

WATT LIEGT AN?

Hintergründe zur Ermittlung von Datenblattangaben, Teil 2

Von Stefan Kosmalla und Fabian Reimann

Immer wieder lesen wir in einschlägigen Internetportalen die als Feststellung getarnte Vermutung, dass Testautoren und Redaktionen diverser Fachzeitschriften generell in friedlicher Eintracht mit Herstellern und Vertrieben deren Produkte gemeinschaftlich vermarkten. Dass es hinter den Kulissen manchmal ordentlich brodelt, bleibt vielen verborgen. Ein Konfliktpunkt dreht sich immer wieder um die Herstellerangaben bezüglich der Leistung von Endstufen und Aktivboxen oder den für eine Kaufentscheidung wichtigen maximalen Schalldruck (max. SPL). An einem gängigen Beispiel möchte ich die Problematik verdeutlichen.

Unser „Dummy“ ist eine kompakte 10-Zoll-Box mit eingebauter Endstufe, die vom Hersteller mit den Attributen „750 Watt“ und „129 dB SPL“ Maximalschalldruck beworben wird. Im Detail besteht diese Box aus einem pulsweitenmodulierten Verstärkermodul in aktiver Zweigegetechnologie, bei dem laut Hersteller 500 Watt dem Tieftonlautsprecher und weitere 250 Watt dem Hochtontreiber zugeführt werden. Die Lautsprecherbestückung umfasst dabei einen 25-Zentimeter-Basslautsprecher (4 Ohm) mit separatem 8 Ohm Hochtontreiber, die im Zusammenspiel mit der Frequenzgangauslegung dank aktiver Controllerschaltung eine gute klangliche Arbeitsgrundlage abliefern.

Laborzeit

Wer bis hier noch nicht weitergeblättert hat, darf sich auf einen Exkurs in die Weiten der elektrischen Signalverarbeitung freuen. Vorbereitend sei das Studium unseres Info-Kastens empfohlen, in dem wir genau erklären, wie aus einer gemessenen Spannung die Angabe „Watt“ entsteht.



Bild 1: Klare Sache – der Basslautsprecher hat 4 Ohm

Um eine Verstärkerschaltung hinsichtlich ihrer Ausgangsleistung messen zu können, ist die Bestimmung der angeschlossenen Lastimpedanz ein wesentliches Merkmal. Der Hersteller im vorliegenden Fall macht es uns leicht, indem er den Basslautsprecher mit dem in **Bild 1** ersichtlichen roten „4 Ohm“ Sticker unmissverständlich markiert hat.

Beim Hochtöner ist die Bestimmung aufgrund fehlender Aufkleber schon schwieriger, dennoch offenbart eine einfache Impedanz-Mes-

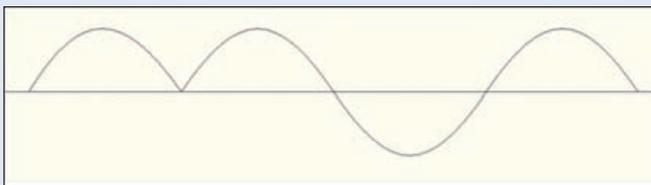
sung durch den Kollegen Fabian Reimann eine Nominalimpedanz von 8 Ohm. Anhand dieser Eckdaten bereiten wir nun unsere Lastwiderstände vor, die fortan die bereits ausgebaute Endstufe anstelle der Lautsprecher fordern werden. Der Grund, nicht die vorhandenen Lautsprecher zu verwenden, liegt auf der Hand: Die Lautstärke wäre nur schwer erträglich und die Lautsprecher könnten durch die hohe Dauerbelastung Schaden nehmen. Die Anforderungen an die Ersatzlast sind dabei

GRUNDLAGEN

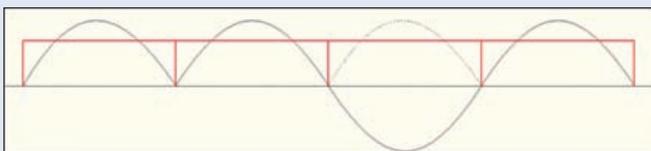
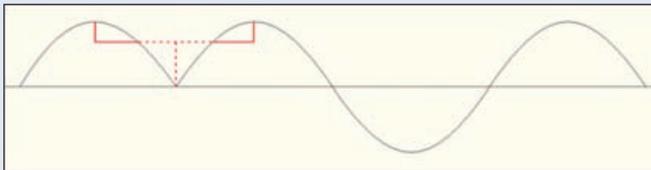
Um zu verstehen, wie die Ausgangsleistung eines Verstärkers berechnet wird, soll anhand eines Grundbeispiels mit dem Impedanz-Klassiker „4 Ohm“ die Sachlage näher erklärt werden.

Die Messung in **Grafik 1** zeigt uns eine Sinusfrequenz von 1.000 Hz mit einer Spannungshalbwelle von jeweils 2,82 Volt von der Nulllage ausgehend. Der Fachmann sagt dazu: „Ich messe eine Amplitude von 5,64 V_{ss}“. Das Kürzel „V_{ss}“ steht hier für „Volt-Spitze-Spitze“ und bezeichnet damit die maximalen Spannungsdurchläufe. Um zu erkennen, wie viel tatsächliche Heizleistung aus der abgebildeten Wechselspannung resultiert, zerlegen wir die Sinuskurve einfach in ihre Bestandteile und wenden einen mathematischen Trick an.

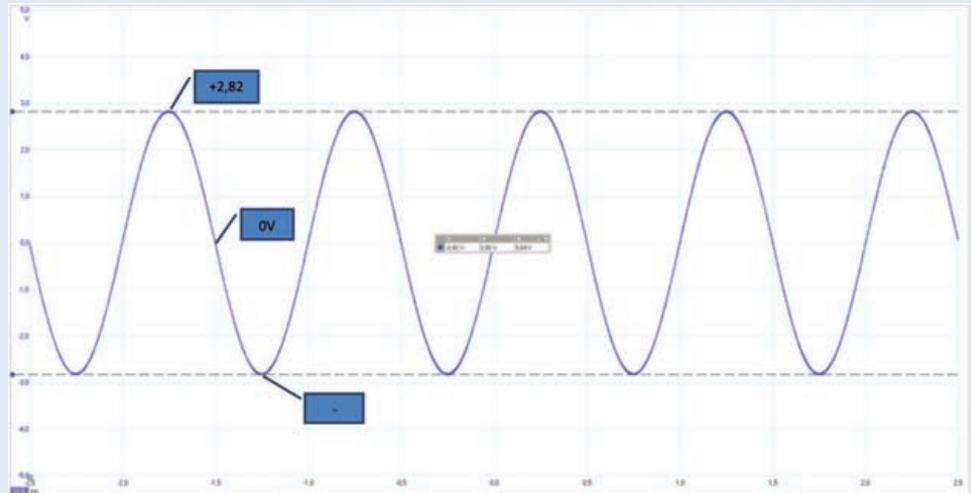
Zu Beginn klappen wir die untere Halbwelle gedanklich nach oben (**Grafik 2**: Im linken Teil der Schwingung wird deutlich, wie das gemeint ist). Nun haben wir eine in positiver Richtung auf- und absteigende Spannung, die ohne Weiteres an einem Heizwiderstand eine Leistung in Wärme erzeugen würde. Das Prinzip der hochgeklappten Halbwelle wird, nebenbei erwähnt, auch praktisch in einem Gleichrichter verwendet. Da haben wir dann tatsächlich den gezeigten Spannungsverlauf. In unserer Erklärung zur Wechselspannungsberechnung verwenden wir die grafische Aufarbeitung nur zum Zweck der Verdeutlichung, da der Effektivwert einer Wechselspannung tatsächlich dem Heizwert einer vergleichbaren Gleichspannung entspricht. Doch zurück zu unserem Heizwiderstand, der die Eigenschaft hat, Leistung zu sam-



Grafik 2: Der Trick: Die untere Halbwelle wird nach oben geklappt



Grafik 3 und 4: Darstellung des Effektivwerts



Grafik 1: Grafische Darstellung von 1 Watt an 4 Ohm, obwohl nur Spannungsangaben sichtbar sind – die Erklärung dazu findet sich im Text

mel. Konkret bedeutet dies, dass er nicht ständig im Verlauf der auf- und absteigenden Spannung warm und kalt wird, sondern bedingt durch seine Trägheit ein Mittelmaß bildet, den sogenannten Effektivwert. Grafisch betrachtet müssen wir uns vorstellen, dass aus den oberen Teilen der Halbwellen gewisse Anteile benötigt werden, um die Lücken zwischen den Halbwellen zu füllen (**Grafik 3**).

Die rot markierten Bereiche passen von der Fläche her gesehen in die gestrichelt markierten Bereiche zwischen den Halbwellen. Übrig bleibt eine geschlossene Fläche, deren Größe der Heizleistung entspricht. Der rote Bereich macht deutlich, wie hoch die effektive Heizleistung der Halbwellen ist.

Nach diesem anschaulichen Exkurs kommen wir zurück zur Theorie, denn letztlich geht es um die mathematische Aufarbeitung des oben gezeigten Sachverhalts. Dazu ersetzen wir den Begriff Heizleistung durch Effektivspannung und stellen nachfolgende Rechenschritte auf. Wir erinnern uns, dass wir in **Grafik 1** mit dem Oszilloskop eine Spitze-Spitze-Spannung von 5,64 V_{ss} gemessen haben. Nach dem Hochklappen der unteren Halbwellen steht uns rechnerisch nur noch die halbe Spannung in Höhe von 2,82 Vs zur Verfügung. Nun kommt die Aktion mit der Flächenverteilung ins Spiel. Dazu haben uns die Mathematiker den Faktor 1,414 zur Seite gestellt, der der Wurzel aus zwei entspricht. Mit diesem Faktor können wir nun rechnen: $2,82\text{Vs} / 1,414 = 1,9943\text{Veff}$ (woraus aufgerundet 2 Volt effektive Spannung resultiert)

Wir halten fest: 5,64 Volt-Spitze-Spitze sind 2 Volt effektiv. Kommen wir zurück zur Impedanz von 4 Ohm und berechnen den Strom in Ampere, der durch unseren Widerstand fließt. Dazu nehmen wir das Ohmsche Gesetz zur Hilfe und schauen kurz auf die Grundlage. Der Fachmann sagt: „I ist gleich U durch R. Mit „I“ ist der Strom in Ampere gemeint, „U“ bezeichnet die Höhe der Spannung und „R“ bezeichnet den Widerstand. Mit der Formel errechnen wir den Strom nach: $2\text{ Volt} / 4\text{ Ohm} = 0,5\text{ Ampere}$. Da wir nun sowohl die effektive Spannungshöhe als auch den Strom durch die Last kennen, ist der Weg zur Leistung nicht mehr weit. Wir nehmen eine weitere Formel zur Hilfe, die uns direkt die Leistung in Watt berechnet: $P = U \times I$, wobei „P“ für die Leistung in Watt steht. Nun ist alles ganz einfach: $2\text{ Veff} \times 0,5\text{ A} = 1\text{ Watt}$.

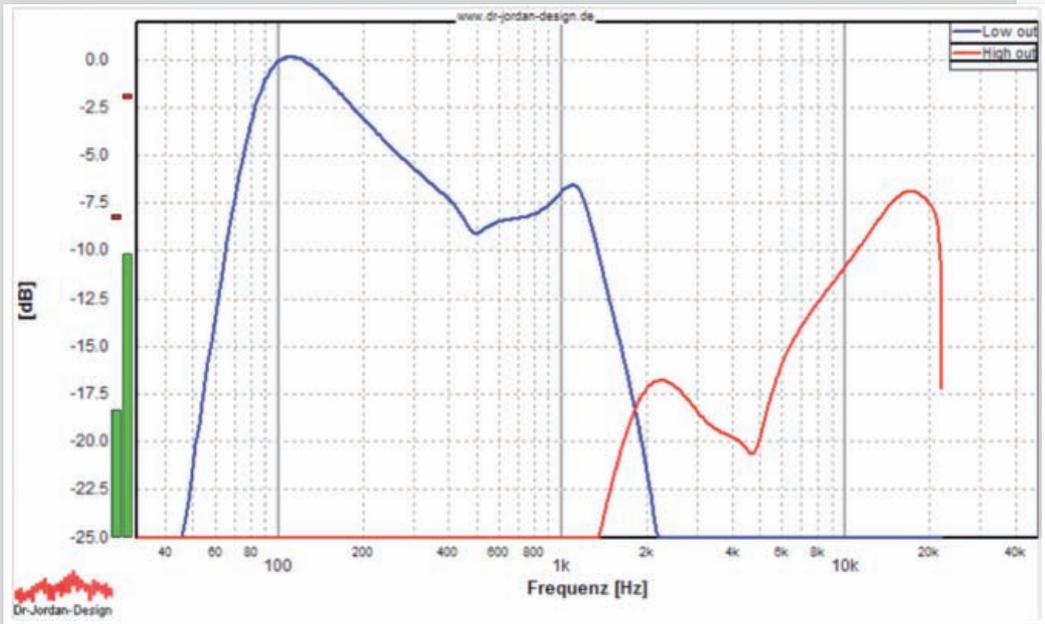


Bild 2: Elektrischer Frequenzgang der Testbox

eher einfacher Natur. Hier stehen in erster Linie die Belastbarkeit sowie die exakte Einhaltung der geforderten Impedanz im Interesse des Labortechnikers. Dem Verbindungskabel zwischen Prüfling und Ersatzlast sollte ebenfalls unsere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Eine dünne Strippe würde den Gesamtwiderstand bestehend aus Kabel und Widerstand unerwünscht in die Höhe treiben, was in Folge eine geringere Strombelastung der zu prüfenden Endstufe ergäbe. Wichtig: Weniger als 4 mm² Kabelquerschnitt und mehr als ein Meter Länge können problematisch werden. Den Abgreifpunkt für den Messwandler wählen wir unmittelbar am Ausgang der Endstufe – idealerweise mit fest verlöteten Laborbuchsen, um auch hier verfälschende Spannungsverluste durch die Zuleitungen zu den Lastwiderständen zu vermeiden. Zu guter Letzt kontrollieren wir noch die Höhe der Netzspannung, da es je nach Schaltungsdesign zu erhebli-

Bekannt bei Funk und Fernsehen.



Als kompletter Kanalzug hat der Track One alle Tools an Bord, die Sie für perfekte Stimm- und Instrumentaufnahmen brauchen.

Ein blitzsauberer Vorverstärker trifft auf De-Esser, Kompressor und EQ. Und typisch SPL, trifft höchste Klangqualität auf die geniale Ein-

Knopf-Bedienung unserer Prozessoren. Daher treffen Sie den Track One auch so oft in Studios, Live und beim Rundfunk von NDR bis Radio France.

chen Abweichungen der gemessenen Ausgangsleistungen kommen könnte, wenn die erwartete Betriebsspannung eventuell 10 Prozent zu niedrig sein sollte.

Nachdem die Vorbereitungen so weit abgeschlossen sind, gilt es, noch das Prüfsignal zu bestimmen. Ein Sinussignal ist hier das Mittel der Wahl, allerdings mit einer Besonderheit: Die Signallänge ist nicht unendlich, sondern im vorliegenden Testprozedere mit 100 Millisekunden Signallänge genau definiert. Diese Signalblöcke nennt der Fachmann „Burstimpulse“, und „Bursts“ helfen der Endstufe, sich in den Pausenzeiten (da wo der Burst abgeschaltet ist) zu erholen. Unser Messsignal bietet der Endstufe 400 Millisekunden Pause an, Zeit genug, um Kondensatoren zu laden, Limiter zurückzuregeln und die nicht zu vermeidende Abwärme auf ein erträgliches Maß zu kühlen.

Stellt sich noch die Frage zur gewünschten Messfrequenz. Im vor-

liegenden Fall müssen wir vorbereitend die Übertragungsbereiche der beiden Verstärkerzweige ermitteln. Dazu erstellen wir eine Frequenzgangkurve, aus der sich die optimalen Durchlassbereiche entnehmen lassen. Neben der grundsätzlichen Trennfrequenz sehen die Entwickler auch eine Frequenzgangkorrektur vor und das Gesamtbild des so entstandenen elektrischen Frequenzgangs sieht bei unserer Beispielbox so aus (**Bild 2**):

Blau steht für den Ausgang des Tieftonverstärkers mit einem Durchlassmaximum bei 100 Hz, während der Hochtonweg einen stetigen Anstieg bis 16 kHz zeigt. Im vorliegenden Fall fällt die Wahl auf die schon aus anderen tools 4 music-Tests bekannte Frequenz von 80 Hz für den Bassweg und 12 kHz für den Hochtonzweig.

Als letzte Hürde fehlt noch die Auswahl des Messmittels, also die Art und Weise zur Erfassung und Speicherung der abgegebenen Signalamplituden. Ein normales Messgerät in

analoger oder digitaler Ausführung scheidet aufgrund hoher Trägheit und mangels geeigneter Speichermöglichkeiten aus. Mit einem Oszilloskop kommen wir der Sache schon näher – immerhin sind hier Anzeigegeschwindigkeit und Signaldarstellungsmöglichkeiten gegeben. Doch es hapert in den meisten Fällen an geeigneten Speicheroptionen und darüber hinaus der mathematisch korrekten Effektivwertbestimmung. Im tools 4 music-Labor benutzen wir daher ein volldigitales Speicheroszilloskop des Herstellers Picotech, dessen Pluspunkte in der Eingangsspannung bis 400 Volt, den massefreien Signaleingängen und nicht zuletzt der 12-Bit-Auflösung liegen. Ein weiteres Highlight besteht darin, dass die gespeicherten Signale vollständig analysiert werden können. So stehen verschiedene Messfenster und eine Vergrößerungsfunktion zur Verfügung.

Zurück zu unserem Testobjekt, welches zwischenzeitlich mit diver-

Anzeige



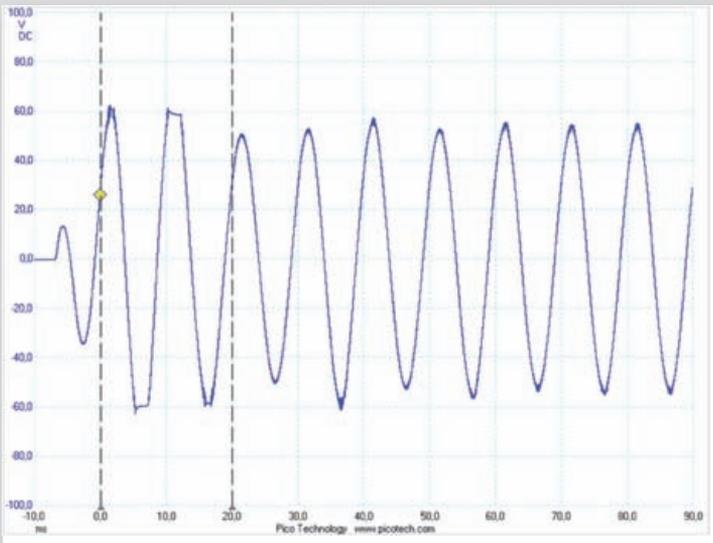


Bild 3: Interessant sind die ersten 20 Millisekunden

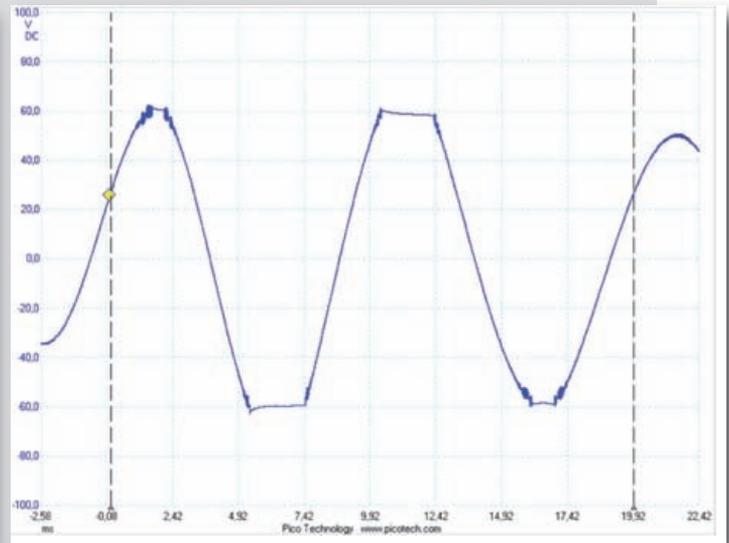


Bild 4: Vergrößerung des Clipping-Bereichs

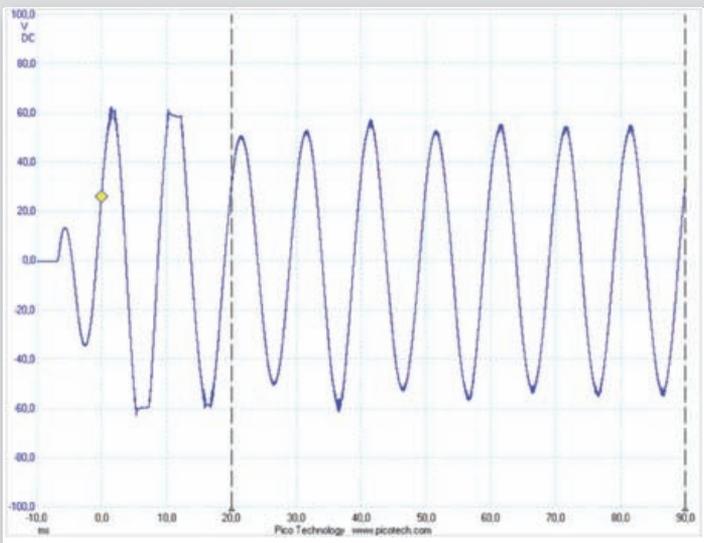


Bild 5: Nach den ersten 20 Millisekunden greift der Limiter ein

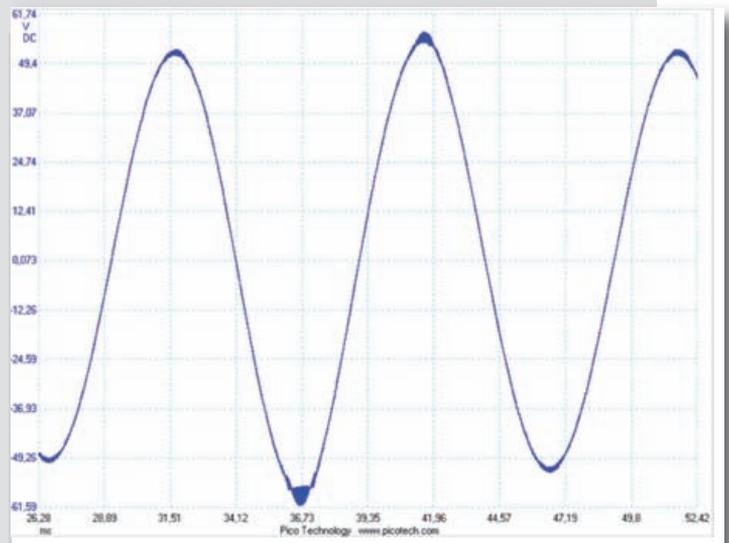


Bild 6: Auch im „brauchbaren Leistungsbereich“ sind noch Verzerrungen sichtbar

sen Kabeln verbunden seine Arbeit verrichtet. Ein Blick über den Messplatz zeigt folgende Werte: Die Netzspannung beträgt 228 Volt, die Stromaufnahme schwankt erwartungsgemäß zwischen wenigen Milliampere im Pausenfall bis zu etwa 2 Ampere bei anstehendem Signal und das rhythmische Piepen der Lastwiderstände signalisiert, dass die Endstufe korrekt arbeitet. Jetzt heißt es nur noch, das digitale Oszilloskop auf Einzelmessung zu triggern und schon ist die erste Darstellung des 80-Hz-Signals „im Kasten“ (**Bild 3**):

Unschwer ist zu erkennen, dass die Signalform innerhalb der ersten 20 Millisekunden merkwürdig zerrissen aussieht. Unser Digitaloszilloskop bestimmt die effektive Spannung mit 45,26 Volt, woraus sich in Verbindung mit der 4-Ohm-Impedanz exakt 512 Watt in diesem Zeitabschnitt ergeben (damit bewegen wir uns im Bereich der vom Hersteller angegebenen 500 Watt). Bei genauer Betrachtung des Signals ist allerdings ein deutlicher Verzerrungsanteil in Form massiven Clippings festzustellen. Die nachfolgende Vergrößerung zeigt, wie es

um die Signalqualität bestellt ist (**Bild 4**).

Die Verzerrungen erreichen gut 20 Prozent Klirrfaktor, dabei gibt auch die Tendenz zur Schwingneigung Anlass zu Bedenken. Im weiteren Verlauf zeigt sich ein günstigeres Bild. Der interne Limiter greift im rechten Bildabschnitt nach den ersten 20 Millisekunden erstmalig ein. Nach etwa 50 Millisekunden hat die Verstärkerschaltung die Signalform im Griff (**Bild 5**) und bietet im Verlauf der insgesamt markierten 70 Millisekunden eine stabile Ausgangsleistung von effek-

tiven 37,75 Volt, was umgerechnet genau 357 Watt an 4 Ohm entspricht.

Im vorliegenden Fall haben wir also zwei Werte, zum einen die nur kurze Zeit zur Verfügung stehende Verzerrung mit 512 Watt im Vergleich zu den länger anstehenden nutzbaren 357 Watt. Jetzt kommen wir zu dem Punkt, der den Marketingabteilungen Kopfzerbrechen bereitet – für uns hingegen liegt der Fall auf der Hand: Die Endstufe bietet tatsächlich maximal 357 in der Praxis nutzbare Watt statt der versprochenen 500 Watt. Und: Eine genaue Klirranalyse würde auch bei 357 Watt noch deutliche Signalmängel zeigen, wie die Vergrößerung zeigt (**Bild 6**).

Im nächsten Schritt wenden wir uns dem Hochtonteil zu und messen dazu die Ausgangsspannung parallel zum 8-Ohm-Ersatzwiderstand. Dazu schauen wir zur besseren Übersicht zuerst auf den

kompletten Signalverlauf eines Burstpakets (**Bild 7**).

Hier sehen wir, dass die Ausgangsamplitude in den ersten 300 Millisekunden etwas oberhalb von 120 Vss liegt, was rund 42 Volt Effektivspannung entspricht. Die Software ermittelt den genauen Wert mit 41,3 Volt.

Das Regelverhalten des integrierten Limiters ist auch korrekt. Im markierten Bereich liegt die Ausgangsleistung für etwa 300 Millisekunden bei 41,3 Volt, woraus nach Umrechnung 213 Watt an 8 Ohm resultieren. Im Zeitabschnitt bis 1 Sekunde sinkt die Leistung mit einem Durchschnittswert von etwa 100 Watt auf eine stabil verbleibende Effektivspannung von 13,6 Volt ab, was nach Umrechnung noch 23 Watt sind. Wir dürfen jedoch nicht vergessen, dass die Schwingungspule eines Hochtontreibers ohnehin nicht für hohe Belastungen auf-

grund ihrer eingeschränkten Temperaturstabilität konzipiert ist. Daher ist das gezeigte Eingreifen des Limiters absolut notwendig, um ein Durchbrennen der Schwingungsspule zu verhindern. Im vorliegenden Verstärkermodell sind sowohl die Bass- als auch Hochtonzweige elektrisch identisch ausgeführt. Da auch die Betriebsspannung des Zentralnetzteils für beide Kanäle gleich ist, dürfen mit Ausnahme der individuell programmierten Limiteigenschaften eigentlich auch keine Amplitudenunterschiede zu erwarten sein. Um das Verhältnis der Tief- und Hochtonamplituden im Zusammenhang zu erkennen, sollten wir abschließend einen Blick auf das Signalverhalten des kompletten Verstärkers mit Musikaussteuerung richten (**Bild 8**).

Blau zeigt das Signal am Basslautsprecher, während die rote Kurve den Signalpegel am Hochtonlautsprecher dokumentiert. Deutlich

Anzeige

Freaks?

Nein. Unsere weltweiten Proteste rücken die Gefahren des Klimawandels ins Bewusstsein der Menschen. Diesen und viele andere Erfolge verdanken wir der dauerhaften Unterstützung unserer Fördermitglieder. Machen auch Sie mit unter www.greenpeace.de



GREENPEACE

(c) Greenpeace/Ex-Press/Wuertenberg

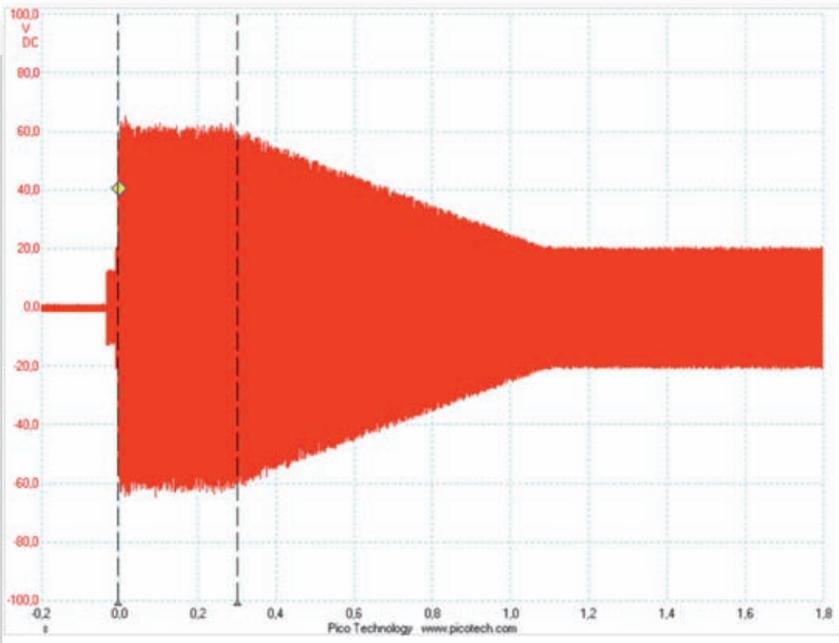


Bild 7: Signalverlauf des Burstimpulses beim Hochtöner

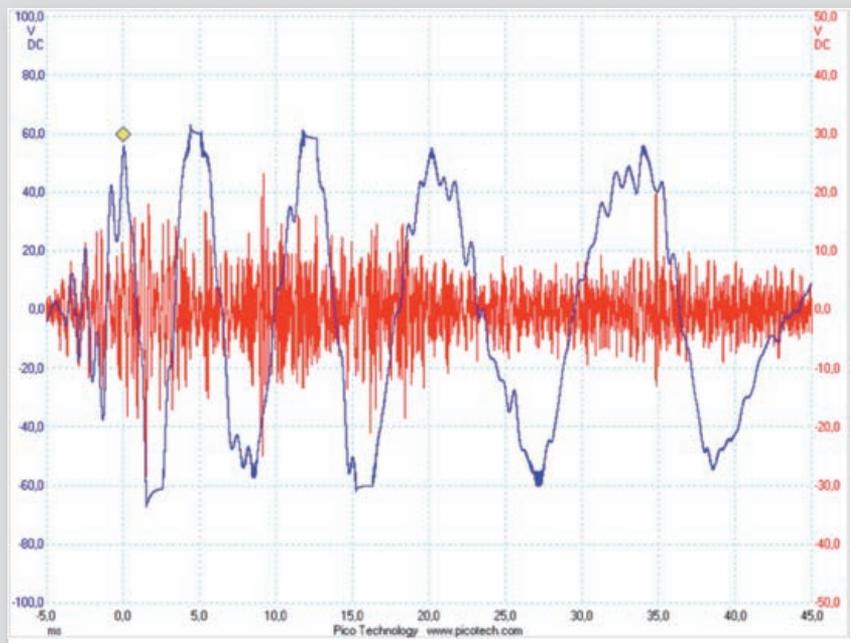


Bild 8: Signalverhalten des kompletten Verstärkers bei Musikaussteuerung

ist das Verhältnis der erforderlichen Pegel zueinander zu erkennen, wobei hier ersichtlich wird, dass der Hochtönverstärker bei vorliegendem Musikbeispiel überhaupt nicht an seine Aussteuerungsgrenzen kommt. Im Bassausgang zeichnen sich jedoch deutliche Begrenzungen durch Clipping im Bereich der Betriebsspannungsgrenzen an. Die abgeflachten Signalspitzen markieren diskussionsfrei das Ende der Aussteuerungsfähigkeit – ein weiterer

Pegelzuwachs ist durch Erhöhung der Eingangsspannung nicht mehr möglich.

Es gibt noch einen interessanten Punkt zum Thema Ausgangsleistung. Die Überleitung der Verstärkerleistung im Verhältnis zur abgegebenen Lautstärke ist nämlich nicht minder spannend. Unsere Box wird mit „129 dB SPL“ beworben, aber, wie Kollege Fabian Reimann gemessen hat, liegen wir deutlich darunter. Er attestiert dem Basslaut-

sprecher im Bereich zwischen 100 und 1.000 Hz einen Maximalschalldruck von etwa 120 dB SPL, für deren Messung die Box immerhin einige Sekunden lang voll angesteuert sein muss. Wie wir bereits gesehen haben begrenzt der Limiter nach bereits rund 20 Millisekunden deutlich auf etwa 350 Watt. Im Umkehrschluss bedeutet dies einen Wirkungsgrad von etwa 95 dB SPL bei 1 Watt in 1 Meter Entfernung für den eingebauten Basslautsprecher. Anhand einer mathematischen Berechnung können wir nun den zu erwartenden Schalldruck in Abhängigkeit der zugeführten Leistung kalkulieren:

Leistung	Schalldruck
1 Watt	95 dB
10 Watt	105 dB
100 Watt	115 dB
200 Watt	118 dB
400 Watt	121 dB
800 Watt	124 dB
1.600 Watt	127 dB
2.500 Watt	129 dB

Dabei ist unschwer zu erkennen, dass die doppelte elektrische Leistung zugeführt werden muss, um 3 dB mehr Schalldruck zu erzeugen. Die Differenz zwischen beispielsweise 350 Watt und 500 Watt kann daher nahezu als bedeutungslos betrachtet werden und dient vornehmlich dem Erreichen eines größeren Headrooms. Um unserer Box die angegebenen „129 dB SPL“ zu entlocken, müsste die eingebaute Verstärkerelektronik dem kleinen Tieftöner sage und schreibe 2.500 Watt anbieten, was selbiger unweigerlich mit rauchender Schwingspule quittieren würde.

Ausblicke

Zukünftig werden wir zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Verstärkern an einem verbindlichen Messstandard arbeiten. Dazu stellen wir in der kommenden tools 4 music-Ausgabe die neuen Messmethoden einschließlich der zugrunde liegenden Signalformen vor. Auch das Thema Messmittel wird erneut aufgegriffen und zum besseren Verständnis transparent dargestellt. Es bleibt also spannend!

Noch Fragen?

redaktion@tools4music.de