

# Röhren-Preamp

## Line-Vorverstärker mit ECL86

Von Gerhard Haas

Die gute alte Vakuumröhre erlebt eine Renaissance. Wir stellen deshalb einen röhrenbestückten Line-Vorverstärker vor, der sich zweifellos zur High-end-Klasse zählen darf.



Im High-End-Bereich erfreuen sich Röhrenverstärker einer ungebrochenen Beliebtheit. Obwohl mit modernen Halbleitern sehr viel machbar ist, die gute alte Vakuumröhre ist im gehobenen Audiobereich nach wie vor hochaktuell. In Heim- wie in Studiogeräten werden vermehrt mit Röhren bestückte Geräte wie Kompressoren, Equalizer, einfache Verstärkerstufen, Filter und Ähnliches benutzt.

Damit erzielt man einen wärmeren, gefälligeren Klang, als es alleine durch die sterile Halbleitertechnik möglich wäre. Gerade das Digitalzeitalter gibt sehr vielen Aufnahmen eine unangenehme Schärfe, die durch gezielt und konsequent eingesetzte Röhrentechnik gemildert werden kann. Mit dem hier vorgestellten

Vorverstärker klingen CDs meist angenehmer als ohne. Der in dieser Bauanleitung vorgestellte Vorverstärker ist kompromisslos gebaut. Im Signalweg befinden sich nur Röhrensysteme, Hilfsfunktionen werden durch Halbleiter erledigt. Auf diese Weise ergänzt eine Technologie die andere. Im Signalweg wer-

den deshalb auch konsequenterweise keine Halbleiter zur Signalumschaltung verwendet.

### Die Röhre bestimmt das Konzept

Die Wahl des verstärkenden Elements, der Röhre, bestimmt im Wesentlichen die Topologie der Schaltung. Bei der geringen Auswahl von Röhrentypen haben sich ein paar Grundkonstruktionen durchgesetzt, die aber zum Teil mit erheblichen Nachteilen zu kämpfen haben.

So ist der typische Vorverstärker mit Doppeltrioden wie ECC81, ECC82, ECC83, ECC88 und ähnlichen Röhren bestückt. Die ECC 83 besitzt eine hohe Leerlaufverstärkung, aber nur einen geringen Arbeitsstrom von etwa 1-1.5 mA. ECC 81 und ECC82 weisen weniger Verstärkung auf, können aber mit Strömen bis zu 10 mA betrieben werden. Die meist in Fernsehtunern eingesetzte ECC 88, (oder die äquivalente PCC 88) wird aber auch gern für NF-Zwecke gebraucht, da sie mit einem Arbeits-

strom bis 15 mA bei nur 90 V Betriebsspannung aufwarten kann. Zwei hintereinander geschaltete Doppeltrioden bringen aber viel mehr als die heutzutage notwendige Verstärkung und gleichzeitig zu wenig Strom. Zur Verringerung des Ausgangswiderstands wird dann oft ein Röhrensystem als Kathodenfolger eingesetzt, was den dynamischen Ausgangswiderstand zwar deutlich, aber nicht völlig verringert.

**Bild 1** zeigt einen typischen Kathodenfolger mit einer ECC 83. Der dynamische Ausgangswiderstand  $R_a$  beträgt mit den für die ECC 83 typischen Werten:

Leerlaufverstärkung  $\mu = 100$   
 Innenwiderstand  $R_i = 62,5 \text{ k}\Omega$   
 Anodenstrom  $I_a = 1 \text{ mA}$   
 Kathodenwiderstand  $R_k = 47 \text{ k}\Omega + 1,5 \text{ k}\Omega$

$$R_a = \frac{R_i \cdot R_k}{R_i + R_k \cdot (\mu + 1)}$$

$$R_a = \frac{64,5 \cdot 48,5}{62,5 + 48,5 \cdot (100 + 1)} = 611 \Omega$$

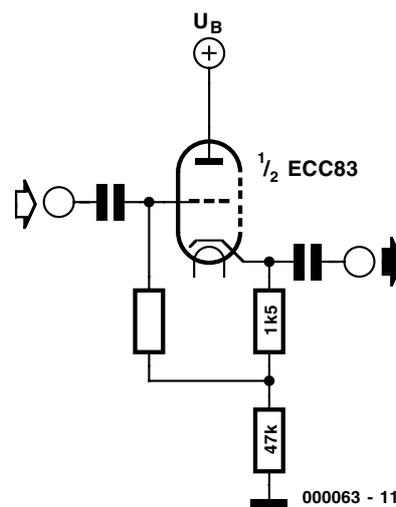
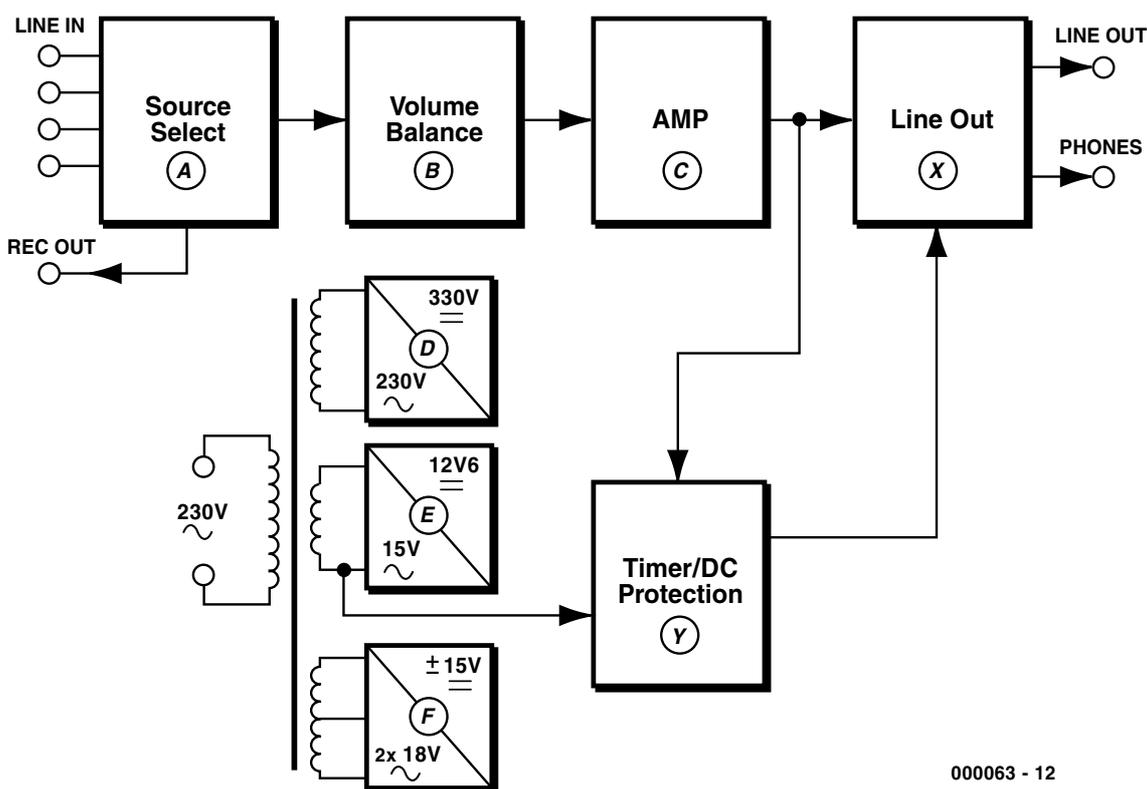


Bild 1. Eine übliche Röhren-Vorverstärker-Konfiguration mit einer ECC83 für beide Kanäle.

Damit hat man einen vermeintlich niedrigen Ausgangswiderstand. Tatsächlich bestimmt jedoch (streng genommen nur bei Übersteuerung) der gesamte Kathodenwiderstand (48,5 kΩ) beziehungsweise der Innenwiderstand der Röhre den wirksamen Ausgangswiderstand der Anordnung. Geht man von



000063 - 12

Bild 2. Blockschaltbild des modular aufgebauten Vorverstärkers.

einem gesamten Schalt- und Kabelwiderstand von nur 500 pF aus, wie es schnell bei Kabellängen von einigen Metern zustande kommt, wird bei 20 kHz der Abfall 14 dB betragen. Deshalb findet man oft die Empfehlung, Kabellängen auf 1,5 m zu begrenzen und möglichst niederkapazitive Kabel einzusetzen. Damit wird zwar an den Symptomen gebastelt, keineswegs aber die Ursache bekämpft. Die Klangunterschiede durch verschiedene Kabeltypen sind in solchen Fällen durch die Verstärkerkonstruktion vorgegeben. Die Verwendung einer Röhre für beide Kanäle stellt eine Fehlkonstruktion aus den Anfängen der Stereo-HiFi-Technik dar, der sich bis heute hartnäckig gehalten hat. Durch kapazitives Übersprechen im Kolben wie auch an der Sockelbeschriftung nämlich leidet die Kanaltrennung und damit Räumlichkeit und Detailauflösung erheblich.

Röhrenverstärker werden oft ohne Gegenkopplung betrieben. Dies mag im Monozeitalter problemlos gewesen sein, wenn jedoch eine ordentliche Stereowiedergabe gewährleistet sein soll, garantiert nur eine straffe Gegenkopplung den Gleichlauf beider Kanäle - unabhängig von Röhrentoleranzen. Der Klirrfaktor bleibt selbst bei hoher Aussteuerung sehr niedrig und der Frequenzgang wird glatt. Damit ist auch die Forderung nach möglichst geringen Fehlern im Vorverstärker erfüllt. Der hier vorgestellte Vorverstärker geht deshalb einen anderen, etwas ungewöhnlichen Weg. Ein idealer Verstärker weist einen hohen Eingangswiderstand, eine hohe Leerlaufverstärkung und einen niedrigen Ausgangswiderstand auf, wie dies Operationsverstärker in Halbleitertechnik leicht erfüllen. Bei Röhren ist die Sache weitaus schwieriger. Um die oben genannten Konstruktionsmängel zu vermeiden, wird eine Doppelröhre des Typs ECL86 eingesetzt, die über ein Triodensystem verfügt, das exakt einer ECC83 entspricht. Das Pentodensystem kann als Leistungsverstärker bei einem Anodenstrom von 36 mA bei 10 % Klirrfaktor eine Leistung von 4 W abgeben. Wenn man ein Triodensystem und ein Pentodensystem richtig verknüpft, erhält man eine Art Röhren-Operationsverstärker mit ähnlich günstigen Eigenschaften wie ein moderner Halbleiter-Opamp.

### Ein modulares Prinzip

In **Bild 2** ist ein Blockschaltbild des Vorverstärkers für einen Kanal gezeigt. Hier wurde das modulare Prinzip angewandt, alle Funktionsgruppen finden sich auf getrennten Platinen wieder. Der Verstärkerzug besteht aus vier Abteilen, dem Eingangswahlschalter, der Lautstärke/Balance-Einstellung, dem eigentlichen Vorverstärker sowie einem Umschalter

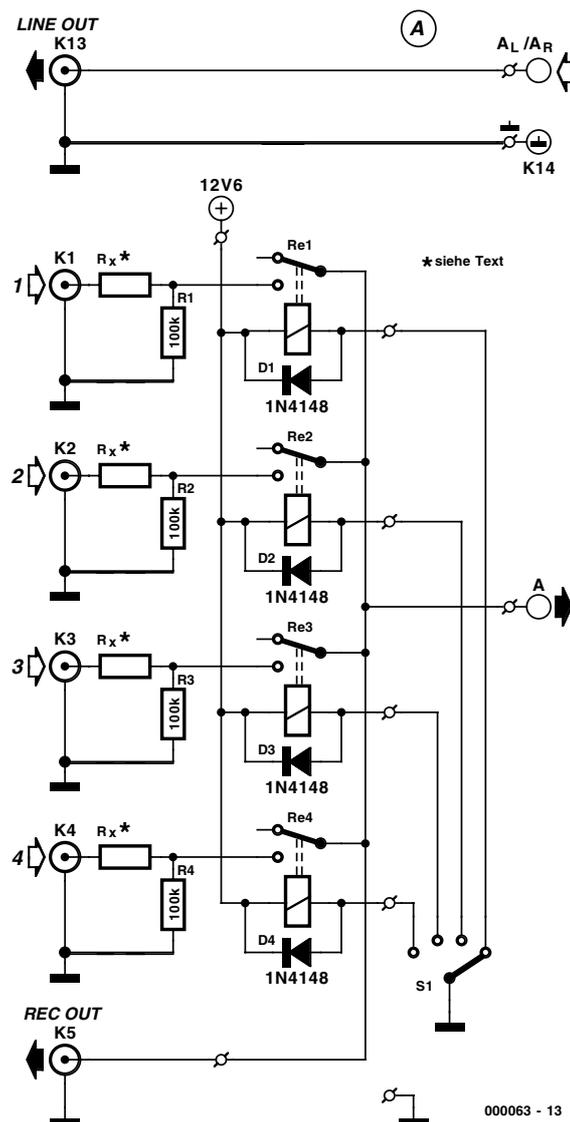


Bild 3. Die Verbindung nach draußen: die Schaltung der Relaisplatine mit Ein- und Ausgängen.

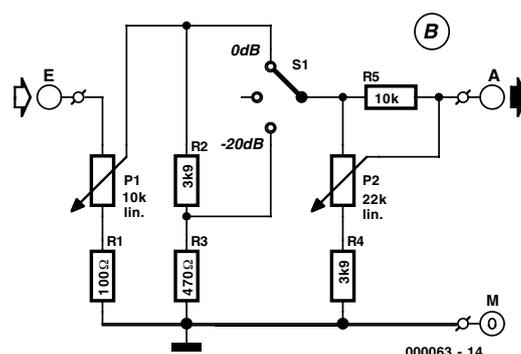


Bild 4. Hier wird Lautstärke und Balance eingestellt.

zwischen Kopfhörer- und Line-Ausgang. Eine Schutz- und Verzögerungsschaltung schaltet die Ausgänge auf Masse, wenn sie im Ausgangssignal einen Fehler entdeckt. Die Stromversorgung ist ausgelagert. Der modulare Aufbau erlaubt nicht nur Modifikationen der Schaltung, sondern verspricht auch sehr gute Werte für Kanaltrennung und Störabstand. Dies tröstet über den erhöhten Verdrahtungsaufwand hinweg. Bei der nachfolgenden Beschreibung der einzelnen Funktionsgruppen entspricht die Bauteilnummerierung dem Bestückungsaufdruck der Platinen. Anders als in Elektor üblich sind nicht die Bauteile der gesamten Schaltung durchnummeriert, die Zählweise beginnt stattdessen für jede Platine von neuem. Die Verstärkerkette ist nur mit einem Kanal dargestellt, die Nummerierung für den anderen Kanal ist entweder in Klammern angegeben oder weist einen Beistrich (') auf.

**EINGANGSWAHL MIT RELAIS**

Die Eingangs-Relais-Abteilung in Bild 3 ist für vier Signalquellen K1...K4 (K5...K9) ausgelegt, die durch die Single-In-Line-Reedrelais Re1...Re4 (Re5...Re8) auf eine gemeinsame Leitung geschaltet werden. Durch den konsequent abgeschirmten und getrennten Aufbau dieser Platine wird bereits hier für höchste Kanaltrennung gesorgt. Jede Eingangsbuchse wird mit einem 100-kΩ-Widerstand R1...R4 (R5...R8) abgeschlossen, der statische Ladungen nach Masse ableitet und Knackstörungen beim Umstecken und Umschalten der Signalquellen vermeidet. Die Widerstände Rx können bei Signalquellen mit unterschiedlichen Pegeln eingesetzt und nach Belieben und Bedarf dimensioniert werden. Allerdings ist darauf zu achten, dass der Serienwiderstand den Quellwiderstand für den Rekorderausgang K5 (K7) darstellt. Ist der Widerstand zu hochohmig, ist mit Höhenverlusten zu rechnen. Die aus der +12,6-V-Gleichstromheizung K6 versorgten 12-V-Relais werden durch Stufenschalter S1 geschaltet, der an Löt-nägeln angeschlossen wird.

Mit auf der Platine, aber elektrisch völlig getrennt, befinden sich die Line-out-Buchsen K13 (K15) samt

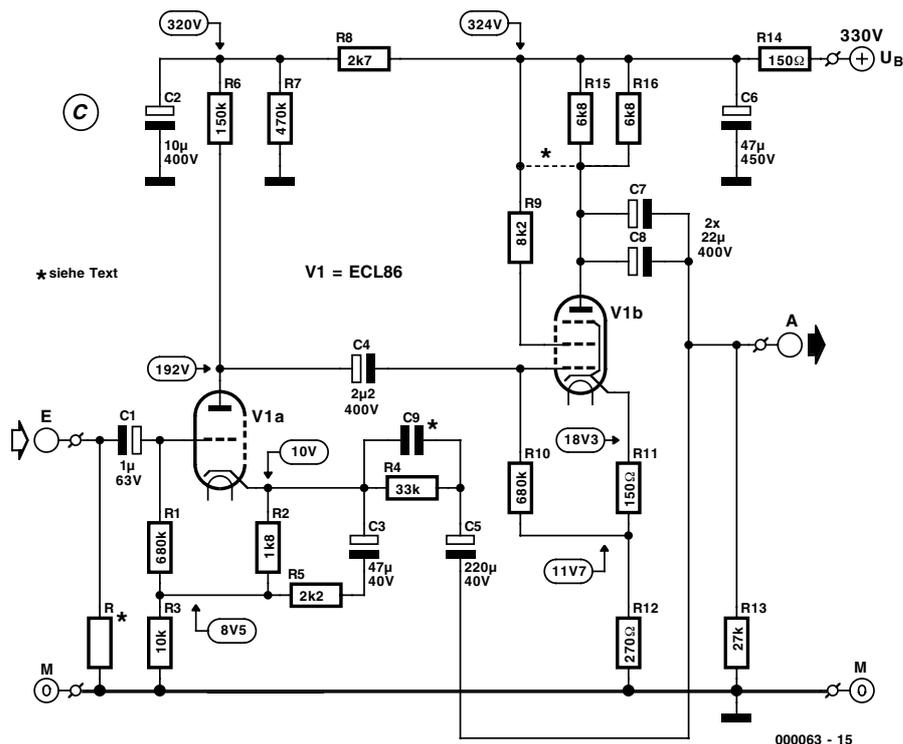


Bild 5. Das Highlight ist die röhrenbestückte Verstärkerstufe.

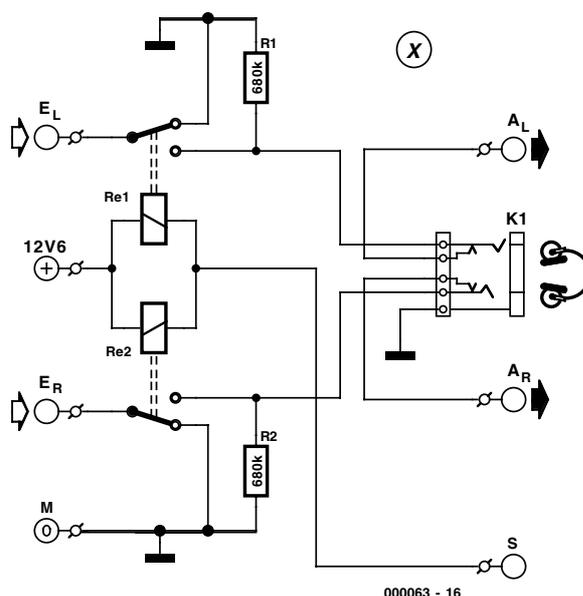


Bild 6. Schalter für Kopfhörer und Line-Ausgänge.

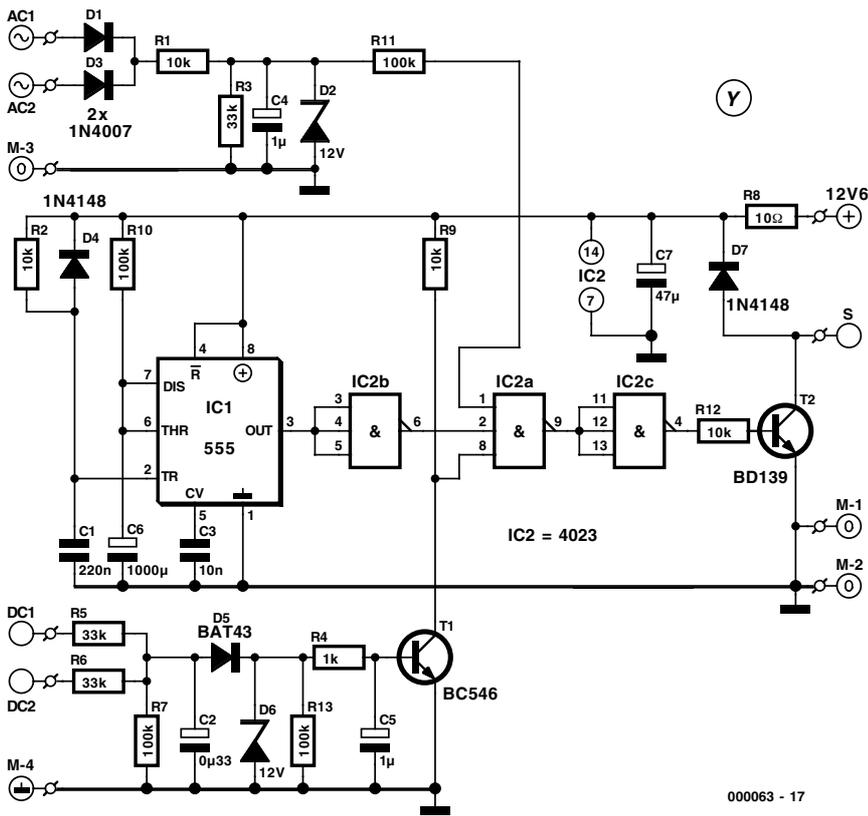


Bild 7. Die Schutzschaltung überwacht den Zustand des Vorverstärkers und schaltet die Ausgangsrelais.

Masseanschlüssen K14 (K16). Die Rekorder-Ausgangsbuchsen müssen extern angebracht werden, man schließt sie an den Löt-nägeln K5 und K7 (Masse an K17) an.

**LAUTSTÄRKEEINSTELLUNG**

Von Anschluss K5 (K7) der Relaisplatte wird das Signal auch zum Schaltungsteil in **Bild 4** zur Einstellung von Lautstärke, Balance und Muting geführt. Die eingesetzten Potis mit 41 Raststellungen erreichen eine gute Wiederholgenauigkeit, außerdem besitzt der Balancesteller eine feste Mittelstellung. Durch den Mutingschalter S1 wird der Einstellbereich gespreizt, so dass auch kleine Lautstärken feinfühlig eingestellt werden können. Wem der Sprung von 20 dB nicht passt, kann die Widerstände umdimensionieren. Die Summe von R2 (3,9 kΩ) und R3 (470 Ω) sollte in etwa gleich bleiben, die Werte können nach Bedarf geändert werden. In der Mittelstellung des Mutingschalters ist der Signalweg unterbrochen, der Ausgang stummgeschaltet. Die Kennlinie des linearen (und deshalb gut gleichlaufenden) Lautstärkepotis P1 wird durch R1 zwischen Fußpunkt des Potis und Masse ein wenig "verbogen". Dadurch kom-

penziert man die fertigungsbedingten Kanalungleichheiten im Anfangsbereich des Potis. Mit diesem Lautstärkesteller lässt sich der Pegel allerdings nicht mehr völlig auf Null bringen.

Der Balance-Steller P2 besitzt durch R4/R5 einen Einstellbereich von etwa +3 dB bis -4 dB, was für eine Mittenkorrektur völlig ausreicht. Mit der angegebenen Dimensionierung bei Mittelstellung des Balance-Stellers und mit den 100-kΩ-Widerständen der Relaisplatte erhält man einen Eingangswiderstand von rund 2,2 kΩ. Dies ist ein für alle modernen Signalquellen angemessener Wert und niederohmig genug, um die Störempfindlichkeit und das Gesamttrauschen niedrig zu halten.

**DER VERSTÄRKER**

Die Verstärkerabteilung in **Bild 5** macht einen schon vertrauten Eindruck. R01a ist der Triodenteil (1/2 ECC83) der ECL 86. Der Gleichstromarbeitspunkt ist durch R2 auf

knapp 1 mA eingestellt. Das verstärkte Signal gelangt über C4 auf den Pentodenteil R01b. Beide Röhrensysteme sind nicht wie üblich beschaltet, Kathoden- wie Gitterableitwiderstände nicht direkt, sondern über je einen Widerstand (R3 und R12) an Masse gelegt. Dadurch wird jedes System für sich gegengekoppelt. Dies zwingt die Röhrensysteme streng in festgelegte Arbeitspunkte, so dass auf Selektieren der Röhren verzichtet werden kann. Der Arbeitswiderstand von R01b besteht aus den beiden parallelen Widerständen R15 und R16 (6,8 kΩ/4,5 W). So verteilt sich die nicht unerhebliche Verlustleistung gleichmäßig auf zwei Bauteilgehäuse. Über die parallel geschalteten 22-μF-Kondensatoren C7 und C8 wird das Signal ausgekoppelt. Hier bewirkt die Parallelschaltung gegenüber einem einzelnen 47-μF-Kondensator eine Halbierung der ESR (Ersatz-Serien-Resonanz-Widerstand), was der Hochtonübertragung zugute kommt. R13 leitet statische Spannungen ab. Damit die Schaltung definierte Eigenschaften erhält, wird das Ausgangssignal über C5 und R4 gegengekoppelt. Die Grundverstärkung von R01a hängt vom Arbeitswiderstand R6, der Betriebsspannung (Spannung an C2) und der Kathodenbeschaltung ab. R2 und R5 sind wechselstrommäßig parallel geschaltet. Die Verstärkung wird durch das Verhältnis der Parallelschaltung von R2 und R5 zu R4 bestimmt. Wer die Grundverstärkung ändern will, kann R5 oder R4 ändern. Hierbei gilt: Je kleiner R5 oder je größer R4, desto größer ist die Verstärkung. C5 trennt Gleich- von Wechselstrom, so dass sich der Gleichstromarbeitspunkt von R01a nicht verschieben kann. Für eine andere Verstärkung darf R2 nicht verändert werden, da sonst der Gleichstromarbeitspunkt in unzulässiger Weise verschoben wird. Die Betriebsspannung +U<sub>B</sub> von 330 V wird von R14 und C6 entkoppelt und gesiebt, um Kanalübersprechen über die Betriebsspannung zu vermeiden. Über R8 und C2 wird für R01a die Betriebsspannung weiter entkoppelt und gesiebt. R7 dient als Entladewiderstand und sorgt für vollständige Entladung der Hochvoltelkos nach Abschalten der Betriebsspannung.

**VARIANTEN**

Der Eingangswiderstand R kann weggelassen werden, da Lautstärke- und Balancesteller statische Spannung ableiten. Wird der Verstärkerteil jedoch anders eingesetzt, kann man je nach Bedarf einen beliebigen Wert einsetzen. Die gekennzeichnete Verbindung zwischen R9 und der Anode von RÖ1b ist nur zu legen, wenn man die Pentode in Quasitriodenschaltung betreiben will. Die Widerstandskombination R15/R16 wird dabei überbrückt, R9 entfällt natürlich.

Wer mit dem Klang des Vorverstärkers experimentieren will, kann beide Varianten ausprobieren. Bei der hier beschriebenen Bauanleitung wird nur R9 bestückt. Auch der Kondensator C9 entfällt normalerweise und wird nur zur Frequenzgangkompensation und Unterdrückung von Schwingneigung eingesetzt, falls dies nötig ist.

**LINE ODER KOPFHÖRER**

Die ECL86 als Vorverstärkerröhre hat einen weiteren Vorteil: Das Pentodensystem kann eine Ausgangsleistung von 4 W liefern. Diese Eigenschaft kann ausgenutzt werden, indem man zwischen Verstärkerausgang und Line-Ausgang eine Klinkenschaltbuchse (K1) einschleift. Wenn dann ein Kopfhörer angeschlossen wird, schaltet sich automatisch der Line-Ausgang ab. Der relativ stromstarke Pentodenteil der ECL86 kann Kopfhörer ab einer Impedanz von 300 Ω problemlos auch an langen abgeschirmten Kabeln treiben, ohne dass mit Klangeinbußen gerechnet werden muss. Normale abgeschirmte Kabel sind dabei völlig ausreichend.

Der Schaltungsteil in Bild 6 besteht außerdem aus zwei Relais, die von der Schutzschaltung gesteuert werden. Die Widerstände (680 kΩ) leiten statische Spannungen nach Masse ab.

**SCHUTZ IN ALLEN FÄLLEN**

Die Schutzschaltung in Bild 7 erfüllt gleich mehrere Aufgaben. Drei Bedingungen müssen erfüllt sein, um den Vorverstärker "online" zu schalten

Beim Einschalten des Verstärkers sind die Ausgänge zunächst über die Relaisausgänge kurzgeschlossen

sen. Der Timerausgang Pin 3 von IC1 geht nach etwa 100 s auf LOW, wenn die Röhren sicher angeheizt und alle Ladevorgänge abgeschlossen sind. Damit vermeidet man Brummen, Blubbern oder sonstige Störgeräusche im Lautsprecher während der Warmlaufphase des Vorverstärkers. Der Inverterausgang IC2B legt dann den Eingang 1 des NAND-Gatters IC2a auf HIGH. Liegt an den direkt an der Heizwicklung angeschlossenen Pins AC1 und AC2 Spannung - D1 und D3 berücksichtigen beide Halbwellen der Netzfrequenz - wird C4 über R1 auf 12 V (D2) geladen. Eingang 1 von IC2A führt dann HIGH-Pegel. Über die Anschlüsse DC1 und DC2 wird der Gleichspannungsanteil beider Ausgangssignale ermittelt und abgefragt, ob Gleichspannung anliegt, wenn beispielsweise ein Auskoppelko durchschlägt. Die Wechselspannungsanteile werden von C2 kurzgeschlossen, wobei R7 den Kondensator entlädt und damit die Zeitkonstante der Überwachung festlegt. Liegt eine Gleichspannung von mehr als etwa 1,3 V an, wird T1 über die Diode D5 und R4 geöffnet und

sichtigen beide Halbwellen der Netzfrequenz - wird C4 über R1 auf 12 V (D2) geladen. Eingang 1 von IC2A führt dann HIGH-Pegel. Über die Anschlüsse DC1 und DC2 wird der Gleichspannungsanteil beider Ausgangssignale ermittelt und abgefragt, ob Gleichspannung anliegt, wenn beispielsweise ein Auskoppelko durchschlägt. Die Wechselspannungsanteile werden von C2 kurzgeschlossen, wobei R7 den Kondensator entlädt und damit die Zeitkonstante der Überwachung festlegt. Liegt eine Gleichspannung von mehr als etwa 1,3 V an, wird T1 über die Diode D5 und R4 geöffnet und

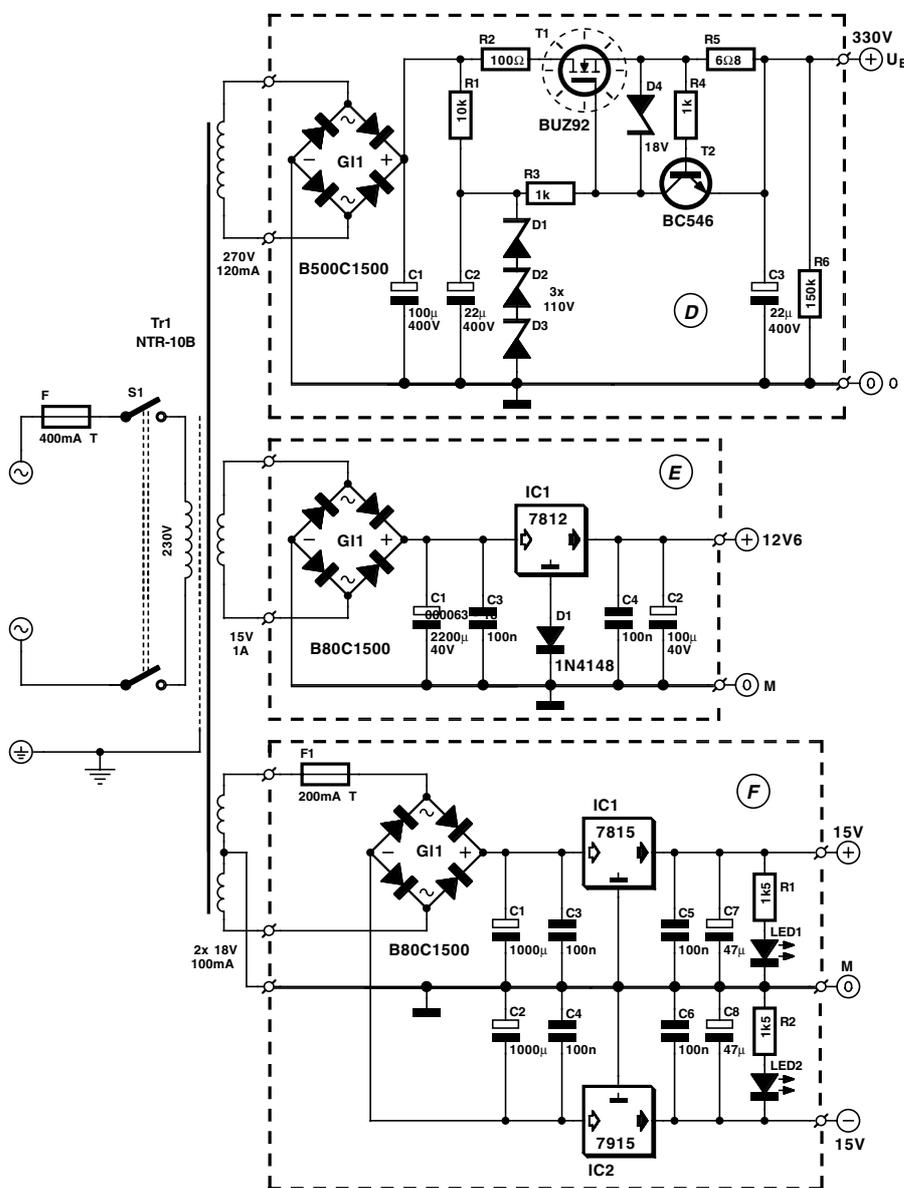


Bild 8. Eine Kombination aus Hochspannungs-, Kleinspannungs- und optionalem Netzteil.

damit Eingang 8 des Gatters IC2a auf LOW gezogen. Eine Schottky-Diode mit niedriger Durchlassspannung garantiert ein Ansprechen schon bei sehr niedrigem Gleichspannungsanteil. Nur wenn keine nennenswerte Gleichspannung vorhanden ist, sperrt T1, so dass R9 den Gattereingang 2 auf HIGH zieht. R13 sorgt dafür, dass T1 in diesem Fall sicher sperrt. D6 begrenzt die maximale Spannung, die an die Basis von T1 gelangen kann. R4 und C5 bewirken eine kurze Verzögerung, damit die Schaltung nicht gleich bei jeder kleinsten Störung anspricht.

Nur wenn diese drei Bedingungen erfüllt sind und alle Eingänge des Gatters auf HIGH liegen, gibt die Schutzschaltung über Inverter IC2c und den Transistortreiber T2 die Ausgangsrelais frei.

Wird der Netztrafo abgeschaltet, fällt Eingang 1 des Gatters nahezu sofort auf Low und bewirkt, dass die Ausgangsrelais unmittelbar abfallen, so dass keine Störspannungen auf nachfolgende Geräte während der Entladephase der Kondensatoren übertragen werden. Der Reset-Schaltkreis R2, D4 und C1 setzt den Timer IC1 auch nach kurzzeitigem Abschalten der Netzspannung zurück, so dass jedes Mal die volle Verzögerungszeit durchlaufen wird. Die Verzögerungszeit lässt sich an R10 und C6 ändern. Die Verzögerungszeit beträgt  $t = 1,1 \cdot R \cdot C$ . Die Schutzschaltung wird vom Heizspannungsnetzteil mit 12,6 V betrieben.

## Ein Trafo - drei Netzteile

Damit ein Vorverstärker ordentlich funktioniert, ist eine gute Stromversorgung unbedingt notwendig. Bei dem relativ geringen Strombedarf des Verstärkers kann mit modernen Halbleitern preiswert eine sauber gesiebte und stabilisierte Stromversorgung aufgebaut werden. In **Bild 8** ist die gesamte Netzteilschaltung zusammengestellt. Auch hier gibt es wieder gestrichelt umrandete Schaltungsteile, die einzelnen Platinen entsprechen.

Der Vorverstärker benötigt eine Hochspannung für die Röhren sowie eine kleine Gleichspannung für die Röhrenheizungen, die Relais und die Halbleiterelektronik. Diese und noch mehr Spannungen liefert der primärseitig mit zwei trägen 0,4-A-Schmelzsicherungen geschützte Netztrafo NTR-10 B, der aus besonders streu- und verlustarmen, kornorientierten 0,35 mm starken Blechen gefertigt ist, wie sie sonst nur für hochwertige NF-Übertrager verwendet werden. Durch saubere Lagenwicklung und Vakuumtränkung, was bei Ringkerntrafos nicht möglich ist, wird Langzeitstabilität, Korrosionssicherheit und Brummfreiheit gesichert. Das Tränk-

harz dringt in den Trafowickel ein und sichert jede einzelne Windung dauerhaft. Eine Prüfung auf 4000 V Spannungsfestigkeit zwischen Primär- und Sekundärwicklungen sowie ein statischer Schirm, der an den Schutzleiter gelegt wird, sorgen für elektrische Sicherheit. Klar, dass ein solcher High-end-Trafo nicht im Elektronik-Supermarkt erhältlich ist, sondern speziell für den Röhren-Preamp gefertigt wird.

Oben im Schaltbild ist der Hochspannungsteil zu sehen. Die Schaltung siebt den Brumm unter das Niveau des Eigenrauschens. R1 und D1...D3 erzeugen eine gute Referenzspannung in Höhe von 330 V. Der Längsregeltransistor T1 ist ein Hochleistungs-V-FET vom Typ BUZ92 im TO-220-Gehäuse. Dadurch ist ein kompakter Aufbau der Hochspannungsversorgung mit kleinem Kühlkörper möglich. Der Kühlkörper sitzt mit auf der Platine, was kurze Wege bei der Hochspannungsführung ermöglicht. R5, R4 und T2 bilden die Strombegrenzung, die bei der angegebenen Dimensionierung auf etwa 90 mA eingestellt ist. R6 entlädt nach dem Abschalten des Stroms die Elkos. Die Z-Diode D4 begrenzt die Gate-Spannung von T1, die 20 V nicht überschreiten darf.

Um Brummeinstreuungen zu vermeiden, wurde die Heizung auf Gleichstrom ausgelegt. Das oft gehörte Vorurteil, dass Gleichstromheizung für die Röhren schädlich sein soll, ist schlichtweg Unsinn. Der Heizfaden muss nur auf eine bestimmte Temperatur gebracht werden, damit die Kathode genügend Elektronen abgeben kann. Ob die Temperatur durch Gleichstrom oder Wechselstrom erzeugt wird, spielt letztendlich keine Rolle. Der krumme Wert von 6,3 V für die Röhrenheizung stammt übrigens noch aus der Frühzeit der Röhrentechnik, als die Röhrenheizungen mit vier Zink-Kohle-Batterien betrieben wurden. Damit die Heizfäden der für damalige Verhältnisse sehr teuren Röhren nicht gleich durchbrennen, da neue Batterien Klemmenspannungen von mehr als 1,5 V besitzen, wurden eine Marge von 0,3 V gewählt.

Die beiden ECL 86 benötigen jeweils 0,66 A bei 6,3 V. Damit die Verluste in der Heizung gering blei-

ben, wurden beide Heizfäden in Reihe geschaltet. Mit einem 12-V-Spannungsregler, angehoben durch eine 1N4148 an seinem Fußpunkt, erhält man eine einfach aufgebaute, aber gute 12,6-V-Gleichspannungsversorgung für die Heizung. Daraus werden auch die Relais für die Eingangsumschaltung betrieben. Als Kühlkörper für den Spannungsregler, der isoliert montiert werden muss, wird die Alu-Montageplatte ausgenutzt.

Unten in der Schaltung ist noch ein symmetrisches Netzteil mit  $\pm 15$  V eingezeichnet. Dieses ist nicht notwendig und deshalb optional. Mit der symmetrischen Spannung lassen sich externe Geräte wie zum Beispiel Entzerrervorverstärker und Ähnliches aus einer erdfreien Spannungsquelle versorgen. Wenn im Vorverstärker gleich eine derartige Spannungsquelle vorhanden ist, spart man separate Steckernetzteile mit samt den Kabeln und kann die externen Zusatzgeräte gleich vom Vorverstärker aus mit an- und abschalten. Auch für diese Spannungsregler, die isoliert montiert werden müssen, wird die Alu-Montageplatte als Kühlkörper genutzt. Die Versorgungsspannung ist vom Trafo her über zwei zusätzliche Schmelzsicherungen abgesichert.

(000063-1)rg

*Der zweite Teil des Artikels liefert Platinenlayouts, Bestückungspläne, Stücklisten, eine genaue Anleitung zum Aufbau des Vorverstärkers und natürlich ausgiebige Messergebnisse.*

### Literatur:

*High-End mit Röhren, Elektor-Verlag (Theorie, Praxis, Meßtechnik und erprobte Schaltungen mit Bauanleitung)*

*Das große Röhren-Handbuch, Franzis-Verlag (Röhrendaten, Kennlinien, Anschlußbilder, Grundschaltungen, Theorie)*

*Röhren-Taschen-Tabelle, Franzis-Verlag (Röhrenkurzdaten mit Anschlußbildern)*