

# **GSa**

**Gerd Sauermann audio**

## **White Paper**

### **Sauermann Verstärker**

**Gerd Sauermann audio  
Heinrich-Bursch-Straße 32  
53117 Bonn**

**Tel.: +49 (0)228 3908075  
Email: [info@sauermann-audio.eu](mailto:info@sauermann-audio.eu)**

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Systemkonzept	3
3	Grundsätzliche Designmerkmale	4
3.1	Musikalität	4
3.2	Theoretische Überlegungen	4
3.2.1	Minimalistischer Ansatz	4
3.2.2	Günstige Fehler	4
3.2.2.1	Möglichst korrekte Impulswiedergabe	5
3.2.2.2	Laststabile Verstärkung	5
3.2.2.3	Möglichst homogenes Verzerrungsspektrum	5
4	Technologie	7
5	Technische Realisierung	8
6	Varianten	8
6.1	Stereoverstärker	9
6.2	Mono-Blöcke	9
7	Anlage: Messprotokolle	10
7.1	Dämpfungsfaktor	10
7.2	Frequenzgang	10
7.3	Verzerrungsverhalten	11
7.3.1	Harmonische Verzerrungen	11

## 1 Einleitung

Die konsequente Orientierung und Ausrichtung auf die Erzielung der best möglichen Klangergebnisse ist der einzige Leitgedanke bei der Realisierung der Sauer mann Verstärker.

Zur Erreichung dieses Ziels gibt es kein Festhalten an Paradigmen oder gängigen technischen Konzepten. Einzig das Ergebnis zählt.

Die einzige Vorbedingung, die zugelassen wurde, ist die Orientierung der realisierbaren Lautstärke an der Hörsituation in einem normalen Wohnumfeld.

## 2 Systemkonzept

In Zukunft wird die Integration von IT und Unterhaltungselektronik immer schneller voranschreiten. Streamingtechnologien aus der Informationsverarbeitung werden die Übertragung von Mediendaten dominieren. Der hohe Bedienungskomfort von „Fernbedienungen“ über Smart Phones oder TabletPCs (i... Produkte), stellt eine hohe Attraktivität dieser Lösungen dar. Da die Fernbedienung solcher Medienquellen unabhängig von Sichtverbindungen erfolgen, im Gegensatz zu Infrarot Systemen der Unterhaltungselektronik, können alle Signalquellen und bedienungsrelevante Komponenten dieser System „versteckt“ werden.

Die Innovationszyklen dieser Komponenten sind zurzeit extrem kurz. Welche Systeme sich durchsetzen werden und wie künftige Signalquellen gestaltet sein werden, wird sich erst noch zeigen.

Was hingegen beständig und sichtbar bleiben sind Lautsprecher und Leistungsverstärker, die wegen Ihrer Größe und/oder Wärmeentwicklung zudem einer relativ freien Aufstellung bedürfen.

Sauer mann Verstärker platzieren sich vor dem Lautsprecher in jedes Anlagen-Szenario. Egal ob analoge oder digitale Quelle, über Vorverstärker oder direkt angeschlossen, plaziert sich ein Sauer mann Verstärker als attraktives Objekt in den Wohnbereich. Er bildet das Übergangsglied und bestimmt maßgeblich die herausragende Übertragungsqualität des gesamten Systems.

Das Erscheinungsbild der Sauer mann Verstärker kann über eine auswechselbare Frontplatte jederzeit ganz leicht an individuelle Wohnraumbedürfnisse und persönliche Geschmacksvorstellungen angepasst werden. Dabei existieren keinerlei Beschränkungen im Bezug auf Material, Oberflächenstruktur und Farbgebung!

## 3 Grundsätzliche Designmerkmale

### 3.1 Musikalität

Musik ist ein höchst dynamisches und komplexes Ausdrucksmittel mit dem Ziel, beim Zuhörer Emotionen zu wecken. Entsprechend muss sich das Design eines technischen Gerätes zur Übertragung von Musik den Anforderungen dieses Ausdrucksmittels unterwerfen.

**Das oberste Ziel muss stets sein, die Intentionen von Komponisten und Interpreten authentisch zu vermitteln.**

Bis heute ist es nicht möglich, die zum Erreichen dieses Zieles nötigen technischen Parameter vollständig zu erfassen.

Daher ist es auch nicht möglich, einen Verstärker anhand von technischen Parametern so zu entwerfen, dass er „musikalisch“ klingt. Das Ergebnis eines technischen Entwurfes bzw. einer Verbesserung muss immer im Vergleich zum Klang „echter“ Instrumente oder anderer musikalischer Ereignisse geprüft werden.

Diese Vorgehensweise wurde bei der Entwicklung der Sauer mann Verstärker konsequent verfolgt und eingehalten. Nach voran gegangenen theoretischen Überlegungen folgte eine große Anzahl von Hörvergleichen mit anschließenden technischen Korrekturen, die letztlich zu einem außergewöhnlichen Ergebnis führten.

### 3.2 Theoretische Überlegungen

#### 3.2.1 Minimalistischer Ansatz

Obwohl ein musikalischer Klang eines Verstärkers nicht direkt anhand von technischen Parametern entwerfen lässt, gibt es Rahmenbedingungen, die grundsätzlich von Vorteil sind. Ein wesentlicher Leitgedanke ist:

**Der kürzestmögliche Signalweg**

Je weniger Verstärkerstufen und Bauteile an der Verstärkung beteiligt sind, umso weniger Fehler werden durch diese Bauteile verursacht.

Die Herausforderung bei diesem Ansatz ist, eine minimierte Schaltung so zu entwickeln, dass sie in jeder Hinsicht stabil arbeitet.

Zu diesem minimalistischen Ansatz gehört zwangsläufig die Maßgabe, parasitäre Bauteileinflüsse soweit wie möglich auszuschließen. Parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten werden beispielsweise über gedruckte Leiterplatten erzeugt. Ein „schöner“ und „ästhetischer“ Schaltungsaufbau ist nicht zwangsläufig der elektrisch beste. Das Schaltungslayout der Sauer mann Verstärker wurde auch unter diesem Gesichtspunkt optimiert. Alle Bauteile werden **ohne** Platinenaufbau direkt verdrahtet. Bei dieser Vorgehensweise können nicht nur parasitäre Leitungsparameter minimiert, sondern auch die Leitungen selbst optimiert werden, beispielsweise durch die Verwendung besonderer Materialien (Silber/Gold) und Leitungsquerschnitte.

#### 3.2.2 Günstige Fehler

Da kein technisches Produkt fehlerfrei arbeitet, ist es zur Erreichung einer möglichst authentischen Musikwiedergabe von entscheidender Bedeutung, nur Fehler zuzulassen, die einen möglichst geringen Einfluss auf die authentische Übertragung von Musik haben.

Es wurde ja bereits erwähnt, dass eine direkte Zuordnung von technischen Parametern zu den klanglichen Eigenschaften eines Verstärkers schwer möglich ist. Dennoch kann man einige Festlegungen treffen, die günstig auf den Klang zu wirken scheinen, wenngleich dieser Festlegungen nicht allgemeingültig anerkannt sind.

Herausragende Bedeutung bei der Entstehung von Übertragungsfehlern hat zum Beispiel die Frage, ob ein Verstärker nur Spannungssignale verstärken oder auch Strom liefern muss, also Leistung abzugeben hat.

Im Folgenden sind die Festlegungen für die Entwicklung der Sauermaun Verstärker aufgeführt, zusammen mit den Überlegungen zu deren Auswirkung auf den Klang eines Leistungsverstärkers.

### 3.2.2.1 Möglichst korrekte Impulswiedergabe

Im Laufe von Jahrmillionen der Evolution hat sich das Gehör von Lebewesen auf zwei Aspekte hin optimiert: Beute orten und Gefahr erkennen. In beiden Fällen spielt der impulsartige Charakter von Signalen die entscheidende Rolle. Entsprechend wertet das Gehör als erstes die Signalanteile zur Bewertung und groben Ortung von Signalen aus, die allgemein als erste „Wellenfront“ bezeichnet werden.

Erstaunlich ist, dass diese Signale innerhalb von ca. 10 Mikrosekunden ausgewertet werden. Diese Zeit umgerechnet in eine Frequenz (mit der Formel  $f = 1/t$ ) ergibt eine Frequenz von 100.000 Herz!

Musikinstrumente wie beispielsweise Schlagzeuge, Glockenspiele, gezupfte Saiteninstrumente oder Klavier und Flügel erzeugen häufig impulsartige Signale, selbst weich gespielte Instrumente, wie beispielsweise Geigen können beim Anspielen des ersten Tones ebenfalls zuerst ein impulsartiges Signal erzeugen.

Perfektes Übertragungsverhalten des Verstärkers im Zeitbereich trägt demnach entscheidend zu einer authentischen Wiedergabe von Musik bei. Besondere Bedeutung liegt hierbei auf dem Übertragungsverhalten der ersten Wellenfront. Für die Parameter der technischen Realisierung bedeutet dies:

- möglichst hohe Übertragungsbandbreite (weit über 100Khz) und
- wenn überhaupt, dann Gegenkopplungen mit Regelschleifen nur innerhalb einer oder über eine Verstärkerstufe für eine extrem „schnelle“ Regelung

### 3.2.2.2 Laststabile Verstärkung

Der an den Leistungsverstärker angeschlossene Lautsprecher darf zu keinem Zeitpunkt eine Rückwirkung auf die Signalverarbeitung des Verstärkers haben. Der Verstärker muss dem Lautsprecher die Signalform einprägen.

Signale, die der Lautsprecher als komplexes Masse/Feder System mit Masseträgheit und Generatoreigenschaft erzeugt (beispielsweise durch Nachschwingen auf der eigenen Resonanzfrequenz), müssen vom Verstärker möglichst vollständig unterdrückt werden.

Für die Parameter der technischen Realisierung bedeutet dies:

- ein möglichst geringer Ausgangswiderstand ( $< 50\text{Milliohm}$ )
- der Ausgangswiderstand sollte über den hörbaren Frequenzbereich möglichst gleich bleibend niedrig sein. Bei den meisten Verstärkern steigt der Ausgangswiderstand zu hohen Frequenzen hin an.

### 3.2.2.3 Möglichst homogenes Verzerrungsspektrum

Jede Verstärkerschaltung produziert bei zunehmender Leistungsabgabe nichtlineare Verzerrungen. harmonische Verzerrungen, sie fügt dem Signal Oberwellen desselben hinzu. Zu einem 1000 Herz Sinussignal wird beispielsweise ein 2000 Hertz Signal (K2), ein 3000 Hertz Signal (K3), ein 4000Hertz Signal (K4), ein 5000 Hertz Signal (K5), usw. mit jeweils geringem Signalpegel hinzugefügt.

Betrachtet man das Frequenzspektrum des Klanges von akustischen Musikinstrumenten, zeigen sich eine Vielzahl von Oberwellen, die neben dem gespielten Grundton vom Instrument erzeugt werden. Sie bilden den Instrumententypischen Klang. Darin enthalten sind auch Frequenzanteile der oben aufgeführten „harmonischen Verzerrungen“, die eine Verstärkerelektronik erzeugt.

Für die Klangeigenschaften eines Verstärkers ist es dabei aber relativ unerheblich, welche Oberwellen der Verstärker erzeugt und hinzufügt, solange die Menge an Verzerrungsprodukten gering genug bleibt. Das Klangbild eines Instrumentes wird zudem geringer beeinträchtigt, wenn das Spektrum der hinzugefügten Oberwellen dynamisch homogen ist. Wenn also ein Verstärker unabhängig vom

Frequenzspektrum des übertragenen Signals und von der durch frequenzabhängige Impedanzänderung schwankenden Belastung des angeschlossenen Lautsprechers immer das gleiche Spektrum von harmonischen Verzerrungen hinzufügt, dann fällt dies unserer Wahrnehmung umso weniger auf.

Kritisch wird die Situation allerdings immer dann, wenn ein Verstärker in der Nähe seiner Leistungsgrenze oder darüber hinaus betrieben wird. Die erzeugten Verzerrungsprodukte ändern dann in der Regel immer Ihre spektrale Zusammensetzung. Röhrenverstärker produzieren in dieser Situation meistens geradzahlige Oberwellen (K<sub>2</sub>, K<sub>4</sub>, K<sub>6</sub>, ...), denen nachgesagt wird „weich“ und eher angenehm zu verzerren. Gerade im Bereich der Vollaussteuerung eines Verstärkers, in dem impulsartige Signale in der Spitze abgeschnitten werden (Clipping), runden geradzahlige Oberwellen die abgeschnittenen Impulsspitzen ab, was zu einem „weichen“ Klang führt („Soft Clipping“). Allerdings wird den so behandelten Signalspitzen ein Stück ihres impulsartigen „schnellen“ Charakters genommen. Die Authentizität des Signals leidet trotz der „angenehmen“ Verzerrungen.

Wenn es gelänge, im Grenzbereich der Aussteuerbarkeit eines Verstärkers den „richtigen“ Mix an Oberwellen entstehen zu lassen, so dass ein impulsartiges Signal weder „hart“ noch „weich“ abgeschnitten würde, sondern von seiner Signalform im Zeitbereich annähernd identisch bliebe, entspräche ein Clipping bei Übersteuerung einer perfekten Dynamikkompression, die praktisch nicht wahrnehmbar ist!

Dieser günstige Mix an Oberwellen muss sich also am Frequenzspektrum impulsartiger Signale von akustischen Instrumenten orientieren, damit der menschliche Gehörsinn selbst verzerrte Signale immer noch als authentisch akzeptiert und damit nicht als „falsch“ heraushört.

Betrachtet man impulsartige Signale, im Extremfall einen Rechteckimpuls, so fällt auf, dass deren Spektrum reich an ungeradzahligen Oberwellen (K<sub>3</sub>, K<sub>5</sub>, K<sub>7</sub>, ...) ist, bei denen die dritte Oberwelle (K<sub>3</sub>) dominiert. Ähnliches gilt beispielsweise für den Ton einer angerissen gespielten Gitarrensaite oder einen hart angeschlagenen Klavierton.

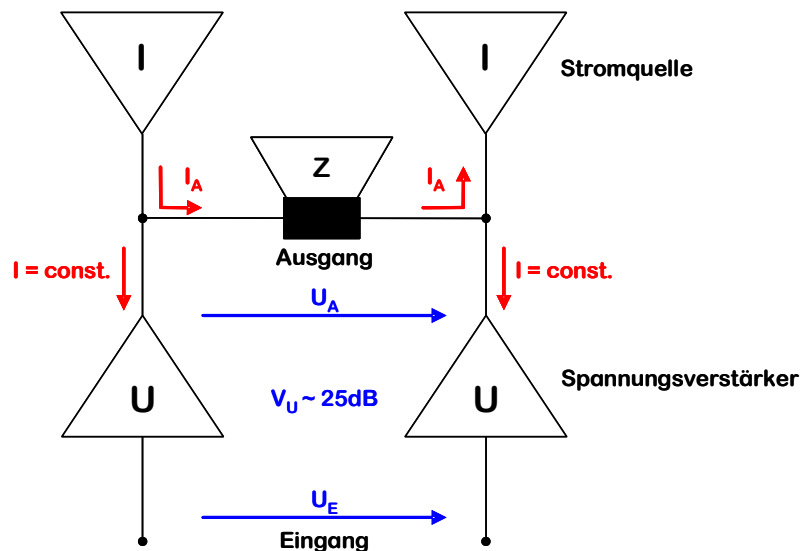
Ein günstiger Mix an Verzerrungsprodukten an der Aussteuergrenze und bei der Übersteuerung (Clipping) von Verstärkern scheint daher ein Spektrum mit dominierender K<sub>3</sub> und etwas K<sub>5</sub> zu sein, um den Charakter der Impulsartigkeit des Signals voll zu erhalten.

Ein solches Klirrverhalten entspricht somit auch im Bezug auf das Verzerrungsverhalten der als Erstes aufgestellten Forderung nach einer möglichst impulsgetreuen Wiedergabe von Verstärkern!

## 4 Technologie

Die Entwicklung der Sauermaann Verstärker führte zu einem einzigartigem Schaltungskonzept. Der Spannungsakkurate Konstantstromverstärker (Patent: DE 10 2009 057 335.2-35) ist die technische Realisierung aller in Kapitel 3 genannten Anforderungen.

Die Schaltung ist absolut symmetrisch aufgebaut. Spannungs- und Stromverstärkung erfolgen im Gegensatz zu üblichen Verstärkerschaltungen völlig unabhängig voneinander:



Ein Verstärkerzweig (U) führt nur die Spannungsverstärkung aus. Durch diese Verstärkerschaltung fließt immer ein konstanter Strom. Das heißt, dieser Schaltungsteil kann keinen Signalstrom liefern, er arbeitet mit einem hohen Ausgangswiderstand ( $> 1000 \text{ Ohm}$ ). Dieser Spannungsverstärker ist innerhalb der Verstärkerstufe spannungsgegengekoppelt. Da aber diese Verstärkerstufe keinen Signalstrom liefern kann, werden sie und deren Gegenkopplung nie belastet. Sie läuft praktisch im „Leerlauf“. Dadurch kann sie hochpräzise und dynamisch extrem stabil das Eingangssignal verstärken. Der angeschlossene Lautsprecher hat keinerlei Einfluss auf die Übertragungsqualität und das Übertragungsverhalten dieser Spannungsverstärkerstufe, obwohl das spannungsverstärkte Signal direkt am Ausgang, also am angeschlossenen Lautsprecher anliegt.

Ein zweiter Verstärkerzweig arbeitet als Stromquelle (I). Diese Stromquelle liefert den Konstantstrom für den Spannungsverstärker und den Differenzstrom, der vom Lautsprecher aufgrund des Ausgangssignals (der Ausgangsspannung) gezogen wird. Die Stromquellenschaltung hat eine Regelschleifenverstärkung von mehr als 10.000.000 (zehn Millionen) und einen Ausgangswiderstand von weniger als 15 Milliohm. Sie liefert daher hochpräzise immer genau den passenden Strom zum Impedanzverlauf des angeschlossenen Lautsprechers.

### Im Verstärker existiert keine Wechselwirkung zwischen Strom und Spannung!

Der Verstärker spiegelt die Impedanz des angeschlossenen Lautsprechers. Mehr noch, wird der Lautsprecher durch sein Masseträgheitsverhalten zum Generator und speist dadurch eine Gegenspannung rückwärts in den Verstärker ein, wird diese von der Spannungsverstärkerstufe sofort über deren Spannungsgegenkopplung herab geregelt und die Stromquelle (I) schließt über ihren extrem niedrigen Ausgangswiderstand jegliche Gegenspannung kurz.

Da die Regelungen innerhalb der einzelnen Verstärkerstufen unabhängig voneinander, extrem präzise und extrem schnell (Bandbreite ca. 500KHz) ablaufen, wird jeder angeschlossene Lautsprecher fast wie bei einem geregelten Aktivsystem praktisch perfekt beherrscht.

Die Summe dieser Eigenschaften führt zu einem praktisch perfekt stabil bleibenden Betriebszustand innerhalb des Verstärkers über den gesamten Bereich der Leistungsabgabe.

Die maximal abgegebene Leistung wird nur durch die Versorgungsspannung und den maximal möglichen Strom der Konstantstromquellenschaltung bestimmt.

In Summe erreicht dieses Schaltungskonzept eine Übertragungsqualität, die nach dem Stand der Technik so nahe als nur irgend möglich an einem idealen Audioverstärker heranreicht.

## 5 Technische Realisierung

Der Aufbau der Schaltung erfolgt mit hochpräzisen und langzeitstabilen Bauelementen. Nur durch den minimalistischen Ansatz und die damit erreichte Reduktion auf wenige diskrete Bauteile ist der durchgängige Einsatz höchstwertiger Bauteile auch aus ökonomischer Sicht möglich.

Alle Widerstände sind Dickfilm Folienwiderstände die sonst beispielsweise in der Medizintechnik verwendet werden. Im Signalzweig liegende Widerstände haben eine Toleranz von 0,01% mit extrem niedrigen Schwankungen durch Temperatur und Alterung.

Alle Kondensatoren im Signalweg sind Folienkondensatoren aus Silber/Gold Folie mit ölgetränktem Isolationsmaterial als Dielektrikum. Die verwendeten Folienkondensatoren werden für den symmetrischen Aufbau paarweise auf 0,2% Toleranz selektiert. Kondensatoren zur Schaltungsstabilisierung sind Glimmerkondensatoren.

Der Aufbau der Verstärkerschaltung erfolgt ohne Platinaufbau, direkt verdrahtet. Alle Arbeiten werden mit größter Sorgfalt unter ständigen Qualitätssicherungsmaßnahmen in Handarbeit ausgeführt.

Thermische Stabilität durch einen mechanisch soliden Aufbau der Kühlkörper sorgen für ein lastunabhängiges gleichmäßiges Betriebsumfeld für die Leistungstransistoren.

Das Netzteil ist aus dem Verstärker ausgelagert. Ein Netzfilter im Eingangskreis unterdrückt Störsignale in einem ersten Schritt. Danach sorgt eine aufwändige Siebschaltung für eine extrem laststabile und saubere Gleichspannungsversorgung. Hierbei kommen neueste, für Gerd Sauer mann audio angepasste, Elektrolytkondensatoren zum Einsatz. Parallel dazu unterdrücken hochwertige induktivitätsfrei gewickelte Folienkondensatoren hochfrequente Störsignale.

Im Bezug auf die Leistung ist das Netzteil doppelt so stark als nötig ausgelegt.

Die Summe der Maßnahmen führt zu einer hervorragenden Eliminierung der Netzeinflüsse auf den Klang des Verstärkers.

Der mechanische Aufbau des Verstärkers und des Netzteil ist vom elektronischen Bauteil bis zur einzelnen Schraube so ausgeführt, dass die Aufnahme von Körperschall so weit es eben geht vermieden wird. Somit können Mikrofonieeffekte von elektronischen Bauteilen wie Halbleiter oder Kondensatoren nicht wirksam werden. Zähe und weiche Materialien wie Pasten, Kitt, Teflonband, u.s.w. entkoppeln und beruhigen alle Bauteile und Materialübergänge und führen damit zu einem Höchstmaß an Ruhe und Präzision im Klangbild.

## 6 Varianten

Zunächst werden zwei Verstärkervarianten in Serie produziert und vertrieben, einen Stereoverstärker und Mono-Blöcke.

Der grundsätzliche Aufbau beider Varianten ist identisch. Dennoch gibt es kleine Unterschiede im Detail.

Im Bezug auf die Ausgangsleistung ist anzumerken, dass eine Verdopplung der wahrgenommenen Lautstärke mit einer Verzehnfachung der Leistung verbunden ist. Das heißt, dass ein Verstärker mit einer Ausgangsleistung von 300 Watt (nur) die doppelte Lautstärke als ein Verstärker mit einer Ausgangsleistung von 30 Watt erzielen kann. Wichtiger als eine Angabe der Ausgangsleistung bei einer Nennimpedanz ist wiederum das dynamische Verhalten des Verstärkers bei schwankender Lastimpedanz, also die Stabilität der Wiedergabe an einem realen Lautsprecher.

In Ergänzung zu Seriengeräten sind jederzeit individuelle Varianten möglich, die beispielsweise auf Lautsprecher mit extrem hohem Wirkungsgrad angepasst sind.



## 6.1 Stereoverstärker

Stereoendstufe mit vollständig getrennt aufgebauten Kanälen (Doppel-Mono) und 2 \* 30 Watt Ausgangsleistung an 4 Ohm (Sinus Dauerton).

Netzteil mit Ringkerntransformator und zwei Sekundärwicklungen. Zweistufig aufgebaute Gleichrichtungssiebketten mit 94.000 $\mu$ F (zweimal 47.000 $\mu$ F) Kapazität pro Kanal.

## 6.2 Mono-Blöcke

Ein Paar Monoendstufen mit 45 Watt Ausgangsleistung an 4 Ohm (Sinus Dauerton) mit bi-wiring Lautsprecherterminal. Das bi-wiring ist verstärkerintern ab dem Punkt, an dem die Leistung im Verstärker entsteht, ausgeführt.

Ein Netzteil pro Monoendstufe mit dreistufig aufgebauter Gleichrichtungssiebketten und 141.000 $\mu$ F (dreimal 47.000 $\mu$ F) Kapazität pro Kanal.

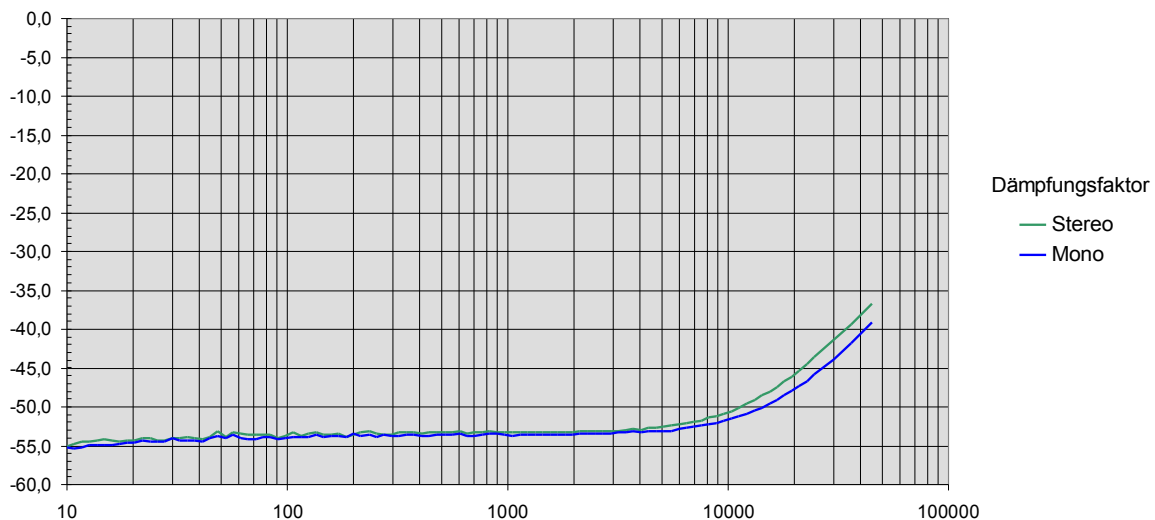
## 7 Anlage: Messprotokolle

### 7.1 Dämpfungsfaktor

Der Dämpfungsfaktor des Verstärkers ist eine andere Sicht auf dessen Ausgangswiderstand. Er stellt dar, wie gut der Verstärker vom angeschlossenen Lautsprecher selbst generierte Signale (Masseträgheit / Resonanzen) dämpft. Der Dämpfungsfaktor wird in einem logarithmischen Maß als Rückflussdämpfung angegeben.

Bezogen auf eine Lautsprecherimpedanz von 8 Ohm bedeutet ein Dämpfungsfaktor von -20dB einen Ausgangswiderstand von 0,8 Ohm (Faktor Zehn), ein Dämpfungsfaktor von -40dB einen Ausgangswiderstand von 0,08 Ohm oder 80 Milliohm (Faktor Hundert) und ein Dämpfungsfaktor von -54 dB einen Ausgangswiderstand von 16 Milliohm (Faktor Fünfhundert).

Das folgende Bild zeigt den Dämpfungsfaktorverlauf der Sauer mann Verstärker:



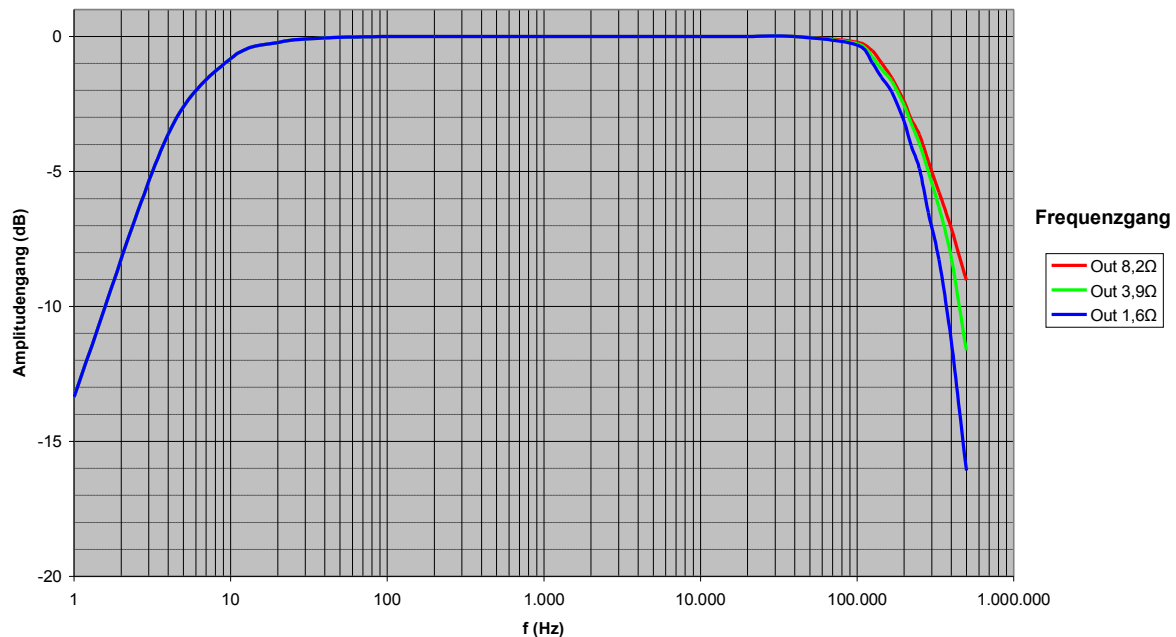
Die grüne Linie zeigt die Messwerte der Stereoverstärker, die blaue Linie die der Mono-Blöcke. Es fällt auf, dass der Ausgangswiderstand in beiden Fällen extrem niedrig ist. Insbesondere nimmt die Dämpfung erst kurz unterhalb von 10KHz ab, bei dem Mono-Block noch etwas später als bei der Stereovariante. Selbst bei 45KHz ist das Dämpfungsverhalten so gut wie bei den meisten anderen Verstärkern im hörbaren Frequenzbereich. Auch Transistorverstärker von mehreren hundert Watt Ausgangsleistung haben in der Regel ein wesentlich ungünstigeres Dämpfungsverhalten.

### 7.2 Frequenzgang

Der Frequenzgang beschreibt den Übertragungsbereich des Verstärkers über der Frequenz. Um ein Musiksinal weitestgehend exakt übertragen zu können, sollte der Übertragungsbereich um ein Mehrfaches weiter reichen als das zu übertragende Signalfrequenzband. Audiosignale im hörbaren Bereich liegen zwischen 20Hz und 20.000Hz. Die Ortung von Signalen erfolgt im Zeitbereich bis zu einer Auflösung von 10Mikrosekunden ( $\mu\text{s}$ ).  $10\mu\text{s}$  bedeuten im Frequenzbereich eine Frequenz von 100.000Hz ( $f=1/T$ ,  $f=1/0,00001$ ). Entsprechend muss der Übertragungsbereich für eine ortungsrichtige und –stabile Übertragung auch deutlich über diese Frequenz hinausreichen.

Für eine stabile Übertragung ist ein wesentlicher Aspekt, dass der Übertragungsbereich bei schwankender Impedanz des Lautsprechers über der Frequenz gleich bleibt.

Das folgende Bild zeigt den Frequenzgang der Sauermann Verstärker:



Der Frequenzgang zeigt eine lastunabhängige untere Grenzfrequenz (-3dB) bei 4,5Hz. Die obere Grenzfrequenz (-3dB) liegt oberhalb von 200.000Hz und ist bis dahin praktisch ebenfalls völlig laststabil auch noch weit unter der dargestellten Impedanz von 1,6Ohm. Selbst oberhalb der Grenzfrequenz geht der Frequenzgang über der Lastimpedanz nur leicht auseinander. Im relevanten Audioband zwischen 20Hz und 100.000Hz ist der Frequenzgang praktisch linear.

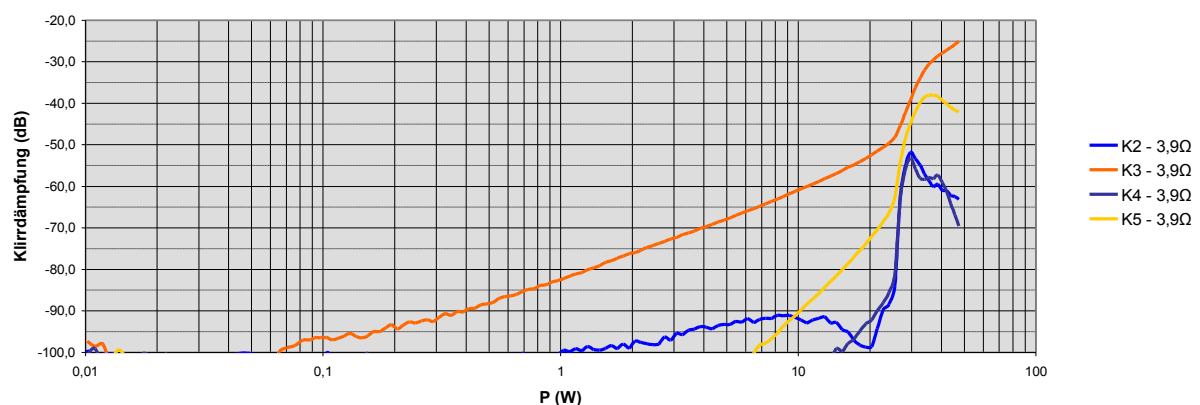
## 7.3 Verzerrungsverhalten

### 7.3.1 Harmonische Verzerrungen

Das Klirrspektrum über der Frequenz, Leistung und Lastimpedanz zeigt das dynamische Klirrverhalten eines Verstärkers. Allerdings ist dessen Darstellung etwas unübersichtlich und daher schwer zu interpretieren. Üblicherweise wird in der Regel nur der Klirrgang bei einer Frequenz (1000Hz) und einer Lastimpedanz (8 Ohm oder 4 Ohm) angegeben.

Das folgende Bild zeigt zunächst das Klirrspektrum eines Stereoverstärkers über der Leistung an 4 Ohm Lastimpedanz bei einer Testfrequenz von 1000Hz.

**Klirrgang bei 1000Hz über der Leistung an 4 Ohm Lastimpedanz:**

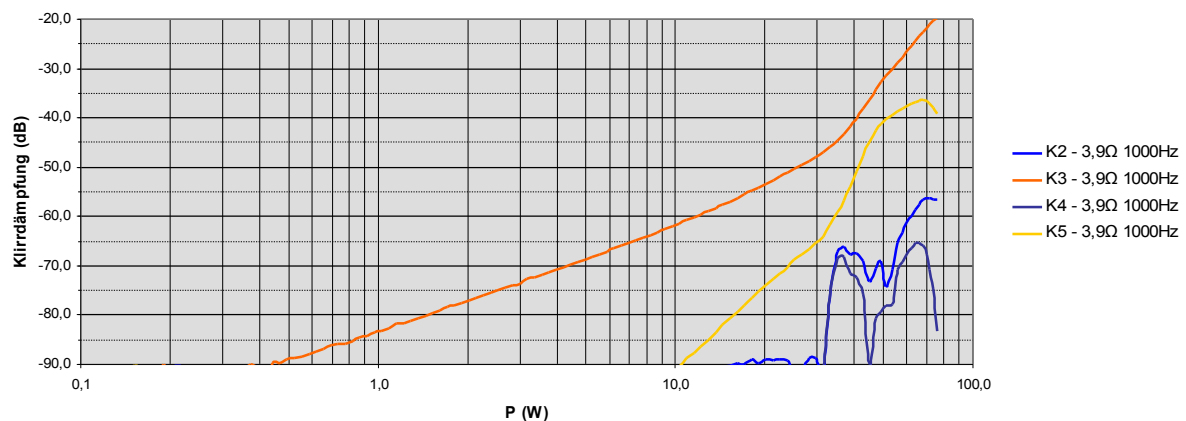


Das Messsystem ist so ausgelegt, dass bei 0dBFS (dB Full Scale) eine Leistung von 100Watt gemessen wird. Entsprechend liegt das Messsignal für eine Leistung von 0,01 Watt bei -40dBFS. Bei einer digitalen Auflösung von 24Bit beträgt der maximale theoretische Signal/Rauschabstand 144dB. In der Praxis sind es in etwa 140dB. Am linken Rand des Messprotokolls wird daher genau das Rauschen, das bei -40dBFS ca. 100dB unter dem Signalpegel liegt, gemessen und angezeigt. Ein vorhandener Klirrranteil kann erst dann sicher erkannt und gemessen werden, wenn sein Pegel eindeutig aus dem Grundrauschen hervor tritt, was bei ca. 0,07 Watt und -100dB Klirrdämpfung für die 3. Oberwelle (K3) der Fall ist.

Deutlich zu erkennen ist die absolute Dominanz von K3. Solange der Verstärker nicht in die Nähe der Nennleistung gerät, steigt K3 praktisch linear mit der Leistung an. Knapp unterhalb der Nennleistung, bei ca. 25 Watt und -50dB Klirrdämpfung (0,3% Klirrfaktor), nimmt die Steigung von K3 zu, um dann ab -30dB Klirrdämpfung (3% Klirrfaktor) wiederum schwächer mit der Leistungszunahme anzusteigen. Ähnliches gilt für K5 auf deutlich niedrigerem Niveau. K2 und K4 spielen praktisch gar keine Rolle. Selbst bei Übersteuerung des Verstärkers (> 30 Watt) bleiben diese Klirrranteile unterhalb einer wahrnehmbaren Größenordnung (-50dB Klirrdämpfung, 0,3%).

Das Besondere am Klirrverhalten der Sauermann Verstärker ist, dass dieser Klirrverlauf praktisch unabhängig von der Frequenz und der Lastimpedanz ist und nur von der Signalspannung geprägt wird (siehe weitere Messprotokolle in dieser Anlage). Der Grund liegt in der besonderen Schaltungsart des Spannungsakkuraten Konstantstromverstärkers. Üblicherweise steigt hingegen der Klirr mit der Frequenz und bei steigender Belastung, also fallender Lastimpedanz.

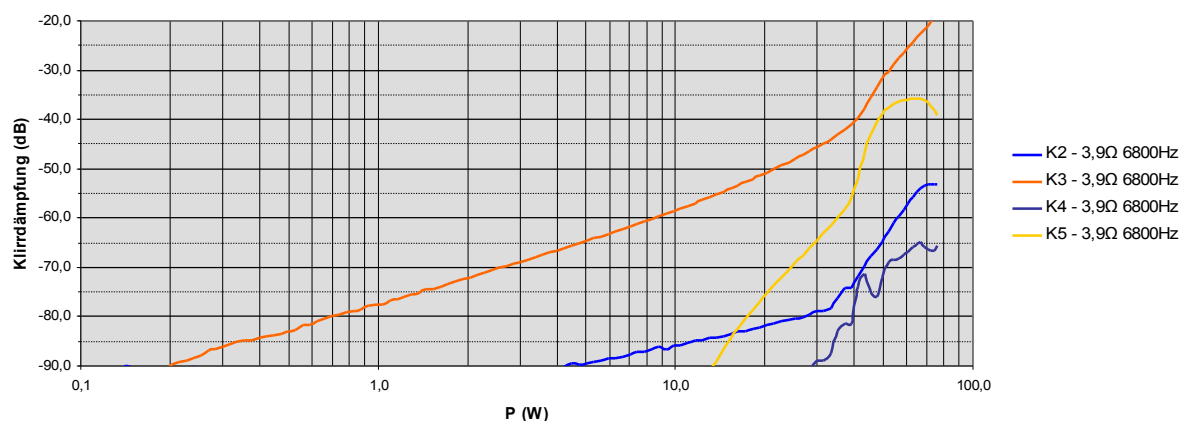
Im Folgenden wird das Klirrverhalten des Mono-Block Verstärkers aufgeführt.



Deutlich zu erkennen ist wieder die absolute Dominanz von K3. Solange der Verstärker nicht in die Nähe der Nennleistung gerät, steigt K3 linear mit der Leistung an. Unterhalb der Nennleistung nimmt die Steigung von K3 zu, um dann wiederum annähernd proportional mit der Leistungszunahme anzusteigen. Ähnliches gilt für K5 auf deutlich niedrigerem Niveau. K2 und K4 spielen praktisch gar keine Rolle. Selbst bei Übersteuerung des Verstärkers (> 50 Watt) bleiben diese Klirrranteile deutlich unterhalb einer wahrnehmbaren Größenordnung.

Dieser grundsätzliche Klirrverlauf ändert sich mit der Frequenz nicht, wie das folgende Bild zeigt.

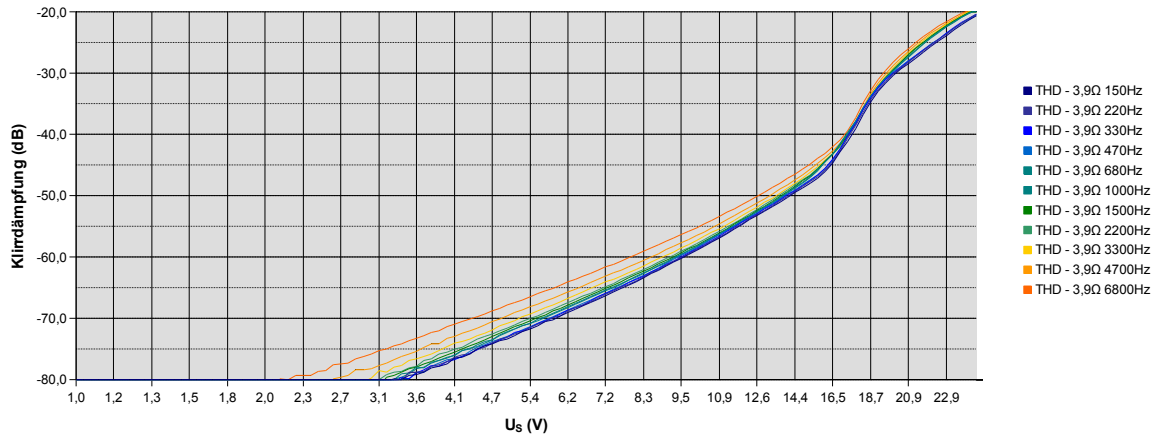
### Klirrgang bei 6800Hz über der Leistung an 4 Ohm Lastimpedanz:



Aufgrund der Dominanz von K3 wird bei allen folgenden Diagrammen nur noch der Gesamtklirrfaktor, THD angegeben.

Mit den folgenden Diagrammen wird das dynamische Klirrvverhalten des Verstärkers an jeweils zwei sich ändernden Parametern erläutert. Das nächste Bild zeigt den Klirrverlauf über der Ausgangsspannung und der Frequenz bei einer Lastimpedanz von 4 Ohm.

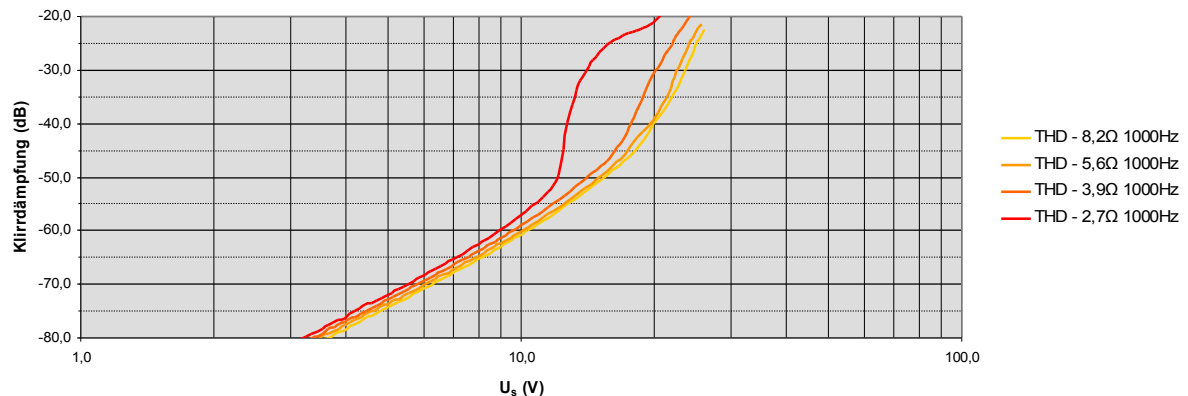
### Klirrgang über der Ausgangsspannung und der Frequenz bei der Lastimpedanz von 4 Ohm:



Deutlich ist zu erkennen, dass im Frequenzbereich zwischen 150Hz und 3300Hz praktisch keine Veränderung des Klirrverlaufes besteht. Erst mit 4700Hz beginnt der Klirr minimal anzusteigen. Selbst bei 6800Hz liegt er um nur um maximal 5dB erhöht. Mit zunehmender Leistung nimmt die Erhöhung über der Frequenz sogar wieder **ab!** Das heißt, genau dann, wenn der Klirr beginnt wahrnehmbar zu werden, ist er über der Frequenz besonders stabil!

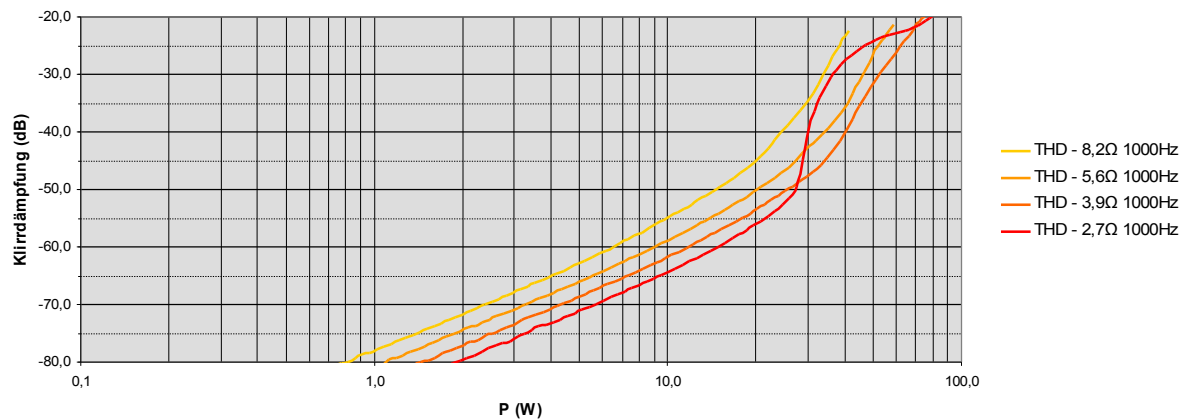
Anmerkung zum Verständnis: Die Hauptkomponente des Klirrspektrums ist K3. Bei einer Grundfrequenz von 6800 Hz liegt K3 also bei 20400 Hz und ist somit für wahrnehmbare Verzerrungen nur noch eine statistische Größe.

### Klirrgang bei 1000Hz über der Ausgangsspannung und der Lastimpedanz:



Deutlich sichtbar ist, dass die Lastimpedanz vor dem Erreichen der jeweiligen Nennleistung nur einen sehr geringen Einfluss auf den Klirrverlauf hat. Der Abstand zwischen 8,2 Ohm und 2,7 Ohm beträgt weniger als 3dB!

Sobald der Ausgangsstrom in die Nähe des Bias-Stromes der Class A Schaltung gelangt, beginnt der Klirr aber zunächst leicht zu steigen. Mit Überschreitung des Bias-Stromes steigt er stark an, wie an der 2,7 Ohm Kurve gut zu erkennen ist. Allerdings steigen die Ausgangsspannung und damit auch der Ausgangsstrom weiter an. Es entsteht das in Kapitel 3.2.2 beschriebene Übersteuerungsverhalten, das Impulse auch bei Clipping impulsrichtig und daher in weiten Bereichen fast unhörbar begrenzt. Das heißt, auch bei der Übersteuerung von Impulsen bleibt der ursprüngliche Impulscharakter des Signals weitgehend erhalten, da selbst bei Übersteuerung als Klirrkompnenten im Wesentlichen nur K3 und K5 auftreten.

**Klirrgang bei 1000Hz über der Ausgangsleistung und der Lastimpedanz:**

Betrachtet man wie üblich den Klirrvorlauf über der Ausgangsleistung, fällt auf, dass der Klirr bei gleicher Leistung und größerer Belastung fällt! Dies muss so sein, wenn der Klirr bei gleicher Ausgangsspannung praktisch konstant bleibt ( $P=U^2/R$ ).

Da für den Lautsprecher mit seiner über der Frequenz schwankenden Impedanz nur das Signal (also die Spannung) und nicht die Leistung zählt, ist der Klirr über der Leistung nur eine rechnerische Größe.

**Wichtig ist, dass der Klirr bezogen auf die Spannung über der Frequenz und der Impedanz praktisch konstant bleibt, was bei Sauer mann Verstärkern im höchsten Maße gegeben ist.**

**Fazit:**

Alle hier in der Anlage dargestellten Parameter zeigen ein Übertragungsverhalten, das mit bisherigen Konzepten kaum möglich war.

Das dynamische Verhalten des Verstärkers, das aus diesen Messdaten nur bedingt ableitbar ist, bringt jedes „Energiehäppchen“, ob einige Mikrowatt, Milliwatt oder zweistellige Wattbeträge genau und präzise „auf den Punkt“.

Dies führt zu einem unerschütterlich stabilen und harmonischen Klangbild an praktisch jedem Lautsprecher.

Zusammen mit dem individuellen, schlicht eleganten oder von Künstlern geschaffenen Erscheinungsbild, ist so ein einzigartiger Verstärker entstanden.