

Yamaha-Leistungsverstärker

White Paper

August 2008

Inhaltsverzeichnis

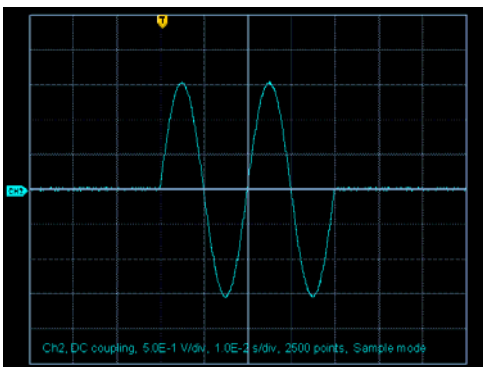
1. Über EEEngine.....	2
1.1. Einführung	2
1.2. Erörterung verschiedener Verstärkertopologien	2
2. Die Technologie von Yamaha.....	5
2.1. Doppelmono-Verstärkerstruktur	5
2.2. Vollresonanz-Schaltnetzteil	6
3. Verhalten des Verstärkers unter starker Last	7
3.1. Der Stellenwert der Laststabilität bei 2 Ohm.....	7
3.2. Vergleich von Verstärkern in Situationen mit niedriger Impedanz	8
3.3. Beschreibung der Ergebnisse eines Hörtests mit Musiksignalen.....	9

1. Über EEEngine

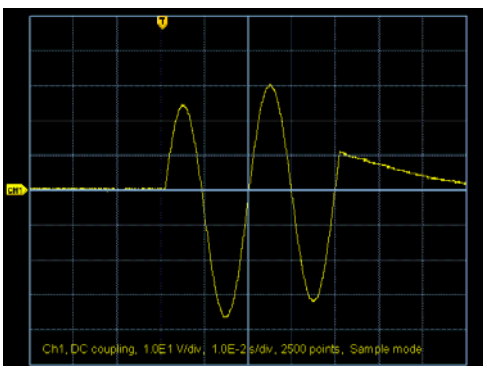
1.1. Einführung

Die Yamaha-Philosophie über Leistungsverstärker

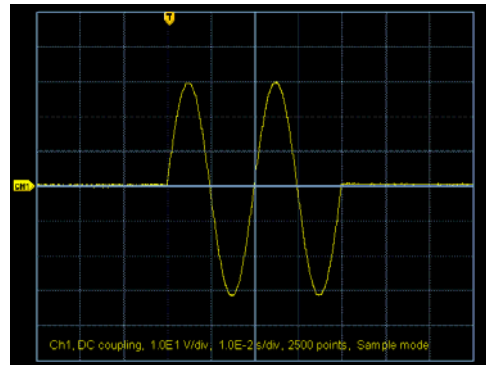
Unsere Herangehensweise bei der Herstellung von Leistungsverstärkern ist sehr einfach: saubere und natürliche Verstärkung des Eingangssignals. Die gemischten Audiosignale werden zur Verstärkung vom Mischpult zum Verstärker gesendet, woraufhin sie die typische „Färbung“ oder „geschmackliche“ Veränderung durch die Lautsprecher erfahren. Die Rolle der Verstärker in einem Audiosystem sollte es sein, keine eigene Färbung zu erzeugen, aber das Eingangssignal so originalgetreu wie möglich zu reproduzieren, so dass Sie maximale Kontrolle über das endgültige Klangergebnis behalten.



[Abb. 1] Das Eingangssignal, eine einzelne 70 Hz Sinuswelle.



[Abb. 2] Ausgangssignal eines markttypischen Verstärkers.



[Abb. 3] Ausgangssignal des Yamaha-Verstärkers T5n; natürlich und getreu dem Eingangssignal

Die Zuverlässigkeit ist ein weiteres wichtiges Feature von Yamaha-Verstärkern. Alle Produkte von Yamaha werden unter schwersten Bedingungen getestet und müssen den strengen Standards der Qualitätssicherung von Yamaha entsprechen. Lesen Sie mehr über die Tests und Standards der Qualitätssicherung von Yamaha unter: http://www.yamahaproaudio.com/topics/leading_technology/quality_control/index.html

1.2. Erörterung verschiedener Verstärkertopologien

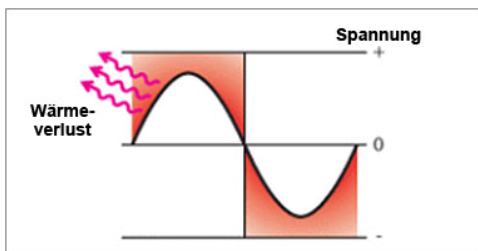
Es gibt viele verschiedene Verstärkertopologien bzw. Schaltungsprinzipien, die für professionelle Leistungsverstärker Verwendung finden. Die Mehrzahl der Leistungsverstärker in der derzeitigen professionellen Audioindustrie können als Ableitungen dreier großer Technologien klassifiziert werden: Klasse H, Klasse D oder ein Hybrid aus Klasse AB und Klasse D wie die EEEngine (Energy Efficient Engine) von Yamaha.

Klasse AB

Die Technologie der Klasse AB ist die Grundlage professioneller Audioverstärkung. Bis zum heutigen Tag finden sich Klasse-AB-Verstärker in vielen professionellen Audioanwendungen. Diese Topologie, welche Jahrzehnte lang die Industrienorm darstellte, bietet eine einfache Schaltkreisconfiguration und hervorragende Klangqualität. Die älteren Verstärker von Yamaha wie die Modelle P2200, erschienen 1976, und PC2002M, erschienen 1982, waren Klasse-AB-Verstärker. Die Topologie der Klasse AB hat jedoch den Nachteil, dass die Ausgangsstufe immer die

maximale Ausgangsspannung erfordert, was eine große Verschwendung von Wärmeenergie hervorruft. Der hierdurch bedingte geringe Wirkungsgrad ist der Grund, warum Klasse-AB-Verstärker im Vergleich hinsichtlich der Ausgangsleistung begrenzt sind im Verhältnis zu Größe und Gewicht. Bei Betrieb mit typischem Programmmaterial mit gelegentlicher Übersteuerung (1/8-Leistung) erreicht die Klasse-AB-Topologie einen typischen Wirkungsgrad von 20%*, was bedeutet, dass 80% der aufgenommenen Leistung als Wärme verlorenght. Es wurden verschiedene Methoden entwickelt, die diesen Nachteil überwinden können, was zur Entwicklung der Topologien der Klasse H und D führte.

* Der Begriff Wirkungsgrad bezieht sich in diesem Dokument auf den Gesamtwirkungsgrad des Leistungsverstärkers einschließlich der Stromversorgung (Netzteil). Der Wirkungsgrad wird bei 1/8 der angegebenen Ausgangsleistung errechnet, eine Referenz für typisches Programmmaterial mit gelegentlicher Übersteuerung.

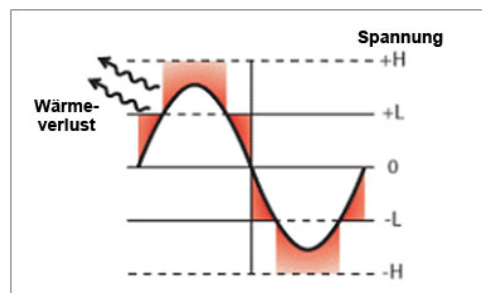


[Abb. 4] Wellenform im Klasse-AB-Betrieb.

Klasse H

Klasse H verwendet eine Methode, bei der die Spannung der Stromversorgung je nach Stärke des Eingangssignals geregelt wird. Dies kann die Wärmeverluste in der Ausgangsstufe dramatisch verbessern, da bei geringen Signalpegeln entsprechend eine geringe Spannung erforderlich ist. Wenn jedoch der Signalpegel ansteigt, arbeitet das System auf die gleiche Weise wie ein System nach Klasse AB, und es geht Wirkungsgrad verloren. Klasse H verliert an Wirkungsgrad, wenn Audiosignale mit einem großen Dynamikumfang verstärkt werden sollen. Man könnte ein System verwenden, das eine Methode mit mehrstufiger Spannungsumschaltung verwendet, um dieses Problem zu umgehen, aber das brächte viele Komplikationen mit sich wie z. B. erhöhte

Schaltverluste, so dass diese Lösung unpraktikabel wäre. Klasse-H-Verstärker haben einen typischen Wirkungsgrad von 30%. Der Verstärker P5002 von Yamaha, erschienen 1982, war einer der ersten mit Klasse-H-Topologie.

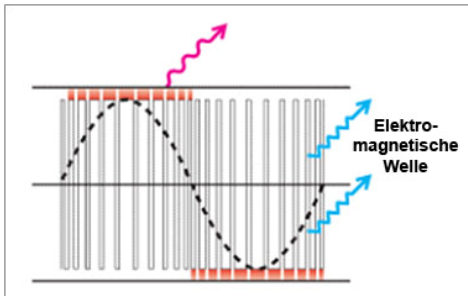


[Abb. 5] Wellenform im Klasse-H-Betrieb.

Klasse D

Oft missverstanden als Abkürzung für „digital“ verwendet die Klasse D die Pulsweitenmodulation (PWM). Zunächst wird aus dem eingehenden Audiosignal ein PWM-Signal erzeugt. Die Netzteilspannung wird dann entsprechend der Pulsweite geschaltet, wodurch ein PWM-Signal erzeugt wird, das den Lautsprecher betreibt. Die Elemente, die für den Schaltbetrieb notwendig sind, erfordern nur minimale Spannungen, wodurch im Vergleich zu früheren Verstärkertopologien ein nochmals deutlich erhöhter Wirkungsgrad erzielt wird. Klasse-D-Verstärker haben einen typischen Wirkungsgrad von etwa 60%. Um das Audiosignal jedoch in ein Rechteck-PWM-Signal umzuwandeln, muss ein hohe Leistung beanspruchendes Tiefpassfilter in der Ausgangsstufe eingesetzt werden, um das gepulste Signal in ein Audiosignal rückzuwandeln, anders kann das Original-Audiosignal nicht gewonnen werden. Der Frequenzgang des Audiosignals, die Verzerrungen und der Dämpfungsfaktor werden durch dieses Tiefpassfilter beeinträchtigt. Hochleistungs-PWM-Signale haben auch den Nebeneffekt, elektromagnetische Obertonwellen (EMC) im Radiofrequenzbereich zu erzeugen, mit Frequenzen von bis zu mehreren Megahertz. Klasse-D-Verstärker können hinsichtlich des Wirkungsgrades geeignet sein, haben aber häufig Schwierigkeiten, optimale Klangqualität zu erzielen, und

viele Hersteller versuchen, die Probleme auf ihre Weise zu lösen.



[Abb. 6] Wellenform im Klasse-D-Betrieb.

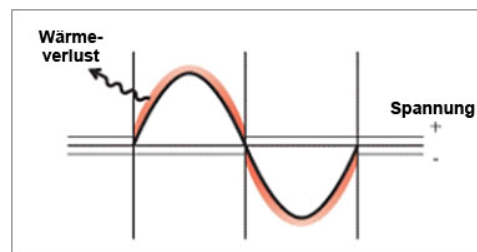
EEEngine

Die EEEngine (energieeffiziente Engine) vereint die Klangqualität der Klasse-AB-Schaltungen mit dem Wirkungsgrad der Klasse-D-Schaltungen. Die Kombination der positiven Aspekte von Class AB und Class D mag im Konzept einfach erscheinen, aber es bedurfte jahrelanger Bemühungen unserer Ingenieure, um diese Technologie auf eine Produktionsbasis für hohe Stückzahlen zu stellen.

EEEngine beseitigt die Probleme herkömmlicher Verstärkertopologien und bietet gleichzeitig in allen Bereichen Vorzüge. Dies führt zu einem dramatischen Fortschritt im Verstärkerdesign. Sie realisiert einen Wirkungsgrad, der Klasse D entspricht, ohne gleichzeitig auf die Klangqualität eines Klasse-AB-Verstärkers zu verzichten. Die patentierte EEEngine-Technologie ist skalierbar und findet bei einer Vielzahl von Yamaha-Leistungsverstärkern Platz – von der preiswerten Klasse der P-Serie bis hin zu den Geräten der Flaggschiff-Reihe TXn.

Die EEEngine überwacht das Audiosignal, um immer die minimale Leistung für die finale Ausgangsstufe bereitzuhalten und erlaubt so eine erstaunliche Verbesserung des Wirkungsgrades. Sie verwendet den Klasse-D-Betrieb, um die Leistung in der letzten Ausgangsstufe des Klasse-AB-Betriebs zu liefern. Fast die gesamte aufgenommene Stromenergie wird als Audiosignal ausgegeben, und nur ein kleiner Teil der übrigen Energie wird als Wärme vom Kühlkörper abgestrahlt.

Da die letzte Ausgangsstufe im Klasse-AB-Betrieb arbeitet, ist das Ausgangssignal von bemerkenswert hoher Klangqualität. Es gibt keine Beeinträchtigung des Frequenzgangs und des Dämpfungsfaktors und auch keine unerwünschten EMC, da keine Umwandlung des Audiosignals in ein PWM-Signal stattfindet. Außerdem ist die EEEngine so ausgelegt, dass sie bei perfektem Betrieb die Wärmeerzeugung des Leistungsverstärkers gleichzeitig auf Minimum hält, unabhängig von der Lastanforderung. Insgesamt gesehen bietet die EEEngine eine Class-AB-Klangqualität mit einem Wirkungsgrad, der Class D entspricht. Die Schaltung der EEEngine wurde für die Verstärker der Serien TXn und Tn mit einem elektrischen FET-Treiberschaltkreis als Hochleistungsstrompuffer aufgerüstet, um der hohen Leistung an Lasten von bis zu 2 Ohm standzuhalten.



[Abb. 7] Wellenform im EEEngine-Betrieb.

Die EEEngine gegenüber Technologien anderer Hersteller

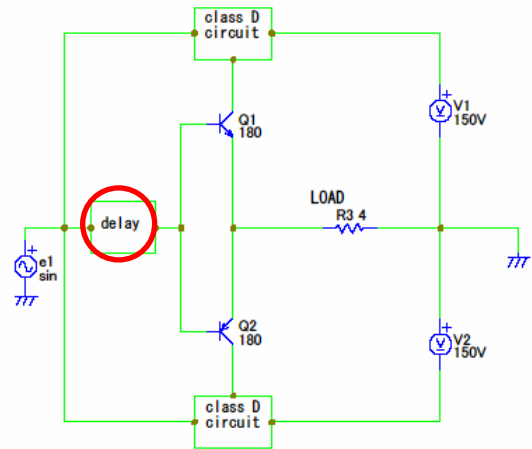
Es gibt einen hoch angesehenen Hersteller von Verstärkern mit einer eigenen Verstärkertopologie, die das gleiche Konzept der Kombination von Class-AB-Verstärkung und Class-D-Stromversorgung verfolgt. Beide Technologien überwachen das Audiosignal, um immer die minimal erforderliche Leistung für die finale Ausgangsstufe bereitzuhalten. Beide Technologien unterscheiden sich jedoch in der Methode der Signalüberwachung.

Signale höherer Frequenzen erfordern eine höhere Anstiegszeit* und sind schwerer zu überwachen. Die Anstiegszeit (Slew Rate) ist ein Maß für die Fähigkeit eines Verstärkers, auf sehr schnelle Änderungen der Signalspannung zu reagieren. Um die eingeschränkte Fähigkeit bei der Verfolgung der Signalspannungen zu

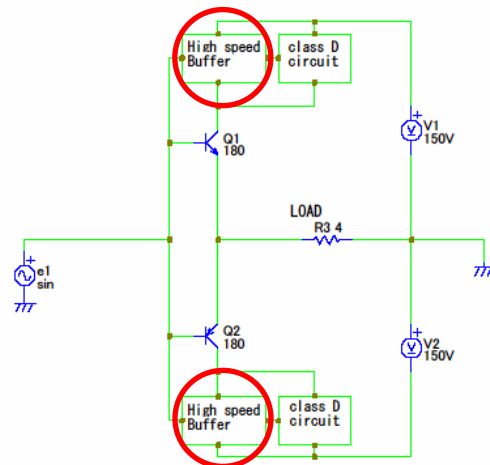
kompensieren, wird in der Technologie dieses Herstellers dem Eingangssignal eine Verzögerung hinzugefügt. Diese Verzögerung verleiht dem Class-D-Leistungsverstärker mehr Zeit, um auf schnelle Änderungen der Eingangsspannung zu reagieren, aber es muss darauf hingewiesen werden, dass die Manipulation des Audiosignals unvermeidbar eine Auswirkung auf die letztliche Klangqualität hat.

Die EEEngine von Yamaha verwendet eine andere Herangehensweise zur Kompensation der Einschränkungen der Class-D-Stromversorgung, indem schnellste Änderungen der Eingangsspannung durch eine zusätzliche „High-Speed Buffer“-Stromversorgung überwacht werden. Diese High-Speed-Stromversorgung wird nur aktiv, wenn die Class-D-Stromversorgung nicht mehr mit der Änderungsgeschwindigkeit mithalten kann. Dieses „High-Speed Buffer“-Prinzip ermöglicht es der EEEngine, auf schnelle Änderungen des Eingangssignals zu reagieren, ohne das Audiosignal zu manipulieren und die Klangqualität zu beeinträchtigen. Die Beseitigung unerwünschter und überflüssiger Komponenten im Audiosignalweg reflektiert die Philosophie von Yamaha, ein natürliches Ausgangssignal zu liefern, das ein getreues Abbild des Eingangssignals ist.

* Die Anstiegszeit beeinflusst die Fähigkeit des Verstärkers, komplexe Wellenformen mit hoher Lautstärke genau wiederzugeben. Eine höhere Anstiegszeit ist jedoch nur bis zu einem gewissen Punkt erwünscht. Durch eine schnellere Anstiegszeit hat der Verstärker eine höhere Bandbreite, und bei übertrieben hohen Werten führt dies zu einer Verstärkung von Signalen bis hinauf in den Radiofrequenzbereich. Das verschwendet Energie, erzeugt Verzerrungen und führt auch zu unerwünschter Belastung der Hochtonlautsprecher.



[Abb. 8] Schaltung eines Verstärkers eines Mitbewerbers. Um dem Class-D-Netzteil mehr Zeit zu geben, auf schnelle Änderungen der Spannung zu reagieren, wird das gesamte Audiosignal durch ein Delay geführt. Eine Auswirkung auf die Klangqualität lässt sich durch die Manipulation des Audiosignals nicht vermeiden.



[Fig.9] Der „High-Speed Buffer“ der EEEngine wird nur aktiv, wenn die Class-D-Stromversorgung nicht mehr mit schnellen Signalpegelanstiegen mithalten kann. Diese Schaltung ermöglicht der EEEngine, eine angemessene Anstiegszeit zu erhalten, ohne das Audiosignal zu manipulieren und zu beeinträchtigen.

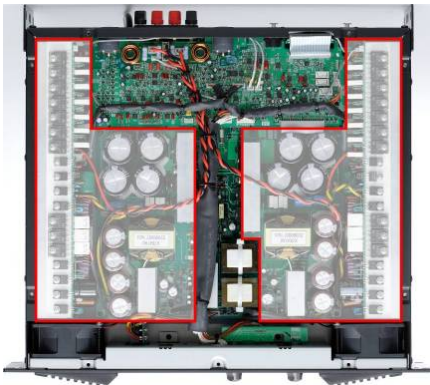
2. Die Technologie von Yamaha

2.1. Doppelmono-Verstärkerstruktur

Die Yamaha-Technologie für Leistungsverstärker – mechanischer Aufbau

Die Verstärker der Serien TXn, Tn und PC9501N sind zweikanalige Verstärker mit einem symmetrischen Doppelmonoblock-Design, wobei jeder Monoverstärker seine eigene Stromversorgung besitzt. Die Doppelmono-Struktur spielt eine wichtige Rolle bei der

Kanaltrennung zwischen den beiden Stereokanälen. Durch die einzeln ausgeführten Netzteile der beiden Monoverstärker werden die Interferenzen zwischen den Kanälen minimiert, so dass z. B. laute Bassnoten auf dem einen Kanal nicht die verfügbare Leistung für den anderen Kanal schmälern. Die beiden Netzteile arbeiten gegenphasig und synchronisiert, um Brummgeräusche und elektromagnetische Störungen zu eliminieren.



[Abb. 10] Doppelmono-Verstärkerstruktur. Jeder Kanal besitzt ein eigenes Netzteil.

Die Verstärker sind außerdem so sorgfältig konstruiert, dass interne Vibrationen innerhalb des Verstärkers unterdrückt werden, die eine negative Auswirkung auf die Klangqualität haben könnten. Die Oberseite des Kühlkörpers ist verstärkt, damit keine Vibrationen auf die Leistungstransistoren übertragen werden, die darauf montiert sind. Der Kühlkörper selbst ist an zahlreichen strategischen Punkten mit speziellen Isolatoren an den Gehäuseseitenteilen befestigt. Die Isolatoren absorbieren Vibrationen und Gehäuseresonanzen, die eine optimale Wiedergabe beeinträchtigen würden.

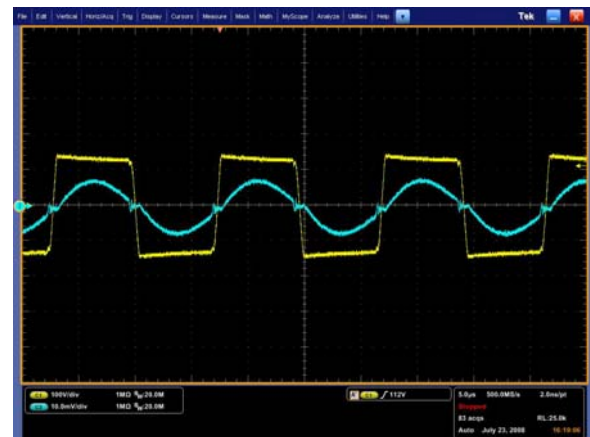
2.2. Vollresonanz-Schaltnetzteil

Das Netzteil für die Stromversorgung spielt eine entscheidende Rolle für die Qualität jeglicher Verstärker. Die Vollresonanz-Schaltnetzteile in den Verstärkern der Serien TXn, Tn und PC1N führen zwei Arten von Schaltvorgängen aus; Nullspannungsschaltung und Nullstromschaltung. Vollresonanz-Schaltnetzteile bieten Spannungs- und Stromwellenformen mit natürlichen Kurvenverläufen, wodurch die harmonischen Anteile der Schaltgeräusche deutlich verringert werden. Typische Schaltnetzteile setzen eine Technik ein, die als „Hard

Switching“ bezeichnet wird. Diese Methode erzeugt mehr Geräusche im Gleichspannungsausgang und liefert rechteckige Wellenformen mit einem starken Hochfrequenz-Obertonspektrum, wodurch ein zusätzliches Filter notwendig wird, um diese zu entfernen. Das „Soft Switching“, wie es bei Vollresonanzschaltung zu beobachten ist, erzeugt natürliche Wellenformen, die für die Musikwiedergabe wünschenswert sind.



[Abb. 11] Strom und Spannung eines markttypischen Netzteils. Es ist ein sichtbar deutlich höherer Störanteil zu erkennen (rot eingekreist). Die Spannungswellenform ist gelb dargestellt, die Stromwellenform in blau.



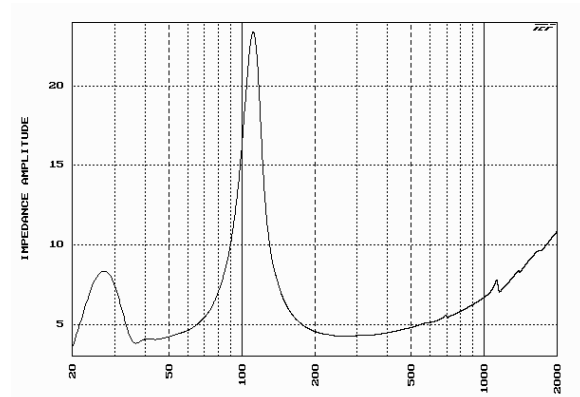
[Abb. 12] Das Vollresonanz-Schaltnetzteil von Yamaha. Glatte, natürliche Wellenformen mit minimalen Schaltgeräuschen. Die Spannungswellenform ist gelb dargestellt, die Stromwellenform in blau.

3. Verhalten des Verstärkers unter starker Last

3.1. Der Stellenwert der Laststabilität bei 2 Ohm

Die Serien Tn und TXn wurden entwickelt mit dem Konzept des stabilen Betriebs an einer Last von 2 Ohm. Wir empfehlen nicht generell, Verstärker für 2-Ohm-Last zu konfigurieren. Aber wir haben erkannt, dass die Stabilität bei extrem niedrigen Impedanzen sehr wichtig ist für Leistungsverstärker im professionellen Einsatz. Beispielsweise bei Verwendung von Doppel-Subwoofern sind die Tieftonchassis mit einer nominellen Impedanz von etwa 6 bis 8 Ohm typischer Weise parallel angeschlossen, wodurch am Verstärker eine Last von 3 bis 4 Ohm anliegt. Line-Array-Lautsprechersysteme werden ebenfalls häufig parallel angeschlossen und erfordern Stabilität bei niedrigen Impedanzen. Die tatsächliche Impedanzkurve einer Lautsprechereinheit ist komplex und deren Last variiert stark mit der Frequenz. Die tatsächlich niedrigste Impedanz ist für gewöhnlich niedriger als die nominelle (Nenn-) Impedanz. Aufgrund dieses Impedanzverlaufs kann ein Bediener den Verstärker mit einer Signalquelle, die wiederholt die für die Lautsprecher schwierigsten Frequenzen (die mit der tiefsten Impedanz) enthält, unwissentlich extremen Belastungen aussetzen. Da ein Verstärker zuweilen unter Bedingungen mit extremen Anforderungen betrieben wird, ist es wichtig, genügend Headroom vorzusehen, damit der Verstärker nicht ins Clipping fährt.

Wenn ein Verstärker „clippt“ (übersteuert), ist sein Ausgangssignal verzerrt, und es kann eine rechteckige Wellenform beobachtet werden. Eine Rechteckwelle enthält sehr hohe Frequenzen, die dazu führen können, dass die Schwingspulen der Lautsprecher durchbrennen. Daher muss ein Clipping des Ausgangssignals, das möglicher Weise Lautsprecherchassis im System zerstört, in einem professionellen Audiosystem verhindert werden. Die Fähigkeit eines Verstärkers, einen stabilen Betrieb bei niedriger Impedanz zu gewährleisten, ist dabei wesentlich, da der Verstärker bei niedrigen Impedanzen eher übersteuert.



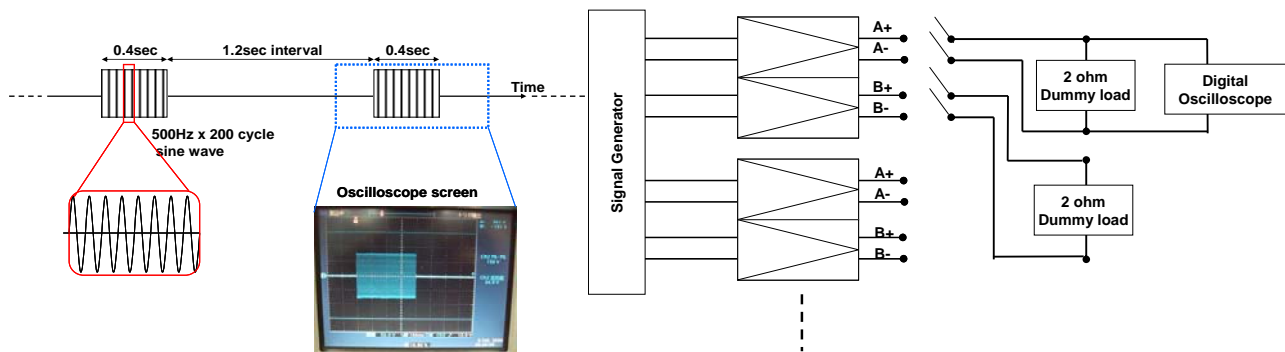
[Abb. 13] Eine typische Impedanzkurve einer Bassreflexbox. Die nominelle Impedanz ist 4 Ohm, aber deren niedrigster Wert liegt unterhalb 4 Ohm.

3.2. Vergleich von Verstärkern in Situationen mit niedriger Impedanz

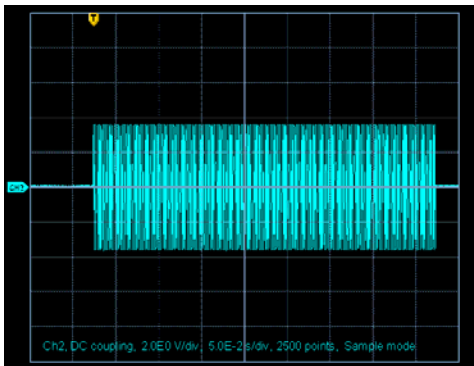
Unten sind Oszilloskopmessungen abgebildet, welche die Unterschiede im Verhalten einiger aktueller Verstärker bekannterer Hersteller visualisieren. Das Testsignal ist eine Sinuswelle (200 Durchläufe der Frequenz 500 Hz = 0,4 s), gefolgt von einer Pause (kein Signal) von 1,2 Sekunden. Diese Frequenz lässt sich in vielen typischen Programmmaterialien finden, und die Pause wurde gewählt, da eine kontinuierliche

Wiedergabe von Sinuswellen bei tatsächlichen Beschallungsanwendungen nicht realistisch ist.

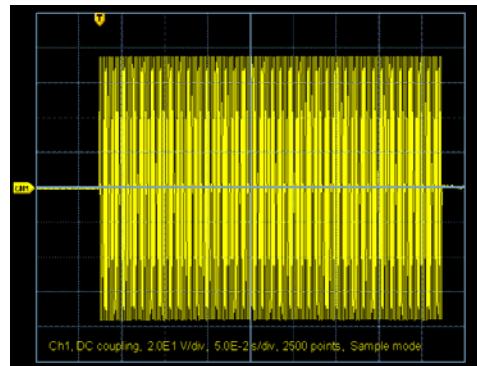
Dies ist ein Vergleich verschiedener Leistungsverstärker auf dem Markt, für die Leistungen zwischen 2500 W und 3000 W an 2 Ohm angegeben werden. Die Spannungsverstärkung und die Eingangspegel wurden genau gemessen und für einen fairen Vergleich eingestellt.



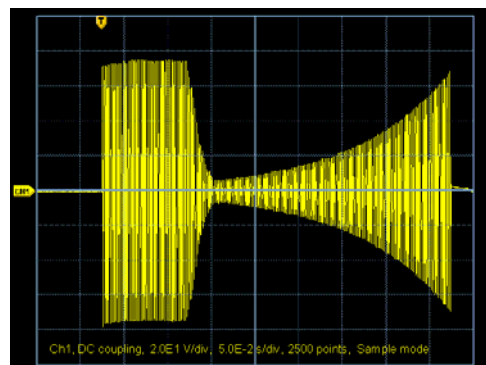
[Abb. 14] Darstellung des Aufbaus



[Abb. 15] Das Eingangssignal. Als Ausgangssignal des Verstärkers wird die gleiche Wellenform mit höherer Amplitude erwartet.

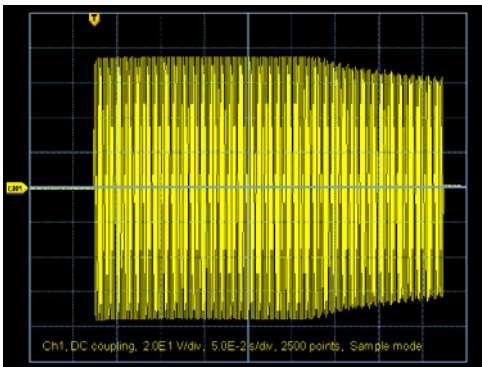


[Abb. 16] Ausgangssignal des Verstärkers T5n von Yamaha (2500 W @ 2 Ohm). Das Ausgangssignal entspricht sehr genau dem Eingangssignal.



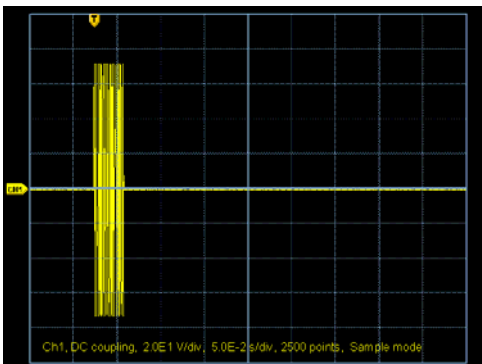
[Abb. 17] Ausgangssignal eines Verstärkers, „Mitbewerber A“. (2500 W @ 2 Ohm)

Diese Oszilloskopmessung in Abb. 17 zeigt ein starkes Kompressionsverhalten im Ausgangssignal. Das Ausgangssignal sieht deutlich anders aus als die zugeführte Sinuswelle. Dieses Verhalten war nicht zu beobachten, als der Verstärker nur auf einem Kanal betrieben wurde, wurde jedoch instabil bei Betrieb beider Kanäle. Wir meinen, dass dies das Ergebnis der Überlastung des einen Netzteils ist, welches die Leistung für beide Kanäle liefern soll.



[Abb. 18] Oszilloskopmessung eines Verstärkermodells von „Mitbewerber B“. (2900 W @ 2 Ohm)

Abb. 18 zeigt, dass das Modell von Mitbewerber B, angegeben mit einer um 400 Watt höheren Leistung als die T5n an 2 Ohm, zunächst einen guten Start liefert, aber dann schnell an Leistung verliert und in der Ausgangsspannung absinkt. Dieses Verhalten wurde beobachtet, als der Verstärker mit beiden Kanälen betrieben wurde.



[Abb. 19] „Mitbewerber C“ – Angegeben mit 3300 W an 2 Ohm, schaltete dieser Verstärker schnell stumm, nachdem sich der Limiter aktiviert hatte. (3300 W @ 2 Ohm)

Abb. 19 zeigt das Ausgangssignal eines Verstärkermodells von „Mitbewerber C“. Obwohl dieser Verstärker mit 3300 W an 2 Ohm angegeben wurde und damit die höchste Leistung aller Verstärker dieses Vergleichstests liefern soll, zeigt die Spur des Oszilloskops gegenteilige Ergebnisse. Der Limiter sprang ein und begrenzte die Ausgangsspannung drastisch. Was auf dem Standbild der Messung nicht zu sehen ist: es dauerte einige Sekunden, bis sich die Ausgangsspannung erholt hatte, woraufhin der Limiter sogleich wieder aktiv wurde. Dieses Verhalten zeigte sich über die gesamte Dauer des Tests.

Diese Ergebnisse zeigen, dass sich verschiedene Verstärker im Betrieb an niedrigen Impedanzen unterschiedlich verhalten. Der Vergleichstest beweist auch, dass die tatsächliche Leistung eines Verstärkers nicht immer aus den Angaben im Verkaufsprospekt ermittelt werden kann. Da es keine Industriestandards für die technischen Daten von Verstärkern gibt, sind Zahlenvergleiche der Ausgangsleistungen usw. auf dem Papier wenig hilfreich.

3.3. Beschreibung der Ergebnisse eines Hörtests mit Musiksignalen

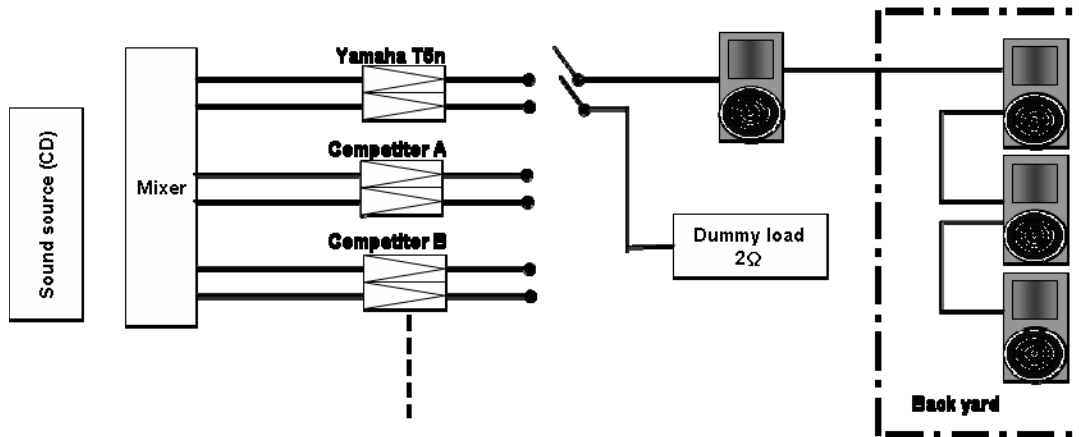
Wir haben das obige Experiment mit einem Musiksignal fortgesetzt. Um eine realistischere Situation zu schaffen, haben wir die Blindlast an einem Kanal durch vier parallel angeschlossene Lautsprecher ersetzt. Um Interferenzen zwischen den vier Lautsprechern zu vermeiden sowie die Belastung unserer Ohren gering zu halten, haben wir unsere Ergebnisse über einen Referenzlautsprecher gewonnen; die übrigen drei wurden in einem anderen Raum aufgestellt.

Die Ergebnisse dieses Hörtests haben grundsätzlich genau die Oszilloskopmessungen bestätigt. Die Kickdrums bei „Mitbewerber A“ waren stark verzerrt, extrem scharf für die Ohren und auch schädlich für die Lautsprecher. Der Wiedergabepiegel fluktuierte jeweils nach der Kickdrum, wie wir es auch bei den

Oszilloskopmessungen beobachtet hatten.

Das Ausgangssignal von „Mitbewerber B“ war beträchtlich verzerrt, wenn das Musiksignal wiederholt lautere Noten enthielt. Bei „Mitbewerber C“ schaltete sich nach dem Kickdrum-Schlag der Limiter ein. Der Verstärker schaltete sich für einige Sekunden stumm, bevor er das Signal wieder freigab. Dieser Limiter kann

den Verstärker vor Schäden bewahren, aber ein solches Verhalten ist in einer Live-Situation untragbar. Die T5n von Yamaha zeigte in diesem Test positive Ergebnisse. Die T5n wies ein minimales Limiting auf und hatte den größten Headroom unter den Mitbewerbern. Das Ausgangssignal enthielt leichte Verzerrungen bei hohen Lautstärken, aber die Wiedergabe blieb musikalisch und zeigte die beste Leistung in diesem Vergleich.



[Abb. 20] Aufbau für den Hörtest

YAMAHA CORPORATION

P.O.BOX 1, Hamamatsu, Japan

<http://www.yamahaproaudio.com>