

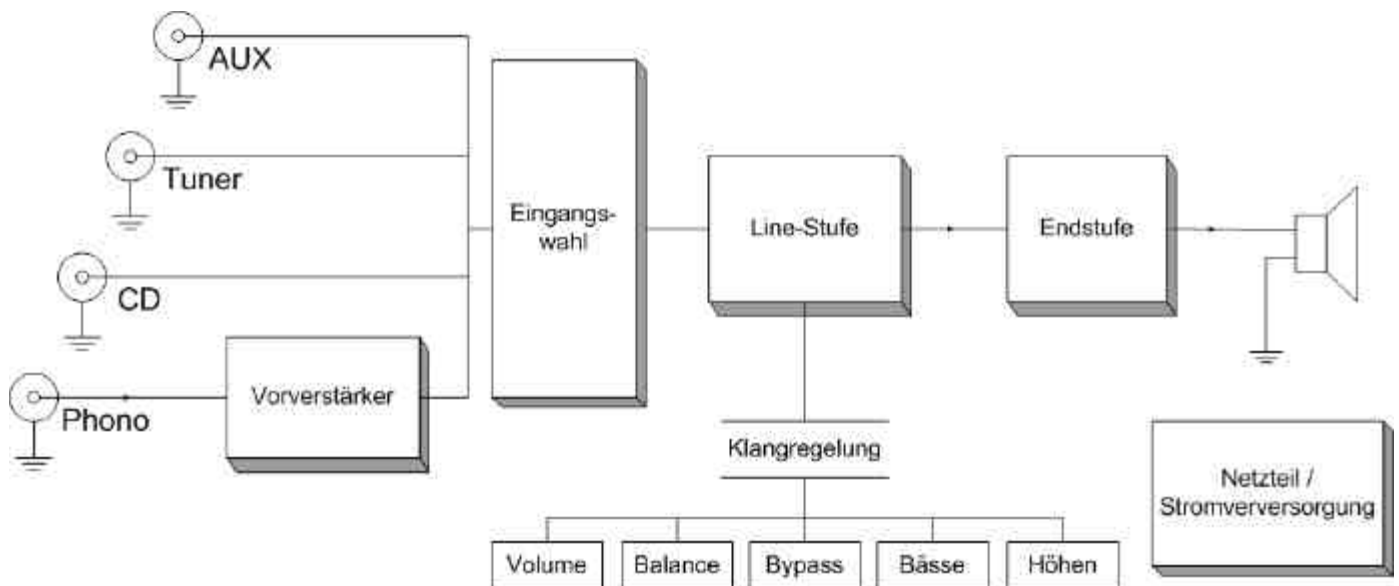
Gesamtkonzeption des Verstärkers

von Benedikt Michl

Allgemeines

Der Röhrenverstärker ist als Stereo-Verstärker konzipiert und in folgende Teilbaugruppen gegliedert:

1. Eingangsauswahl
2. Linestufe mit Klangregelelementen
3. Endstufe
4. Spannungsversorgung +450V
5. Spannungsregler 6,3V
6. Spannungsregler 12V
7. Netztransformator
8. Einschaltverzögerung



Blockschaltbild des Verstärkers

Bis zum jetzigen Zeitpunkt (März 2004) ist der Vorverstärker, die Linestufe und das Netzteil aufgebaut und erfolgreich getestet worden.

Am Beispiel eines Phonosignals (Plattenspieler) soll der Signalfluß durch den Verstärker dargestellt werden:

Das Signal wird über eine Cinchbuchse an den Vorverstärker gegeben, durchläuft die Eingangswahl und wird zur Linestufe weitergeführt. Nach der Linestufe und der dortigen Klangregelung wird das Signal an die Endstufe zur Gegentakt-Endstufe mit Ausgangsübertrager geleitet. Der Übertrager ermöglicht die Impedanzanpassung an den Lautsprecher, der zuletzt das elektrische Signal in Schallwellen umsetzt.

Der Signalpfad ist vollständig in Röhrentechnik aufgebaut, nur die Heiz- und Anodenspannungsstabilisierung ist in Halbleitertechnik realisiert.

Eingänge

Der Verstärker hat 4 zweikanalige Audio-Eingänge: Ein Phonoeingang für Plattenspieler mit magnetischem Tonabnehmersystem, einen Eingang für CD-Player, einen Tunereingang und einen Eingang für verschiedene Anwendungen (AUX) z.B. ein Cassetten-Tonbandgerät. Mit Hilfe eines Drehschalters kann der gewünschte Eingang ausgewählt werden.

Vorverstärker

Da die Ausgangsspannung eines Plattenspielers im mV-Bereich liegt, muss mit einem Vorverstärker der Pegel des Plattenspielers an den Pegel der anderen Geräte angepasst werden. Die Ausgangsspannungen der anderen Geräte (z.B. CD-Player) liegen im einstelligen Volt-Bereich (ca. 0.5V bis 2V). Zusätzlich hat er die Aufgabe den gemäß der RIAA-Schneidkennlinie verzerrten Frequenzgang des Plattenspielers wieder zu linearisieren.

Linestufe

Die Linestufe hat die Aufgabe der Klangregelung und einer weiteren Spannungsverstärkung und einer Impedanzanpassung an die Endstufe.

Es sind Einstellregler für Lautstärke und Balance vorhanden. Wahlweise kann ein Klangregelnetzwerk mit getrennten Einstellreglern für Höhen und Tiefen zugeschaltet werden. Da das Klangregelnetzwerk auch bei „neutraler“ Einstellung Phasenfehler verursacht, wurde die Möglichkeit vorgesehen, das Klangregelnetzwerk mittels eines Schalters komplett aus dem Signalweg zu entfernen.

Endstufe

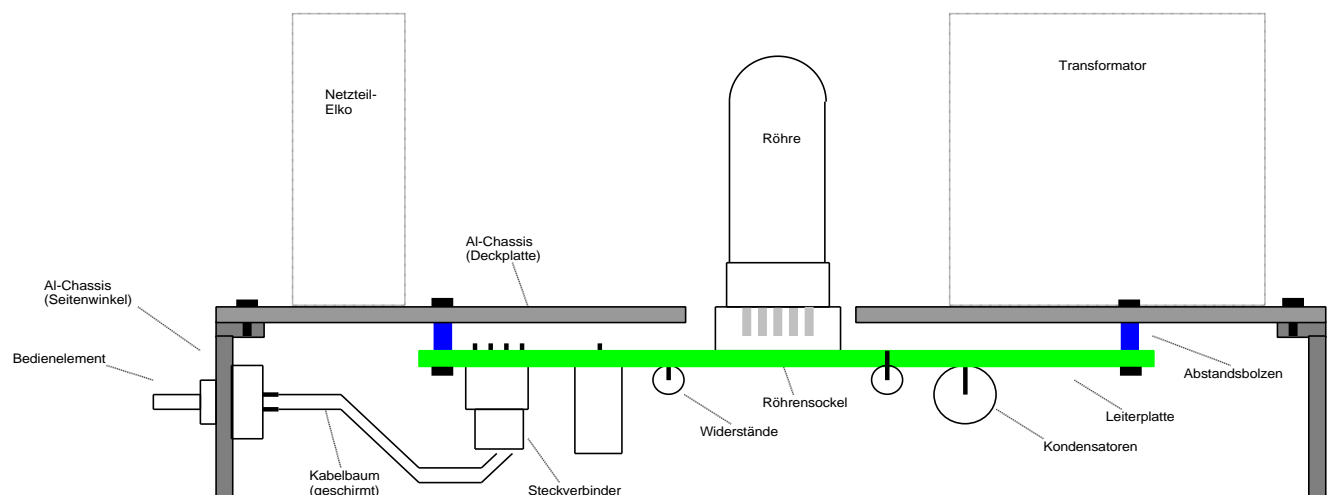
In der Endstufe findet die Leistungsverstärkung statt. Der Ausgangsübertrager dient zur Anpassung der Impedanz der Endstufe selbst an die wesentlich geringere Impedanz der Lautsprecher.

Modularer Aufbau des Verstärkers

Dieser Verstärker ist modular aufgebaut, um die vergleichende Untersuchung verschiedener Schaltungskonzepte zu ermöglichen. Jede Teilbaugruppe ist auf einer Leiterplatte (bei Verstärkerstufen eine Leiterplatte pro Kanal) aufgebaut. Diese Leiterplatte ist steckbar und kann somit schnell und sicher ausgetauscht werden. Es wurden z.B. 5 verschiedene Phono-Vorverstärker aufgebaut, deren Leiterplatten durch gleiche Lage der mechanischen Befestigungselemente, der Röhren und der Steckverbinder direkt untereinander austauschbar sind. Da die für die unterschiedlichen Schaltungen benötigten Anodenspannungen differieren, befinden sich auch die Spannungsregler für die Anodenspannungen auf den Verstärker-Teilbaugruppen.

Zum Zeitpunkt der Konzeption des Verstärkers war nicht bekannt, welche der zahlreich in der Literatur und im Internet vorhandenen Schaltungsvorschläge wirklich am geeignetsten ist. In diesem Zusammenhang ist auch zu bedenken, daß das Kriterium „guter Klang“ alles andere als eindeutig ist und es in der Logik der Sache liegt, dass hierüber kontroverse Ansichten bestehen. Daher blieb nichts anderes übrig, als mehrere typische Schaltungskonfigurationen aufzubauen und gegeneinander zu testen. Diese Vorgehensweise hat sich außerordentlich bewährt, da 3 von 5 realisierten Schaltungen deutlich bessere Klangeigenschaften als die verbleibenden 2 Schaltungen hatten, ohne daß dies bisher anhand meßtechnischer oder schaltungstechnischer Kriterien begründet werden kann. Eine vorherige, gezielte Auswahl der „erfolgreichen“ Schaltungen wäre mit unserem bis heute erreichten Wissensstand nicht möglich gewesen. Hätten wir zufällig eine der zwei nicht so guten Schaltungen zur alleinigen Realisierung ausgewählt, wäre ein völlig unzutreffendes Urteil über das Potential der Röhrentechnik die Folge gewesen, was zu einem grundsätzlich anderen Projektverlauf geführt hätte. Ein derartiges Konzept, daß die Möglichkeit bietet innerhalb eines Verstärkers verschiedene, in ihren elektrisch und mechanischen Schnittstellen kompatible, Teilbaugruppen gegeneinander auszutauschen ist nach unserem Kenntnisstand bisher noch von niemanden in dieser konsequenten Form realisiert worden und stellt somit eine echte Innovation dar.

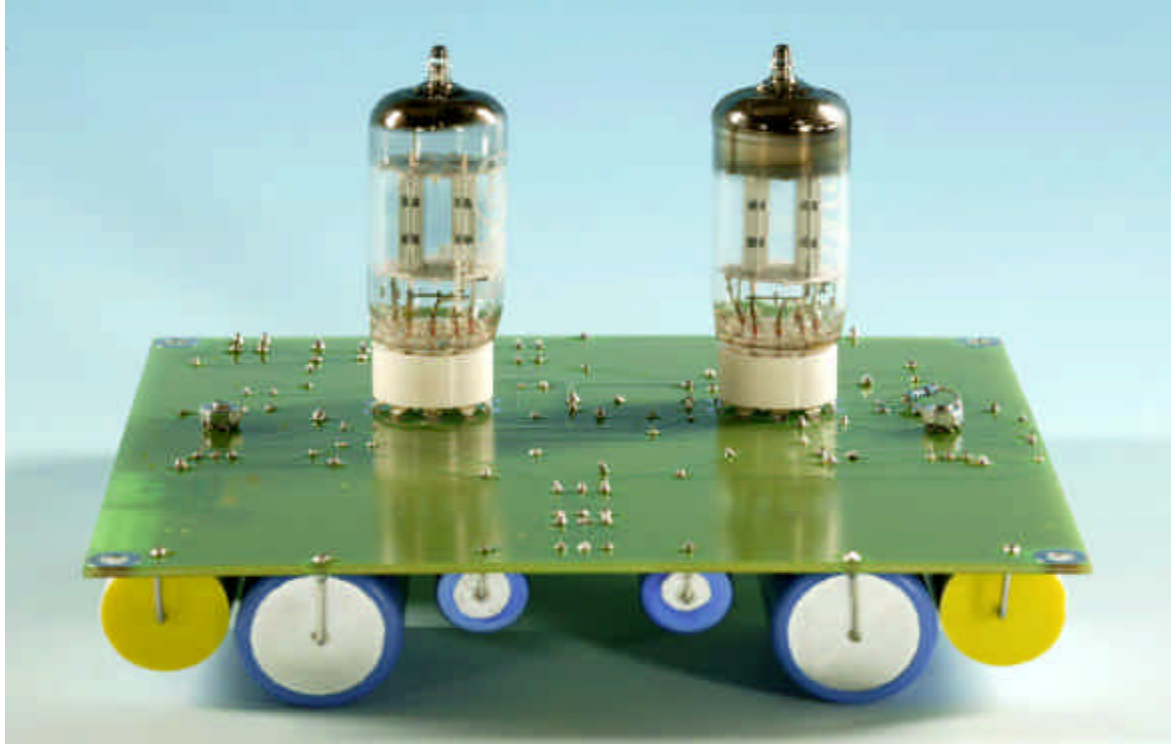
Der konstruktive Aufbau des Verstärkers erfolgt nach dem folgenden Prinzip:



Konstruktiver Aufbau des Verstärkers

Als tragendes Element dient ein Blechchassis. Dieses dient gleichzeitig als Abschirmung, Berührungsschutz und Wärmeableitung. Die großen und schweren Transformatoren und Drosseln werden direkt am Chassis befestigt. Die Leiterplatten werden von der Unterseite des Chassis aus mit Gewindebolzen befestigt. Große Bauelemente wie Röhren und Elkos werden so montiert, daß sie – über ausgesparte Öffnungen im Chassis- auf dessen Oberseite erscheinen. Damit wird sowohl eine ausreichende Kühlung der Röhren als auch eine ansprechende Optik erreicht, die dem gewohnten und geschätzten Aussehen der historischen, frei verdrahteten Verstärker entspricht. Insbesondere hat

der Nutzer die Möglichkeit, das Glühen der Röhrenheizfäden zu beobachten. Die Kleinteile werden hingegen so montiert, daß sie auf der Unterseite des Chassis Platz finden. Auf der nach unten zeigenden Seite der Leiterplatte befindet sich eine durchgehende Massefläche, so daß die Leiterbahnen nach oben hin durch das Chassis und nach unten hin durch die Massefläche abgeschirmt sind.



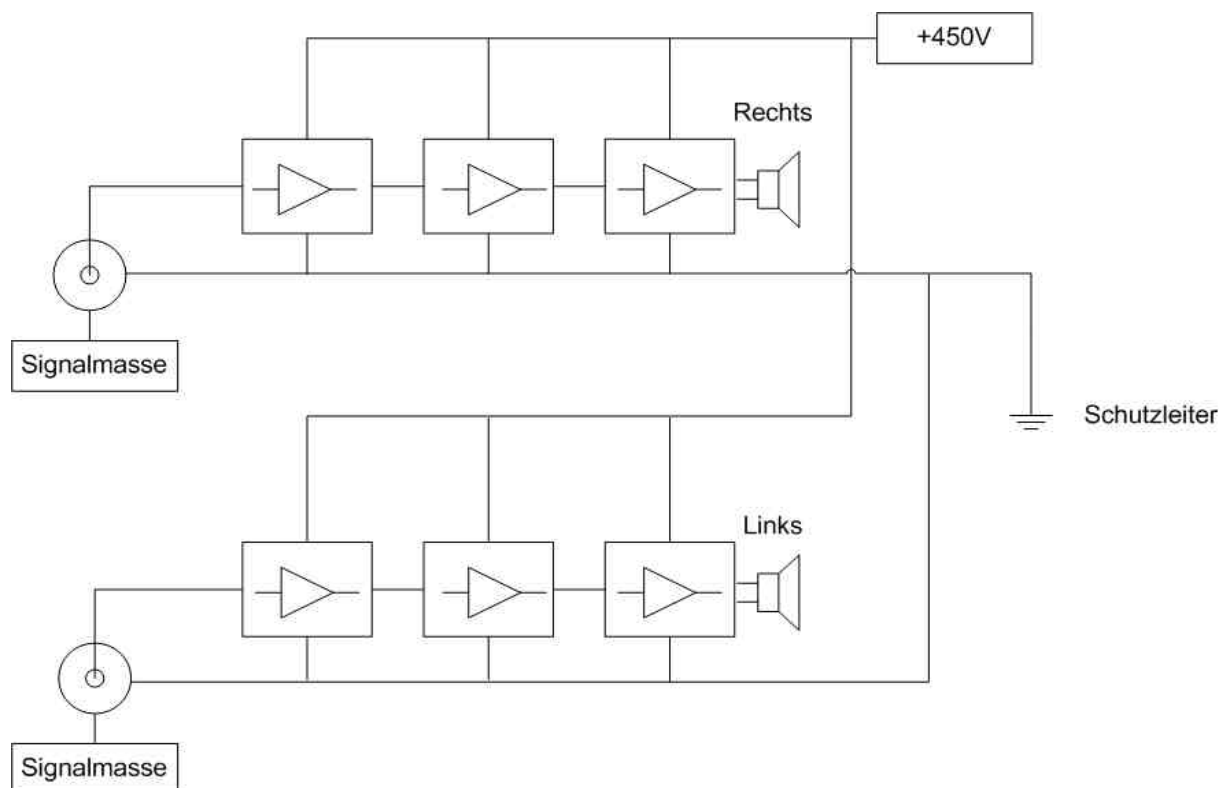
Nach obigem Prinzip realisierte Vorverstärkerteilbaugruppe

Signal- und Masseführung

Die Signal- und Versorgungsanschlüsse der Leiterplatten sind steckbar ausgeführt. Hierfür finden „Draht zu Leiterplatte“-Stecker von Molex Anwendung. Damit ist es möglich, einzelne Leiterplatten schnell und sicher auszutauschen, wodurch die vergleichende Untersuchung verschiedener Schaltungskonzepte erheblich erleichtert wird.

Die Signal und Masseführung des Verstärkers bedarf der sorgfältigen Planung, da bereits Störspannungen im Microvolt-Bereich zu einer hörbaren Beeinträchtigung des Klangbilds führen können. Die Problematik sei anhand einer einfachen Überschlagsrechnung gezeigt: Bei einer Ausgangsleistung von 30W fließt bei einer Impedanz des Lautsprechers von 8 Ohm ein Strom von nahezu 2A durch diesen. An einem Übergangswiderstand von nur 10 mOhm (das ist die Größenordnung einer üblichen Leiterbahn) ergibt sich bei einem Stromfluß von 2A ein Spannungsabfall von bereits 20 mV. Das ist bereits der gesamte Aussteuerbereich eines magnetischen Tonabnehmersystems! Wenn also, durch ungeschickte Masseführung, nur ein tausendstel des Rückstroms des Lautsprechers durch den Phono-Eingangsteil fließen würde, hätten wir nach obigem Beispiel bereits eine zum Eingangssignal addierte Störspannung von 20uV, das ist 0,1% des Aussteuerbereichs. Zum Vergleich: Die kleinste Signalaufösung einer Musik-CD beträgt dagegen 0,0015%, also ungefähr das 1/65-fache.

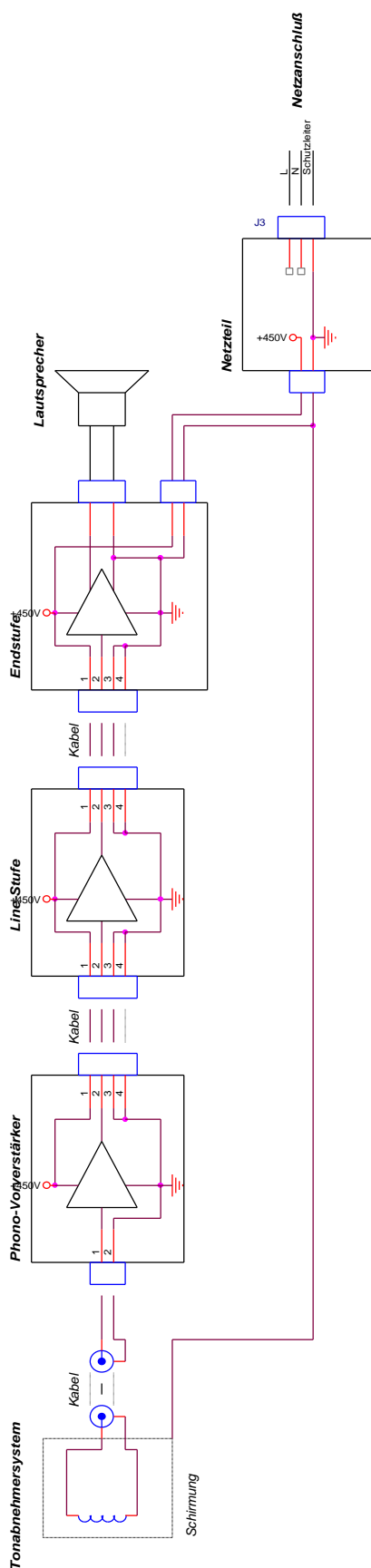
Aus dieser Betrachtung folgt, daß die Rückführung von Strömen einer Stufe in die ihr vorhergehende Stufe unter allen Umständen vermieden werden muß. Das führt zu dem folgenden Verdrahtungskonzept, daß in der folgenden Skizze als Übersicht über den gesamten Verstärker gezeigt wird:



Verdrahtungs- und Masseführungskonzept –Übersicht–

Es ist zu erkennen, daß die zusammengefaßten Masseleitungen einer Stufe ausschließlich an die Masse der folgenden Stufe angebunden wird. Im Gegensatz zu einer klassischen sternförmigen Verdrahtung kann hierbei eine wesentlich geringere eingeschlossene Schleifenfläche zwischen den Signal- und Masseverbindungen zwischen den einzelnen Verstärkerstufen erreicht werden. Damit wird die induktive Einkopplungen von Störspannungen erheblich reduziert.

Auf der Folgeseite wird die Masseführung am Beispiel eines Kanals - unter Weglassung des hier bedeutungslosen Eingangswahlschalters - im Detail betrachtet:



Masse- und Signalführung im Detail

Die Spule des Tonabnehmersystems ist im allgemeinen potentialfrei. Sie wird über ein koaxiales Verbindungskabel mit dem Phono-Vorverstärker kontaktiert. Der Außenleiteranschluß der Eingangsbuchse ist gegen das Chassis isoliert. Damit können keine Ausgleichsströme durch den Außenleiter des Coaxkabels fließen. Kapazitive Störströme werden durch die Verbindung der Schirmung des Plattenspielers mit der Masse (direkt am Netzteil) von den Verstärkerstufen ferngehalten. Die verstärkerinterne Verbindung zwischen Eingangsbuchse und der Leiterplatte des Phono-Vorverstärkers ist ebenfalls als Koaxialkabel ausgeführt.

Für die Verbindung des Phono-Vorverstärkers und der Line-Stufe wird ein dreipoliges, geschirmtes Kabel verwendet, mit dem Masse, Betriebsspannung und Audio-Signal übertragen werden. Es ist zwingend, auch die Betriebsspannung über dieses Kabel zu führen, da andernfalls bei einem Auftrennen der Masseverbindung die gesamte Baugruppe auf dem Potential der +450V-Versorgungsspannung liegen würde, was vom Standpunkt der Sicherheit nicht tragbar ist. (Eine separate Masseverbindung zum Netzteil ist nicht möglich, damit würden Strompfade für störende Ausgleichsströme geschaffen, die ja gerade vermieden werden sollen).

Die Verbindung zwischen Line- und Endstufe ist exakt zur gerade beschriebenen Verbindung zwischen Phono-Vorstufe und Line-Stufe identisch. Die vom Netzteil kommende Versorgungsspannung wird an der Endstufenbaugruppe eingespeist. Auf der Netzteilbaugruppe ist eine Verbindung zwischen Masse und dem Schutzleiter realisiert. An gleicher Stelle wird auch das Chassis - an einem Punkt - mit dem Schutzleiter und der Masse verbunden. Der Lautsprecherstromkreis wird, mit der Ausnahme einer einzigen Verbindung völlig getrennt von der Systemmasse geführt, um jeden Rückfluß des Lautsprecherstroms über die nicht dafür vorgesehenen Masseleitungen zu vermeiden. Da alle Teilbaugruppen des Verstärkers für jeden Kanal separat aufgebaut sind, wird mit dem beschriebenen Konzept auch bei der Masseführung für eine vollständige Kanaltrennung gesorgt. Bei der Baugruppe „Eingangsauswahl“, die zweikanalig ausgeführt ist, sind die Massen für beide Kanäle voneinander isoliert.

Die Heizspannungen und die +12V-Hilfsspannung sind auf den Verstärkerbaugruppen potentialfrei zur Masse gehalten. Der Potentialausgleich wird an einem einzigen Punkt auf der Netzteilbaugruppe vorgenommen.