

10.9 Allgemeines Betriebsverhalten

Die vorhergehenden Kapitel hatten das Betriebsverhalten einzelner Verstärkerstufen bzw. Baugruppen zum Thema, im Folgenden soll mehr auf übergeordnete Themen eingegangen werden. Das Betriebsverhalten eines Gitarrenverstärkers lässt sich aus zwei verschiedenen Blickwinkeln betrachten: Aus Sicht der Schaltungstechnik (wie funktioniert die Schaltung), und vom Standpunkt der Hörakustik (wie klingt der Verstärker). Besonders interessant wird es, wenn Kausalzusammenhänge zwischen diesen beiden Betrachtungsweisen hergestellt werden können, aber das ist gleichzeitig auch die schwierigste Aufgabenstellung.

10.9.1 Röhrensound vs. Transistorsound

Eigentlich hätten Transistoren nur Vorteile gegenüber Röhren: Sie sind kleiner, billiger, haben keinen zerbrechlichen Glaskolben, brauchen keine Heizung – sie haben scheinbar nur einen Nachteil: Die mit ihnen aufgebauten Gitarrenverstärker klingen nicht gut. Natürlich ist das eine sehr subjektive Wertung, natürlich gibt es auch andere Meinungen, aber insbesondere die frühen Transistorverstärker hatten tatsächlich nur wenige Befürworter, und neben aller Mystik existieren zweifellos systemtheoretische Unterschiede in den Schaltungskonzepten und den Übertragungseigenschaften der beiden Verstärker-Genres. *Den* Röhrensound gibt es allerdings ebenso wenig, wie es *den* Transistorsound gibt. Ein Gitarrenverstärker klingt nicht allein deshalb besser, weil er mit Röhren bestückt ist, und ein Transistorverstärker muss nicht grundsätzlich schlecht klingen. Kann aber. Fenders Solid-State-Serie, das ist jene, die 1968 mit *'superb Sound'* beworben wurde (*skim the waters of musical greatness*), war kein Erfolg beschieden. *'Kuriose Kühlschränke'*, schreibt etwa G&B im Fender-Heft. "Das war nicht Leo Fender, das war CBS", könnte man zur Ehrenrettung anführen, indes: Dieser Leo Fender brachte nach dem Verkauf seines Unternehmens an CBS mit seiner neuen Firma Music-Man einen Hybrid-Verstärker auf den Markt (Transistor-Vorstufe und Röhren-Endstufe), der den Ruhm seiner Blackface-Vorbilder bei weitem nicht erreichen konnte. Auch VOX wurde nicht mit dem Transistor-Defiant weltberühmt, sondern mit dem Röhren-AC30. Gitarristen und Transistoren – das war keine Liebe auf das erste Lick.

Transistorverstärker klingen steril, unpersönlich, leblos, sie sägen, prasseln, kratzen, und dann sind sie, trotz gleicher Wattangabe, auch noch leiser als Röhrenverstärker. Diese subjektiven Wertungen entziehen sich einer schaltungstechnischen Analyse. Wer möchte schon einem Gitarrist vorschreiben, wie er seinen Gitarrenklang zu empfinden hat? Und selbst wenn es pure Einbildung wäre: Gut vorstellbar, dass diese Einbildung reale Auswirkungen auf die Virtuosität hat. Die Elektrotechnik mit ihren vielen Disziplinen ist erst gefordert, wenn Kausalzusammenhänge angegeben werden: *'Heiße Röhren für wärmern Klang'*. Oder: *'Die Röhre begrenzt das Signal runder, deshalb klingt sie nicht so spitz'*. Oder: *'Röhrenverstärker klingen besser, weil bei ihnen die quadratischen Verzerrungen dominieren'*. So einfach ist's aber nicht. Wären die hörbaren Klangunterschiede auf eine einzige Ursache zurückzuführen – es gäbe heute wohl nur noch Transistorverstärker. Wie übrigens bei der Bühnen-PA: Welche Band würde da einige hundert Röhrenendstufen aufbauen? Neun Röhrenverstärker hinter einem Gitarristen sind hingegen immer noch zu finden. "Sehr laut", wenn's neunmal der AC30 ist, und "SEHR LAUT", so man sechs Twin-Reverb zur Pyramide stapelt. Warum tun die das, was ist das Geheimnis der Röhre? Zeugt schon die Frage von Vermessenheit, so kann die Antwort nur in Hybris enden. Sei's drum: Das Geheimnis, also das Unentdeckte, ist die Vielfalt, das Zusammenspiel einer Vielzahl nichttrivialer Komponenten bzw. Eigenschaften.

Klirrdämpfung, Slewrate, Frequenzgang, Eingangs- und Ausgangswiderstand, Arbeitspunkt-Verschiebungen, und das alles in Kombination. Wie wirkt sich die Pegelabhängigkeit des Klirrfaktors vierter Ordnung auf den Klang aus? Muss der Klirrfaktor vierter Ordnung überhaupt beachtet werden, und wenn ja, bis zu welcher Ordnung sind Klirrfaktoren relevant? Die Messung dieser Klirrfaktoren ist einfach, ihre Auswirkung auf den Klang zu bestimmen ist schwierig. Zum einen sind umfangreiche Hörversuche erforderlich, zum anderen ist jede Bewertung von vielen Randbedingungen abhängig: Von der Stellung der Klangregler, vom Lautsprecher, vom Abhörort, von der Gitarre, und natürlich von den darauf produzierten Tönen. Weil diese Parametervielfalt total unüberschaubar ist, mussten die Entwickler von Transistor-Verstärkern nicht nur Schaltungen entwickeln, sondern auch "Überlebensstrategien".

Eine dieser Strategien lautete: *Solange der Frequenzgang identisch ist, muss auch der Klang übereinstimmen.* Das war zu einfach gedacht. Eine andere: *Da nicht bekannt ist, wie sich die Eigenschaften der einzelnen Röhrenstufen auf den Klang auswirken, muss jedes Detail der Röhrenschaltung nachgebildet werden.* Das klingt sehr sicherheitsorientiert, und wäre es auch, wenn wirklich jedes Detail bekannt wäre. Eine weitere Variante: *Wir drehen solange an den Stellschrauben, bis alle zufrieden sind – auch wenn die neue Schaltung keinen Bezug mehr zu Röhrenschaltungen hat.* Auch ein Weg, der aber schnell in diffuser Kritik enden kann: Irgendwas fehlt! Was da genau fehlt, weiß zwar keiner, aber jeder ist überzeugt: Das ist nicht der ideale Röhrensound. Auch das Gegenteil ist möglich: Die Entwickler sind zufrieden (klingt nicht schlecht und raucht nicht mehr), die Geschäftsleitung auch (sogar 2% unter der Vorkalkulation geblieben), die Vertriebsleitung sowieso (endlich sind's fertig), nur der Markt mäkelte. Und nicht nur die Vorkalkulation, sondern auch der Umsatz bleibt unter der Vorgabe. Ein schwieriger Markt: Der alte Ur-Bassman ist Legende, der Music-Man nicht. Obwohl beide denselben Leo Fender als Mastermind hatten.

Dieses Gitarren-Buch muss leider die Antwort schuldig bleiben, welche Verzerrungen den Sound perlend-cremig-holzige-kehlige machen – dieses Thema gehört in ein Verstärker-Buch. Für ein paar grundlegende Gedanken sollte dennoch Platz sein. Die vorhergehenden Kapitel hatten vor allem das nichtlineare Verhalten des Verstärkers zum Thema, aus Sicht des Autors ein Hauptthema. In Röhrenverstärkern interagieren mehrere lineare und nichtlineare Systeme: *Hochpässe* bei Koppelkondensatoren, im Ausgangs-Transformator und im Lautsprecher. *Tiefpässe* in jeder Röhre, im Ausgangs-Transformator und im Lautsprecher. Nichtlinearität in jeder Röhre, im Ausgangs-Transformator, im Lautsprecher. Ein fast undurchschaubares System, selbst ohne Gegenkopplung. Nicht, dass die Teilsysteme unbeschreibbar wären – die Gesamtbewertung ist so schwierig. Was im LZI-System Routine ist, gerät bei gekoppelten nichtlinearen Systemen schnell zum unüberschaubaren Problem. Nur beim linearen System macht es z.B. keinen Unterschied, ob Filterpole elektrisch oder mechanisch realisiert werden – da kann man z.B. den Höhenverlust des Lautsprechers mit einem elektrischen Filter ausgleichen. Wenn tatsächlich lineares Verhalten gewünscht ist, lassen sich mit wenig Aufwand gleichklingende Röhren- und Transistorverstärker bauen. Bei einem nichtlinearen System wird's hingegen sehr kompliziert.

Nach einigen Jahrzehnten der Suche nach dem richtigen Klang sind transistorisierte Gitarren-Verstärker heute so ausgereift, dass die Akzeptanz als gut zu bezeichnen ist. Gleichwohl sind immer noch unzählige Röhrenverstärker am Markt, und viele Gitarristen werden wohl auch in den nächsten Jahrzehnten nichts anderes kaufen, und immer wieder 200 Euro in ein Röhrenquartett investieren. Die Hersteller haben aus den Fehlern der Anfangszeit gelernt, und bieten gut klingende Schaltungen (bzw. Verstärker) an. Die Gitarristen haben aber auch dazugelernt, und hören inzwischen Details, die vor 50 Jahren als unwesentlich eingestuft worden wären.

Zu den Schwierigkeiten, die nichtlineare Verstärkerschaltungen bereiten können, kommen die Probleme der **Psychometrie**: Wie misst man Hörwahrnehmungen? Die Bandbreite reicht hier von: "Einstecken, Aufdrehen, Anhören" bis zu weltweit durchgeführten Round-Robin-Tests. Bei Gitarrenverstärkern ist die erstgenannte Versuchsmethodik anzutreffen: Hörversuche im Laden, im Übungsraum, in der Redaktion. Dass die Ergebnisse derartiger Tests von den eher wissenschaftlich orientierten Akustikern ignoriert oder angezweifelt werden, liegt weniger an den beurteilenden Juroren (die man in der Regel gar nicht genau kennt), sondern an der oft unwissenschaftlichen Vorgehensweise, die häufig Objektivität und Reproduzierbarkeit vermissen lässt. Wird der handverdrahtete Boutique-Verstärker vor allem deshalb gelobt, weil er, wie jeder Proband zu Beginn erfährt, aus Kalifornien kommt und 5000.- Euro kostet? Würde er, unerkannt hinter einem Vorhang, genauso überzeugen? Ein nettes Beispiel beschreibt Uli Emskötter im SOUND-CHECK [Mai 2000]: Beim angesagten Kabeltest nehmen alle Beteiligten "*deutliche Klangunterscheide*" war. Eine Woche später dann die Wiederholung als Blindtest: "*Verblüffendes Ergebnis – die Wertung fiel vollkommen anders aus.*" Dass Art und Weise der Versuchsdarbietung Einfluss auf das Ergebnis nehmen können, ist für Psychologen nichts Neues, ihre Erkenntnisse zur **Versuchsmethodik** sind auch für Hörversuche nützlich (10.9.4).

Gitarristen nehmen den Klang ihrer Gitarre nicht nur wahr, sie beurteilen ihn auch. Dem **Wahrnehmungsprozess** könnte man noch eine relativ geringe interindividuelle Variabilität zugrunde legen, der **Urteilsprozess** hängt jedoch immer von diversen Randbedingungen ab. Man kennt das: Erst landet die neue CD des gerade angesagten Superstars unter den 10 besten Neuerscheinungen des Jahres, kurz darauf in der Chart-Show der peinlichsten Veröffentlichungen. Obwohl das Schallereignis immer dasselbe bleibt, ändert sich das darüber abgegebene Urteil. Noch ein Beispiel, das jeder Studiomusiker kennt: Man mischt ab, hat eine passende Einstellung gefunden, alle sind begeistert, man geht nach Hause. Am nächsten Tag schaltet man wieder ein, die Einstellungen wurden garantiert nicht verändert, und trotzdem sind alle enttäuscht: Gesang zu laut, Schlagzeug zu scharf, Bass zu fett. Oder umgekehrt. Die Ursache muss nicht in der Technik liegen (abgekühlte Lautsprecher, veränderte Luftfeuchtigkeit), mit großer Wahrscheinlichkeit haben sich die Beurteilungsmaßstäbe verändert. Hierbei können Prozesse zugrunde liegen, die sich über Minuten oder sogar Stunden fortentwickeln, es sind aber auch zeitunabhängige systematische Abweichungen (Bias, Offset) bekannt: Die eingestellte Größe wird tendenziell zu laut eingestellt [12, Lautheitsskalierung].

Wie sehr unsere Werturteile kognitiven Prozessen unterliegen, soll eine Episode zeigen, die zwar einen Einzelfall darstellt, in ähnlicher Weise aber wohl öfters passiert: Ich wurde nach einem Auftritt von einem jüngeren Musiker angesprochen, der den "*Super-Sound*" meiner Gitarrenanlage mit den Worten lobte: "*Es geht halt nichts über den guten alten AC-30 – das ist purer Röhrensound.*" Die Damen und Herren von VOX werden's mit Freude hören, auch wenn's nicht der AC-30 war. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts ist diese Verstärkerlegende nicht mehr so allgegenwärtig, und den jüngeren Kollegen (bzw. diesem einen) offensichtlich nicht mehr so ganz vertraut. Ein VOX war's natürlich schon, das steht groß und gülden vorne drauf, aber eben ein AD-60-VT. Transistor-Vorstufe, transistorunterstützte 1-W-Röhren-Endstufe. So richtig schlecht klingt der nicht, um nicht zu sagen, der klingt echt gut, und in Stellung **AC-30TB** harmoniert er bestens mit der Historic-Les-Paul. Die Assoziation VOX = AC-30 = Röhrenverstärker = Super-Sound scheint aber bei vielen (wenn auch nicht bei allen) Musikern über eine Art festverdrahteter Standleitung mit oberster Priorität zu laufen. Würde nicht VOX, sondern Solid-State-MOSFET vorne draufstehen, die Wertung hätte auch "*klings für einen Transistor-Amp gar nicht mal übel*" heißen können. Die Psyche ist in der weiten Welt der Psychophysik eben ein gewichtiger Partner. Deren Counterpart, die Physik, spezieller: die Schaltungstechnik, soll nun aber auch noch Beachtung finden.

Aus der Vielzahl möglicher Verstärkerschaltungen wurden eine Fender- und eine Music-Man-Schaltung ausgewählt (**Abb. 10.9.1**), weil bei beiden Leo Fender mitgewirkt hat. Wenn auch nicht als der alleinige Entwickler, so doch als der verantwortliche Patriarch. Die Schaltung des hier vorgestellten **Twin-Reverbs** hatte sich, beginnend bei RCA-Application-Notes, über die Jahre zu einem international anerkannten Standard entwickelt, der auch Wettbewerber inspirierte. Nach der Oktalröhren-Ära begannen Mitte der 50-er bei Fender die Novalröhren Einzug zu halten, wobei insbesondere die hochverstärkende 7025 (bzw. ihre Kolleginnen 12AX7 und ECC83) die Poleposition* erklommen und nie wieder hergaben.

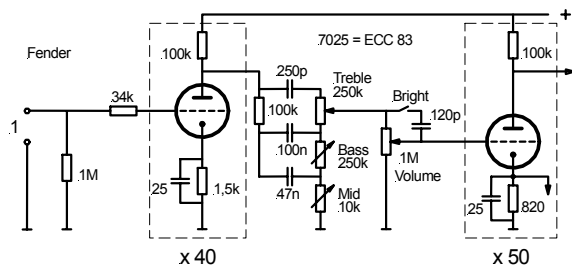


Abb. 10.9.1a: Fender AA763 (Twin-Reverb).

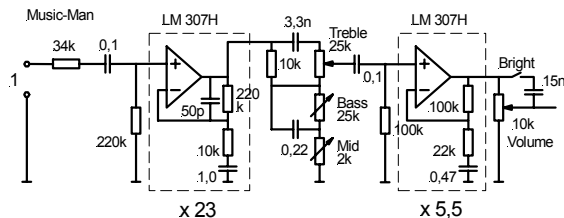


Abb. 10.9.1b: Music-Man 2100

Die Fender-Schaltung beginnt mit einer Trioden-Eingangsstufe, die circa 40-fach verstärkt. Daran schließen sich Klangfilter, Lautstärke-Potentiometer, und Zwischenverstärker an. Die Music-Man-Schaltung zeigt große Ähnlichkeit, der Eingangs-OP verstärkt allerdings nur 23-fach – ein Zugeständnis an seine kleinere Betriebsspannung, wegen der er früher begrenzt. Die Wirkung des Klangfilters ist in etwa vergleichbar, trotz kleiner Unterschiede. Das Volume-Poti folgt allerdings nicht direkt auf das Filter, sondern erst nach einem Zwischenverstärker. Zunächst sollen diese beiden Verstärker bezüglich ihres linearen Verhaltens verglichen werden.

Schon im Eingang zeigen sich Unterschiede: Der MM ist nicht so hochohmig wie der TR, die Tonabnehmer-Resonanz wird hierdurch stärker bedämpft; dafür ist die Eingangskapazität des MM kleiner (Miller-Effekt beachten!). Der Längskondensator im MM-Eingang hat kaum Auswirkungen auf das Signal, auch Arbeitspunktverschiebungen sind (wegen symmetrischer Begrenzung im OP-Eingang) nicht zu befürchten. Der 50-pF-Überbrückungs-Kondensator soll die Verstärkung bei hohen Frequenzen reduzieren, er wirkt ab ca. 10 kHz. Der im Gegenkopplungszweig liegende 1-µF-Kondensator verringert die Verstärkung bei ganz tiefen Frequenzen (unter 20 Hz). Das Impedanzniveau des MM-Klangfilters ist gegenüber dem TR um den Faktor 10 auf OP-übliche Werte reduziert. Abgesehen davon sind die Klangfilter sehr ähnlich, auch wenn beim MM ein Kondensator fehlt – auch bei Fender gab's schon Varianten mit nur 2 Kondensatoren (z.B. im Super-Amp, Kap. 10.3), diese Teilschaltungen änderten sich immer wieder.

In **Abb. 10.9.2** sind die Kleinsignal-Übertragungsmaße der beiden Schaltungen dargestellt, jeweils auf 1 kHz normiert. Diese Ähnlichkeit wird nicht zufällig entstanden sein, vermutlich war die Fender-Schaltung die zu erreichende Vorgabe. Der einzig wesentliche Unterschied im Kleinsignalverhalten liegt in der unterschiedlichen Eingangsimpedanz; man kann nur mutmaßen, dass die Schaltungsentwicklung möglicherweise mit einem niederohmigen Generator protokolliert wurde, sodass dieser Umstand nicht auffiel. Große Unterschiede zeigen sich dann aber im Großsignalverhalten, also bei starker Aussteuerung.

* Bei diesem Wort wird verständlich, warum das Textverarbeitungsprogramm 'Oktanröhren' schreiben möchte.

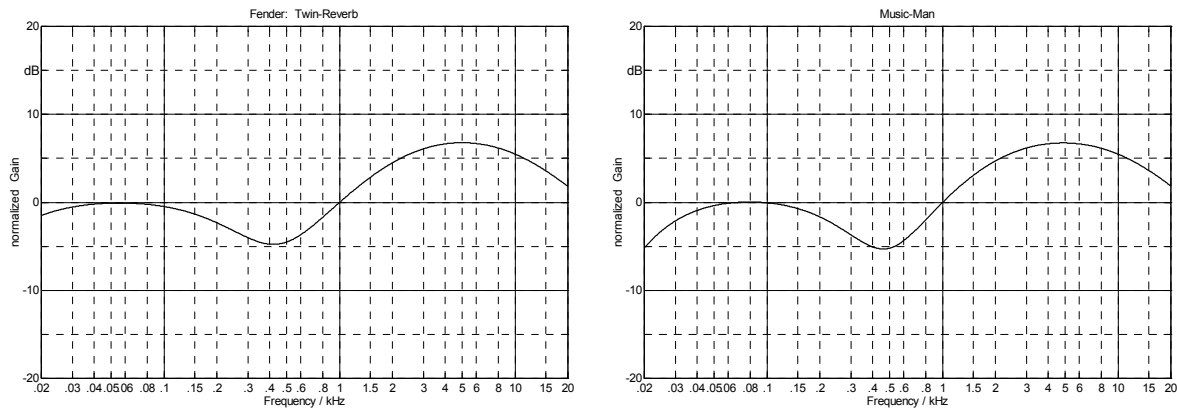


Abb. 10.9.2: Auf 1 kHz normierte Übertragungsfrequenzgänge. Bright-Schalter in beiden Fällen "off".

Für das Großsignalverhalten ist die Aussteuerungsgrenze der Verstärkerelemente (Röhre, OP) maßgeblich. Schon im Eingang erste Unterschiede: Beim TR Gitterstrom-Verzerrungen, beim MM nicht. Ab ca. 5 kHz beim MM Slewrate-Verzerrungen, beim TR nicht. Ganz wesentlich: Beim TR kommt das Volume-Poti gleich nach der ersten Röhre, beim MM erst nach dem zweiten OP. Bei voll aufgedrehtem Höhen-Steller (aka. Treble-Knopf) beträgt beim MM die Verstärkung vom Eingang bis zum Ausgang des 2. OP ca. 126, für verzerrungsfreien Betrieb darf die Eingangsspannung hierbei 70 mV nicht überschreiten. Ganz anders beim TR: nimmt man bei der ersten Röhre 35 V als Grenze für hartes Clipping an, erhält man ca. 900 mV Eingangsspannung. Allerdings: Wie schon in Kap. 10.1.4 gezeigt, lassen sich Röhren- und OP-Verzerrungen nicht so leicht vergleichen. Der OP arbeitet unter der Clipping-Grenze praktisch verzerrungsfrei, die Röhre ergibt hingegen über der Aussteuerung kontinuierlich zunehmende Verzerrungen. In **Abb. 10.9.3** ist für den MM der maximale Eingangspegel für unverzerrte Wiedergabe dargestellt. Gerade in dem für Fender-Gitarren besonders wichtigen Brillanzbereich (3 – 5 kHz) kann es sehr leicht zu Übersteuerungen kommen, selbst wenn das Volume-Poti nur wenig aufgedreht ist. Der **Bright-Schalter**, bei Fender-Verstärkern zumeist beim Volume-Poti angeordnet, ist bei einigen MM-Verstärkern in die Gegenkopplung des ersten OP integriert – vermutlich, um das Verstärkerrauschen zu reduzieren. Mit eingeschaltetem Bright-Schalter wird aber die Höhengaussteuerbarkeit noch weiter verringert (re. Bild), unabhängig von der Stellung aller Klangsteller und unabhängig vom Volume-Poti. Auch dies ist ein Unterschied zum Twin-Reverb und ähnlichen Fender-Verstärkern. Die MM-Verstärker zeigen somit im Großsignalverhalten deutliche Unterschiede zu typischen Röhrenverstärkern.

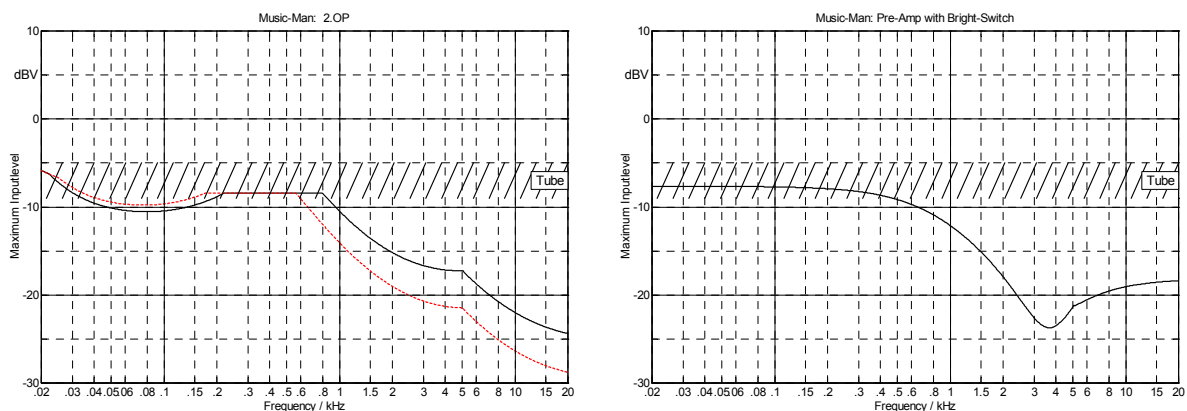


Abb. 10.9.3: Music-Man: Maximaler Eingangspegel für unverzerrten Betrieb. Linkes Bild: Durchgezogene Linie = Klangsteller wie bei Abb. 10.9.2, gestrichelte Linie = Höhensteller voll aufgedreht. **Rechtes Bild:** Verstärker, bei denen der Bright-Schalter die Verstärkung des Eingangs-OP verändert. Schraffur: Röhren-Eingangsstufe.