

10 Gitarrenverstärker

Elektrogitarren strahlen nur wenig Schalleistung ab – um gehört zu werden, sind spezielle Verstärker und Lautsprecher nötig. Man tut gut daran, Verstärker und Lautsprecher als zum Instrument gehörend zu betrachten: Die Elektrogitarre endet sozusagen an der Lautsprechermembran. Gitarrenverstärker verzerren, haben in der Regel ein frequenzabhängiges Übertragungsmaß, die dazugehörigen Lautsprecher verzerren ebenfalls, ihr Übertragungsmaß ist auch frequenzabhängig, und erst wenn dann auch noch das Lautsprechergehäuse deutliche Hohlraumresonanzen aufweist, ist der Gitarrist zufrieden. Allerdings gibt es auch hässlich schnarrende Verzerrungen, und auch nicht jede Frequenzgangverbiegung bzw. Resonanz klingt gut. Es hat unzählige Versuche gegeben, die primitiven Schaltungen der ersten Gitarrenverstärker zu verbessern – indes, häufig wurde nur die Schaltung besser, der Klang aber schlechter. Bücher über Schaltungstechnik lehren zumeist, wie man die nichtidealen Schaltungseigenschaften vermeidet, wie man z.B. durch Gegenkopplung den Endstufenklirrfaktor verringern kann. Berühmte Gitarrenverstärker (wie z.B. der VOX AC30) klingen aber gerade deshalb gut, weil sie in der Endstufe auf Gegenkopplung komplett verzichten. Daraus aber jetzt den Schluss zu ziehen, die Wissenschaft verstünde bis heute die Funktion eines Röhrenverstärkers nicht, wäre falsch: Systemtheorie, Schaltungstechnik und Messtechnik sind leistungsfähige Gebiete der Nachrichtentechnik – es krankt an der Aufgabenstellung. Es darf eben gerade nicht oberstes Ziel sein, den Frequenzgang zu "linearisieren", d.h. das Übertragungsmaß frequenzunabhängig zu gestalten, vielmehr ist z.B. der Frage nachzugehen, wie die Grenzfrequenzen den *Klang* beeinflussen. Den subjektiv wahrgenommenen Klang, nicht den vermeintlich gemessenen. Ob bei der E-Gitarre quadratische Verzerrungen besser klingen als kubische, steht nicht im Röhrenkompendium. Ob diese Verzerrungen besser in der Vor-, Zwischen- oder Endstufe auftreten sollen, auch nicht. Gerade die Interaktionen der einzelnen Teilsysteme machen Schaltungsanalyse und -entwurf aufwändig und schwierig: Die vereinfachende Beschreibung als LZI-System ist unzulässig. Aus diesem Grund lässt sich das Thema Gitarrenverstärker nicht in einem einzigen Kapitel abhandeln, hier erreicht man schnell die Dimension eines ganzen Buches. Die folgenden Darstellungen beschränken sich deshalb auf einige wenige arttypische Schaltungen.

10.1 Die Vorstufe

In der Schaltungstechnik wird die um eine Verstärkerröhre gruppierte Teilschaltung u.a. als *Verstärkerstufe* bezeichnet. Typisch sind: Vorstufe, Klangfilter, Phaseninverter, Endstufe, Netzteil. Jede dieser Teilschaltungen trägt etwas zum Klang des Verstärkers bei, oder, präziser, zur Übertragungscharakteristik. In der Vorstufe (auch: Eingangsstufe) verstärkt die Vorstufe die Tonabnehmerspannung auf das 20 – 50-fache. In den ersten beiden Jahrzehnten der Verstärker-Historie verwendete man hierfür großvolumige Oktalröhren (Röhren mit achtpoligem Oktalsockel), Mitte der 50-er halten dann die kleineren neunpoligen Novalröhren Einzug in den boomenden Verstärkermarkt. Insbesondere die hochverstärkende 12AX7 (ECC83, 7025) hat sich zu einem Standard entwickelt, der heute, ein halbes Jahrhundert später, immer noch anerkannt ist.

10.1.1 Die Vorstufenröhre

Abb. 10.1.1 stellt die Schaltung einer Triode, wie sie typischerweise als Eingangsstufe in Gitarrenverstärkern verwendet wird, einer N-Kanal-JFET-Schaltung gegenüber. Nicht, weil die Schaltungen äquivalent wären, sondern um dem Halbleiter-Experten den Einstieg zu erleichtern. Die drei Elektroden der **Triode** heißen **Kathode**, **Gitter** und **Anode**; ihnen entsprechen Source, Gate und Drain. Anders als beim FET ist zum Betrieb der Röhre ein Heizstrom erforderlich (ca. 0,3A, 6,3V), er wird im Schaltbild üblicherweise nicht eingezeichnet. Röhren arbeiten mit sehr hohen Betriebsspannungen ($U_B = 200 - 400V$), das ist ca. 10x so groß wie beim FET. Die im Anoden- bzw. Drainkreis fließenden Ströme sind hingegen vergleichbar, bei Eingangsstufen ca. 1 – 2 mA. Steuergröße ist die zwischen Gitter und Kathode (Gate und Source) liegende Spannung, für kleine Aussteuerung ist der Eingang (Gitter, Gate) sehr hochohmig, es fließt kein Gitterstrom (Gatestrom) durch den Gittervorwiderstand (Gatevorwiderstand) R_g , der Kathodenstrom (Sourcestrom) und der Anodenstrom (Drainstrom) sind deshalb gleich groß. Am Kathodenwiderstand R_k (bzw. Sourcewiderstand R_s), der z.B. 1,5 k Ω hat, fallen bei 0,8 mA Kathodenstrom (Sourcestrom) 1,2 V ab, die Steuerspannung U_{gk} (U_{gs}) ist deshalb $-1,2V$, solange die Eingangsspannung U_e null ist. Der Eingangswiderstand R_e beträgt beim Gitarrenverstärker häufig 1 M Ω , der Vorwiderstand R_g häufig 34 k Ω (Parallelschaltung von zwei 68-k Ω -Widerständen), der Anodenwiderstand R_a liegt zwischen 100k Ω und 200k Ω .

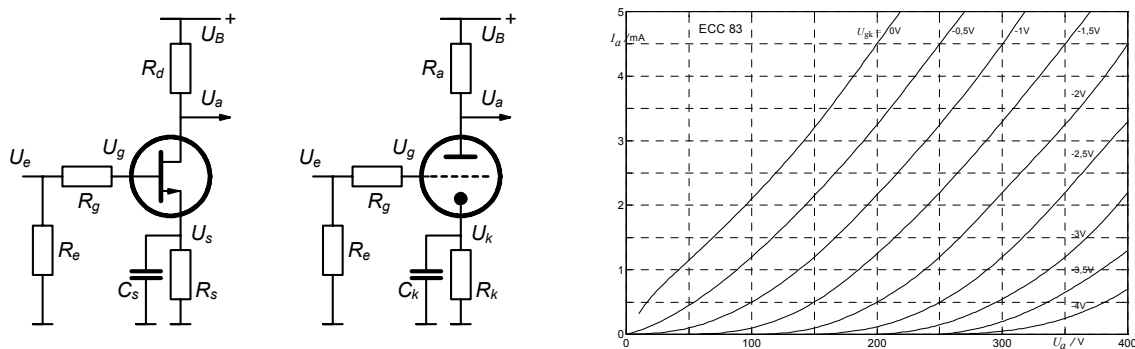


Abb. 10.1.1: Eingangsschaltung eines Röhrenverstärkers (Mitte) im Vergleich zu einem FET-Verstärker (links). Im rechten Bild sind typische Kennlinien dargestellt (Datenblatt der Röhren-Doppeltriode ECC 83). Der Begriff "Steuerspannung" wird unterschiedlich verwendet, hier: Gitter/Kathode-Spannung bzw. Gate/Source-Spannung.

Die Steuerspannung U_{gk} bzw. U_{gs} ist im Arbeitspunkt (d.h. ohne Ansteuerung, $U_e = U_g = 0$) bei beiden Schaltungen negativ, z.B. $-1,2 V$. Für positivere (d.h. weniger negative) Steuerspannung (z.B. $-1V$) leiten beide Verstärkerelemente besser, d.h. Anodenstrom und Kathodenstrom (Drain- und Sourcestrom) steigen. Ohne Kathodenkondensator (Sourcekondensator) würde dadurch die Kathodenspannung (Sourcespannung) zunehmen, und auf diese Weise der Ansteuerung entgegenwirken, was eine Verringerung der Verstärkung zur Folge hätte. Weil die ersten Gitarrenverstärker mit einigen wenigen Röhren auskommen mussten, war hohe Verstärkung gefordert, und Gegenkopplung unerwünscht. Deshalb wurde der Kathodenwiderstand mit einem Elektrolyt-Kondensator (typisch 25 μF) überbrückt. Durch diese Maßnahme kann (im relevanten Frequenzbereich) an der Kathode keine Wechselspannung entstehen, C_k wirkt als Wechselspannungskurzschluss. Mit zunehmender Eingangsspannung U_e steigt der Anodenstrom, damit vergrößert sich der Spannungsabfall am Arbeitswiderstand R_a , und für konstant gehaltene Betriebsspannung U_B fällt die Ausgangsspannung U_a . Liegt am Eingang eine Wechselspannung, so entsteht am Ausgang eine verstärkte, gegenphasige Wechselspannung, die um einen konstanten Wert (z.B. $250V - 100k\Omega \cdot 0,8mA = 170V$) verschoben ist. Die erreichbare Spannungsverstärkung hängt stark vom Röhrentyp ab, mit der häufig eingesetzten **ECC 83** lassen sich **Wechselspannungsverstärkungen um -50** erreichen.

Die an der Anode auftretende Wechsellspannung ist gegenphasig zur Gitter-Wechsellspannung, deshalb findet man bei Verstärkungsangaben gelegentlich ein **Minuszeichen** ($\nu = -50$). Man kann die Spannungsverstärkung aber auch als Quotient zweier Effektivwerte definieren, dann erhält man immer einen positiven Verstärkungsfaktor, also z.B. $\nu = +50$ (Effektivwerte sind immer positiv definiert). Aber auch bei positiver Verstärkungsangabe sind Anoden- und Gitterwechsellspannung zueinander gegenphasig, zumindest bei der in Gitarrenverstärker-Vorstufen eigentlich immer verwendeten Kathoden-Basis-Schaltung (Kathode wechsellspannungsmäßig an Masse).

Die mit einer Röhrenschaltung tatsächlich erreichbare **Spannungsverstärkung** hängt von der Beschaltung, der Spannungsversorgung und der individuellen Röhre ab. Der in Datenbüchern zu findende **Leerlaufverstärkungsfaktor** (mit μ oder u bezeichnet) kennzeichnet einen sehr theoretischen Betriebszustand (Ausgangsleerlauf), der in der typischen Vorstufe nicht vorkommt. Sowohl der von der Anode zur Betriebsspannung führende Anodenwiderstand (auch Arbeitswiderstand genannt), als auch der Eingangswiderstand der folgenden Verstärkerstufe verringern die Spannungsverstärkung vom theoretischen Leerlaufverstärkungsfaktor auf den realen *Betriebsverstärkungsfaktor*, der abgekürzt *Betriebsverstärkung*, oder auch nur *Verstärkung* genannt wird. Bei der ECC83, einer typischen Vorstufenröhre, wird als Leerlaufverstärkungsfaktor $\mu = 100$ (bzw. -100) genannt; die tatsächlich erreichbare Betriebsverstärkung ist geringer, typischerweise kann man 20 ... 50 erwarten. Da Röhren im Laufe ihres Lebens ihre Betriebsdaten ändern, bleibt die Betriebsverstärkung über die Jahre hinweg nicht konstant. Und da die Röhrenproduktion mit u.U. erheblichen Toleranzen behaftet ist (Blech, Draht, Kathodenbeschichtung), kann sich die Betriebsverstärkung zweier neuer ECC83 ohne weiteres um 10% unterscheiden. Oder um 20%, und sogar noch größere Toleranzen sind möglich.

Damit die Funktion einer Verstärkerröhre (engl. TUBE, VALVE) analytisch beschrieben werden kann, sind Vereinfachungen erforderlich. Typische **Röhrenmodelle** gehen von folgenden idealisierenden Modellgesetzen aus:

Die Ansteuerung der Röhre erfolgt leistungslos (ihr Eingangswiderstand ist praktisch unendlich); die Röhre ist ein lineares und zeitinvariantes System; die obere Grenzfrequenz ist so hoch, dass das (tiefpassbegrenzte) Gitarrensinal praktisch keine zusätzliche Filterung erfährt; "die" Röhrendaten stehen in Tabellenbüchern.

Alle diese Annahmen sind für typische Gitarrenverstärker unzutreffend und bestenfalls als grobe Orientierung brauchbar. Die folgenden Kapitel beschreiben in Kurzform die für Gitarrenverstärker besonders wichtigen Röhreneigenschaften, sowie typische Schaltungskonzepte. Ergänzendes Grundlagenwissen vermitteln Standardwerke [z.B. Barkhausen, Schröder, RCA-Handbuch]. Bei Büchern über Röhrenverstärker ist allerdings zu berücksichtigen, dass die klassischen Standardwerke sehr detailliert und zum Teil sehr theoretisch auf das Betriebsverhalten der Röhre eingehen, den "Missbrauch", d.h. die in einem Gitarrenverstärker praktizierte zigfache Übersteuerung jedoch mit keinem Wort erwähnen. Die modernen Standardwerke konzentrieren sich auf Halbleiter und Spezialröhren (technische Röhren), das ist für Gitarrenverstärker wenig hilfreich. Bücher, die tatsächlich die Besonderheiten eines röhrenbestückten Gitarrenverstärkers erläutern, sind häufig sehr allgemein gehalten, und bringen kaum Messwerte und selten theoretische Berechnungen. Im schlimmsten Fall werden Vermutungen kolportiert, die in unüberschaubarer Zahl das Internet überschwemmen (*Die Kahtodyn Schaltung klingt viel tighter, als die SEPP oder die longtail weil schon Leo Fender im 5E6a diesen Verstärker Typ eingeführt hat*). Cave: Nicht einführen! Heiß!!