Absorberkammer am oberen Ende des Gehäuses wird komplett bedämpft. Hierfür eignen sich Recycling-Reißwolle (auch als „Muhwolle" bekannt) sowie Polyesterwatte.

Auch die Mitteltonkammer erhält eine Beschichtung mit Filz. Zusätzlich kommt hier Polyesterwatte zum Einsatz. Alternativ ist die Verwendung von „Engelshaar" von Twaron möglich. Dieses sowohl über Mundorf als auch Eltim Audio zu beziehende Mikrofaser-Dämpfungsmaterial verfügt über erheblich feinere Filamente als die meist verwendete Polyesterwatte und selbst als Schafwolle. Es bedämpft daher schon bei sehr sparsamem Einsatz hervorragend. Der in Dämpfungsmaterialien auftretende adiabatische Kreisprozess, maßgeblich verantwortlich für klangliche Einbußen durch Bedämpfung, findet daher nur in erheblich geringerem Umfang statt.

Alle Details zur Dämmung und Bedämpfung finden Sie auf S. 31.

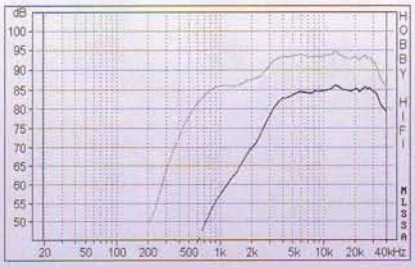
Um Mittel- und Hochtöner herum weicht die Gehäusefront zurück. So rücken die Gehäusekanten aus dem Schallfeld der Chassis heraus. Schallbeugung und Interferenzen sind damit auf ein vernachlässigbares Minimum reduziert.

Harwood-Reference: Messergebnisse



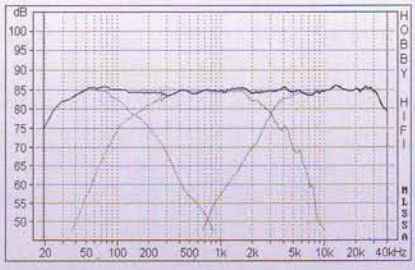
Schalldruck-Frequenzgang axial (___) und unter 30 Grad (...)

Perfekt ausgewogen und linear, vorbildliches Rundstrahlverhalten.



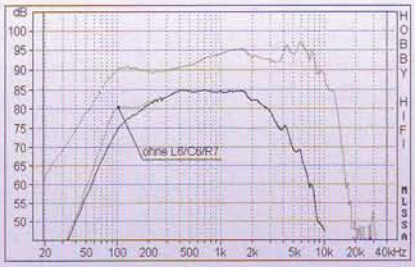
Schalldruck-Frequenzgang des Hochtöners ohne und mit Frequenzweiche axial

Der vom Hochtöner gebotene Linearbereich wird optimal genutzt.



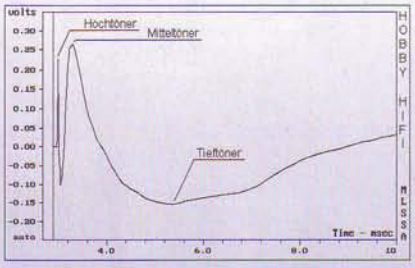
Schalldruck-Frequenzgang Hoch-, Tieftöner und Summe axial

Optimale Schalladdition in beiden Übernahmebereichen, Mittelhochtonübergang mit größerer Flankensteilheit.



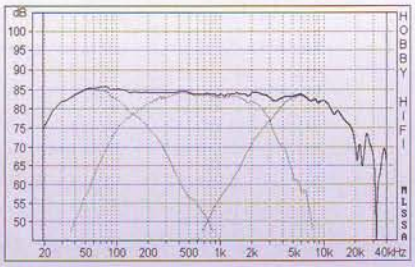
Schalldruck-Frequenzgang des Mitteltonzweigs ohne und mit Frequenzweiche axial

Der 18-dB-Tiefpass blendet die ab 4 kHz einsetzenden Membranresonanzen trotz der relativ hohen Trennfrequenz souverän aus. Der Mittelton-Saugkreis L6/C6/R7 schaltet den Störeinfluss durch die Resonanzfrequenz erfolgreich aus.



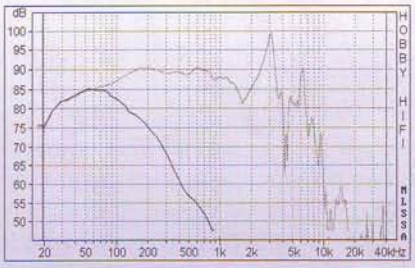
Sprungantwort 0°

Hoch- und Mitteltöner reagieren auf die Anregung mit positiver Polarität. Der Puls des Tieftöners folgt zeitverzögert und invertiert. Diese Auslegung mit gegenphasig gepoltem Tieftöner ist richtig, weil dann die erste Flanke positiv ist.



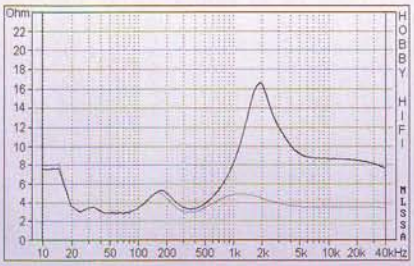
Schalldruck-Frequenzgang Hoch-, Tieftöner und Summe unter 30°

Auch im Winkel von 30 Grad zeigen sich hervorragende Linearität und Ausgewogenheit.



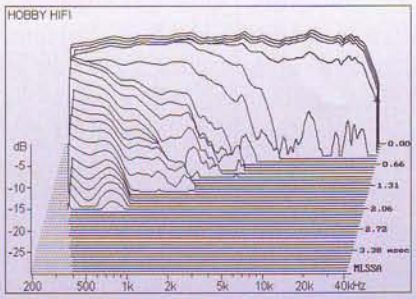
Schalldruck-Frequenzgang des Tieftöners ohne und mit Frequenzweiche axial

Die enorme Gehäusetiefe führt beim seitlich eingebauten Tieftöner zu einem sehr niedrig liegenden Bafflestep, der schon ab 200 Hz einsetzt. Um 150 Hz Trennfrequenz zu realisieren, ist daher ein Filter mit rechnerischer Trennfrequenz nur knapp über 100 Hz erforderlich.



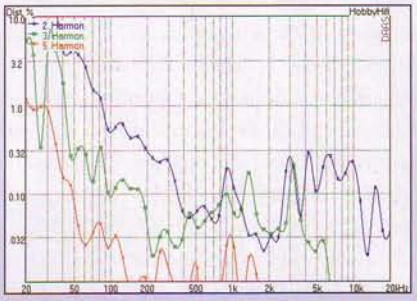
Impedanz-Frequenzgang ohne und mit Impedanzkorrektur

Für die optionale Impedanzlinearisierung kommt nicht wie meist üblich ein Saugkreis, sondern ein RC-Glied zum Einsatz, da die Impedanzkurve im Hochtonbereich relativ hochohmig verläuft. Es glättet die Impedanzkurve im Mittelhochtonbereich, wichtige Voraussetzung für fehlerfreien Betrieb an einer Röhrenendstufe mit niedrigem Dämpfungsfaktor.



Wasserfallspektrum 0°

Perfektes transientes Verhalten, grandios schnelles Ausschwingen im gesamten Übertragungsbereich.



Klirrfaktor-Frequenzgänge K2, K3 u. K5 bei 90 dB mittlerem Schalldruckpegel

Ausgesprochen geringer Klirr schon im Tieftonbereich, mit zunehmender Frequenz gleichmäßig und ohne jeglichen Ausreißer immer weiter fallende Verzerrungswerte.

Horizontal eingesetzte Verstrebungen stabilisieren die Seitenwände des Gehäuses unmittelbar ober- und unterhalb der Tieftöneröffnung, wo sie dieser Maßnahme in besonderem Maß bedürfen.

Frequenzweiche

Die Frequenzweiche (s. S. 32-33) zeigt im Tieftonbereich eine Standardschaltung, ein 12-dB-Tiefpassfilter plus Impedanzkorrektur durch Saugkreis und RC-Glied. Der Saugkreis wird umso wichtiger, je niedriger die Trennfrequenz liegt. Bei der hier gewählten Trennfrequenz zwischen Tief- und Mitteltöner von 150 Hertz wäre ein Tiefpass ohne dieses RCL-Glied undenkbar. Das RC-Glied kompensiert den induktiven Impedanzanstieg und ermöglicht der Frequenzweiche damit überhaupt erst, die 12-dB-Steilheit auch einzuhalten.

Auch im Mitteltonzweig kommt ein Saugkreis zum Einsatz, hier gegen ungebührliches Einmischen der Mitteltöner-Resonanzfrequenz. Der 12-dB-Hochpass wird durch einen Widerstand in Reihe mit der Spule L4 entschärft und so die Flankensteilheit reduziert. Das ist wichtig, weil der Mitteltöner bis in die Nähe seiner Resonanzfrequenz betrieben wird und der Frequenzgang unterhalb der Resonanzfrequenz andernfalls zu steil abfiele, was einen 18-dB-Tiefpass für den Tieftöner erforderlich machte.

Die beiden Mitteltöner agieren über mehr als vier Oktaven

Zum Hochtöner hin filtert ein 18-dB-Tiefpass den Mitteltöner. Diese steilflankigere Filterung ist erforderlich, um die ab 4.000 Hertz auftretenden Membranresonanzen in Schach zu halten. Der Hochtöner bietet mit seiner 12-dB-Beschaltung eine entsprechend steile Flanke, da er schon unbeschaltet unter 3.000 Hertz einen mit ca. sechs dB pro Oktave abfallenden Frequenzgang aufweist.

Zwei Korrekturelemente kommen im Hochtonzweig zum Einsatz: Ein Spannungsteiler reduziert den zu hohen Wirkungsgrad des Hochtöners, und ein Kondensator überbrückt den Reihenwiderstand dieses Teilers. Auf diese Weise verliert dieser mit zunehmender Frequenz allmählich seine Wirkung. Dies wirkt sich erst oberhalb von 20 Kilohertz messtechnisch aus. Es bringt noch einen Hauch mehr Luftigkeit ins Klangbild.

Polaritäten

Der Tieftöner nimmt mit seinem Minus-Anschluss Kontakt zur „heißen" Verstärkerklemme auf. Diese Polung ergibt sich aus drei Bedingungen: Erstens müssen Tief- und Mitteltöner relativ zueinander gegenphasig gepolt sein, damit im Übergangsbereich zwischen beiden eine Addition und nicht etwa eine gegenseitige Auslöschung beider Schallanteile stattfindet. Zweitens müssen aus dem sinngemäß selben Grund Mittel- und Hochtöner relativ zueinander gleichphasig gepolt sein. Und drittens muss der Hochtöner mit „Plus" am heißen Verstärkerpol liegen, damit Impulse der Musik phasenrichtig abgestrahlt werden. Über deren Orientierung bestimmt nämlich der Hochtöner – dieser alleine bildet die Anstiegsflanke eines jeden Impulses. Mittel- und Tieftöner folgen nach.

Weichenbauteile

Das Filternetzwerk bestückten wir mit angemessen hochwertigen Bauteilen aus dem umfangreichen Mundorf-Sortiment. Alle klanglich kritischen Spulen verfügen über Leiter aus Kupferfolie. Geringste ohm´sche Verluste bei höheren Frequenzen und herausragende Mikrofoniearmut sind die Vorteile dieser Folienspulen. Die Kondensatoren stammen größtenteils aus Mundorfs Evo-Baureihe, deren Folienwickel von geringer Breite und großem Durchmesser über besonders geringe Eigeninduktivität und ohm´sche Verluste verfügen. Der Hochtonkondensator C7 übertrifft die Evo-Caps sogar noch: Hier setzen wir einen Supreme-Cap von Mundorf mit hochleitfähiger Silber-Metallisierung der Polypropylenfolie sowie mechanische Resonanzen dämpfender Ölträнkung ein. Die Bauteile der Saugkreise, die keinen kritischen Einfluss haben, sind natürlich schlicht gehalten.

Im Interesse einer schlanken Gehäusefront montierten wir den Bass seitlich – natürlich paarweise spiegelbildlich. Michael Karwowski spendierte ihm eine in die Wand eingelassene Stoffabdeckung. Da aus diesem Grund so wenig Material für die Befestigung des Tieftöners stehen blieb, dass Holzschrauben keinen sicheren Halt mehr gefunden hätten, erfolgte die Tieftönermontage mit Einschlagmuttern und Maschinenschrauben.

Harwood Acoustics AM25.2

Preis: 300 Euro

Vertrieb: HiFisound, Münster

Harwood Acoustics präsentiert mit dem AM25.2 seinen jüngsten Air-Motion-Transformer. Dieser tritt nicht etwa in die Fußstapfen des AM25 (s. HOBBY HiFi 1/2010), sondern in die des AM30 (s. HOBBY HiFi 3/2010): Seine mit 30 Quadratzentimetern üppige Membranfläche, die für souveräne Pegelfestigkeit bürgt, entspricht der des Letztgenannten. Im Vergleich mit AM30 ist die Membran hier aber schlanker und höher geformt. Das ergibt horizontal ein breiteres Abstrahlverhalten und in der Vertikalen eine stärkere Bündelung, besonders günstig in eher schwach bedämpften Räumen und in M-T-M-Chassiskonstellationen nach D´Appolito.

Das namengebende Merkmal von Air-Motion-Transformern ist die in Falten gelegte Membran, die sich senkrecht zur Richtung der Schallausbreitung bewegt. Dabei wird die Luft aus den Falten herausgedrückt oder angesaugt – je nach Polarität des Signals. Dem Verhältnis von Breite und Tiefe der Falten entsprcht die Relation von Membran- und Luftgeschwindigkeit: Mit relativ geringer Membranbewegung erzeugt ein Air-Motion-Transformer hohen Schalldruck.

Pegelfest und klanglich auf höchstem Niveau

Der Harwood-AMT trägt hinter der massiven, sechs Millimeter starken Aluminiumfront ein kräftiges Antriebssystem mit Neodym-Magneten. Die im Frontplattenausschnitt sichtbaren Rippen bilden den vorderen Magnetpol. Dahinter befindet sich die Faltenmembran, und den Abschluss macht der ähnlich geformte hintere Magnetpol.

Der mechanische Aufbau erfordert ein abgetrenntes Separee im Lautsprechergehäuse, denn rückseitig ist der Hochtöner offen. Ein weißer Filzstreifen bedämpft die rückseitigen Schallöffnungen. Die akustisch optimale Einbausituation bietet hinter diesem Filz noch einen Zentimeter Platz. Dieser wird mit Nadelfilz in entsprechender Stärke sehr stark bedämpft.

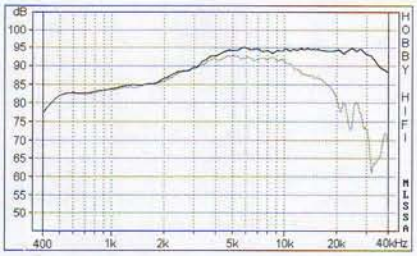
Der Rahmen mit der in Falten gelegten Membran lässt sich an den Anschlussklemmen vorsichtig aus dem Hochtöner herausziehen. Die Folie ist grau und weicher als die in den meisten Air-Motion-Transformern eingesetzte hellgelbe Kaptonfolie, was auf Mylar schließen lässt. Die Resonanzfrequenz dieser Folie ermittelten wir bei 500 Hertz und damit viel niedriger als bei fast allen anderen Air-Motion-Hochtönern.

Im Labor zeigte der AM25.2 ein begeisterndes Übertragungsverhalten: Der Frequenzgang verläuft ab 5.000 Hertz mit kaum noch zu übertreffender Linearität und Ausgewogenheit. Auch wenn er unter fünf Kilohertz abfällt, ist eine Trennfrequenz von 3.000 Hertz erzielbar: Hier erreicht die Kurve minus sechs dB und damit gerade das richtige Niveau für den Übergang zum Mitteltöner. Die Frequenzweiche muss dafür elektrisch eine so niedrige Trennfrequenz bieten, dass sie bei 3.000 Hertz keine Pegeldämpfung verursacht.

Die Verzerrungsmessungen geben grünes Licht für eine Trennfrequenz von 3.000 Hertz: Ab hier liegen alle Klirrkomponenten ausgesprochen niedrig, und die Pegelfestigkeit ist überragend.

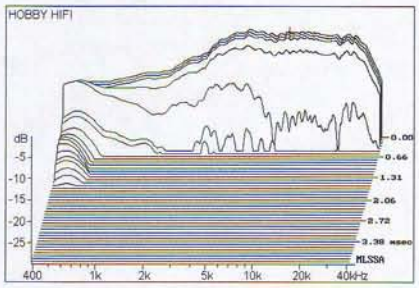
Fazit: Harwood Acoustics bietet mit dem AM25.2 einen herausragend guten Air-Motion-Hochtöner, der pegelfest und klanglich auf höchstem Niveau agiert.

Schalldruck-Frequenzgang in unendlicher Schallwand axial und unter 30°



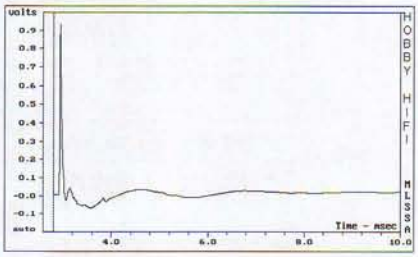
Herausragend ausgewogen und linear, voller Schalldruckpegel erst ab 5 kHz.

Wasserfallspektrum in unendlicher Schallwand axial



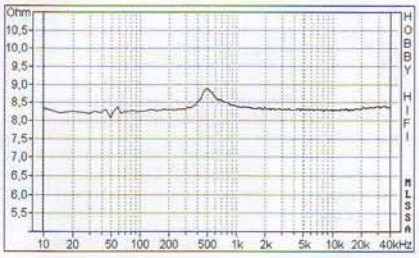
Schnellstes und gleichmäßigstes Ausschwingen.

Sprungantwort auf unendlicher Schallwand axial



Hervorragend kontrolliertes Ein- und Ausschwingen, Periodizität von 2 ms im Ausschwingen entspricht der Resonanzfrequenz von 500 Hz.

Impedanz-Frequenzgang Freiluft



Bei starker vertikaler Spreizung gibt sich die Resonanzfrequenz der Membranfolie bei 500 Hz zu erkennen.

Technische Daten

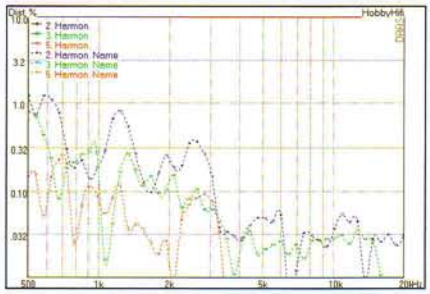
Elektrische u. akustische Daten

Nennimpedanz nach DIN:	8 Ohm
Impedanzminimum im Übertragungsbereich:	8,2 Ohm/5,0 kHz
Gleichstromwiderstand:	8,1 Ohm
Resonanzfrequenz:	0,5 kHz
Empfindlichkeit (2,83 V, 1 m, 5 kHz):	95 dB
Übertragungsbereich (-6 dB):	3,0-40 kHz
niedrigste Trennfrequenz:	3,0 kHz

Maße, Materialien

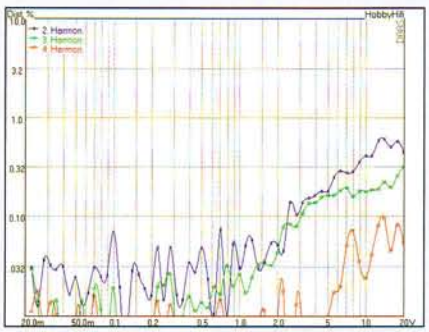
Außenmaß:	160x84 mm
Einbaumaß:	142x58 mm
Frästiefe:	6 mm
Einbautiefe (nicht eingefräst):	19 mm
Frontplatte:	Aluminium
Magnetmaterial:	Neodym
Membranmaterial:	Mylar
Membranfläche:	30 qcm
Polkernbohrung:	ja
Bedämpfung:	k. A.
Ferrofluid:	nein

Klirrfaktor-Frequenzgänge K2, K3 u. K5 bei 90 dB mittlerem Schalldruckpegel



Ab 3 kHz grandios niedriger Klirr.

Klirrfaktor K2, K3 und K5 über Signalpegel bei 3,5 kHz



Überragende Pegelfestigkeit.

Den Tieftöner steuert Peerless zur Harwood-Reference bei: Der XXLS AL10/4 verfügt mit plus/minus 13 Millimetern über einen der größten Linearhübe überhaupt.

Messergebnisse

Die akustische Abstimmung war von größtem Erfolg gekrönt: Die Wiedergabekurve verläuft ideal linear und ausgewogen von unter 30 bis über 30.000 Hertz. Die Schalladdition in den Übernahmebereichen gelingt mit plus sechs dB der Summenkurve oberhalb des Kreuzungspunkts der Einzelfrequenzgänge und damit vollkommen phasenrichtig. Das Rundstrahlverhalten zeigt sich dank der abgeschrägten Gehäusekanten ideal in Form. Auch Ausschwing- und Klirrverhalten bewegen sich auf absolutem Spitzenniveau. Die Impedanz liegt unter 100 Hertz an der Untergrenze des für vier Ohm Nennimpedanz zulässigen Bereichs. Strompotente Endstufen sind für diese Lautsprecher zweifellos ideale Zulieferer.

Diese Lautsprecher ermöglichen eine spektakuläre Erfahrung von Räumlichkeit und Plastizität

Hörtest

Die Lautsprecher winkelten wir zur Hörposition nur so wenig an, so dass der Blick auf die nach innen weisenden seitlichen Tieftöner gerade noch möglich war. Wer hiermit Schwierigkeiten hat, kann die Lautsprecher auch mit nach außen weisenden Tieftönern aufstellen und so stark eindrehen, dass wiederum der Blick auf die Tieftöner gelingt. Spikes sorgen für optimale Standfestigkeit.

Nach angemessener Einspielzeit präsentierte sich unsere Harwood-Reference dermaßen stimmig, dass den Zuhörern geradezu die Luft weg blieb. Mit perfekter tonaler Balance und maßstabsetzender Natürlichkeit modellierte sie Stimmen in jeder Tonlage, vom Bass bis zum Sopran. Die Künstler wirkten körperlich anwesend. Die Mitglieder des Vokalensembles „Amarcord" standen bestens differenziert auf der Bühne. Und auch einen fulminanten Männerchor wie in der Minimal-Music-Oper „Echnaton" von Philip Glass differenzieren diese Lautsprecher so exakt, dass einzelne Stimmen erfahrbar werden. Dann stellt man plötzlich fest, dass sich vor dem geistigen Auge eine genaues Bild der Bühne aufbaut, dass man eine klare Vorstellung davon bekommt, wie die Musiker sich aufstellen – eine spektakuläre Erfahrung von Räumlichkeit und Plastizität.

Es ist außergewöhnlich, Musik so realistisch zu erleben, dass eben keine Lautsprecher im Raum zu stehen scheinen, die Musik wiedergeben, sondern dass die Musiker vermeintlich leibhaftig zugegen sind. Das musikalische Erlebnis wird immer klarer, je länger man in diese Lautsprecher hinein hört. Damit erfüllen sie die wohl wesentlichste Forderung, die man an hochwertige Musikreproduktion stellen kann: Eine glaubwürdige Illusion zu schaffen, die der Zuhörer nicht in einem fort mit der Realität vergleicht, und das nur, um immer neue Fehler zu finden, sondern die er als Realität anzunehmen bereit ist.

Wenn standfeste Bässe gefordert werden – die Echnaton-Aufnahme von Philips ist voll davon – steht die Harwood-Reference wie tausend Mann, kraftvoll, pulvertrocken und ultratief, so wie man es sich nur wünschen kann. Nicht einmal eine besonders große Lautstärke ist dafür erforderlich: Die detailverliebte Differenzierung bis in die tiefsten Lagen gelingt auch bei eher zurückhaltendem Pegel absolut vorbildlich.

Der Air-Motion-Hochtöner glänzt im wahrsten Sinne des Wortes: Er spannt ein filigranes Gewirk feiner goldener Filamente, bietet grandiose Auflösung und feinste Zeichnung ganz ohne jegliche Tendenz zur Übertreibung. Alles ist da, aber nichts drängt sich auf – wunderbar.

Angesichts des Materialeinsatzes – je nach Frequenzweichen- und Gehäusestatus sind über 2.000 bis 3.000 Euro in ein Lautsprecherpaar zu investieren – darf man erstklassige Leistungen wohl erwarten. Und doch ist diese Summe gering im Vergleich zu Spitzenprodukten der Fertigboxenhersteller: Vergleichbare Fertigprodukte sind zweifellos im fünfstelligen Preisbereich angesiedelt.

Wer sich von der Klangqualität ein eigenes Bild machen möchte, sollte unbedingt HiFisound in Münster besuchen – dort werden unsere Prototypen voraussichtlich über einen längeren Zeitraum zu Vorführzwecken zur Verfügung stehen.

Fazit

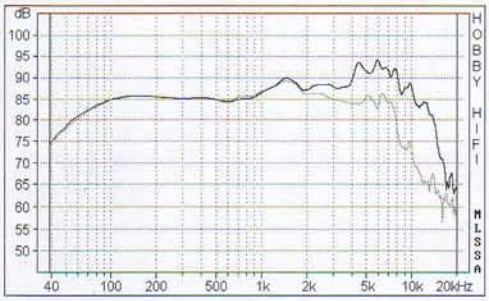
Unsere Harwood-Reference beweist, welch riesiges Potential im Lautsprecherselbstbau steckt. Mit dieser Konstruktion erreichen HiFi-Hobbyisten ein Niveau, auf dem sie in jeder Highend-Runde Maßstäbe setzen werden.

Technische Daten

Thiele-Small-Parameter:

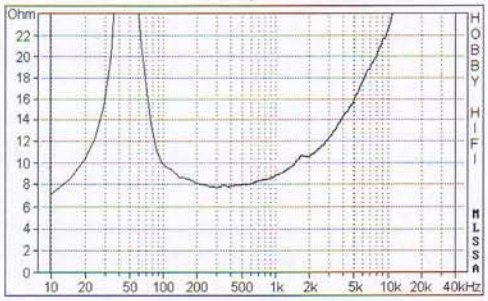
Re = 7,2 Ohm
Le = 0,40 mH
Fs = 43 Hz
Qms = 4,7
Qes = 0,54
Qts = 0,49
Sd = 95 qcm
Vas = 20 l
Cms = 1,6 mm/N
Mms = 8,7 g
Rms = 0,50 kg/s
B*l = 5,6 N/A
Z(1 kHz) = 8,8 Ohm
Z(10 kHz) = 22,6 Ohm

Schalldruck-Frequenzgang in unendlicher Schallwand axial und unter 30°



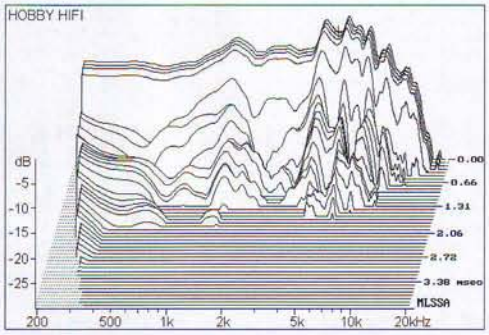
Leichte Membranstörung bei 1,8 kHz, darüber bis 4 kHz linear.

Impedanz-Frequenzgang Freiluft

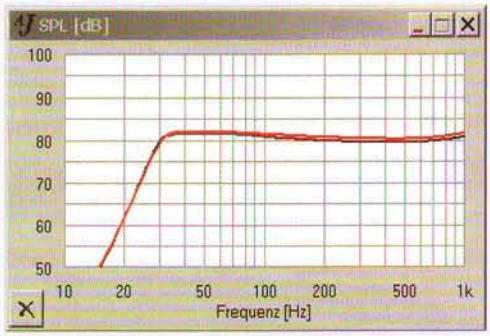


Hochohmig mit im Minimum noch fast acht Ohm, leichte Resonanzstörung um 1,8 kHz.

Wasserfallspektrum in unendlicher Schallwand axial



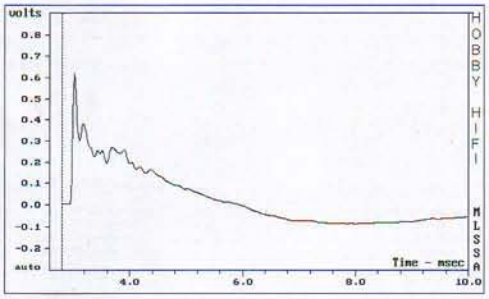
Bis 4 kHz schnelles Ausschwingen, die in der Schalldruckkurve auffällige 1,8-kHz-Resonanz klingt erfreulich schnell ab.



Tieftonsimulation entspr. d. Gehäuseempfehlung in Spalte 3 mit 0,2 Ohm (rot) und 1,0 Ohm (schwarz) Widerstand im Signalweg

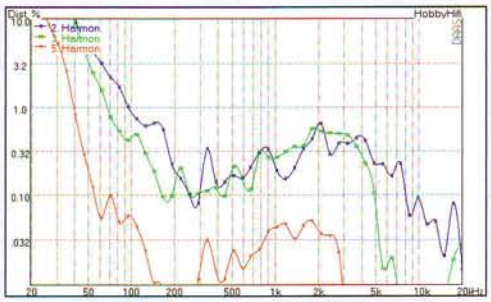
Im benötigten recht großen Bassreflexgehäuse gelingt ausgewogener Tiefbass bis 30 Hz hinab.

Sprungantwort auf unendlicher Schallwand axial



Nur im Bereich der ersten Millisekunde von Resonanzen überlagertes Ausschwingen, danach perfekt.

Klirrfaktor-Frequenzgänge K2, K3 u. K5 bei 90 dB mittlerem Schalldruckpegel



Gleichmäßig niedriger Klirr ohne Ausreißer nach oben.

Gehäuseempfehlung

Gehäusetyp	bassreflex	bassreflex
Widerstand im Signalweg	0,2 Ohm	1,0 Ohm
Gehäusevolumen	26 l	28 l
Abstimmfrequenz	34 Hz	34 Hz
Untere Grenzfrequenz (-3 dB)	30 Hz	29 Hz
Bassreflextunnel-Durchmesser	50 mm	50 mm
Bassreflextunnel-Länge	150 mm	150 mm

Schwingspulendaten:

Durchmesser: .....25 mm
Wickelhöhe: .....13 mm
Trägermaterial: .....Kapton
Spulenmaterial: .....Aluminium (CCAW)
Luftspalttiefe: .....5 mm
lineare Auslenkung Xmax: .....4 mm

Elektrische u. akustische Daten:

Nennimpedanz nach DIN: ..... 8 Ohm
Impedanzminimum: ..... 7,7 Ohm/300 Hz
Impedanz bei 1 kHz: ..... 8,8 Ohm
Impedanz bei 10 kHz: ..... 22,6 Ohm
Empfindlichkeit im Tieftonbereich .....
(Freifeld): ..... 82 dB
höchste Trennfrequenz: .....3.500 Hz

Maße, Materialien:

Außendurchmesser: ..... 139x139 mm,
.....diagonal 157 mm
Einbaudurchmesser: .....123 mm
Frästiefe: .....6 mm
Einbautiefe (nicht eingefräst): .....68 mm
Membranmaterial: ..Polymer, faserverstärkt
Sickenmaterial: .....Gummi
Dustcap-Material: ..... Weichkunststoff
Korbmaterial: .....Leichtmetall-Druckguss
Belüftungsmaßnahmen: .....
..... Polkernbohrung 10 mm
..... hinterlüftete Zentrierspinne

Harwood Acoustics TM130/25F1

Preis: 100 Euro

Vertrieb: HiFisound, Münster

Mit dem TM130/25F1 präsentiert Harwood Acoustics den preisgünstigeren kleinen Bruder des zuletzt im Harwood-Monitor 23AM eingesetzten TM130/50CK (s. HOBBY HiFi 6/2012). Er nutzt die gleiche vorzügliche Kohlefaser-Kevlar-Hartmembran. Für den Antrieb ist hier aber eine kleinere, einzöllige Schwingspule zuständig. Diese ist aus Alu-Flachdraht auf einen Kapton-Spulenträger gewickelt – Garant für geringe bewegte Masse und niedrige mechanische Verluste. Mit unter neun Gramm bietet der TM130/25F1 eine außergewöhnlich leichtgewichtige Schwingeinheit. Der mechanische Verlustwert rangiert mit 0,50 kg/s im Spitzenbereich dieser Chassisgröße.

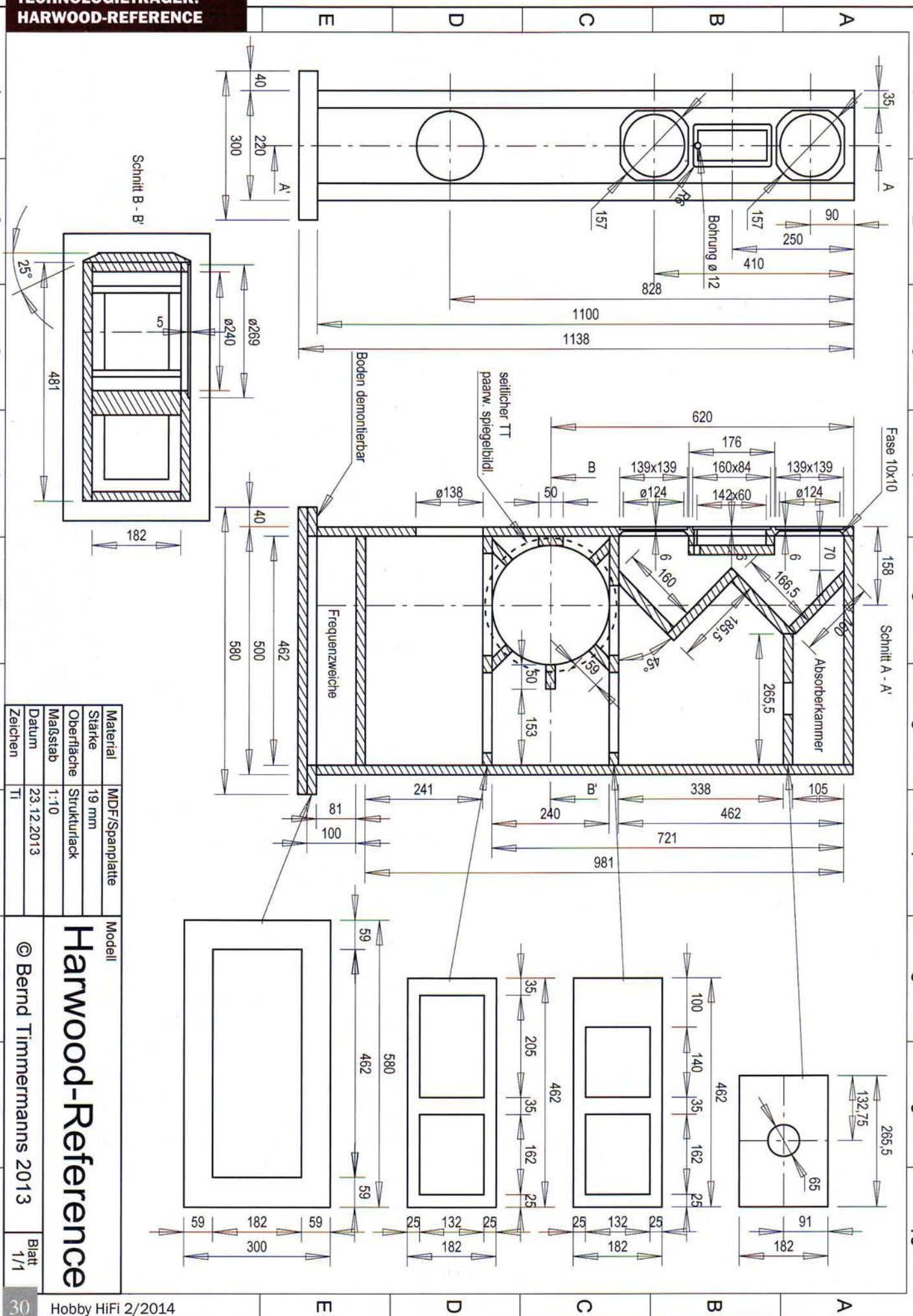
Dem günstigen Preis geschuldet ist das nicht sehr üppig dimensionierte Magnetsystem. Deshalb liegt die Resonanzgüte so hoch, dass der Bassreflexeinsatz ein etwas größeres Gehäusevolumen um 26 bis 28 Liter, also eher eine Stand- als Regalbox erfordert. Das große Gehäuse macht sich in Form sehr tief reichender Basswiedergabe bezahlt: 30 Hertz sind linear erreichbar – Chapeau!

Die Kohlefaser-Kevlar-Hartmembran bietet überzeugende Mittenwiedergabe

Ebenfalls zu empfehlen ist der Einsatz in einem geschlossenen Gehäuse unter Hinzunahme eines Hochpasskondensators von 470 Mikrofarad. Mit einem solchen geschlossenen System dritter Ordnung (GHP = geschlossen mit Hochpass) gelingen bei Gehäusegrößen zwischen acht und zehn Litern Grenzfrequenzen im Bereich um oder knapp über 50 Hertz. Das wäre schon für ein Bassreflexsystem ordentlich. Für eine GHP-Konstruktion ist diese Tiefbassausbeute hervorragend.

Die akustische Messung zeigt in den Mitten eine ganz minimale Störung, die aber bestens unter Kontrolle ist und daher im Wasserfall- sowie im Klirrspektrum unauffällig bleibt. Der Baffle Step eines schlanken Lautsprechergehäuses füllt den Bereich um ein bis zwei Kilohertz gerade passend auf, so dass in ein Gehäuse eingebaut ein noch einmal ausgewogenerer Frequenzgang zu beobachten ist (s. S. 24). Kräftige Membranresonanzen manifestieren sich erst oberhalb von 4.000 Hertz. Mit einer Beschaltung dritter Ordnung ist der TM130/25F1 bis maximal 3.500 Hertz einsetzbar.

Fazit: Der TM130/25F1 von Harwood Acoustics bietet sich als Tiefmitteltöner für den Einsatz sowohl in Bassreflex- als auch in geschlossenen Gehäusen an. Seine ausgezeichnete Mittenwiedergabe empfiehlt ihn aber vor allem als Mitteltöner in Dreiwegsystemen.


Schnitt B - B'
Schnitt A - A'
Bohrung ø 12
Boden demontierbar
seitlicher TT
paarw. spiegelbildl.
Fase 10x10
Frequenzweiche
Absorberkammer
Modell
Harwood-Reference
© Bernd Timmermanns 2013
Material MDF/Spanplatte
Stärke 19 mm
Oberfläche Strukturlack
Maßstab 1:10
Datum 23.12.2013
Zeichen Ti
Blatt 1/1

Das abgebildete Gehäuse ist ein Entwurf von Michael Karwowski (Peak LSV, Solingen). Karwowski liefert den komplett CNC-gefrästen Gehäusebausatz (ca. 300 Euro) oder nur die 3D-gefräste Schallwand (ca. 100 Euro) – der Anwender braucht also nur die Teile des Gehäuses zu kaufen, die er nicht selbst anfertigen möchte.

Alternativ besteht die Möglichkeit, ein schlichtes rechteckiges Gehäuse zu fertigen. Dieses in der Gehäusezeichnung links dokumentierte Gehäuse ist akustisch gleichwertig. Die folgende Stückliste bezieht sich auf dieses Gehäuse.

Holz:

MDF 19 mm:
1 Front..... 1.100x220 mm
2 Seitenwände..... 1.100x481 mm
1 Rückwand..... 1.100x182 mm
2 Böden..... 580x300 mm
4 Deckel, Streben, Teiler..... 462x182 mm
1 Teiler f. Absorberkammer..... 265,5x182 mm
1 Teiler f. MT-Gehäuse..... 185,5x182 mm
1 Teiler f. MT-Gehäuse..... 166,5x182 mm
2 Teiler f. MT-Gehäuse..... 160x182 mm
2 Teiler f. HT-Gehäuse 176x182 mm
4 Streben..... 59x182 mm
2 Streben..... 50x182 mm

Aufbautipps:

Die Bedämpfung der Absorberkammer wird schon während des Gehäusebaus eingebracht, da sie beim fertig verleimten Gehäuse nicht mehr erreichbar ist. Aus dem gleichen Grund wird auch die Gehäusedämmung mit Hawaphon und Filz schon während des Gehäusebaus eingeklebt. Die Bodenplatte kann entweder in voller Stärke von 38 mm oder nur die untere, nicht ausgeschnittene Platte mit 19 mm Stärke demontierbar ausgeführt werden, letzteres z.B. mit einer Schattenfuge zwischen der ausgeschnittenen und der durchgehenden Bodenplatte. Die Schrauben, die die Bodenplatte mit dem Gehäuse verbinden, finden im zweiten Fall einfacher Halt, da die Gefahr des Aufplatzens gebannt ist, wenn Schrauben in Stirnholz eingedreht werden. Vorbohren ist natürlich trotzdem wichtig! Der Tieftöner wird so montiert, dass dessen Befestigungsschrauben in die Gehäusestreben hinein gehen.

Was nicht in der Zeichnung steht:

Kabeldurchführungen in den Gehäuseteilern: Lage und Durchmesser dieser Bohrung(en) hängen davon ab, an welcher Stelle Sie die Frequenzweiche einbauen und welche Kabelquerschnitt(e) Sie verwenden. Alle Durchführungen werden mit Heißkleber abgedichtet.

Gehäuseausschnitt für ein Anschlussfeld: Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten von der Einpressbuchse über Polklemmen bis hin zu verschiedenen Anschlussfeldern, ggf. auch für Biwiring. Position und Größe des Ausschnitts legen Sie fest, nachdem Sie sich für eine Anschlusslösung entschieden haben.

Abschrägung/Verrundung der Gehäusekanten: Dies kann je nach handwerklichen Möglichkeiten erfolgen und so das Rundstrahlverhalten verbessert werden. Die Abstimmung der Frequenzweiche bleibt davon unbeeinflusst.

Dämmung und Bedämpfung:

Tieftongehäuse: Die größeren Gehäuseflächen mit ca. 4 cm Abstand zu allen Kanten mit Stahlschrotmatten (Hawaphon) und 10 mm Nadelfilz bekleben, pro Gehäuse 0,4 qm.

Absorberkammer: 75 g Polyesterwatte; 5 Stücke je 17,5x25 cm horizontal schichten.

Mitteltongehäuse: Seitenwände und Rückwand mit 10 mm Nadelfilz auskleiden und mit 45 g Polyesterwatte (3 Stücke je 17,5x25 cm) gleichmäßig füllen. Statt der Polyesterwatte ist 15 g „Angel Hair" von Twaron, locker gezupft und gleichmäßig verteilt, verwendbar.

Hochtongehäuse: 6x14 cm Nadelfilz, 10 mm Stärke, hinter den Hochtöner legen.

Die Verklebung von Filz und Hawaphon im Gehäuse erfolgt mit Dispersionsklebstoff (Fliesenkleber, z.B. „Drauf und Sitzt" von Lugato) per Zahnspachtel.

Bassreflexkanal:

Durchmesser 100 mm, Länge 400 mm, inneres und äußeres Ende mit trompetenförmiger Aufweitung: 2 Stück Intertechnik HP100 ungekürzt zusammensetzen. Dazu das innere Rohr zunächst von innen durchstecken, das aus dem Gehäuse heraus ragende Ende mit dem äußeren Rohr unter Verwendung von Klebeband verkleben, z.B. mit Packband oder Malerkrepp, und dann das ganze Gebilde in die Gehäuseöffnung einpressen.

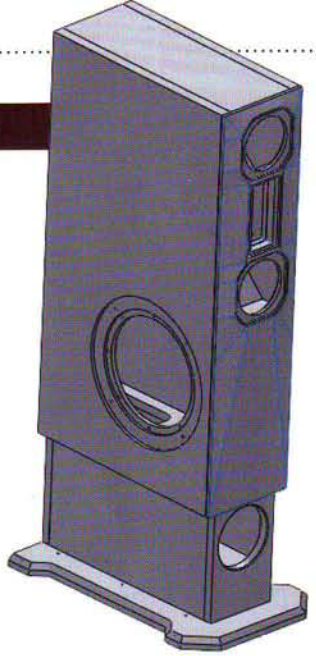
Alternative: JetSet 100 (Intertechnik), bestehend aus Mittelrohr, Innen- und Außentrompete, Gesamtlänge 400 mm einschl. beider Trompetenendungen; das Mittelrohr wird hier auf 325 mm gekürzt; bei diesem Bassreflexrohr-System passt der Innentrichter durch den Gehäuseausschnitt hindurch. Das Bassreflexrohr kann also komplett montiert und verklebt und dann ins Gehäuse eingesetzt werden. Es wird mit sechs Schrauben 4x20 mm befestigt.

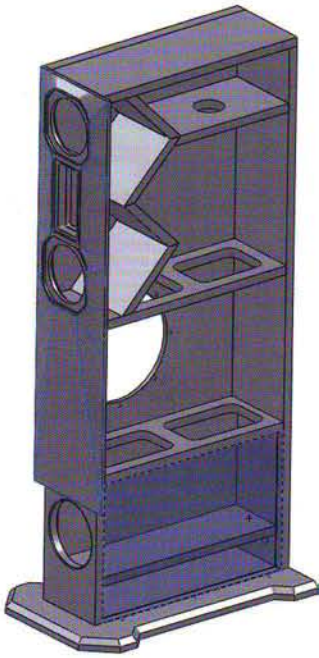
Dichtmaterial:

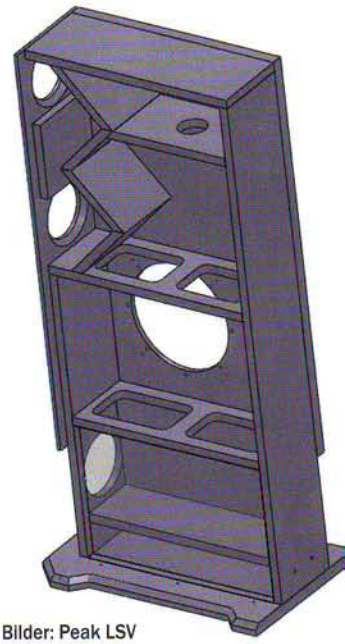
Selbstklebende Schaumstoff-Dichtstreifen für luftdichten Einbau der Lautsprecherchassis und ggf. des Bassreflexkanals und des Anschlussterminals.

Schrauben:

Hochtöner:
4 Zylinderkopfschrauben 4x20 mm
Mitteltöner:
8 Zylinderkopfschrauben 4x20 mm
Tieftöner:
8 Zylinderkopfschrauben 5x30 mm
Gehäuseboden:
8 Spanplattenschrauben 5x60 mm





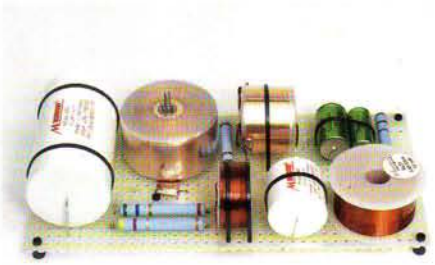


Bilder: Peak LSV

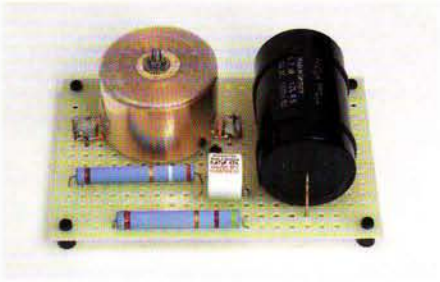
Harwood-Reference: Frequenzweiche

Tiefton-Frequenzweiche

Mittelton-Frequenzweiche

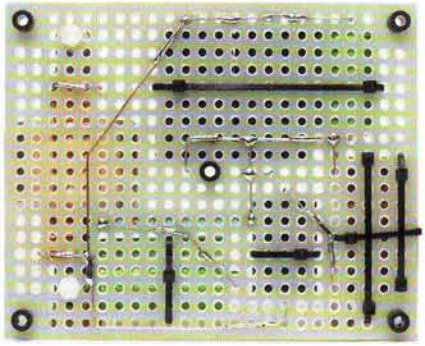


Hochton-Frequenzweiche

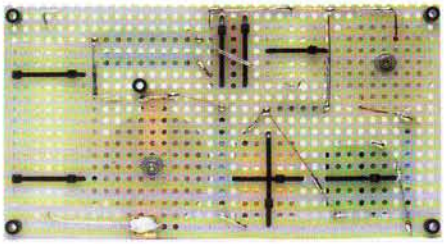


Die Spulen sind auf den drei Frequenzweichenplatinen mit größtmöglichem Abstand zueinander angeordnet. Das minimiert die magnetische Kopplung. Nach dem Fototermin wurde die Tieftonspule L1 noch von 4,7 auf 5,6 mH und C1 von 220 auf 330 µF vergrößert. Verwendbar sind Bauteile verschiedener Hersteller, sofern die Spezifikationen der Stückliste eingehalten werden. Die Abbildung zeigt die Bauteile der Highend-Empfehlung.

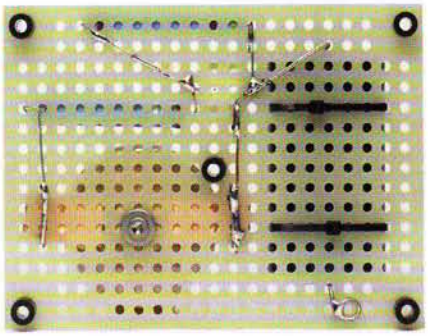
Tiefton-Frequenzweiche



Mittelton-Frequenzweiche

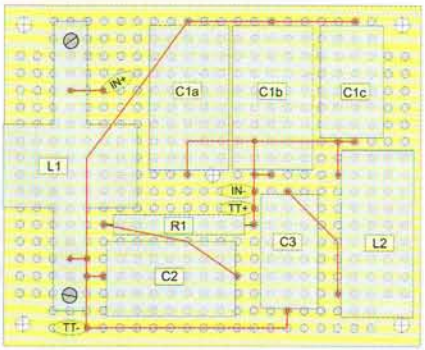


Hochton-Frequenzweiche

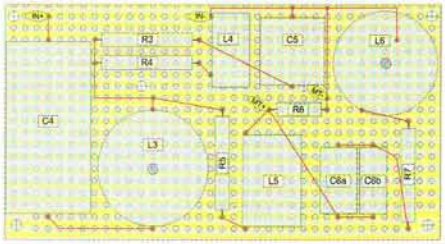


Die Anschlussdrähte der Bauteile werden durch passende Bohrungen der Platine geführt und dann in Richtung einer der im Schaltbild benachbarten Komponenten umgebogen. So gelingt die Verdrahtung fast ganz ohne zusätzliche Drahtabschnitte. Leichte Bauteile sind so bereits sicher fixiert, schwerere Komponenten werden zusätzlich mit Kabelbindern oder nichtmagnetischen Schrauben befestigt.

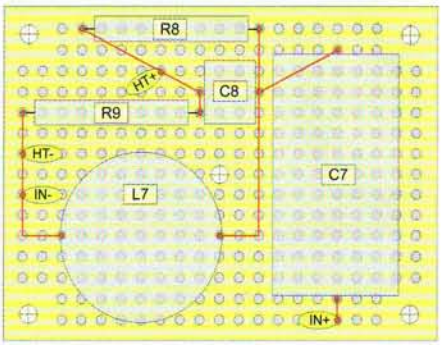
Tiefton-Frequenzweiche



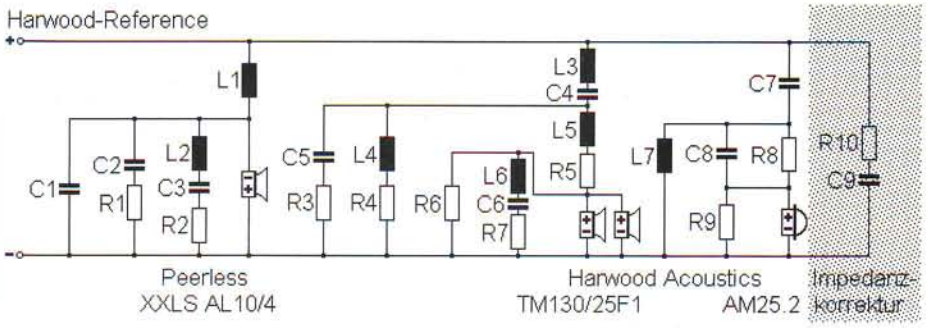
Mittelton-Frequenzweiche



Hochton-Frequenzweiche



Der Lageplan der Frequenzweichenbauteile, von der Lötseite gesehen, zeigt außer der Anordnung der Bauteile auch den Verlauf der elektrischen Verbindungen sowie die Anschlusspunkte zu den Lautsprecherchassis und zu den Eingangsbuchsen. Die Reihenfolge von Bauteilen innerhalb einzelner Schaltungszweige ist beliebig. Bei Verwendung von Bauteilen mit abweichender Größe werden die Positionen einfach verschoben, bis es passt.



Die Frequenzweiche wird z.B. auf drei Raster-Leiterplatten Intertechnik LP/RA140 (Hochtonzweig) , LP/RA160 (Tieftonzweig) und LP/RA240 (Mitteltonzweig; in der Breite auf 125 mm gekürzt) aufgebaut und im Gehäusesockel befestigt. Das Designergehäuse bietet etwas zu wenig Raum für alle drei Frequenzweichenmodule. Hier kann die Tieftonfrequenzweiche hinter dem Tieftöner im Tieftongehäuse montiert werden. Das Standardgehäuse wurde mit ausreichendem Platz im Weichenfach für die komplette Frequenzweiche gezeichnet. Die Impedanzkorrektur (grau unterlegt) ist nur für den Betrieb mit einer Röhrenendstufe sinnvoll und erforderlich.

Tieftöner:
Peerless XXLS AL10/4 (Vertrieb: Quint Audio, Senden)
Mitteltöner: Harwood Acoustics TM130/25F1
Hochtöner: Harwood Acoustics AM25.2
(Vertrieb: HiFisound, Münster)

Frequenzweichenbauteile lt. Stückliste:
(Vertrieb: Mundorf, Köln)
Anschlüsse: beliebiges Anschlussfeld, Polklemmen oder Bananenbuchsen
Innenverkabelung: Lautsprecher-Litze mind. 2x2,5 qmm

Preis-Leistungs-Empfehlung:
Diese Bauteilequalitäten bieten ein optimales Preis-Leistungs-Verhältnis.

L1 ..... 5,6 mH Trafo-I-Kern-Spule Mundorf BS125, ... 0,33 Ohm
L2 ..... 15 mH Luftspule, 0,7 mm Backlackdraht, ... 4,5 Ohm (*)
L3 ..... 1,0 mH Luftspule, 1,4 mm Backlackdraht
L4 ..... 3,3 mH Luftspule, 0,7 mm Backlackdraht, ... 1,8 Ohm (*)
L5 ..... 0,22 mH Luftspule, 0,7 mm Backlackdraht
L6 ..... 10 mH Luftspule, 0,7 mm Backlackdraht, ... 3,6 Ohm (*)
L7 ..... 0,56 mH Luftspule, 0,7 mm Backlackdraht
C1 ..... 330 µF Elko rau
C2 ..... 82 µF Elko rau
C3 ..... 680 µF Elko rau
C4 ..... 150 µF MKP Folie (**)
C5 ..... 12 µF MKP Folie
C6 ..... 270 µF Elko rau (**)
C7 ..... 4,7 µF Mundorf M-Cap Evo Alu/Öl
C8 ..... 0,47 µF Mundorf M-Cap Evo
C9 ..... 47 µF Elko glatt
R1 ..... 3,3 Ohm, 10 W MOX
R2 ..... entfällt (*)
R3 ..... 0,47 Ohm, 10 W MOX
R4 ..... 3,3 Ohm, 10 W MOX (*)
R5 ..... 1,5 Ohm, 10 W MOX
R6 ..... 8,2 Ohm, 5 W MOX
R7 ..... 1,0 Ohm, 10 W MOX (*)
R8 ..... 4,7 Ohm, 10 W MOX
R9 ..... 3,9 Ohm, 10 W MOX
R10 ..... 5,6 Ohm, 40 W MOX (***)

Highend-Empfehlung:
Diese Bauteilequalitäten sichern den bestmöglichen Klang.

L1 ..... 5,6 mH Trafo-I-Kern-Folienspule Mundorf CFS14, ... 0,26 Ohm
L2 ..... 15 mH Luftspule, 0,7 mm Backlackdraht, ... 4,5 Ohm (*)
L3 ..... 1,0 mH Folien-Luftspule Mundorf CFC14
L4 ..... 3,3 mH Luftspule, 0,7 mm Backlackdraht, ... 1,8 Ohm (*)
L5 ..... 0,22 mH Folien-Luftspule Mundorf CFC14
L6 ..... 10 mH Luftspule, 0,7 mm Backlackdraht, ... 3,6 Ohm (*)
L7 ..... 0,56 mH Folien-Luftspule Mundorf CFC14
C1 ..... 330 µF Elko rau+glatt: ..... 220 µF Elko rau + 110 µF Elko glatt (**)
C2 ..... 82 µF Elko glatt
C3 ..... 680 µF Elko rau
C4 ..... 150 µF Mundorf M-Cap Evo
C5 ..... 12 µF Mundorf M-Cap Evo
C6 ..... 270 µF Elko rau (**)
C7 ..... 4,7 µF Mundorf M-Cap Supreme Silber/Öl ..... oder M-Cap Evo Silber/Gold/Öl
C8 ..... 0,47 µF Mundorf M-Cap Evo Alu/Öl
C9 ..... 47 µF Mundorf M-Cap Evo Alu/Öl
R1 ..... 3,3 Ohm, 10 W MOX
R2 ..... entfällt (*)
R3 ..... 0,47 Ohm, 10 W MOX
R4 ..... 3,3 Ohm, 10 W MOX (*)
R5 ..... 1,5 Ohm, 10 W MOX
R6 ..... 8,2 Ohm, 5 W MOX
R7 ..... 1,0 Ohm, 10 W MOX (*)
R8 ..... 4,7 Ohm, 10 W MOX
R9 ..... 3,9 Ohm, 10 W MOX
R10 ..... 5,6 Ohm, 40 W MOX (***)

(*) In Reihe liegende Spulen (L) und Widerstände (R) müssen insgesamt den Widerstands-Sollwert einhalten, der sich aus der Addition der bei „L" und „R" angegebenen Widerstandswerte ergibt. Sofern Sie eine Spule mit abweichendem Gleichstromwiderstand verwenden, passen Sie den Widerstand R so an, dass der Sollwert mit maximal 10% Toleranz eingehalten wird.
(**) Kondensator-Kapazität ergibt sich durch Parallelschaltung mehrerer kleinerer Werte je nach Verfügbarkeit (max. 10% Toleranz).
(***) Da es keine 40 W MOX-Widerstände gibt: 4x 22 Ohm/10 W parallel schalten, ergibt 5,5 Ohm/40 W.

Modifikationsempfehlungen

Der Mitteltöner-Spannungsteiler ermöglicht die Anpassung des Mitteltonpegels:

R5/Ohm	R6/Ohm	MT-Pegel
0,82	22	+2 dB
1,2	12	+1 dB
1,5	8,2	neutral
1,8	5,6	-1 dB
2,2	4,7	-2 dB

Der Hochtöner-Spannungsteiler ermöglicht die Anpassung des Hochtonpegels:

R8/Ohm	R9/Ohm	HT-Pegel
3,9	5,6	+2 dB
4,7	4,7	+1 dB
4,7	3,9	neutral
5,6	2,7	-2 dB