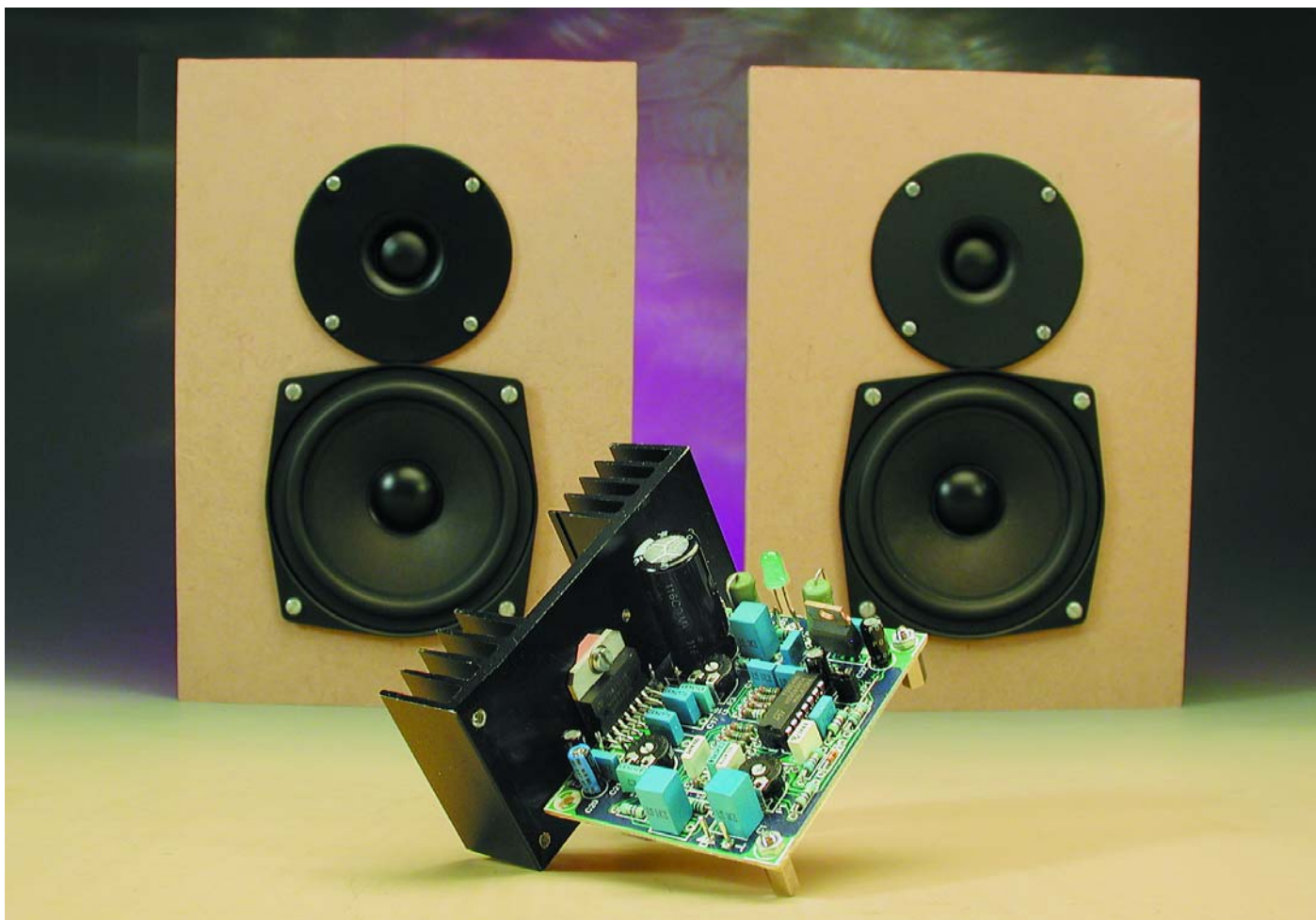


Aktives Lautsprechersystem

für Multimedia-Anwendungen

Der aktive Zweiweg-Lautsprecher (mit Subwoofer) wurde für Multimedia-Anwendungen entwickelt, ist aber ebenso gut für „MediumFidelity“-Anwendungen geeignet. Dank der frei dimensionierbaren Frequenzweiche können auch andere Tweeter/Woofer-Kombinationen als die hier vorgestellte gewählt werden.



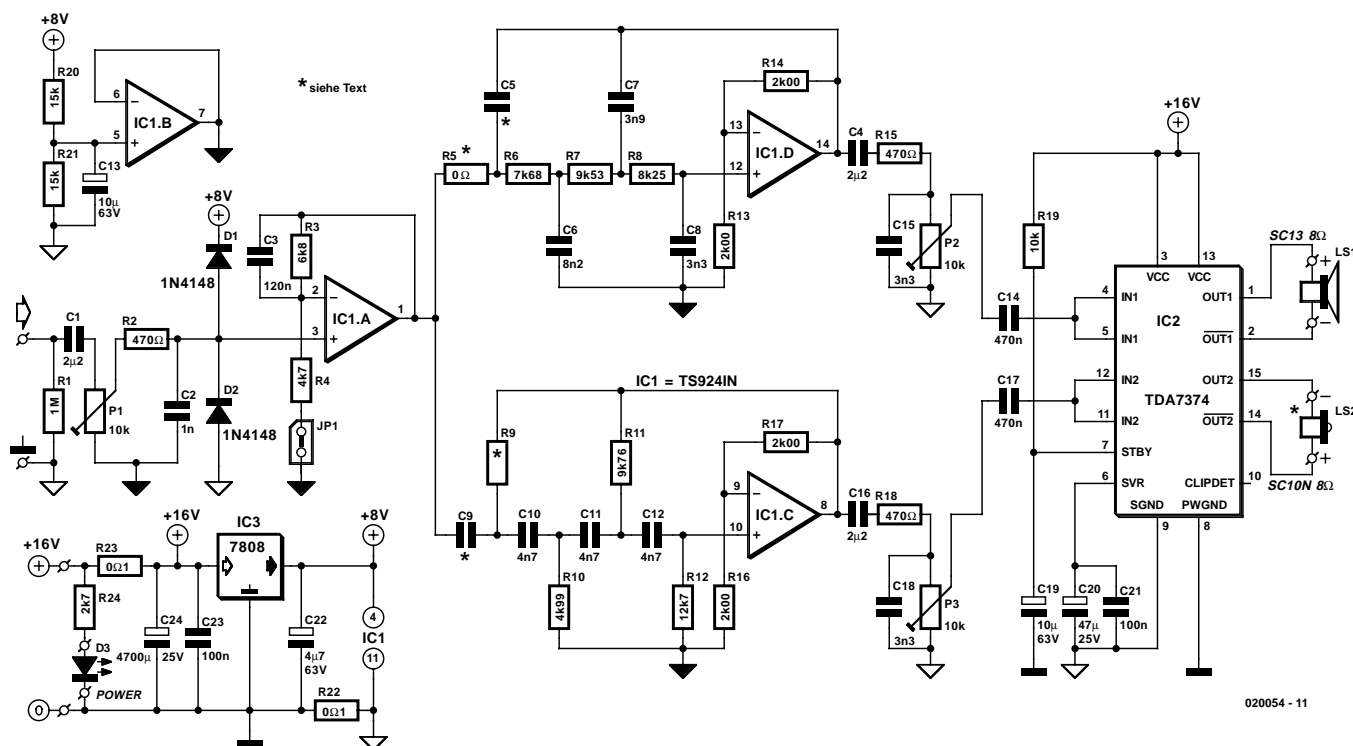


Bild 1. Die Schaltung besteht aus einem Eingangspuffer, zwei Filtersektionen, einer Spannungsversorgung mit virtueller Masse sowie einem integrierten doppelten Endverstärker.

Audio am PC ist wegen der mittelmäßigen bis miserablen Qualität industriell gefertigter PC-Lautsprecher nicht gerade ein Genuss. Zugegeben, für ein paar Euro kann man keine High-End-Qualität erwarten, aber dennoch sollte es dem ambitionierten Elektroniker leicht fallen, mit einfachen Mitteln und geringem finanziellen Aufwand eine brauchbare Verstärker/Lautsprecher-Kombination zu erstellen, die Musik aus dem PC mit brauchbarer Qualität wiederzugeben vermag.

Zunächst haben wir uns nach einer kompakten Woofer/Tweeter-Kombination mit einem guten Preis/Leistungsverhältnis umgesehen. Zudem sollten die Lautsprecher mit einer magnetischen Abschirmung versehen sein, damit die Boxen - wie bei Multimediaanwendungen ja üblich - direkt neben dem Monitor oder TV platziert werden können, ohne dass die Bildwiedergabe beeinträchtigt wird. Magnetisch abgeschirmte Lautsprecher mit guter Qualität sind keine Seltenheit mehr. Wir haben uns für einen 25-mm-Dometweeter SC10N und einen 13-cm-Bass/Mitteltöner SC13 von Visaton entschieden,

möchten aber betonen, dass beispielsweise auch Vifa oder Monacor abgeschirmte Chassis liefern, die sich ebenfalls für dieses aktive Lautsprechersystem eignen (unter Umständen müssen die Gehäusegrößen nach Herstellerangaben angepasst werden).

Die Aktivierung der Lautsprecherbox geschieht durch eine einfache und universell dimensionierbare Elektronik. Mit einem Vierfach-Opamp ist eine Zweiweg-Frequenzweiche aufgebaut, deren Trennfrequenzen, Charakteristik und Steilheit innerhalb sicherer Grenzen frei gewählt werden kann. Für die gewählte Lautsprecherkombination ist die Frequenzweiche als Butterworth-Filter dritter Ordnung mit einer Trennfrequenz von 4 kHz dimensioniert. Als Endstufe kommt ein integrierter doppelter Brückenverstärker zum Einsatz, der nur wenige externe Komponenten benötigt und bei einer Betriebsspannung von 16 V eine Leistung von 2.19 W an 4 Ω und 2.12 W an 8 Ω liefert. Nach HiFi-Maßstäben erscheint dies nicht besonders viel, aber in Kombination mit den gewählten Lautsprechern kann man einen

Schalldruck von etwa 100 dB erwarten - und das ist 'ne Wucht!

Das aktive Lautsprechersystem erfreut noch mit einer weiteren Besonderheit. Die meisten Boxen, die auf ein Volumen von nur einigen Litern beschränkt sind, haben die Neigung, tiefe Frequenzen nur in geringem Maße zu übertragen. In der Schaltung der Frequenzweiche ist ein Jumper zu finden, der eine zuschaltbare Basskorrektur darstellt und die Frequenzkurve zwischen 1000 Hz und 100 Hz anhebt, und zwar mit einem Maximum von 6 dB bei 100 Hz. Unser Labormuster konnte jedenfalls stark von dieser Bassanhebung profitieren. Wahrscheinlich dürfte das auch bei den meisten anderen Lautsprecherkombinationen dieser Kategorie der Fall sein.

Aktive Elektronik

Nach dieser einleitenden Zusammenfassung warten Sie sicher schon darauf, einen Blick auf den Schaltplan in **Bild 1** werfen zu können. Die Schaltung zerfällt in drei Abteilungen:

Eingangsteil/Spannungsversorgung

Folgen wir in bewährter Manier dem Schaltplan von links nach rechts, so fallen zunächst ein Abschlusswiderstand (R1), ein Trimpoti (P1) sowie ein Koppelkondensator (C1) auf. R2 und C2 bilden einen Tiefpass, der eventuelle hochfrequente (über dem Audiospektrum

liegende) Störsignale unterdrückt. D1 und D2 verhindern, dass Signalspitzen den Eingangsspannungsbereich verlassen können. So ist der erste der vier Rail-to-rail-Opamps des TS924IN ausreichend geschützt. Der Opamp arbeitet als (nahezu linearer) Puffer, solange der Jumper JP1 nicht gesteckt ist. Ist dies aber der Fall, so ist das Netzwerk C3/R3/R4 aktiviert und damit die eben beschriebene Basskorrektur eingeschaltet.

Um das aktive Lautsprechersystem mit einem gewöhnlichen Netzteil mit asymmetrischer Ausgangsspannung betreiben und doch eine optimale Signalverarbeitung von Puffer und Filter erreichen zu können, wird mit IC1B eine stabile virtuelle Masse erzeugt. C13 entkoppelt den Spannungsteiler R20/R21, der die virtuelle Masse genau auf die halbe Versorgungsspannung einstellt. Hier macht sich der hohe Ausgangsstrom des TS924IN von 80 mA besonders positiv bemerkbar.

Während die Endstufen nahezu unmittelbar an die Betriebsspannung von 16 V angeschlossen sind (sieht man einmal von der RC-Kombination R23/C23 ab), erhalten Eingangspuffer und Filter eine durch IC3 eine stabile Spannungsversorgung von 8 V. Damit der Festspannungsregler zufrieden stellend arbeiten kann, benötigt er eine Eingangsspannung von mindestens 11 V.

R22 trennt die Schaltungs- von der Netzteilmasse. Dies ist nur erforderlich, wenn für beide Kanäle ein Netzteil verwendet wird. Verfügt jeder Kanal über eine eigene Spannungsversorgung, so entfällt R22 und wird durch eine Drahtbrücke ersetzt.

Filter

Hinter dem Pufferverstärker verzweigt die Schaltung in einen Tiefpass mit IC1D und einen Hochpass mit IC1C. Wie leicht zu erkennen, wurde eine Topologie für Filter vierter Ordnung gewählt, durch Weglassen einzelner Komponenten lassen sich aber auch Filter niedrigerer Ordnung realisieren. In der **Tabelle** sind die Bauteilwerte für ein Butterworth-Filter dritter und ein Linkwitz-Riley-Filter vierter Ordnung jeweils für die gebräuchlichen Trennfrequenzen 1 kHz, 2,5 kHz und 4 kHz angegeben.

Für die gewählten Visaton-Lautsprecher erwies sich ein Butterworth-Filter dritter Ordnung als optimal. Ein Linkwitz-Riley-Filter vierter Ordnung mit der gleichen Trennfrequenz dagegen hatte mit Abstrahlproblemen aufgrund großer Phasenverschiebungen zu kämpfen.

Wenn Sie mit diesem Filtertyp experimentieren möchten, sollten Sie darauf achten, dass die Tweeter dabei „richtig“ gepolt angeschlossen werden müssen. Der Platinaufdruck zeigt den Anschluss bei einem Butter-

worth-Filter: Der Tweeter ist im Vergleich zum Woofer umgekehrt gepolt am Endstufen-IC angeschlossen. Der Übernahmepunkt liegt übrigens beim Butterworth-Filter bei -3 dB, beim Linkwitz-Riley-Filter bei -6 dB.

Endverstärker

Die Ausgangssignale der beiden Filterstufen werden zum gemeinsamen Endstufen-IC geführt. Vorher jedoch beschränken die RC-Netzwerke R15/C15 und R18/C18 die Bandbreite, um den Einfluss hochfrequenter Störungen zu minimieren. Die beiden Trimpoties P2 und P3 können Unterschiede im Wirkungsgrad von Tweeter und Woofer ausgleichen. Es kommt nämlich oft vor, dass Tweeter beim gleichen Eingangssignal etwa 3 dB lauter sind als kleine Bass/Mitteltöner. Dies ist bei den Visaton-Lautsprechern nicht der Fall, so dass man im Prinzip

beide Trimpoties auf Maximum drehen (oder ganz einfach durch Drahtbrücken ersetzen) kann.

Als Endverstärker wird eine integrierte Doppelendstufe des Typs TDA7374B eingesetzt. Dieser in Elektor-Schaltungen seit einem guten Jahrzehnt mit Erfolg eingesetzte Schaltkreis ist eigentlich für „automotive“ Zwecke gedacht, kann aber auch hervorragend in Anwendungen wie dieser gebraucht werden. Das IC benötigt nur wenige externe Bauteile, keine Boucherot-Netzwerke, keine Ausgangselkos und ist intern gegen Überhitzung und Kurzschluss gesichert.

Die Verlustleistung des ICs ist so gering, dass (bei einer Belastung mit 8-Ω-Lautsprechern) ein kleiner Kühlkörper in der Größenordnung von 3 K/W völlig ausreichend ist. R19 und C19 sorgen für ein ploppfreies Einschalten (nahezu, denn es

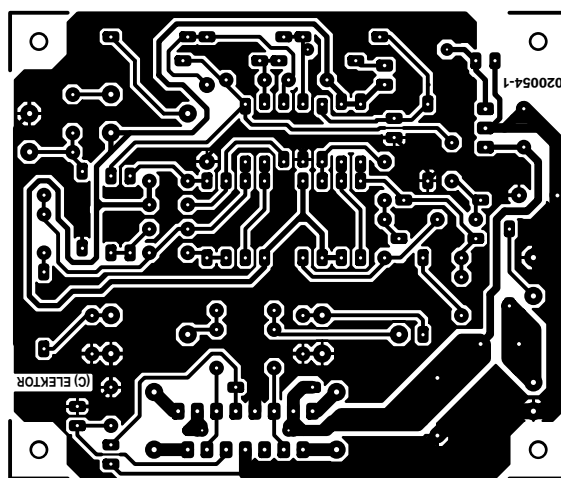
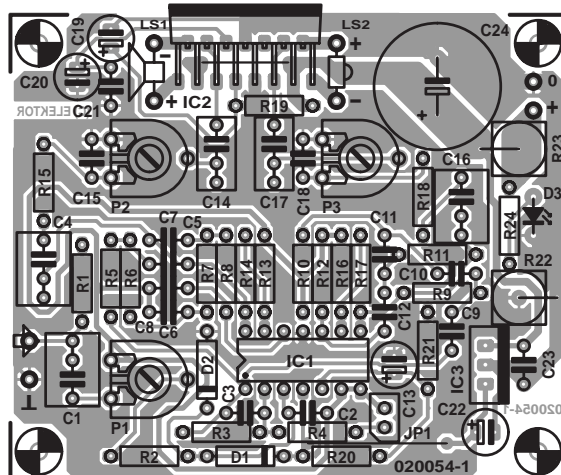


Bild 2. Nur 46 cm² für ein aktives Filter mit zwei Endstufen, die jeweils fast 20 W liefern.

Stückliste

Widerstände:

R1 = 1 M
 R2,R15,R18 = 470 Ω
 R3 = 6k8
 R4 = 4k7
 R5 = 0 Ω
 R6 = 7k68
 R7 = 9k53
 R8 = 8k25
 R9 = offen*
 R10 = 4k99
 R11 = 9k76
 R12 = 12k7
 R13,R14,R16,R17 = 2k00
 R19 = 10 k
 R20,R21 = 15 k
 R22,R23 = 0 Ω 1/5W
 R24 = 2k7
 P1,P2,P3 = 10 k Trimpoti

Kondensatoren:

C1,C4,C16 = 2 μ 2 MKT, RM5/7,5
 C2 = 1 n, RM5
 C3 = 120 n, RM5
 C5 = offen*
 C6 = 8n2, RM5
 C7 = 3n9, RM5
 C8,C15,C18 = 3n3 RM5
 C9 = Drahtbrücke *

C10...C12 = 4n7, RM5
 C13,C19 = 10 μ /63 V stehend
 C14,C17 = 470 n
 C20 = 47 μ /25 V stehend
 C21,C23 = 100 n, RM5
 C22 = 4 μ 7/63 V stehend
 C24 = 4700 μ /25 V stehend, 7,5 mm Durchmesser, 17 mm max.

Halbleiter:

D1,D2 = 1N4148
 D3 = Low current LED, grün
 IC1 = TS924IN
 IC2 = TDA7374B
 IC3 = 7808

Außerdem:

JP1 = 2-poliger Pfostenverbinder mit Jumper
 LS1 = SC13 8 Ω (Visaton)
 LS2 = SC10N 8 Ω (Visaton)
 Kühlkörper für IC2: 3 K/W
 Holz: 13 mm MDF
 BAF-Watte
 Platine EPS 020054-1 (siehe Service-Seiten in der Heftmitte oder kostenloser Download des Layouts unter www.elektor.de)

*) siehe Text und Tabelle

gibt immer einen winzigen Offset am Verstärkerausgang). C20/C21 entkoppeln den internen Spannungsteiler, der die diversen Stufen im IC auf die halbe Betriebsspannung einstellt. Der Kondensator bestimmt im Wesentlichen das Versorgungsspannungsunterdrückungsverhältnis, das bei 100 Hz etwa 50 dB beträgt.

Aufbau der Platine

Die kleine, aber übersichtliche Platine, deren Layout in **Bild 2** zu sehen ist, trägt die gesamte Elektronik des aktiven Lautsprechersystems. Alle externen Anschlüsse sind am Platinenrand angeordnet, links unten der Signal-Eingang, diagonal gegenüber die Pins für die Versorgungsspannung. Ein Stückchen darunter wird die An/Aus-LED D3 befestigt. Die Anschluss terminals für die Lautsprecher sind natürlich direkt neben dem Endstufen-IC untergebracht. Der Woofer wird an LS1 angeschlossen, der Tweeter an LS2.

Sieht man von eventuellen Drahtbrücken in den Filtersektionen ab, gibt es nur zwei Drahtbrücken: eine direkt neben R20, die andere unter den Anschlusspins des Endstufen-ICs. Hier ist es empfehlenswert, auf die Platinenunterseite auszuweichen, um Kurzschlüssen vorzubeugen. Dennoch ist für

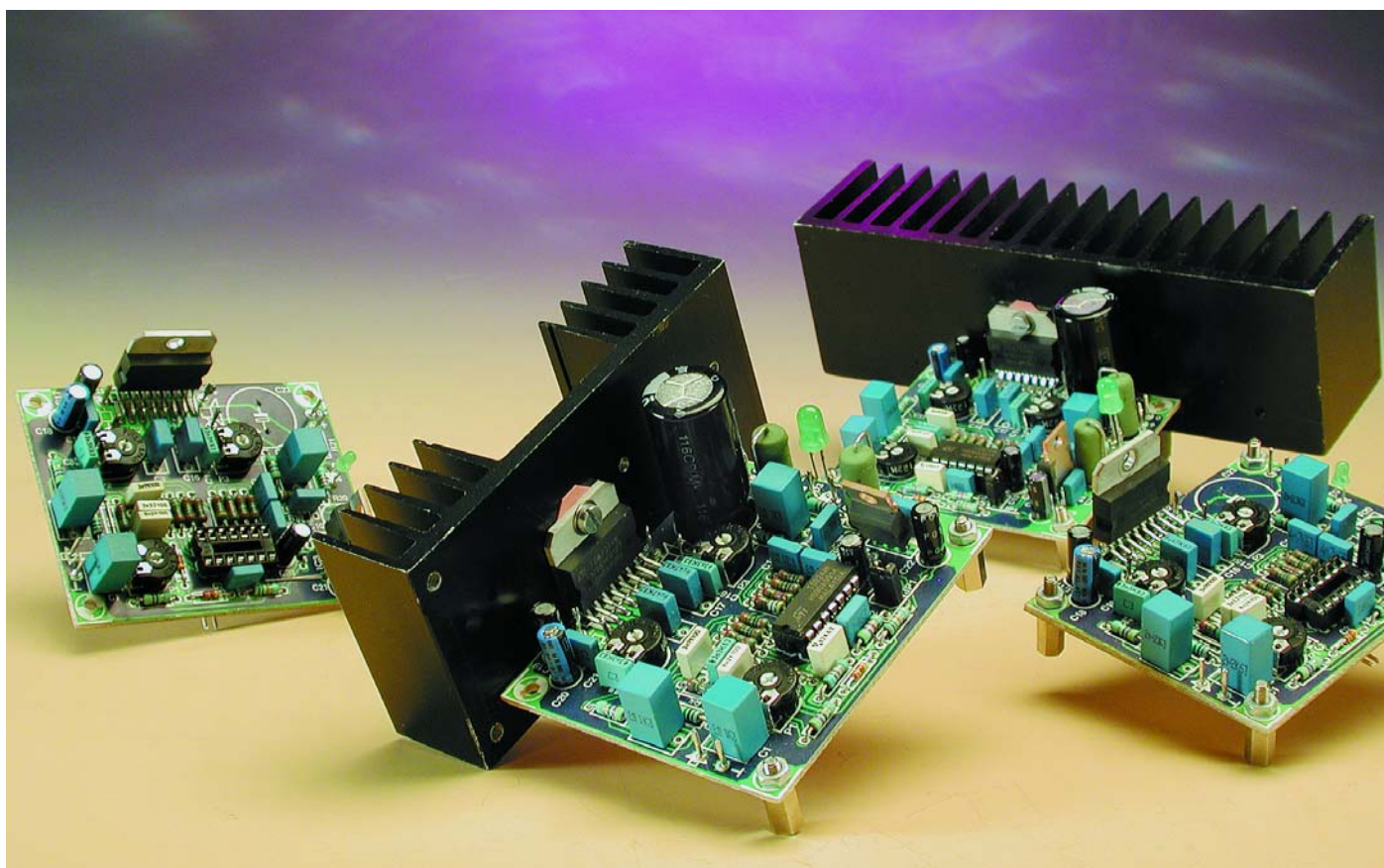


Bild 3. Eine perfekte Platine bedarf vieler Versuche!

beide Verbindungen isolierter Draht indiziert. IC2 wurde bewusst am Platinenrand platziert, um die Montage des Kühlkörpers zu erleichtern. Verwenden Sie auf jeden Fall bei der Montage ein Isolierplättchen (und etwas Wärmeleitpaste).

Ist die Platine aufgebaut, kontrolliert und getestet, kann man sich Gedanken über eine passende Umhüllung machen. Dabei eröffnen sich mehrere Varianten: Die Platine kann in das Lautsprechergehäuse eingebaut werden, als „Monoblock“ in ein separates Einzel- oder als Stereo-Verstärker mit der Platine für den anderen Kanal in ein gemeinsames Gehäuse. In diesem Fall sollten Sie mit der Gehäusewahl noch etwas warten, denn eine Klangregelung, die in Planung ist, sollte auch noch Platz finden. Eventuell kann man das Ganze auch mit dem Subwoofer kombinieren, der im nächsten Heft beschrieben wird.

Das Netzteil für die Elektronik besteht wie üblich aus einem Netztrafo (12 V/15 VA), einer Gleichrichterbrücke (2 A) sowie einem Ladeelko (4700 µF/25 V). Dies ergibt eine Ausgangsgleichspannung von ungefähr 16 V. Bei Stereo-Versorgung sind Trafoleistung und Kapazität zu verdoppeln. Verfügt man über ein stabilisiertes Netzteil, so kann die Spannung auch auf maximal 18 V erhöhen, so dass die Ausgangsleistung ein wenig höher wird. Im Elektor-Labor wird zurzeit an einem Spezialnetzteil für dieses aktive Lautsprecher-System gearbeitet, das im Anschluss an das Lautsprecherprojekt (also voraussichtlich in der März-Ausgabe) veröffentlicht werden soll.

Tabelle I

	3. Ordnung Butterworth			4. Ordnung Linkwitz-Riley		
	1 kHz	2,5 kHz	4 kHz	1 kHz	2,5 kHz	4 kHz
R5	Brücke	Brücke	Brücke	6k34	6k34	6k98
R6	8k06	6k65	7k68	13k3	9k31	10k7
R7	8k25	8k45	9k53	6k49	7k68	8k25
R8	6k81	8k06	8k25	9k31	7k50	8k45
C5	offen	offen	offen	22 n	10 n	5n6
C6	33 n	15 n	8n2	39 n	18 n	10 n
C7	18 n	6n8	3n9	18 n	6n8	3n9
C8	15 n	5n6	3n3	8n2	3n9	2n2
R9	offen	offen	offen	7k50	6k49	7k15
R10	5k23	4k53	4k99	3k83	3k32	3k65
R11	10k2	8k87	9k76	11k0	9k53	10k5
R12	13k0	11k5	12k7	19k6	16k9	18k7
C9	Brücke	Brücke	Brücke	18 n	8n2	4n7
C10	18 n	8n2	4n7	18 n	8n2	4n7
C11	18 n	8n2	4n7	18 n	8n2	4n7
C12	18 n	8n2	4n7	18 n	8n2	4n7

Kleine Schreinerei

Die Größe und die Ausführung (geschlossen, Reflex) einer Lautsprecherbox wird immer von den

Parametern des eingesetzten Woofer bestimmt. Der SC13 von Visaton ist in einem geschlossenen Gehäuse mit einem Inhalt von ungefähr 4 l untergebracht. Dies macht die

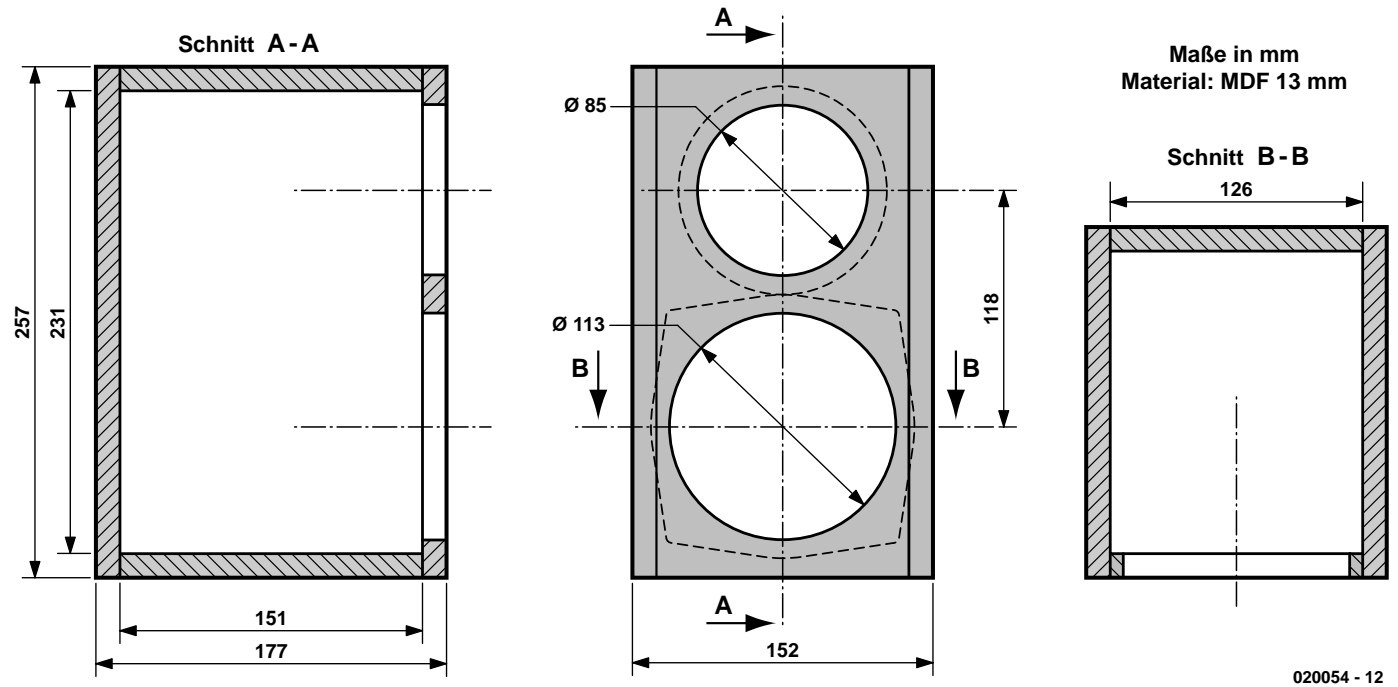


Bild 4. Komplett bemaßte Bauzeichnung der Box in 13 mm starkem MDF.

Schreinerarbeiten schön einfach, denn bei einem kleinen geschlossenen Gehäuse müssen lediglich sechs zugeschnittene MDF-Platten zusammengeleimt werden. Dies dürfte auch handwerklich Unbegabten nicht besonders schwer fallen, wenn die MDF-Stückchen auf Maß geschnitten und ein paar ordentliche Leimklemmen vorhanden sind. Das einzige, was ein wenig lästig sein könnte, ist das Aussägen der Öffnungen für die Lautsprecher. Die Anschlüsse werden in die Rückwand montiert. Überflüssig zu sagen, dass der Kühlkörper an die Außenseite gehört, wenn man die Elektronik in der Box unterbringt.

Die Box wird vor der Montage der Lautsprecher lose mit BAF-Wadding (Polyesterwolle) gefüllt.

Dank der geringen Abmessungen benötigen wir keine allzu großen Wandstärken, die Box, deren Bauzeichnung in **Bild 4** zu sehen ist, basiert auf 13 mm starkem MDF. Natürlich können Sie auch dickere Platten oder andere Gehäuseformen verwenden, wenn der Nettoinhalt von 4 l dadurch nicht beeinträchtigt wird.

So sind wir in der Entwicklungsphase deutlich vom Standard-Schuhkarton abgewichen und haben eine tetraederförmige Box gebaut, die nicht nur originell ist, sondern auch

keine stehenden Wellen in ihrem Inneren kennt. Dies allerdings wird erkauft mit Kanten-Abschrägungen von 30° und 74°. Wer sich für diese Boxenform interessiert, findet die Baupläne auf der Elektor-Website zum Download.

Zur Oberflächenveredlung eignen sich mehrere Verfahren. Eine Option ist das Furnieren, man kann die Boxen aber auch mit Vinyl oder einem anderen Material bekleben. Lackieren ist natürlich sehr schön, verlangt aber Erfahrung und ein großes Kämpferherz (und noch eine Lackschicht...), möchte man eine perfekte Oberfläche. Vielleicht hilft ja die nächste Kfz-Lackiererei weiter!

(020054)rg

Spezifikationen

(bei 16 V Versorgungsspannung)

Eingangsimpedanz	10 kΩ
Empfindlichkeit (12 W/8 Ω, JP1 offen, P1/P2/P3 max.)	270 mV
Verzerrungen + Rauschen (1 W/8 Ω, 1 kHz)	0,013 % (B = 80 kHz)
Bandbreite Woofer-Verstärker (P2 max., JP1 offen)	32 Hz...4 kHz
Bandbreite Woofer-Verstärker (P2 halb, JP1 offen)	25 Hz...4 kHz
Bandbreite Tweeter-Verstärker	4 kHz...45 kHz
Ausgangsleistung pro Verstärker (THD+N = 0,5 %)	12 W (8 Ω) 19 W (4 Ω)
Ruhestrom (ohne Last)	0,17 A
Bandbreite Verstärker + Box (-3 dB)	100 Hz...18 kHz

Neben diesen Spezifikationen in Zahlen haben wir ein paar Kurven angefertigt. Die erste (A) stellt eine Simulation des SC13-Woofers in einer geschlossenen 4-l-Box dar. Die Amplitudencharakteristik ist frei von großen Überhöhungen oder Tälern, fällt aber in Richtung der niedrigen Frequenzen ziemlich stark ab. Bei 100 Hz liegt die Amplitude fast 8 dB tiefer als bei 2 kHz. Eine Frequenzgangkorrektur ist also kein überflüssiger Luxus.

Die zweite Kurve (B) zeigt die gemessene Amplitudencharakteristik des Filters mit und ohne Basskorrektur. Wie zu sehen, liegt der Übernahmepunkt weder exakt auf -3 dB noch auf 4 kHz. Dies liegt in den Toleranzen der Filterkondensatoren begründet, hat aber in der Praxis so gut wie keine Auswirkungen.

Die dritte Kurve (C) schließlich gibt das Ergebnis aller Bemühungen wieder, die Amplitudencharakteristik der Box mit Verstärker. Die Box produziert einen Schalldruck von rund 93 dB/W (gemessen wurde in 1 m Abstand). Die Basskorrektur hätte durchaus ein wenig stärker ausfallen können, aber wenn man die Box auf den Schreibtisch und/oder gegen die Wand stellt, werden die tiefen Frequenzen noch weiter angehoben und die Kurve noch „gerader“.

Der Buckel bei 200 Hz geht übrigens auf das Konto des Messraums und ist stark abhängig von der Platzierung der Box.

