

RÖHRENVERSTÄRKER



VDV-PR20HE: Symmetrischer Röhrenverstärker mit 73 Watt

VON MENNO VAN DER VEEN

Diese mehr als 70 Watt starke Röhrenendstufe war ursprünglich als Gitarrenverstärker geplant. Nach ein paar Schaltungsänderungen lässt sich das Gerät jedoch auch zur high-end-gerechten Wiedergabe im heimischen Wohnzimmer nutzen. Die Gestaltung der Endstufe erfolgte in Zusammenarbeit mit Personal Audio Concepts. Durch die besondere Art der lokalen Gegenkopplung werden ein niedriger Klirrfaktor und eine besonders gute Basswiedergabe erreicht. Die Endstufe vermittelt ein lebendiges Klangerlebnis und versetzt den Zuschauer, rein akustisch, mitten ins Geschehen.

Was macht Röhrenendstufen so interessant? Sind es wirklich nur die Röhren? Im Jahre 2004 begann ich, Schaltungen von Verstärkern zu variieren und den Einfluss dieser Änderungen zu untersuchen. Dazu entwickelte ich einen universellen Verstärker mit Ausgangstrafo und Netzteil. Bereits durch das Verändern einiger Drahtverbindungen entstanden völlig verschiedene Verstärker mit Leistungen zwischen 5 und ungefähr 80 Watt, einschließlich spezieller Kopplungen wie zum Beispiel Eintakt- und Gegentaktstufen. (siehe auch 1 und 5).

In diesem Artikel beschreibe ich den 73-Watt-Verstärker „Projekt 20“, der aus meinen Untersuchungen als Sieger hervorging. Nach einer nachträglichen Bearbeitung entstand daraus die hier besprochene „De Luxe High-End-Version“ mit der Bezeichnung VDV-PR20HE.

■ Das Schaltbild

Bild 1 zeigt das Schaltbild des Verstärkers. Der Eingang links ist symmetrisch und kann zum Beispiel mit

einem Vorverstärker mit symmetrischem XLR-Ausgang verbunden werden. Nach einer kleinen Änderung lassen sich auch asymmetrische Leitungen an den Eingang „+in“ anschließen. Mehr dazu unter den Hinweisen für R3 und R7 im Schaltbild.

Der mit einer ECC81 aufgebaute und nach dem Long-tailed-Prinzip arbeitende Eingangsverstärker dient gleichzeitig als Phasendreher.

Mit der gemeinsamen Kathode wurde mittels R6 eine Stromquelle simuliert, wobei die hohe negative, effektive Spannung V_n von -72 V zur Anwendung kommt.

Zur Begrenzung des Frequenzbereiches dieser Stufe können die beiden Anoden der ECC81 über den Kondensator C1 (100 pF/500V) miteinander verbunden werden. Dadurch wirkt sich die Resonanz von etwa 90 kHz im universellen Ausgangstrafo nicht mehr so stark aus. Da sich der Einsatz dieses Kondensators jedoch akustisch nicht bemerkbar macht, kann er natürlich auch weggelassen werden.

Nach der Vorverstärkung und Phasendrehung wird das Signal über die Kondensatoren C3 und C4 zu den Endröhren geführt. Die Schaltung wurde für den Typ EL156 optimiert. Die maximale Anodenverlustleistung von 50 W erlaubt einen hohen Ruhestrom (Klasse A) durch diese Röhren. Auch die Endröhren 6550-C von Svetlana ($P_{a,max} = 40 \text{ W}$) sind hervorragend für diese Schaltung geeignet (siehe Anhang).

Die durch die Endröhren fließenden Ruhestrome werden mit den 10-Gang-Spindelpotis P12 und P13 eingestellt. Dadurch wird eine negative Vorspannung zu den Steuergittern der Röhren geleitet.

In den Kathodenleitungen befinden sich die Widerstände R17 und R18 mit ihren Testpunkten. Über jedem der beiden Widerstände muss eine Spannung von 50 mV gemessen werden, wenn der Ruhestrom

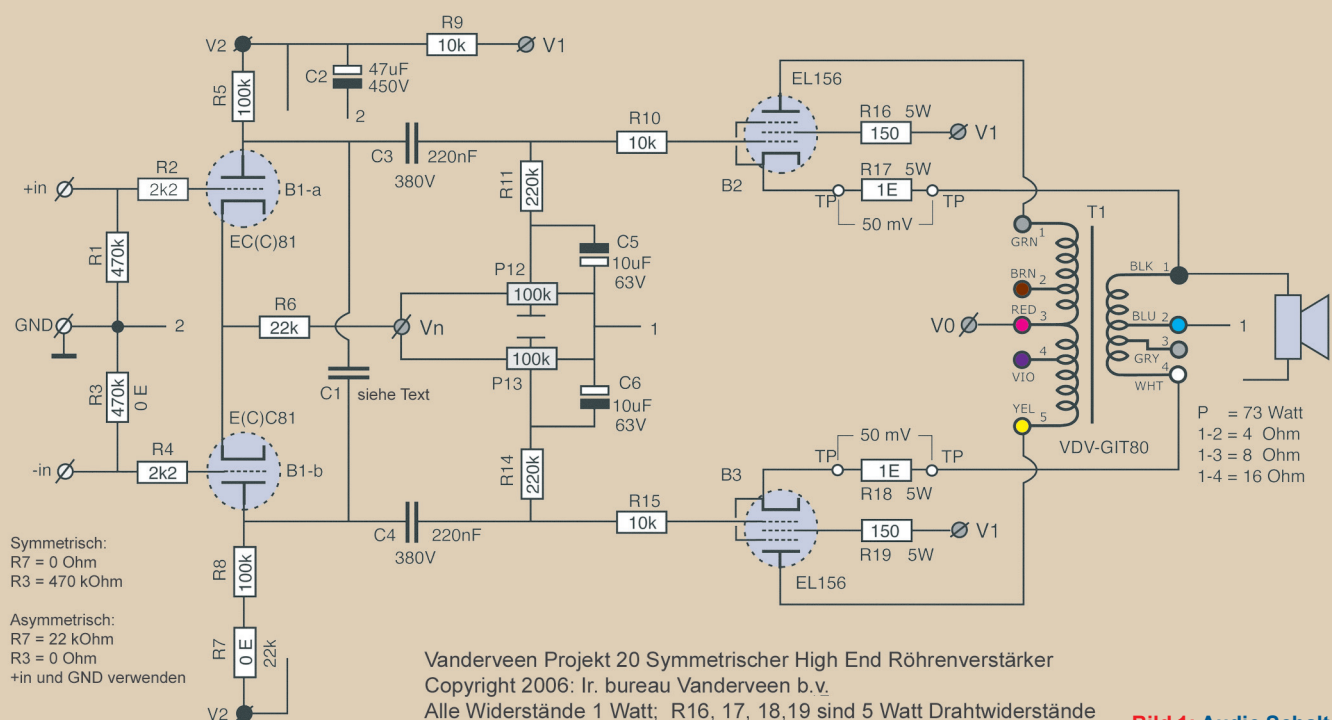


Bild 1: Audio Schaltbild VDV-PR20HE

jeder Röhre seinen optimalen Wert von 50 mA aufweist. Stellen Sie P12 und P13 so ein, dass ein externes Voltmeter bei beiden Widerständen die vorgegebenen Spannungen von 50 mV anzeigt.

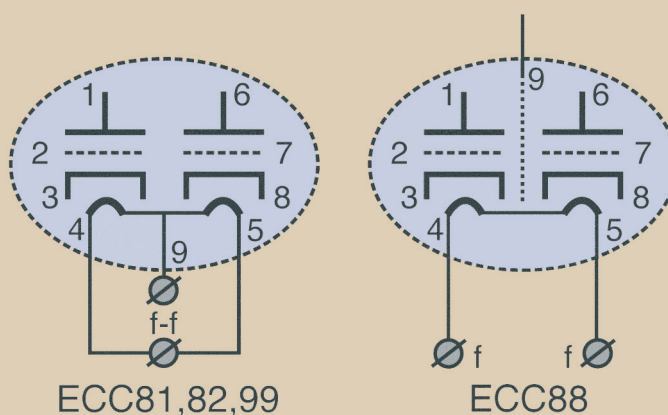
Die Anoden der Endröhren sind direkt mit der primären Wicklung des universellen Ausgangsrafs VDV-GIT80 verbunden. Dieser Trafo ist auf eine effektive, primäre Impedanz von $Z = 8 \text{ kOhm}$ eingestellt. Beachten Sie hierzu bitte auch die Anmerkungen 6 für technische Details und 9 für die Verfügbarkeit. Die Hochspannung V_0 an der Mittelanzapfung besitzt einen Wert von 720 V. Die Schirmgitter G2 sind über die Widerstände R16 und R19 mit der Spannung $V_1 = 360 \text{ V}$ verbunden, woraus sich die hohe Leistung des Verstärkers erklärt.

Mit den genannten Zahlenwerten lässt sich die Anodenverlustleistung mit folgender Formel berechnen: $P_a = 720 \times 50 \text{ mA} = 36 \text{ W}$

Dies garantiert eine lange Lebensdauer der Endröhren. Auf Wunsch kann die Verlustleistung auch auf einen Wert von 50 Watt erhöht werden. Dazu muss $I_{0,max}$ auf einen Wert von 69,4 mA eingestellt werden. Doch Vorsicht: Hiermit verringert sich die Lebensdauer der Endröhren erheblich.

Die Kathoden der Endröhren sind auf besondere Weise mit der Sekundärwicklung des Ausgangsrafs verbunden: Die Mittelanzapfung (Pin 2, blauer Anschlussdraht) liegt an Masse, so dass der Strom durch die Endröhre über die zugehörige, sekundäre Wicklungshälfte zur Masse fließen kann. Durch diese Schaltungstechnik erscheint pro Endröhre ein Teil der Ausgangsspannung zwischen deren Kathode und dem Steuergitter. Die effektive Spannungsverstärkung wird dadurch reduziert. Ein gutes Beispiel von lokaler Kathodengegenkopplung (CFB = cathode feedback).

Diese Gegenkopplung hat zur Folge, dass der Dämpfungsfaktor erheblich zunimmt und die durch die Endröhren und den Ausgangstrafo bedingten, harmonischen Verzerrungen sehr stark unterdrückt werden.



An den sekundären Anschluss des Ausgangsrafs lassen sich Lautsprecher von 4, 8 oder 16 Ohm anschließen. Beim Wechsel zwischen unterschiedlichen Ohmwerten muss ein Anschluss des Lautsprechers immer mit dem sekundären Anschluss 1 (schwarzer Draht) verbunden bleiben.

Bild 2 zeigt die Pinbelegung der empfohlenen Röhren. Die Anschlussbelegungen der beiden Röhren EL156 und 6550-C sind gleich, so dass ein Austausch der Exemplare jederzeit möglich ist.

■ Brummvermeidung durch gute Erdung

Im Schaltbild sind zwei mit „1“ und „2“ bezeichnete Masse-Anschlüsse zu erkennen. Sie sind zwar miteinander verbunden, doch ohne die Beachtung einiger wichtiger Punkte könnten Probleme mit Masseschleifen auftreten.

Masse 1 gehört zu den Endröhren und der Hochspannungsversorgung. Hier fließen die hohen Ströme der Endröhren.

Masse 2 bezieht sich auf die Eingangsschaltung rund um die ECC81. Beim Bau des Verstärkers muss darauf geachtet werden, dass die hohen Ströme der Endröhren durch Masse 1, aber niemals durch Masse 2 fließen.

Bild 2: Pinbelegung der ECC81 und der EL156/6550-C.

Mit anderen Worten: Masse 2 an R1, R3 und C2 muss sternförmig verdrahtet und über einen gesonderten Draht mit Masse 1 verbunden werden.

Die Anschlüsse C5, C6, P12, P13 und der Sekundäranschluss 2 müssen mit dem Masse-1-Sternpunkt verbunden werden. Von dort führt ein gesonderter Draht zum Netzteil. Auf diese Weise wird verhindert, dass die hohen Ströme durch die Endröhren zur empfindlichen Eingangsstufe gelangen. Masse 1 ist am Eingang übrigens noch mit dem Metallgehäuse verbunden. Auch diese Maßnahme verhindert unerlaubte Restströme im Massekreis.

■ Das Netzteil

Bild 3 zeigt die Schaltung des Netzteils, die sich um den universellen Netztransformator VDV-POW80 gruppiert. Im Anhang 7 finden Sie weitere Einzelheiten; Anhang 9 informiert Sie über die Verfügbarkeit.

Der Trafo ist ausgelegt für Primärspannungen von 100 V (Japan), 115 V (USA) und 230 V (Europa). Das Schaltbild zeigt die jeweils richtigen

Die dritte Wicklung von 50 V erzeugt nach Gleichrichtung und Glättung die erforderliche Spannung von -72 V. Diese negative Spannung ist nicht abgesichert, da sie immer vorhanden sein muss: Bei Wegfall dieser Spannung werden die Endröhren zerstört.

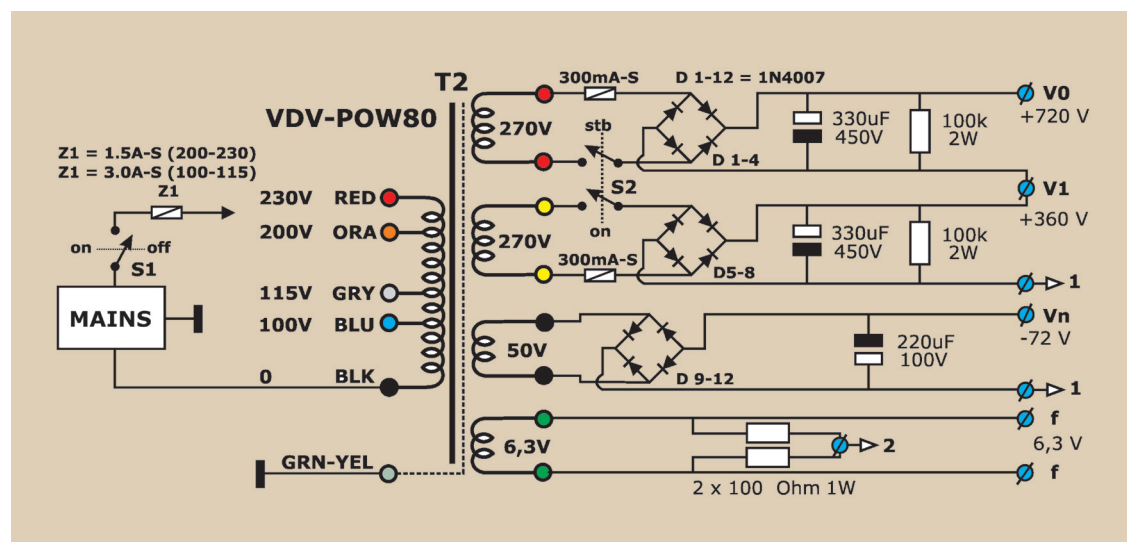
Die Heizspannung von 6,3 V für die Glühfäden der Röhren werden durch die vierte Wicklung zur Verfügung gestellt. Diese ist mit zwei 100-Ohm-Widerständen überbrückt, deren Verbindungspunkt an Masse 2 angeschlossen ist.

■ Zusätzliche Informationen und Messwerte

Die wichtigsten Zusatzinformationen zu dieser Schaltung finden Sie in der unten stehenden Tabelle. Interessant ist ein Blick auf die -3dB-Leistungsbandbreite. Sie bezieht sich auf den Wert um 3 dB verminderten Wert von P_{max} . Das entspricht der Hälfte der Ausgangsleistung: 36 Watt.

Bei dieser Leistung geht der Ausgangsrafo ab etwa 18 Hz abwärts langsam in seine Kernsättigung über. Oberhalb 18 Hz sind keine Störungen zu verzeichnen.

Bild 3: Netzteil
VDV-PR20HE



Sicherungswerte für die einzelnen Einstellungen.

Die Masse des Lichtnetzes wird direkt über die mit Federring verschraubte Lötfläche möglichst fest mit dem Gehäuse verbunden. Zwischen Primär- und Sekundärwicklung befindet sich eine Schirmwicklung, deren gelb-grüner Anschlussdraht ebenfalls mit der oben erwähnten Gehäusemasse verbunden werden muss.

Auf der Sekundärseite befinden sich zwei völlig voneinander getrennte 270-V-Hochspannungswicklungen, deren Spannungen beide unabhängig voneinander gleichgerichtet und geglättet werden müssen. Zusätzlich sind beide Wicklungen mit einer eigenen Sicherung mit kombiniertem Standby-Schalter ausgerüstet. Nach dem Ausschalten von S2 werden die Sieb-Elkos von jeweils 330 µF recht schnell über die parallelen 100 kOhm-Widerstände entladen. Die Werte der gleichgerichteten Hochspannungen betragen jeweils 360 V. Die erforderlichen 720 V werden mittels Serienschaltung gewonnen.

Bei einer Ausgangsleistung von 73 Watt geht der Kern ab 25 Hz abwärts ($18\sqrt{2}$) in die Sättigung.

Bei einer Ausgangsleistung von 2 Watt (Zimmerlautstärke) liegt die -3 dB-Untergrenze bei 4 Hz. Diese extrem niedrige Frequenz wird durch die Höhe der primären Selbstinduktion des VDV-GIT80 erreicht ($L_{p,max} > 1000$ H).

An der hochfrequenten Grenze beträgt die Frequenz bei der -3 dB-Marke unabhängig von der Ausgangsleistung ungefähr 26 kHz. Diese Grenze resultiert aus der Streuinduktivität L_{sp} und der internen Kapazität C_{ip} des Ausgangsrafos und wird durch die Röhren nicht beeinflusst.

Diese Messwerte erfüllen vollständig meine gestellten Bedingungen, wobei der -3 dB-Bereich vollständig über der Marke von 20 kHz liegen sollte. Dabei konnte dieser Bereich durch eine Anpassung des Ringkernrafos VDV-4070CFB wesentlich besser erweitert werden als mit einer einfachen, sekundären Belastung von 8 Ohm.

Die Ausgangsimpedanz Z_{AUS} hängt vom



Foto 1: VDV-PR20HE
Hauptfoto (Foto:
Personal Concepts)

Ruhestrom und vom jeweiligen Typ der Endröhre ab. Sein niedriger Wert konnte durch eine Anpassung der Kathodengegenkopplung erzielt werden. Dieser Verstärker dürfte bei den meisten dynamischen Lautsprechern durch seine mehr als ausreichende Dämpfung eine straffe Wiedergabe im Tiefenbereich garantieren.

Die effektive Eingangsempfindlichkeit liegt bei einem Wert von 2 V, das ist mehr als ausreichend für die meisten CD-Spieler. Ein gesonderter Vorverstärker ist daher nicht erforderlich. Allerdings wäre der Einbau eines zusätzlichen Lautstärkepotis von 100 k (logarithmisch) am Eingang durchaus sinnvoll.

Für die symmetrischen Eingänge sollte ein Stereo-Poti zur gleichzeitigen Regelung der Plus- und Minus-Eingänge verwendet werden.

Die Brummspannung von $U_{ss} = 2$ mV am Ausgang wird durch Einstrahlungen im Ausgangstrafo verursacht, die auf das magnetische Streufeld des Netztrafos zurückzuführen sind. Der genannte Wert ist extrem gering und kann durch eine Vergröße-

rung des Abstandes zwischen beiden Trafos noch weiter reduziert werden.

Dank der sorgfältigen Erdung der Schaltung ließ sich die Brummspannung auf $U_{ss} = 1$ mV reduzieren. Das Rauschen ist übrigens nicht hörbar, selbst mit dem Ohr direkt am Lautsprecher.

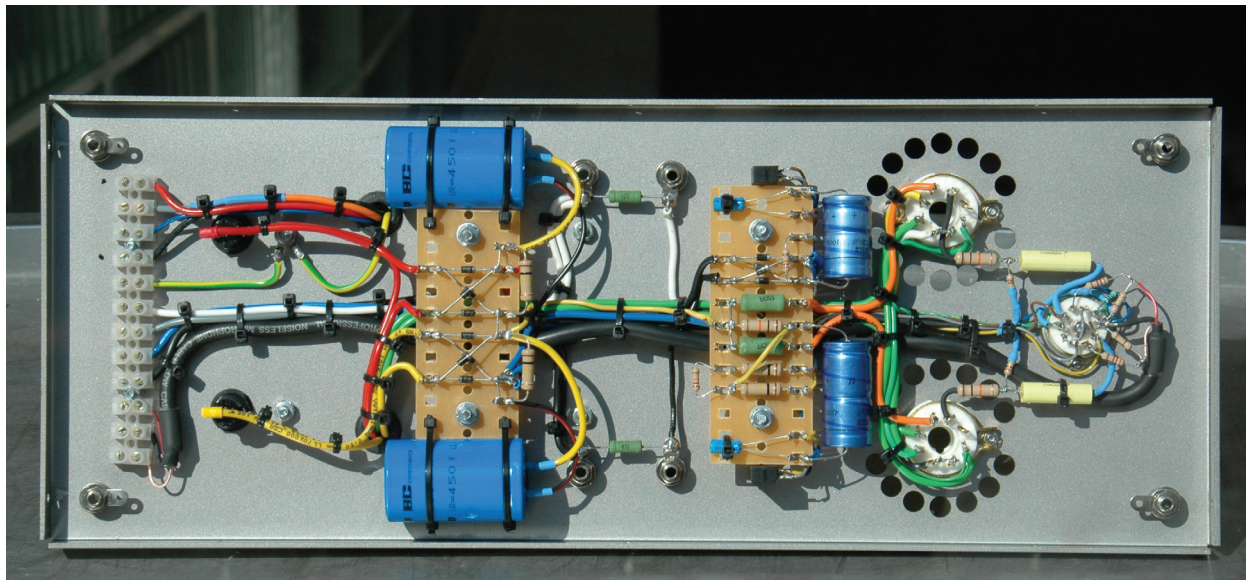
■ Gehäuse und Montage

Das Gehäuse dieses Verstärkers wurde von den Mitarbeitern von Audio Concepts entworfen. Im linken, vertikalen Bereich befindet sich eine Logikschaltung zur Ansteuerung der Kanalwahl sowie die Master-Volume-Regelung mit Fernbedienung. Dahinter befindet sich in jedem Monoblock die eigentliche Schaltung der Lautstärkeregelung, die mit einer Reihe kleiner Relais in Verbindung mit einer Spannungsteiler-Widerstandskette aufgebaut wurde.

Die Lautstärkereger in jeder der beiden Mono-Einstufen überstreichen einen Bereich von 0 bis 10 dB und dienen dazu, die Verstärkungen der einzelnen Blöcke aneinander anzugleichen.

VDV-PR20HE Techn. Daten	EL156	EL156	6550-C	Einheit
Ruhestrom I_0 pro Endröhre	40	50	40	mA
V0	726	716	728	V
V1	363	358	364	V
Va1 oberste EC(C)81	199	199	199	V
Va2 unterste E(C)C81	196	196	196	V
Vn	-72	-72	-72	V
Vg1 Endröhren (ungefähr)	-23	-22	-43	V
Pmax bei 1kHz	71	73	75	W
-3dB Leistungsbandbreite	18 – 26	18 – 26	18 – 28	Hz – kHz
-3dB Frequenzbereich bei 2 W	4 – 27	4 – 27	7 – 27	Hz – kHz
Z_{AUS} am 4-Ohm-Ausgang	2,5	2,3	3,5	Ohm
U_{in} (rms) asymmetrisch bei 70 Watt	2,0	2,0	2,5	V
Brummspannung U_{ss} am Ausgang	4	3	4	mV

**Foto 2: Unteransicht
VDV-PR20HE (Foto:
Menno van der Veen)**



Es ist auch möglich, mehrere Mono-Endstufen miteinander zu verbinden (zum Beispiel für Surround-Anwendungen), die alle durch die gleiche, links angeordnete Haupteinheit angesteuert werden.

Die rechte vertikale Einheit ist leer und kann zum Beispiel zur Unterbringung eines Plattenspieler-Vorverstärkers genutzt werden. Weitere Informationen zu Add-On-Gehäusen und ihrer Verfügbarkeit finden Sie unter „8“. Die Frontplatte jeder Mono-Stufe kann (mit Laser) auf Maß vorgebohrt geliefert werden. Den Mitarbeitern von Personal Audio Concepts liegen die dazu erforderlichen, von mir berechneten Maße vor.

Foto 2 zeigt den Aufbau des Verstärkers. Die komplette Verkabelung ist in einem Haupt-Kabelbaum vereinigt, der durch die Mitte des Gehäuses führt. Dadurch wird verhindert, dass das magnetische Streufeld des Netzteils eine geschlossene Oberfläche einer Erdschleife induktiv beeinflusst und damit zusätzlichen Brumm erzeugt.

Die Elkos von 330 µF müssen gut isoliert vom Chassis montiert werden, damit keine Hochspannungsdurchschläge auftreten. Vor allem bei der Befestigung der beiden Mono-Stufen sollte genau darauf geachtet werden, dass die Elkos nicht von den dazu notwendigen Schrauben berührt werden.

Menno van der Veen studierte „technische Naturkunde“ an einer Universität. Danach war er als „Hauptdozent für Naturkunde“ tätig und gründete im Jahre 1986 sein eigenes Ingenieurbüro. In mehreren Audiozeitschriften veröffentlichte er Artikel über die Themen „Audio“ und „Technik“ (für AES und NAG) und machte auch als Buchautor von sich reden.

Zusammen mit Elektor führt er Röhren-Workshops durch. Er ist der Entwickler hochwertiger Ringkern-Ausgangstrafos, die von Amplimo und Plitron hergestellt werden. Anfang 2006 gründete er die Röhren-Akademie TubeSociety. Röhrenverstärkern und Trafos gilt sein Hauptinteresse.

Quellen:

- 1) siehe www.mennovanderveen.nl ; het project
- 2) www.aes.org ; paper 6347 Barcelona 2005
- 3) AudioXpress Januar 2006, pp. 6 – 19
- 4) www.mennovanderveen.nl ; boeken: proefdruk van Het Vanderveen Buizenbouwboek 2. In Kürze lieferbar von Segment: Menno van der Veen: „Moderne High-End Röhrenverstärker, Teil 2“. Kapitel 9.
- 5) Projekt 28: Die Herausforderung
- 6) Projekt 8: VDV-GIT80
- 7) Projekt 9: VDV-POW80
- 8) www.addonamp.eu
- 9) www.mennovanderveen.nl ; transformatoren
- 10) Für weitere Fragen: info@mennovanderveen.nl

