

Single-Ended-Röhrenverstärker selbst gebaut

Hubraum statt Spoiler

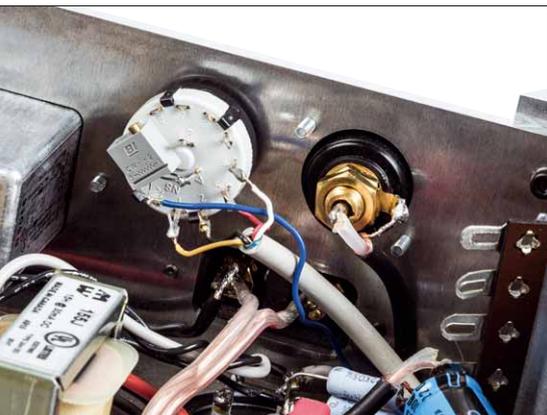
Es ist eine Weile her, dass wir Ihnen einen Verstärker zum Selbermachen vorgestellt haben. Der hier ist allerdings so spannend, dass wir Ihnen den auf gar kein Fall vorenthalten wollen





Die Verdrahtung der Leistungsröhren. Man beachte die dicht an den Fassungen montierten Widerstände

Wenn man einer der weltweit bedeutendsten Händler für alte und neue Elektronenröhren ist, dann schafft das Gelegenheiten der besonderen Art. Michael Kaim, Chef bei BTB Elektronik, dem in Fürth ansässigen Spezialisten für alles, was sich mittels Heiz- und Anodenspannung zur Emission von Elektronen überreden lässt, ist jemand mit solchen Gelegenheiten. Der eine oder andere mag sich erinnern – wir haben Mann und Firma vor Jahren hier mal in einem ausführlichen Porträt vorgestellt. Der weltweit ziemlich einzigartige Röhrenfundus von Michael Kaim gibt eine Menge spannender Dinge her, einige davon sogar in erklecklichen Stückzahlen. Dazu gehört zum Beispiel die aus DDR-Beständen stammende Leistungspentode EL12N. Das ist eine ausgesprochen robuste Leistungsröhre mit einer maximalen Anodenverlustleistung von 18 Watt und 90 Milliampère Maximalstrom.



Der Drehschalter dient der Umschaltung des Ruhestrommessgeräts auf die vier Endröhren eines Kanals

Diese zwei Röhrentypen sind alles, was man für diesen Verstärker braucht. Die „Kraftmeier“ rechts allerdings gleich achtmal



Dazu kommt, dass sich das gute Stück bereits mit recht geringen Anodenspannungen zum Leben erwecken lässt. HiFi-Verstärker mit der EL12N gibt's durchaus, aber noch keinen „so richtigen“: Das ist jetzt vorbei, denn Michael Kaim höchstselbst hat ein ziemlich beeindruckendes Konzept auf Basis dieser Röhre geschaffen. Sein „Achtzylinder“ arbeitet mit vier parallelen EL12N pro Kanal, die im lupenreinen Single-Ended-Class-A-Betrieb laufen und – etwas Toleranz bei den Verzerrungswerten vorausgesetzt – satte 40 Watt Ausgangsleistung produzieren. Dafür braucht's ansonsten fette Senderöhren wie ein 833 oder eine russische GM70 und Betriebsspannungen im vierstelligen Bereich, bei denen man Selbstbau nur absoluten Profis ans Herz legen kann. Das hier zur Debatte stehende Konzept begnügt sich mit moderaten 425 Volt, was neben der deutlich reduzierten Gefahr für Leib und Leben noch eine ganze Reihe weiterer Vorteile hat: Geringere Spannungen stellen geringere Ansprüche an die Wicklungsisolation von Netz- und Ausgangstransformatoren, was die „Eisenpreise“ deutlich erträglicher macht. Dieser Verstärker ist im Selbstbau ohne Probleme für einen dreistelligen Eurobetrag zu realisieren und dürfte damit ziemlich allein auf weiter Flur stehen. Ein gematchtes Quartett EL12N kostet bei BTB derzeit übrigens knappe vierzig Euro, dafür bekommen Sie bei den üblichen angesagten Leistungspentoden noch nicht mal eine. Geschweige denn irgendwas Selektiertes. Auch wenn dieser Verstärker strukturell denkbar einfach aufgebaut ist, taugt er nicht als erstes Röhrenprojekt: Auch 425 Volt können tödlich sein, wenn hinreichend Stromlieferfähigkeit vorhanden ist – was hier definitiv der Fall ist. Wenn Sie so etwas angehen wollen, dann sollten

Sie zumindest in etwa wissen, was Sie tun. Oder zumindest sollten Sie einen gestandenen Röhrenprofi in der Hinterhand haben, der sich Ihren Aufbau mal ansieht, bevor Sie einschalten.

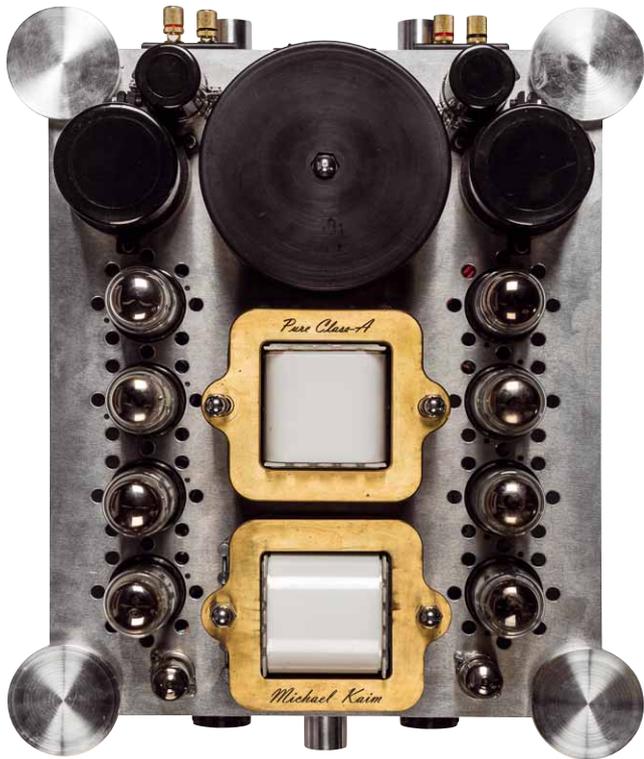
Zudem kann dieser Artikel ob des begrenzten Platzangebotes nicht jeden Aufbausritt detailliert erklären. Derzeit überlegen wir gemeinsam mit Konstrukteur Michael Kaim, ob wir nicht eine Art Workshop zusammenbekommen, bei dem wir den kompletten Aufbau eines solchen Gerätes demonstrieren. Davon ab entwickeln solchen Projekte heutzutage ein Eigenleben im Internet, ein Thread im DIY-HiFi-Forum (diy-hifi-forum.eu) hilft bestimmt, Gleichgesinnte zu finden. Sie sind immer noch nicht abgeschreckt? Okay, dann wird's Zeit, das Gerät näher in Augenschein zu nehmen.

Schaltung

Die Verstärkerschaltung folgt einem schlichten zweistufigen Konzept. Die erste Stufe bildet eine Pentode vom Typ EF800, die im Triodenbetrieb läuft (dafür sorgt die Brücke zwischen dem Anodenanschluss und Gitter 2). Die EF800 ist eine gute und langlebige Röhre, von der NOS-Ware reichlich und preiswert erhältlich ist. Michael Kaim gab ihr an dieser Stelle den Vorzug vor den deutlich steileren Poströhren à la C3G, C3M,

Beim Prototypen gibt's zylindrische Profile an den Ecken, die als Montagestützpunkte mitbenutzt werden





Die Gesamtansicht von oben. Man beachte die versetzt montierten Ausgangsübertrager

die sich mikrofoniebedingt als wenig tauglich erweisen. Das Signal wird an der Anode ausgekoppelt, wir haben es mit einem lehrbuchmäßigen Kathodenbasisverstärker zu tun. Von dort geht's direkt weiter zu den vier parallelgeschalteten Endröhren. Diese sind nicht einfach als Triode verschaltet, die Gitter-2-Anschlüsse sind mit einem Abgriff der Primärwicklung des Ausgangsübertragers verbunden. Das ist gängige Praxis bei Verstärkern mit Pentoden im Ausgang und heißt Ultralinearbetrieb. Wie viel „Ultralinear“ und wie viel „Triode“ letztlich wirkt, kommt darauf an, an welcher Stelle die Primärwicklung des Übertragers angezapft ist. Michael Kaim hat sich Übertrager mit einer ganzen Reihe solcher Anzapfungen gewickelt und hat sich aus klanglichen Gründen für den entschieden, der am nächsten am reinen Triodenbetrieb liegt. Mit mehr Ultralinearmodus wären noch etwas mehr Leistung und weniger Klirr möglich. Misst sich besser, klingt aber nicht so gut. Die Röhren laufen mit 45 Milliampere Ruhestrom. Das ist bei dieser Betriebsspannung nicht wenig, aber weit genug von erlaubten Maximalwerten entfernt, um den EL12N ein langes Leben zu beschern. Der Ruhestrom jeder Röhre ist einzeln einstellbar, dafür gibt's auf der Geräterückseite zwei Drehschalter und zwei Anzeiginstrumente auf der Front. Die Drehschalter schalten das Potenzial an der Kathode jeweils einer Endröhre auf das Voltmeter. Der Spannungsabfall über den Zehn-Ohm-Kathodenwiderständen ist zum Ruhestrom proportional, will sagen: Die gewünschten 45 mA stellen sich als 450 Millivolt auf dem Voltmeter dar. Das könnte man theoretisch auch mit einem Anzeiginstrument und einem Drehschalter für beide Kanäle erledigen – das liegt bei Ihnen. Sie können dieses Feature auch weglassen und den Abgleich per Multimeter erledigen. Abgeglichen wird übrigens die jeweilige Gittervorspannung; für jede Röhre gibt's hier ein separates Poti. Die

Bis ins letzte Detail ...

Individueller Hörgenuss durch qualitativ hochwertige Komponenten von MONACOR®.

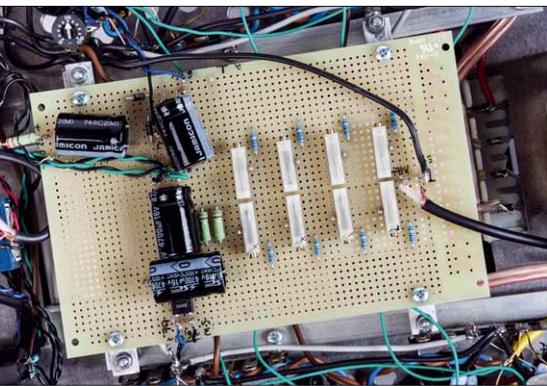
Eines der weltweit umfangreichsten Sortimente für den Lautsprecherbau – von unseren Audio-Professionals für Ihr perfektes Ergebnis zusammengestellt.



www.monacor.com



MONACOR



Eine Lochrasterplatte dient als Montagehilfe für die Ruhestrompotis



Die beiden Drosseln arbeiten in der Hochspannungs- und Gittervorspannungsversorgung. Das Netzfilter ganz rechts ist nicht unbedingt erforderlich

Steuergitter sind über 0,47-Mikrofarad-Kondensatoren und Grid-Stopper-Widerstände (1 kOhm) mit der Anode der Treiberröhre verbunden.

Beachtung verdient noch der Minusanschluss der Sekundärwicklung des Ausgangsübertragers. Der ist nämlich – was durchaus nicht selbstverständlich ist – mit der Schaltungsmasse verbunden. Wenn dem nicht so wäre, könnte man sich an den Lautsprecherklemmen gerne mal einen leichten elektrischen Schlag holen, die kapazitive Kopplung der Hochspannung über den Trafo macht's möglich. Mit der Masseverbindung ist diesbezüglich Ruhe. Die Übertrager sind übrigens Sonderanfertigungen eigens für diesen Verstärker. Es handelt sich um Schnittbandkerntypen mit großem SM102B-Kern. Die Primärimpedanz beträgt 1,2 Kiloohm, derzeit gibt's nur einen Sekundäranschluss, der eher für Vier-Ohm-Lautsprecher gedacht ist. Natürlich funktioniert das auch bestens mit Acht-Ohm-Boxen. Die vielfach geschachtelt gewickelten Übertrager gibt's bei BTB für rund 150 Euro pro Stück, das ist überaus fair für Modelle dieser Güte.

Kommen wir zur Stromversorgung des Gerätes. Die Basis bildet ein ebenfalls sonderangefertigter Ringkerntrafo mit 400 VA Belastbarkeit; dieser wird voraussichtlich für rund 120 Euro zu stehen sein. Die Hochspannung stellt eine 320-V/1-A-Wicklung bereit. Auf der Wechselspannungsseite sitzt eine träge 1A-Sicherung als „Lebensversicherung“ bei kapitalen Schäden, ein 100 k-Widerstand entlädt die Siebelkos nach dem Ausschalten. Gesiebt wird mit zwei 200-Mikrofarad-Elkos und einer Drossel – das schafft schon mal eine sehr saubere Gleichspannung. Damit nicht genug: Eine kleine Regelschaltung mit einem Leistungs-MosFet stabilisiert die Ausgangsspannung auf die gewünschten 425 Volt. Als Spannungsreferenz dient eine Reihenschaltung aus vier Zenerdioden. Diese müssen übrigens unbedingt auf die gewünschte Ausgangsspannung selektiert werden, ihre Durchbruchspannungen streuen recht stark. Da die Dioden aber nur ein paar Cent pro Stück kosten, kann man davon auch ein paar mehr kaufen. Ausgangsseitig gibt's noch einen Folienkondensator (0,47 Mikrofa-

rad, mindestens 450 Volt) zur Pufferung. Der zweite Zweig des Netzteils ist für die Erzeugung der Gittervorspannung der Endröhren zuständig. Diese Gittervorspannung ist gegenüber der Schaltungsmasse negativ: Beachten Sie bitte unbedingt die Polarität der Komponenten im Schaltbild gerade bei diesem Zweig. Nach Gleichrichtung der 50 Volt der entsprechenden Trafowicklung per Brückengleichrichter erfolgt wiederum eine CLC-Siebung mit zwei Elkos und einer Drossel. Diese ist, wie auch die im Hochspannungsweig, ein Standardtyp von Hammond und problemlos zu bekommen. Es folgt ein weiteres Siebglied, dieses Mal mit Widerstand (respektive zwei zur Belastbarkeitserhöhung parallelgeschalteten) und Kondensator. Die so gewonnene Spannung dient als Gittervorspannung für die acht Endröhren. Acht Trimpotis mit Vorwiderstand erlauben die jeweilige Justage und damit die Einstellung des Ruhestroms jeder Endröhre. Der verbleibend dicke Brocken ist die Versorgung der Röhrenheizungen. Dazu ist der Trafo mit zwei 6,3-Volt-Wicklungen ausgestattet, die jeweils mit sie-



Der Prototyp hat nur einen Eingang und einen Lautsprecherabgriff, das muss aber nicht so sein

ben Ampere belastbar sind. Eine EL12N braucht nominell 1,2 Ampere, eine Wicklung speist die Röhren eines Kanals. Somit ist noch etwas Reserve vorhanden. An einer der Heizungswicklungen ist noch ein Gleichrichter nebst Siebung angeschlossen, über diesen Zweig beziehen die beiden EF800 ihre Heizenergie. Wer die Kanalseparierung noch weiter treiben möchte, darf natürlich gerne an jede Heizungswicklung eine solche Anordnung praktizieren und die Eingangsröhren auch noch kanalgetrennt heizen.

Tipps zum Aufbau

Der Prototyp des Verstärkers steckt in einem aus vier Millimeter starken Aluminiumplatten aufgebauten Chassis. Es ist 31 Zentimeter breit, 28 tief und netto 7 Zentimeter hoch. Das dürfte die minimale sinnvolle Größe für den Aufbau sein, ein wenig mehr Luft schadet sicherlich nicht. Dann könnte man auch ein wenig mehr Abstand zwischen den Ausgangsübertragern und dem Netztrafo schaffen, was den Restbrumm noch etwas vermindern dürfte. Die beiden Ausgangsübertrager sollten unbedingt im 90°-Winkel zueinander angeordnet werden, das hilft, Kopplungen zwischen beiden Kanälen zu vermeiden. Wer auf einen anfängertauglichen Platinenaufbau gehofft hatte, den muss ich enttäuschen: Die erklecklichen Leistungen im Endstufenbereich lassen das nicht sinnvoll erscheinen, außerdem ist die Anzahl der zu installierenden Komponenten recht gering, so dass einer Freiverdrahtung nichts im Wege steht.

Wer beim Prototypen und im Schaltbild die zu einem Vollverstärker praktisch zwingend erforderliche Eingangsumschaltung vermisst, der tut das aus gutem Grund: Hier gibt's nämlich nichts Derartiges. Das Problem können Sie natürlich einfach lösen, indem Sie einen entsprechenden (Dreh-)Schalter vor dem Lautstärkesteller vorsehen.

Beim Aufbau gilt es ein paar Dinge zu beachten, so sollten einige der passiven Komponenten unbedingt möglichst nahe an der Röhrenfassung montiert werden. Im Falle der Eingangsröhren betrifft das den Ein-Kiloohm-Gittervorwiderstand und alle Komponenten der Siebkette: Der 22-Kiloohm-Anodenwiderstand gehört direkt an die Fassung, die die drei Kondensatoren und die beiden Fünf-Kiloohm-Widerstände möglichst in unmittelbarer Nähe. Bei den Endröhren ist

die Montage der Gittervorwiderstände unmittelbar an den Röhren ebenfalls Pflicht. Die Endröhren werden ordentlich heiß, die beim Prototypen erkennbaren Lüftungslöcher im Chassis rund um die Röhren sind zwingend erforderlich. Ebenfalls nennenswert Leistung loswerden muss der MosFet in der Hochspannungsregelung; er muss auf alle Fälle ans Metallchassis geschraubt werden. Wer den Aufbau auf einem Holzbrett wagen will (was möglich ist, aber nicht unbedingt empfehlenswert), muss an dieser Stelle unbedingt einen ordentlichen Kühlkörper vorsehen.

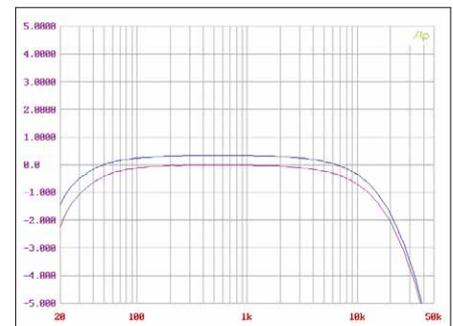
Wenn die mechanischen Klippen umschiff sind, gilt es sich der Kabelverlegung zu widmen. Sinnvollerweise beginnt man mit der Verdrahtung der Röhrenheizungen. Besonders die wechsellastungsgeheizten Endröhren sind diesbezüglich unbedingt mit verdrehten Leitungen ausreichenden Querschnitts zu versorgen. Üblicherweise kümmert man sich danach um Hochspannungs- und Gittervorspan-

nungsversorgung, die Signalverkabelung erfolgt als Letztes.

Das sollte die grundlegenden Schritte beim Aufbau abdecken. Sollten Sie von den bisherigen Ausführungen nur die Hälfte verstanden haben, ist das vermutlich nicht das richtige Projekt für Sie. Wenn Sie der Mut noch nicht verlassen hat – frisch ans Werk!

Messungen

Natürlich haben wir den „Achtzylinder“ auch einem kurzen Messtechnik-Check unterzogen. Im Labor benimmt sich das einfache Konzept sehr respektabel.



analog forum
KREFELD

analog – for me!, for you!, for us!

Forum exklusiv für die analoge Musikwiedergabe
über 80 Aussteller, mehr als 140 Marken

- Acapella • Acoustic System • AHP – Audiophile HiFi-Produkte • Air Tight • Analogenetraeger
- Atecama • ATC • Audeze • Audible Illusions • Audio Creativ • Audiomat • Audio Note • Audioconcept
- Audioplan • Audioquest • Audiospecials • Audio-Technica • Audiotrade • Audioweaks
- Audiovertrieb A.Staltmanis • Audition 6 • AVID • Axiss Europe • B&T hifi vertrieb • B.M.C Audio
- BAssocontinuo • B.A.T. • Blue Amp • Bluehorizon • Brieden-Verlag • Brobo HiFi • Bruder Jacob
- CanEVER AUDIO • Cantano • Carrot-EMT • Chisto • Clearaudio • Crayon • Croft • darklab
- Davis Acoustics • DelInformer • Denon • Derenville • Devore • DIAPASON • Dodocus Design
- Dr. Feickert Analogue • DRAABE Technologies • Dynavector • Edwards Audio • ELAC • EMT
- esc-Erfstadt • Eternal Arts • Euphonic Architect • fastaudio • Fann Music Service • Ferrograph
- Frans de Wit • Friend-of-Audio • Fuchs • Funk • Glanz • Gutwire • Halfspeed Krefeld • Harbeth
- Heed • H.E.A.R. GmbH • Hemiolia • HiFi-Zeile Worswede • Highendnovum • Holborne
- holz-akustik • Horn Audiophiles • Horns • Hörzone • IDC Klaassen • Ikeda • IKON Akustik
- Input Audio • ISOTek • Jadis • J.Sikora • Kelinac • LaMusika • Lautsprung • LEN HiFi
- Levindesign • Lyra • Magnum Dynalab • MalValve • Manger Audio • Manufaktur Kierschke
- Martina Schöner • Mastersound • MBakustik • MHW-Audio • MrSpeakers
- Musikelectronic Geithain • Musikammer • Nagaoka • Nottingham Analogue • Ortofon
- Phonobar • Plinius • Plixir • Primary Control • PMC • Pro-Ject • QED • Quad • Reed
- Rike Audio • Rudolph Audio Parts • Rossner • Sohn • Schick Liebethal • Shakti • Shure
- Shun Mook • Silberstatic • Silent Wire • SME • Solid Steel • Sony • So Real Audio
- Soulines • SPEG • Spondor Audio • Sperling Audio • SPL • STEREO • Stereokonzept
- SSC • Stax • Stein Music • STS Digital • STUdo • SWS-audio • Symposium Acoustics
- TAGA • Talk Electronics • Telos Audio Design • Tellurium Q • ToneTool
- Tonzonen Records • Transformer • Transrotor • Tube Audio Professional
- Valeur Audio • Valvet • van den Hul • Violectric • Voigt Audiosysteme
- Vortex HiFi • Vovox • VPI • Walter Kircher HiFi • Wand • Wolf von Langa
- WSS-Kabel • Zapletal Akustik • ZYX u.v.a.

03.11.–04.11.2018

Sa 10–18 Uhr; So 11–18 Uhr

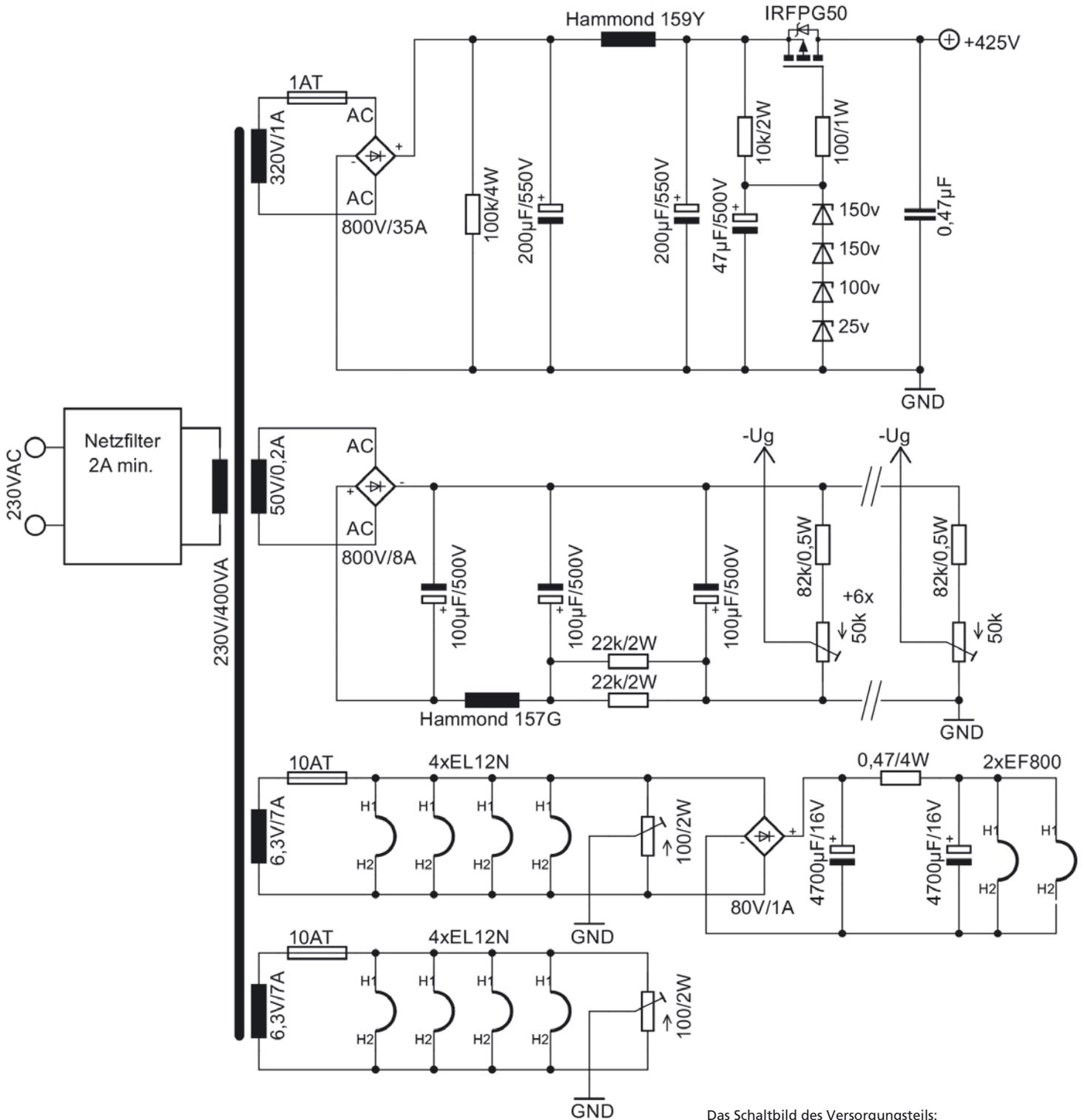
Hotel Mercure Krefeld-Traar

Eintritt frei

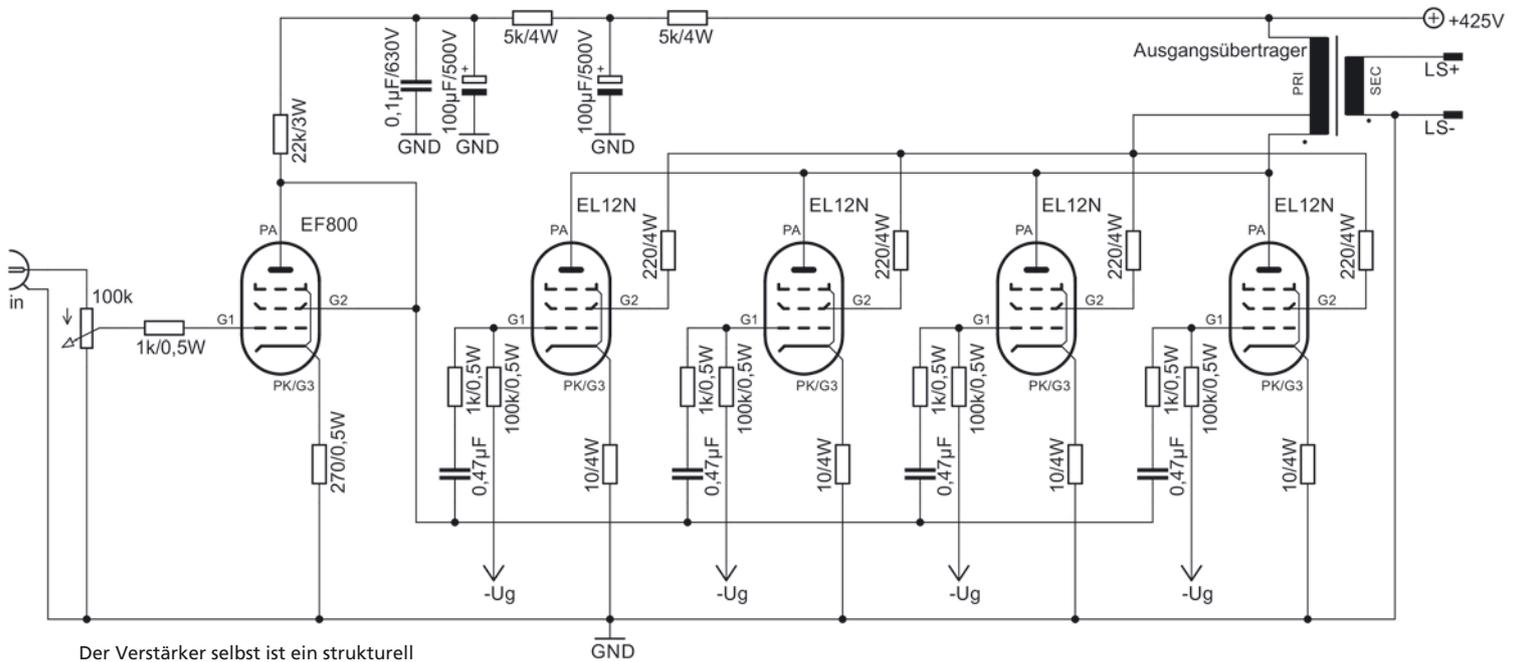


ANALOGUE AUDIO
ASSOCIATION

Infos: www.aanalog.de

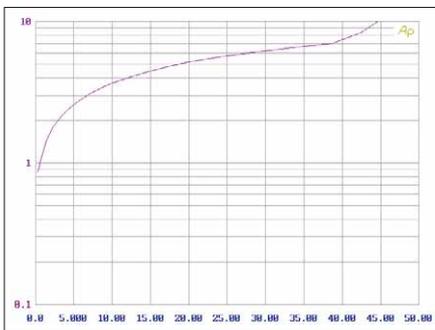


Das Schaltbild des Versorgungsteils:
 Beide Heizungsnetzteile haben ein „Entbrumpoti“ zur Einstellung auf minimalen Störgeräuschpegel



Der Verstärker selbst ist ein strukturell schlichtes zweistufiges Konzept

Der Frequenzgang sieht gut aus. Der Minus-drei-Dezibel-Punkt im Bass liegt deutlich unterhalb der 20-Hertz-Messgrenze, nach oben heraus geht's bis 25 Kilohertz. Bedenken Sie, dass es sich hier um einen Single-Ended-Verstärker mit Luftspalten in den Ausgangsübertragern handelt, was einer luxuriösen Breitbandigkeit nicht zuträglich ist. Die Kanalabweichungen liegen unter einem halben Dezibel – das ist klasse für ein Konzept ohne Über-Alles-Gegenkopplung.



Geringe Klirrwerte gibt's nur im Bereich kleiner Leistungen, das ist üblich bei Verstärkern dieser Art. Bei 5 Watt sind's vertretbare 2,5 Prozent, die Aussteuerungsgrenze an Acht-Ohm-Lasten liegt bei rund 40 Watt.

Die Störspannungsabstände bewegen sich in der Gegend von 80 Dezibel(A) bei einem Volt am Ausgang, die Kanaltrennung liegt in der gleichen Größenordnung. Zudem taugt das Gerät als Heizung: Es verbraucht rund 260 Watt Strom.

Klang

Das ist nicht meine erste Begegnung mit einem kräftigen Single-Ended-Verstärker, und die Ähnlichkeiten des „Achtzylinder-Sounds“ zu dem vergleichbarer Fertigprodukte sind unverkennbar: Es tönt extrem direkt, kräftig und stabil. Keine Spur von angeblich röhrentypischer Weichzeichneri, Halbleiterverstärker vergleichbarer Leistung wirken merklich „wackeliger“. Auffällig ist der Hang zu einer vollen, leicht theatralisch wirkenden Stimmenwiedergabe, im Raum geht's in allen Dimensionen ausladend zur Sache. Das funktioniert weitgehend unabhängig vom Wirkungsgrad der Lautsprecher, auch 85-Dezibel-Boxen lassen sich hiermit ausgesprochen beeindruckend versorgen.

Holger Barske



Der Aufbau des Prototypen ist in Sachen Abmessungen am unteren Ende des Möglichen angesiedelt

Röhrenverstärker „Achtzylinder“

Konstruktion:	Michael Kaim, BTB-Elektronik
Funktionsprinzip:	Parallel Single-Ended
Röhrenbestückung:	2 x EF800, 8 x EL12N
Ausgangsleistung an acht Ohm:	5-40 Watt
B x H x T:	310 x 75 x 381 mm Minimum
Kosten:	ab ca. 900 Euro