

10.1.7 Rauschen, Brummen, Mikrofonie

Das Rauschen der Eingangs-Verstärkerröhre kann in guter Näherung durch eine in Reihe zum Röhrgitter liegende Rauschspannungsquelle modelliert werden, die **Weißes Rauschen** mit einer Rauschspannungsdichte von ungefähr $5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ erzeugt (vergl. Kap. 5.12). Dieses Modell erfasst jedoch nicht die bei Wechselstromheizung entstehende Brummspannung, sondern nur den stochastischen Anteil des Störsignals. Bei der typischen Eingangsschaltung rauscht allerdings nicht nur die Röhre: Hinzu kommt das Rauschen des Gittervorwiderstandes ($34 \text{ k}\Omega$), der sich aus der Parallelschaltung der beiden im Eingangskreis liegenden $68\text{-k}\Omega$ -Widerstände ergibt; dieser Widerstand ist die eigentliche Rauschquelle, ihre Ersatzspannungsdichte beträgt $24 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$! Es ist somit müßig, über rauschärmere Röhren nachzudenken, solange man an der klassischen Eingangsschaltung festhält. Die Gesamtspannung darf übrigens nicht durch Addition berechnet werden, die Rauschquellen sind unkorreliert:

$$U_{\Sigma} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}; \quad e_{\Sigma} = \sqrt{5^2 + 24^2} \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} = 24,5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

Wie man sieht, trägt das Röhrenrauschen praktisch nichts zum Gesamtrauschen bei. Bevor man nun aber den **Gittervorwiderstand** entfernt und den Tonabnehmer direkt mit dem Gitter der Eingangsröhre verbindet, sollte man bedenken, dass der Vorwiderstand ja auch noch eine andere Funktion hat, als Rauschen zu erzeugen: Er begrenzt den Gitterstrom, und beeinflusst die nichtlinearen Verzerrungen der Vorstufenröhre. Außerdem bildet er mit der Eingangskapazität einen Tiefpass, der unerwünschte HF fernhält (*This is Radio Eriwan...*). In vielen Fällen wird das vom Gittervorwiderstand erzeugte Rauschen geringer sein als das in der Gitarrenschialtung entstehende Rauschen, dessen Spannungsdichte in dem für das Gehör wichtigen Frequenzbereich durchaus $40 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ (und mehr) erreichen kann.

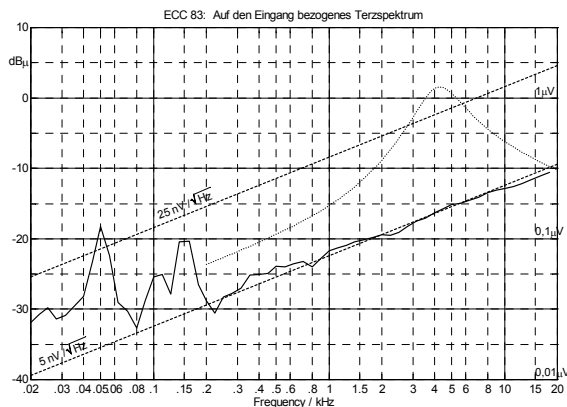


Abb. 10.1.29: Terz-Rauschspektrum (ECC 83). Die beiden gestrichelten Linien markieren das zu Weißem Rauschen gehörende Terzspektrum, die gepunktete Linie zeigt das von einer typischen Stratocaster erzeugte Terz-Rauschspektrum. Alle Spektren sind auf den Röhreneingang bezogen.

In **Abb. 10.1.29** ist das an einer ECC 83 gemessene Terzspektrum im Vergleich zu theoretischen Kurven dargestellt. Zur Messung war das Gitter mit Masse verbunden, die Röhre war gleichstromgeheizt. Brummspannungen um $0,1 \mu\text{V}$ sind für einfache Abschirmung typisch, und viel geringer als das von Magnettonabnehmern aufgefangene Störfeld. Ohne Gittervorwiderstand rauscht die Röhre im ganzen Frequenzbereich weniger als der zum Vergleich eingezeichnete Tonabnehmer (Kap. 5.12), mit Gittervorwiderstand dominiert das Tonabnehmergeräusch nur mehr im Bereich um die Tonabnehmer-Resonanz. Die an der Anode gemessenen Terzpegel sind um das Verstärkungsmaß größer als die im Bild angegebenen, im Beispiel um $33,4 \text{ dB}$. Die **breitbandig** in den Frequenzbereich unter 20 kHz fallende Eingangs-Rauschspannung beträgt (bei kurzgeschlossenem Gitter) ca. $1 \mu\text{V}_{\text{eff}}$, dies entspricht einer Anoden-Rauschspannung von ca. $47 \mu\text{V}_{\text{eff}}$.

Welche Rauschquelle bei seinem Gitarrenverstärker dominiert, kann jeder Gitarrist selbst herausfinden: Hierzu muss er nur das Rauschen bei kurzgeschlossenem Eingang mit dem Betriebsrauschen vergleichen, das entsteht, wenn die Gitarre eingesteckt und voll aufgedreht ist. Sind beide Rauschen ungefähr gleich laut, ist tatsächlich das Verstärkerkonzept (bzw. die Eingangsröhre) in Frage zu stellen; rauscht's im Betrieb lauter als bei kurzgeschlossenem Eingang, ist die Gitarre der Verursacher. **Eingangskurzschluss** lässt sich auf verschiedene Arten erzeugen: Ganz fehlerfrei mit einem Klinkenstecker, dessen Anschlussösen zusammengelötet sind. Man kann auch eine Potentiometerachse (6,3 mm) oder einen ähnlich dicken Kurzschlussstift in die Eingangsbuchse stecken. Oder man steckt die Gitarre an, und dreht das Volume-Poti auf 0. Diese Maßnahme setzt aber voraus, dass das Gitarrenkabel am Schleifer des Volume-Potis ankommt, wie das z.B. bei der Standard-Stratocaster und bei der Standard-Les-Paul der Fall ist. Gitarren, bei denen die Tonabnehmer an die Poti-Schleifer angelötet sind (sog. Reverse-Mode), eignen sich für diesen Test nicht.

Das zweite unerwünschte Störsignal, das ein Verstärker erzeugt, ist **Brummen**. Ursache des Verstärker-Brummens ist das 230-V-Netz mit seiner 50-Hz-Wechselspannung, das über kapazitive und induktive Kopplungen in die empfindlichen Schaltungsbereiche einstreut*. Auch falsche Masseführung im Verstärker kann eine Ursache sein, vor allem beim Netzgleichrichter. Im typischen Röhrenverstärker fließen relativ große Heizströme (Vorröhren 0,3 A, Endröhren 1 – 2 A), deren Magnetfelder in den empfindlichen Gitterkreis einstreuen können. Gleichstromheizung ist bei den (üblichen) indirekt beheizten Röhren eine hilfreiche Option, die aber nur selten zur Anwendung kommt. Unbedingt erforderlich ist sie nicht: Mit verdrehten Heizleitungen und korrekter Masseführung lässt sich jeder Röhrenverstärker so ausreichend brummarm aufbauen, dass im Betrieb die vom Gitarrentonabnehmer aufgefangenen Brummstörungen überwiegen.

Mikrofonie bezeichnet die Eigenschaft einer Röhre, wie ein Mikrofon auf Luftschall und Körperschall (= mechanische Vibrationen) zu reagieren. Insbesondere im Combo (Verstärker und Lautsprecher im selben Gehäuse) können hieraus Probleme erwachsen: Der Verstärker klingt, als würde im Hintergrund immer eine Glocke mitklingeln, und bei großer Verstärkung kann eine heulende Rückkopplung einsetzen. Ursache der Mikrofonie ist die Deformation des Röhreninneren, insbesondere des Steuergitters. Die hauchdünnen Gitterdrähte geraten bei Beschallung der Röhre in Schwingungen, dadurch ändern sich die inneren Röhren-Kapazitäten, was wiederum den Anodenstrom moduliert, und Störtöne produziert. Jede Röhre ist mikrofonisch, aber nicht immer so stark, dass Probleme entstehen. Vor allem die Vorstufenröhren, an deren Gitter die kleinsten Signalspannungen anliegen, sollten wenig mikrofonisch sein – der Handel bietet hierfür speziell selektierte Röhren an.

Für eine orientierende **Messung** wurde eine Doppeltriode (12AX7), die beim Anklopfen einen deutlich nachklingenden 630-Hz-Ton erzeugte, mit einem Lautsprecher beschallt. Bei 130 dB Schallpegel – in einem Combo leicht erreichbar – entstand eine auf den Eingang zurückgerechnete Störspannung von ungefähr 1 mV. Noch viel schlechter war eine 12AU7: 30 mV! Auch ohne den Verstärker voll aufzudrehen, bekommt man damit einen unerwünschten "Mitspieler"; bei großer Verstärkung gibt's mit so einer Röhre Rückkopplungspfeifen. Da außer über den Luftschallweg auch über den Röhrensockel Vibrationen in die Röhre gelangen können, ist es zweckmäßig, zumindest bei den Vorstufenröhren die Sockel in Gummi oder ähnlichem Absorbermaterial zu lagern. Das aber hohe Temperaturen aushalten sollte und nicht verspröden darf.

* Und zwar nicht nur bei 50 Hz, sondern auch bei ganzzahlig Vielfachen: 100 Hz, 150 Hz, etc.