



Auf die Dosis kommt

Die Gegenkopplung kann bei Verstärkern klangliche Wunder wirken. Doch bei zu hoher Dosierung wird aus dem Medikament ein Gift

Genau genommen geht es bei allen Messungen, die wir bisher an Verstärkern vollzogen haben, im weitesten Sinne um eine Absicherung dessen, was wir gehört haben, mittels des Sehnsinnes. Nur indem wir diesem eine Struktur liefern, die in Form von Grafiken wiederkehrende klangliche Ereignisse bestätigt, können wir beides logisch verknüpfen und uns auf diese Weise sicher sein, dass wir nicht einer akustischen Täuschung auf den Leim gegangen sind. Wie bereits im letzten Heft erläutert, ist uns die Mathematik ein hilfreiches Mittel, um bislang unentdeckte Muster sichtbar zu machen. Mit Hilfe der so genannten Fourier-Analyse konnten wir darstellen, dass es beim Klang eines Verstärkers nicht nur um die Menge der produzierten Verzerrungen geht, sondern vor allem auch um die Struktur der Oberwellen, also darum, bei welchen Frequenzen diese vorzufinden sind. Die Messungen ergaben, dass sowohl der Transistor mit geringer Gegenkopplung wie auch die Röhre ein zu höheren Frequenzen hin gleichmäßig abfallendes Klirrspektrum haben, dessen Verteilung also trotz der

unterschiedlichen Gesamtmenge des Klirrs anscheinend für einen ähnlichen Klangcharakter verantwortlich ist. Wer sich die Spektralanalyse noch etwas genauer ansah, konnte darüber hinaus eine Anordnung der vom Verstärker produzierten Oberwellen feststellen, welche ein ganzzahliges Vielfaches zur Grundwelle darstellten. Das heißt, der lauteste vom Verstärker produzierte zusätzliche Ton stand interessanterweise im Verhältnis einer Oktave zum Grundton, alle weiteren in dem einer Quinte, Quarte, usw. zu dem jeweils vorherigen.

Töne im Oktavverhältnis klingen harmonisch

Vergleichen wir diese Erkenntnisse mit den von Hermann von Helmholtz gemachten Untersuchungen über den Einfluss der Obertöne auf die Klangfarbe von Instrumenten (siehe Kasten): Es fällt auf, dass hier das Auftreten von Obertönen der niederen Art als psychoakustisch vorteilhaft beschrieben wird. Dies erklärt, weshalb ein gewisses Maß an Obertönen, sofern sie im richtigen Verhältnis zum Grundton stehen, auch bei Verstärkern nicht als nachteilig, im

Gegenteil sogar als angenehm empfunden werden können. Darüber hinaus weiß man, dass Töne, welche im Oktavverhältnis 1:2 angeordnet sind, als harmonischer Einklang empfunden werden, weshalb die erste Oberwelle K2 kaum wahrgenommen wird, auch wenn sie recht ausgeprägt ist.

Der kritische Leser wird nun bemerken, dass wir das hohe Ziel der naturgetreuen Wiedergabe scheinbar aus den Augen verloren haben, da es hier nicht um Musikinstrumente zum Zwecke der Klangfarbenmalerei gehe, sondern darum, Kriterien zu entwickeln, anhand derer die Qualität von Verstärkern beurteilt werden kann. Dies bedeutet eine klare Direktive, dass nämlich ein Verstärker nichts hinzufügen oder weglassen sollte, also dem Ideal der „Eins zu eins Wiedergabe“ möglichst nahe kommen muss. Messtechnisch heißt das, er sollte möglichst einen Klirrfaktor von null Prozent haben. In der Theorie haben wir es also mit einer klar definierten, Messtechnik-gestützten Forderung zu tun. In der Praxis konnten wir allerdings nur feststellen, wie weit wir von ihrer Erfüllung noch entfernt sind. Dies ruft insofern Unbehagen

hervor, als demnach gerade der Röhre, aber auch dem wenig gegengekoppelten Transistor, eine Klangfarbenmalerei vorzuwerfen ist, die nicht statthaft sein kann. Hinzu kommt, dass unser nächster Versuch mit leicht erhöhter Gegenkopplung ein klangliches Ergebnis lieferte, welches mit deutlich mehr Präzision glänzen konnte. Und wie sich anhand der Messung ergab, wurde dabei auch noch einmal deutlich weniger Klirr produziert. Dies ist also Indiz dafür, dass weitere Steigerungen möglich sind (Bild 1).

Bei vier Ohm Last kippt das Ergebnis

Warum aber wird der Klang bei noch weiterer Erhöhung der Gegenkopplung kühl? Ist diese unter Umständen selbst irgendwann ein Problem? Messtechnisch schien sich zunächst alles gut zu entwickeln. Der Klirrfaktor reduzierte sich noch einmal, das Spektrum ähnelte sehr dem bei geringerer Gegenkopplung gemessenen und das Grundrauschen lag mit nahezu -130 dB unter der Wahrnehmungsgrenze (Bild 2). Wenn wir dieses Ergebnis ausdeuten, hieße dies allerdings, dass gute Messdaten mit gutem Klang

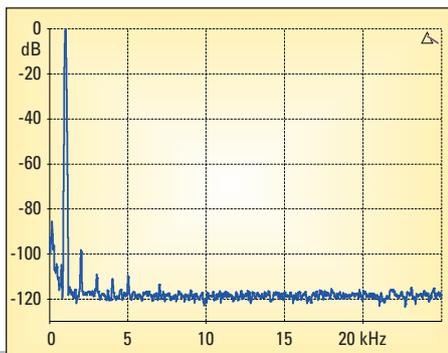


Bild 1: mittlere Gegenkopplung, 10 Ohm Last. Die Klirrkomponenten liegen bei -100 dB und darunter

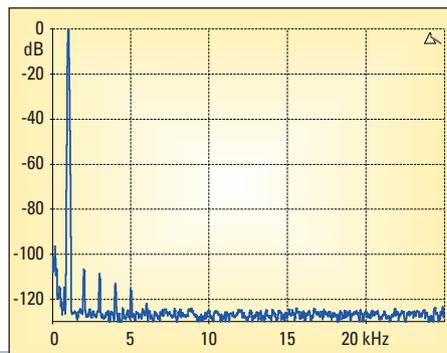


Bild 2: höhere Gegenkopplung, 10 Ohm Last. Die k2-Komponente ist noch weiter gesunken

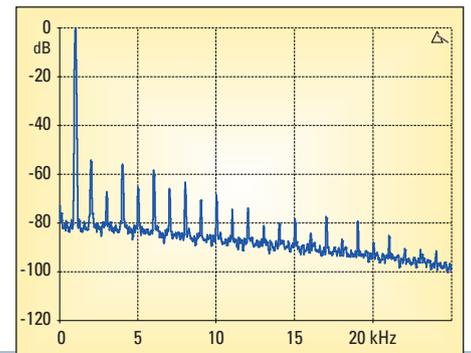


Bild 3: höhere Gegenkopplung, Aussteuerungsgrenze, 4 Ohm Last. Der Verstärker wird instabil

es an

gleich zu setzen seien, noch bessere Messdaten aber mit schlechterem Klang. Das freut zwar die Röhrenfraktion, ist aber widersinnig! Da die Messungen nicht spiegeln, was wir zu hören bekommen, gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder müssen wir davon ausgehen, dass der Versuchsaufbau nicht realitätsnah genug ist, oder es gibt noch Faktoren, die wir mit unserer Messung nicht abdecken. Zunächst versuchten wir Ersteres zu ergründen, indem wir die letzte Messung mit deutlich erhöhtem Eingangspegel vollzogen. Wir gingen an die Aussteuerungsgrenze des Verstärkers und belasteten seinen Ausgang zusätzlich mit nunmehr vier Ohm statt bisher zehn Ohm. Und siehe da, das Ergebnis kippte. Im Gegensatz zu vorherigen Messungen bei höherer Belastung, aber geringerer Gegenkopplung, bei denen sich keine außergewöhnlichen Veränderungen ergaben, konnte man nun ein zu den höheren

Oberwellen hin verschobenes Klirrspektrum beobachten (Bild 3). Wir bewiesen somit, dass die „Gegenkopplungsmedizin“ bei hoher Gesamtbelastung des „Verstärkerkörpers“ durchaus zum Gift werden kann. Schon Paracelsus wusste: „Allein die Dosis macht, das ein Ding kein Gift ist“. Extreme Korrekturen führen oft zum Gegenteil dessen, was man zu erreichen suchte. Wenn ich deflationsbedingte Armut durch übermäßige Erhöhung der Geldmenge bekämpfe, bekomme ich inflationsbedingte Armut.

Kein Verstärker ist physikalisch ideal

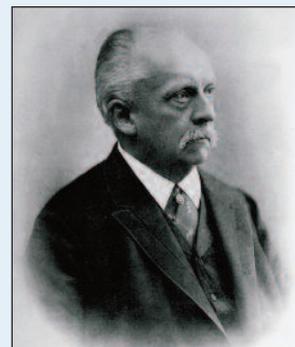
Und dennoch: Ist dies nicht doch nur ein Grenzfall der Realität? Obschon der Klang unseres gestressten Verstärkers nach Helmholtz so schön zu der obigen Beschreibung passt, muss man doch gelten lassen, dass ein realer Lautsprecher bei normaler Lautstärke kaum zu solch einem Mitkopplungseffekt führen

HERMANN VON HELMHOLTZ

Der Naturwissenschaftler Helmholtz fand in seinen Akustik-Studien unter anderem heraus:

„Klänge, welche von einer Reihe ihrer niederen Obertöne bis zu ihrem sechsten hinauf in mäßiger Stärke begleitet sind, sind klangvoller, musikalischer. Sie haben, mit den einfachen Tönen verglichen, etwas Reicheres, Prächtigeres, sind aber vollkommen wohlklingend und weich, so lange die höheren Obertöne fehlen.“

„Wenn nur die ungeradzahigen Obertöne da sind, wie bei den engen gedackten Orgelpfeifen, den in der Mitte geschlagenen Klaviersaiten und der Klarinette, so bekommt der Klang einen hohlen oder bei größerer Zahl von Obertönen einen näselnden Charakter. Wenn der Grundton an Stärke überwiegt, ist der Klang voll; leer dagegen, wenn jener an



Hermann von Helmholtz, 1821-1894

Stärke den Obertönen nicht hinreichend überlegen ist.“

„Wenn die höheren Obertöne jenseits der sechsten und siebten sehr deutlich sind, wird der Klang scharf und rau.“

wird. Gibt es also doch bisher unentdeckte Faktoren?

So bleibt Miss Marple nur zu kombinieren, was als erwiesen gelten kann: Ein Verstärker ist niemals physikalisch ideal, er ist höchstens psychoakustisch optimal. Sie weiß, dass sie die körperliche Befindlichkeit des Hörprobanden im Auge behalten muss, um entscheiden zu können, welches Maß an Klirr nun noch zu vertreten sei, ohne dass es seine Empfindungen

störe. Dies unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der Mensch allenthalben an Klirr gewöhnt ist, ihn vielleicht sogar in gewissem Maß als notwendige Information betrachtet. Aber sie erhält sich auch harte Maßstäbe, indem sie sich dem physikalischen Ideal des klirrlosen Verstärkers weiterhin verpflichtet fühlt, da alles Sammeln von Indizien sonst ziellos wäre. Dazu mehr im nächsten Heft.

Karl Knopf