

PROFESSIONAL system

Magazin für AV-Systemintegration

5 | 2023
August



Test & Messungen d&b audiotechnik 5D

Sonderdruck aus Professional System 5-2023



d&b audiotechnik 5D

Mit dem Modell 5D stellt d&b audiotechnik einen neuen vierkanaligen Verstärker vor, der mit 4 x 600 W Leistung im 9,5"-Format für den Einsatz in Festinstallationen prädestiniert ist. Der 5D verfügt mit seinem integrierten DSP-System über den vollen Funktionsumfang, den man auch von den großen Modellen kennt und fügt sich lückenlos in das d&b-System.

Text, Messungen und Fotos: Anselm Goertz

Beschallungsanlagen als Festinstallation werden mit multimedialen Anwendungen zunehmend anspruchsvoller. Das betrifft nicht nur die Komplexität solcher Anlagen, sondern auch die Audioqualität sowie die Bedienung und Vernetzung. Zwei Lautsprecher an der Bühne oder eine einfache Anordnung aus Deckenlautsprechern genügen da meist nicht mehr. Schaut man bei d&b audiotechnik in das Portfolio, dann spiegelt sich genau das auch hier wider. Neben den großen PA-Systemen finden sich dort auch viele kleinere Systeme für dezentrale Anwendungen, für Konferenzräume, Gotteshäuser und vieles mehr. Dementsprechend steigen auch die Anforderungen an die dazu passenden Verstärker. Anders ausgedrückt, eine große kräftige Endstufe, die auch nur Endstufe ist und sonst nichts, genügt da nicht mehr. Es werden viele Kanäle mit unterschiedlichen Leistungen benötigt, die Geräte sollten via Netzwerk gesteuert und überwacht werden können, und

die Möglichkeit der Signalzuspielung über das Netzwerk gehören heute zur Standardausstattung. Hinzu kommt die Anforderung nach einer zugehörigen Software, mit der sich die Geräte konfigurieren, bedienen und auch überwachen lassen.

Das alles findet sich in den Verstärkern von d&b schon seit Längerem, wobei das Angebot bislang jedoch nur größere Modelle mit 2HE-19"-Gehäusen und hohen Ausgangsleistungen umfasste. Neu hinzugekommen ist jetzt der 5D im schlanken 1HE-9,5"-Format. Die Ausgangsleistung wird abhängig von der Art des Messsignales mit bis zu 4 x 600 W angegeben. Das integrierte DSP-System bietet alle von den größeren Modellen bekannten Funktionen. Darüber hinaus gibt es erstmals in einem d&b-Verstärker auch ein Dante-Interface, so dass für eine digitale Signalzuspielung über das Netzwerk keine spezielle Audio Network Bridge mehr benötigt wird.

Der 5D im länglichen 9,5"-Gehäuse. Mit „connector plates“ können zwei Gehäuse zu einer 19"-Einheit zusammengesetzt werden.

Was muss der moderne Verstärker können?

Verstärker haben in der Beschallungstechnik über die vergangenen Jahrzehnte einen deutlichen Wandel erfahren. Aus monströs schweren reinen Leistungsverstärkern wurden komplexe Lautsprecher-Management-Systeme, die die gesamte Anlage verwalten. Die integrierten DSP-Systeme bieten dazu fast beliebige Möglichkeiten mit allen Arten digitaler Filter. Gleiches gilt für die Limiter zum Schutz der Lautsprecher, die komplexe Schutzfunktionen mit Multiband Thermo- und Peak-Limitern sowie Auslenkungsbegrenzung für die Tieftöner im Angebot haben. Vorgefertigte und passend abgestimmte Setups für die Lautsprecher erleichtern dem Benutzer die Arbeit und erhöhen zudem die Betriebssicherheit.

Die Vernetzung der Verstärker ist in diesem Zusammenhang ebenfalls zum Standard geworden, da sich größere Anlagen nur so sicher überblicken und konfigurieren lassen. Neben den „verwaltenden“ Aufgaben eines modernen Verstärkers innerhalb einer Anlage besteht auch noch die eigentliche Kernkompetenz, die Verstärkung. Class-D-Schaltungen und Schaltnetzteile haben auch hier zu einem merklichen Wandel geführt. Die Verstärker sind nicht nur wesentlich kompakter und vor allem auch leichter geworden, sondern können die Leistung auch bedarfsgerechter bereitstellen.

Kommen wir an dieser Stelle zum 5D, der über vier Kanäle verfügt, die identische Eigenschaften haben und ihre Leistung aus einem Pool, dem Netzteil, schöpfen. Ein Blick ins Datenblatt zeigt dazu interessante Werte. Für die maxi-

male Ausgangsspannung werden dort $120 V_{pk}$ genannt. Bei einem Sinussignal entspräche das an einer $8\text{-}\Omega$ -Last einer Leistung von 900 W. Dieser Wert versteht sich jedoch als kurzzeitiger Spitzenwert. Abhängig vom Crestfaktor des Signals liegt die maximale mittlere Leistung deutlich darunter. Eine Tabelle im Datenblatt liefert dazu ausführliche Informationen.

Zum besseren Verständnis dieser Werte muss man sich zunächst vom Gedanken der Sinusleistung als den entscheidenden Wert lösen. Musik und Sprache sind keine Sinussignale. Ein Sinussignal hat ein Verhältnis vom Spitzenwert zum Effektivwert von 1,414 (3 dB). Bei nicht oder nur schwach komprimierten Musik- oder Sprachsignalen liegt dieser Wert bei ca. 4 (12 dB) oder höher. Bezeichnet wird dieses Verhältnis vom Spitzenwert zum Effektivwert oder Peak- zu RMS-Wert als Crestfaktor. Daraus folgt, dass für eine unverzerrte Wiedergabe von Sprache oder Musik ein Verstärker in der Lage sein muss, vor allem kurzzeitig hohe Spannungen und Ströme zu liefern. Werden die $120 V_{pk}$ des 5D mit einem Signal mit einem Crestfaktor von 12 dB voll ausgenutzt, dann entspricht das einem Effektivwert der Spannung von nur $30 V_{eff}$ und einer mittleren Leistung an $8\text{-}\Omega$ von 112 W. Es genügt somit völlig, wenn das Netzteil im Mittel für diesen Kanal die 112 W plus etwaiger Verluste in einer Größenordnung von 25 % bereitstellt. Nur für kurze Signalspitzen müssen entsprechend höhere Reserven vorhanden sein.

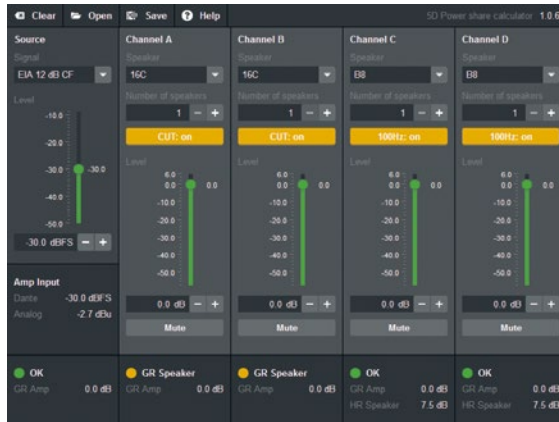
Power Sharing

Betrachtet man das Netzteil zusammen mit den vier Kanälen, die aus einem Pool schöpfen, dann kann man sich das sogenannte Power Sharing zunutze machen. Werden nicht alle Kanäle gleichzeitig voll ausgelastet, dann können verbleibende Reserven für entsprechend mehr Leistung der anderen Kanäle genutzt werden. Wie sich mithilfe des Power Sharings der 5D optimal nutzen lässt, kann mit einer kleinen Software, dem Power Share Calculator, auf der d&b-Homepage berechnet werden. Abb. 1 zeigt das User Interface der Software, wo man zunächst die Lautsprechertypen an den vier Ausgängen auswählt und →

Frontansicht

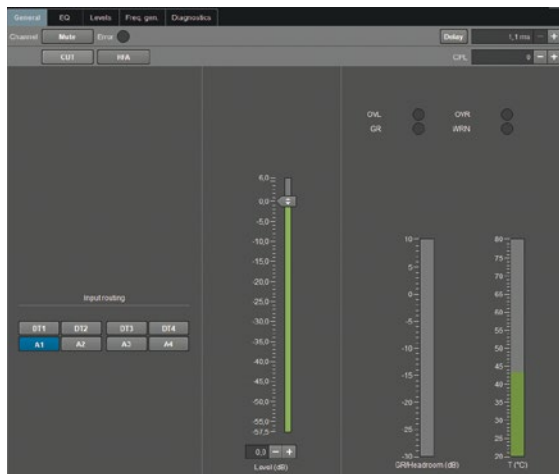
Auf der Frontseite zeigen LEDs die wichtigsten Zustände wie Signal Present, Gain Reduction oder Overload der vier Kanäle an.





Power Share Calculator

Abb. 1: Der Power Share Calculator steht auf der d&b-Homepage als Online-Tool zur Verfügung und ermöglicht es, auf schnelle und einfache Weise zu berechnen, bei welchem Eingangspegel die ausgewählten Lautsprecher oder der Verstärker voll ausgelastet sind. Die Signalform kann ausgewählt werden. Hier wird mit einem EIA Spektrum und 12 dB Crestfaktor gerechnet.



General-Tab

Abb. 2: Übersicht über einen Verstärkerkanal mit Levelmetern für den Eingangspegel und für den Headroom bzw. die Gain Reduction. Auf der linken Seite kann das Routing des Eingangssignals ausgewählt und der Level eingestellt werden. Mute, Delay sowie die Standardfilter für CPL, CUT und HFA werden ebenfalls hier definiert.



EQ-Tab

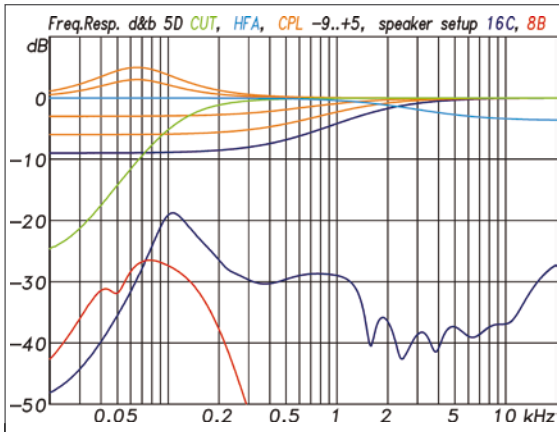
Abb. 3: In jedem Verstärkerkanal findet sich eine Achtfach-Filterbank mit Shelf-, Bell- und Notch-Filtern. Es können auch asymmetrische Filter mit unterschiedlichen ansteigenden und abfallenden Flanken eingestellt werden.

deren Anzahl eingibt. Ebenso werden hier die Standardfilter wie Cut für die Toppteile oder der Lowpass für die Subwoofer eingestellt. Das Beispiel in Abb. 1 zeigt 16C-Zeilen für die Kanäle 1 und 2 sowie B8-Subwoofer für die Kanäle 3 und 4. Das Signal ist definiert mit einem EIA-426B Spektrum und einem Crestfaktor von 12 dB. Beides entspricht einem typischen Musiksinal. Schiebt man jetzt den Level Fader hoch, dann reagiert zuerst für die 16C die Gain Reduction zum Schutz der Lautsprecher. Für die B8-Subwoofer wird dagegen noch ein Headroom von 7,5 dB angezeigt. Erhöht man den Pegel trotz der Gain Reduction für den Speaker noch weiter oder schaltet man mehrere Lautsprecher an einem Kanal parallel, dann erfolgt auch die Gain Reduction Amp im jeweiligen Kanal oder in weiterer Konsequenz dann auch die Overload(OVL)-Anzeige. Überfordern die vier Kanäle in der Summe das Netzteil, dann erscheint die Anzeige im Feld ganz links unten neben den Kanälen.

Im Datenblatt findet sich ein weiterer eventuell erklärungsbedürftiger Wert von $4 \times 37,5 \text{ W Sinus}$. Dieser ist definiert als „long term“ Sinusleistung bei einer 40°C Umgebungstemperatur von 40°C. Es handelt sich somit um einen Wert unter Extrembedingungen, bei denen der Verstärker bei hoher Außentemperatur und dauerhafter Last mit einem Sinussignal thermisch stabil bleibt. Für ein EIA-426B Noise mit 12 dB Crestfaktor gibt das Datenblatt dagegen den wesentlich höheren Wert von $4 \times 600 \text{ W}$ sowohl an 8Ω wie auch an 4Ω an, was auf den ersten Blick nicht zusammenpasst. Dieser Wert wird so berechnet, dass man den mit einem 12-dB-Crestfaktor-Signal gemessenen Spitzenwert zugrunde legt, diesen wie bei einem Sinussignal durch 1,414 teilt und daraus die Leistung berechnet. Den Effektivwert erhält man, in dem man den Spitzwert durch 4 teilt, woraus sich eine mittlere Leistung von 75 W pro Kanal ergibt, die unter normalen Bedingungen auch über längere Zeitspannen erbracht werden kann. Droht der Verstärker aufgrund zu hoher Außentemperaturen zu überhitzen, dann kann es zu einer Halbierung der maximalen Leistung kommen, womit man bei den $4 \times 37,5 \text{ W}$ angelangt wäre. Was somit auf den ersten Blick widersprüchlich erscheint, passt dann doch zusammen.

Hardware

Äußerlich kommt der 5D, wie die meisten modernen Verstärker, eher unscheinbar daher. Die kleine Frontplatte des 9,5"-Gehäuses mit nur 1 HE beherbergt neben dem Lufteinlass lediglich einige LEDs für Power und Data sowie für jeden Kanal eine kombinierte Mute/Error- sowie eine Signal-Preset/Gain Reduction/Overload-LED. Bedienelemente gibt es auf der Front keine, da man davon ausgeht, dass alle Einstellungen und Überwachungen mithilfe der R1-Software via Netzwerk erfolgen. Die Rückseite ist dagegen dicht belegt. Neben dem Netzanschluss und einem kleinen Lüfter finden sich hier die vier symmetrischen analogen Eingänge, die Lautsprecheranschlüsse, vier GPI-Pins und ein Fehlerkontakt. Alle Anschlüsse sind mit Euroblock-



Speaker-Setups und Standardfilter

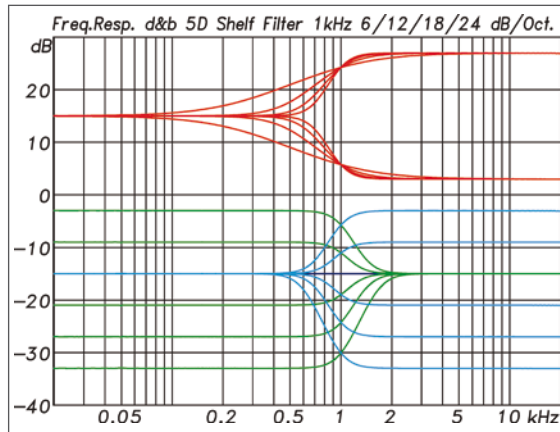
Abb. 4: Oben: Standardfilterfunktionen LowCUT, Coupling (CPL) und HF-Attenuation. Unten: Zwei Beispiele von Speaker-Setups aus der Lautsprecher-Bibliothek. Hier für einen B8-Subwoofer und eine 16C-Zeile.

Anschlüssen ausgeführt. Für die beiden Netzwerkanschlüsse gibt es einen internen 2-Port-Ethernet-Switch, so dass der Anschluss entweder in einer Stern-Topologie oder per Daisy-Chain mit anderen Geräten erfolgen kann. Die Fernsteuerung via Netzwerk erfolgt über das OCA/AES70 Protokoll. Die Dante-Anbindung stellt vier Kanäle für die Signalauspielung bereit. Im Netzwerk treten der interne μ C und das Dante Interface mit separaten MAC-Adressen auf und erhalten entsprechend auch unabhängige IP-Adressen.

Im Innern des kompakten Gehäuses finden sich zwei jeweils zweikanalige Endstufenmodule mit einem Kühlprofil und ein Netzteil, das etwas verborgen unter einer isolierenden Abdeckung einen Großteil des Platzes im Gehäuse einnimmt. An der Rückseite befinden sich dann noch eine Platine mit den Ausgangsfiltern und darunter das DSP-System mit μ C und der Peripherie, bestehend aus ADC, DAC und dem Dante Interface.

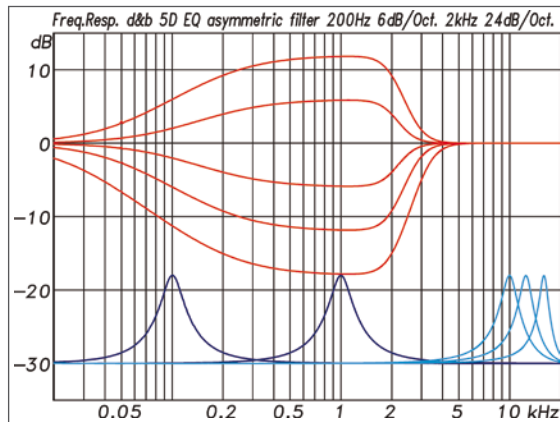
Software

Bei Verstärkern, ebenso wie bei vielen anderen Geräten aus der professionellen Audiotechnik, nimmt die zugehörige externe Software eine immer größere und wichtiger werdende Rolle ein. Geräte wie der 5D können so z. B.



Shelf-Filter Variationen

Abb. 5: Shelf-Filter stehen in vier Varianten mit Flankenteilheiten von 6, 12, 18 und 24 dB/Oct. zur Verfügung. Das Gain kann von -18 dB bis +12 dB variiert werden.



Asymmetrische Filter

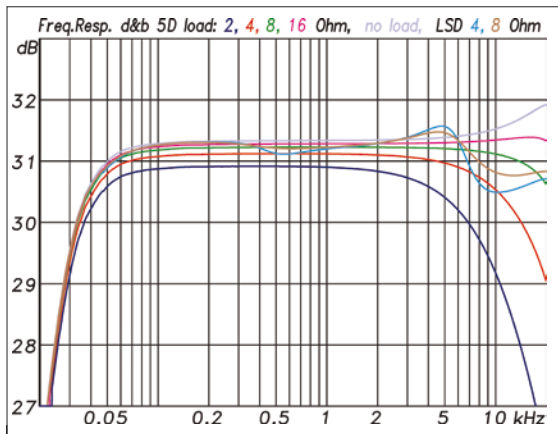
Abb. 6: Oben: Asymmetrische Filtertypen mit unterschiedlichen Steilheiten der ansteigenden und abfallenden Flanke. Unten: Bell-Filter mit +12 dB und einer Güte von $Q=2$. Nähert man sich der halben Abtastrate, dann wird die Filterkurve durch die Transformation auf die digitale Ebene gestaucht. Hier handelt es sich im Gegensatz zu den asymmetrischen Filtern um ein Artefakt digitaler Filter.

nur noch mithilfe der PC-Software konfiguriert werden. Im d&b System übernimmt diese Rolle die R1-Software, →

Rückansicht

Die Rückseite mit Euro-block-Anschlüssen für die Ein- und Ausgänge; die beiden Netzwerkanschlüsse können auch im Daisy-Chain-Modus genutzt werden.





Frequenzgang

Abb. 7: Frequenzgänge gemessen mit verschiedenen Lasten von 2-, 4-, 8- und 16-Ω-, im Leerlauf exemplarischen 4- bzw. 8-Ω-Nennimpedanz-Lautsprechern

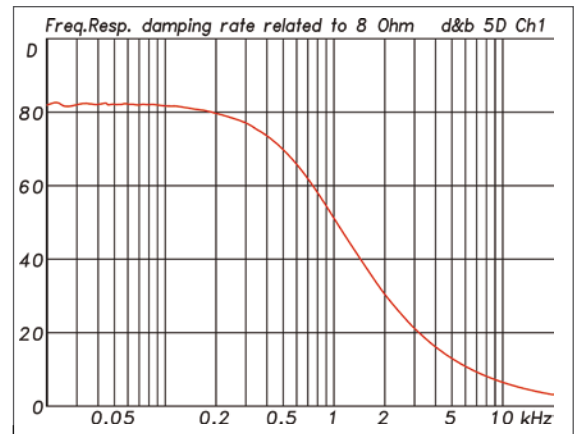
die es für Windows- und für macOS-Betriebssysteme gibt. R1 eignet sich für alle Anwendungen von der Konfiguration eines einzelnen Verstärkers bis hin zu großen, ausgedehnten Systemen. Der Anwender hat dabei auch die Möglichkeit, sich eigene User-Interfaces zusammenzustellen und verschiedene Tiefen der Bedienung über Passwörter zu schützen. Eine umfassende Beschreibung der R1-Software würde an dieser Stelle zu weit führen, so dass nur für den 5D-Test relevante Punkte zur Konfiguration des Amps besprochen werden sollen.

Grundsätzlich unterscheiden sich in der Software die Situationen Configuration, Tuning und Show. In der Configuration können den Verstärkerkanälen Namen gegeben werden, der Kanal kann einer Gruppe zugeordnet werden, und es werden die Lautsprecher Setups ausgewählt. Neben der Einstellung Linear gibt es dazu immer die Lautsprecher aus dem d&b-Programm zur Auswahl, die mit dem jeweiligen Verstärker betrieben werden können. Unter Tuning finden sich für jeden Kanal des Verstärkers die Tabs General (Abb. 2), EQ (Abb. 3), Levels, Freq.Gen. und Diagnostics.

Im hier nicht abgebildeten Level-Tab werden neben den Levelmetern für den Eingangspegel und für den Headroom bzw. die Gain-Reduction auch noch die Werte der aktuellen Leistung als RMS-Wert und die gemessene Impedanz angezeigt. Im Freq.Gen.-Tab können Testsignale mit Pink Noise oder als Sinus eingestellt werden, und der Diagnostics-Tab gibt im Falle eines Fehlers detaillierte Auskunft über die Quelle und Ursache.

DSP-Funktionen

Die Aufgabe des DSPs im 5D besteht darin, die Filterfunktionen und Limiter sowie das Signalarouting auszuführen. Bei den Filterfunktionen sind drei Arten von Filtern zu unterscheiden. Das sind die vorgefertigten Lautsprecher-Setups mit mehr oder weniger detailliertem Verlauf passend zum jeweiligen Modell, die vom Anwender nur ausgewählt, aber nicht verändert werden können. Zwei Beispiele dazu finden sich im unteren Teil von Abb. 4 für eine 16C-Zeile



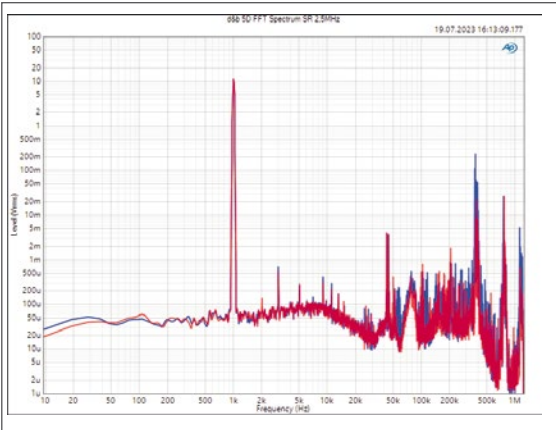
Dämpfungsfaktor

Abb. 8: Dämpfungsfaktor in Abhängigkeit von der Frequenz bezogen auf eine 8-Ω-Last

und einen 8B-Subwoofer. Dazu gibt es die vordefinierten Filter für CUT, CPL und HFA. Hinter diesen Abkürzungen verbergen sich ein Hochpassfilter (CUT) für die Kombinationen eine Topteiles mit Subwoofern, ein Low-Shelf-Filter (CPL) zur Kompensation des Coupling-Effektes in Arrays und eine Hochtonabschwächung (HFA) für den Einsatz von Fill-Systemen nahe an den Zuhörern. Die drei genannten Filtertypen sind im oberen Teil von Abb. 4 dargestellt.

Zusätzlich gibt es dann noch in jedem Verstärkerkanal eine Achtfach-Filterbank (Abb. 3) mit Shelf-, Bell- und Notch-Filtern. Als Besonderheit können hier auch asymmetrische Filter mit unterschiedlich ansteigenden und abfallenden Flanken (Abb. 6) eingestellt werden. Für die Shelf-Filter (Abb. 5) können neben den üblichen Steilheiten von 6 und 12 dB/Oct. auch Werte von 18 und 24 dB/Oct. ausgewählt werden. Der Gain-Bereich der Filter beträgt jeweils -18 bis +12 dB, die Güte reicht von $Q=0,5$ bis $Q=25$. Alles in allem hat man damit reichlich Möglichkeiten, alle Wünsche auch für spezielle Filterfunktionen zu erfüllen.

Bei der Einstellung der Frequenz sind Werte von 20 Hz bis 20 kHz möglich. Da die Verarbeitung mit einer Sample-rate von 48 kHz läuft, ist zu beachten, dass die Filterkurven bei der Annäherung an die halbe Abtastrate gestaucht werden (Abb. 6 unten). Die Ursache ist mathematischer Natur, da eine reelle Funktion im kontinuierlichen Zeitbereich über die Laplace-Transformation in den unendlich ausgedehnten Frequenzbereich abgebildet wird. Im diskreten Zeitbereich (nach der Abtastung) ist das Äquivalent zur Laplace-Transformation die z-Transformation, die die Funktion aus dem Zeitbereich auf den Frequenzbereich von Null bis zur halben Abtastrate abbildet, wodurch die Stauchung der Filterkurve bei Annäherung an die halbe Abtastrate entsteht. Grundsätzlich ist das kein Problem, sondern nur eine Eigenschaft digitaler Filter, die man bei der Einstellung bedenken sollte. Leider wird die Stauchung nicht in der Grafik der EQ-Kurve angezeigt, was schön wäre, um direkt zu sehen, was passiert.



Hochfrequente Signalanteile

Abb. 9: FFT-Spektrum des Ausgangssignals gemessen mit 2,5 MHz Samplerate. Bei 1 kHz erkennt man das Nutzsignal. Reste der PWM-Schaltfrequenz finden sich bei ca. 384 kHz und den ganzzahligen Vielfachen.

Messwerte

Die Messwerte zum 5D beginnen mit den Frequenzgängen des Verstärkers in Abhängigkeit von der Last. **Abb. 7** zeigt dazu die Kurven für Lasten von 2, 4, 8 und 16 Ω sowie Leerlauf und zwei weitere Messungen mit dem typischen Impedanzverhalten eines 4- Ω - und eines 8- Ω -Lautsprechers. Die Verstärkung bei Nutzung der analogen Eingänge liegt bei 31 dB. Bedingt durch das Schaltungskonzept einer Class-D-Endstufe mit passiven Tiefpassfiltern in den Ausgängen kommt es abhängig von der Last zu mehr oder weniger starken Schwankungen im Frequenzgang am oberen Ende des Übertragungsbereiches.

Je niedriger die Impedanz der Last ist, umso stärker fällt die Kurve zu hohen Frequenzen hin ab. Relevant wird das, wie man an den Kurven aus **Abb. 7** sieht, erst bei einer 4- Ω -Last oder darunter. Reale Lautsprecher haben jedoch meist eine zu den hohen Frequenzen hin ansteigende Impedanz, was den Effekt wieder abschwächt. Die Messungen mit realen 4- Ω - und 8- Ω -Lautsprecherimpedanzen

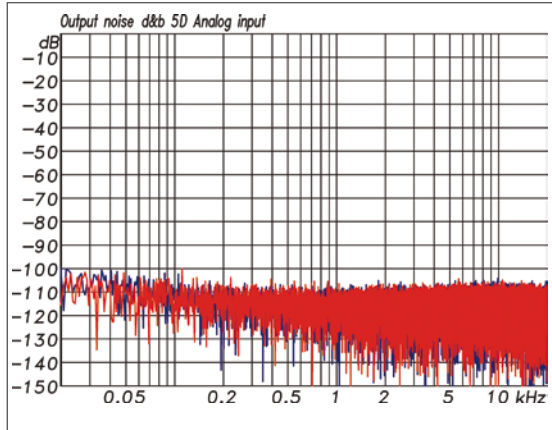
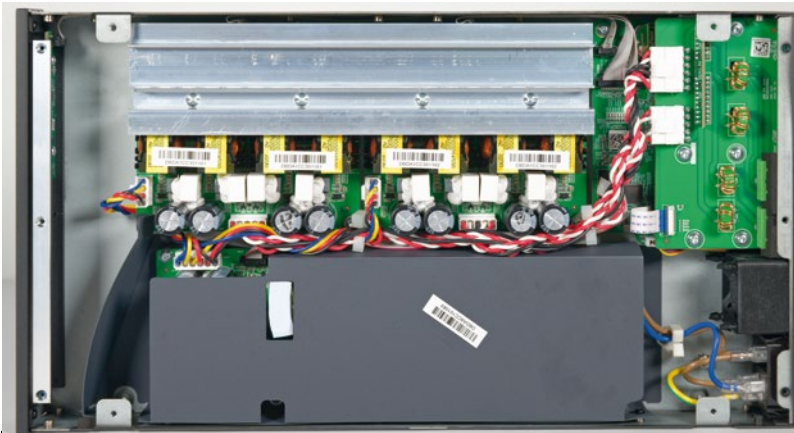


Abb. 10: FFT des Störsignals an den Ausgängen des. Der Störpegel beträgt auf allen vier Kanälen -68 dBu bzw. -70,5 dBu mit A-Bewertung. Dem gegenüber steht eine maximale Ausgangsspannung von 120 V_{pk}. Daraus berechnet sich ein sehr guter S/N von 111 dB mit A-Bewertung. Bei Nutzung der digitalen Eingänge verbessert sich der Wert um weitere 3 dB.

spiegeln in schwacher Ausprägung den Impedanzverlauf der Lautsprecher wider, voraus Pegelschwankungen von $\pm 0,5$ dB für einen 4- Ω -Lautsprecher entstehen, die in Relation zum Frequenzgang eines Lautsprechers selbst vernachlässigbar sind. Die Latenz des Verstärkers inkl. des DSP-Systems beträgt geringe 1,1 ms.

Die Messung des Dämpfungsfaktors aus **Abb. 8** zeigt den typischen Verlauf einer Class-D-Endstufe. Bei tiefen Frequenzen liegt der Wert knapp über 80 und fällt dann mit zunehmender Frequenz zügig ab, so dass bei 10 kHz nur noch ein Wert von 8 erreicht wird. Die Ursache liegt in den Tiefpassfiltern in den Ausgängen, die sich mit zunehmender Frequenz bemerkbar machen. Wichtig ist ein hoher Dämpfungsfaktor jedoch vor allem bei tiefen Frequenzen, wo der Lautsprecher eine gute Kontrolle durch den Verstärker benötigt, um nicht zu lange auszuschwingen. Die hier gemessenen Werte von ca. 80 sind in der Praxis →



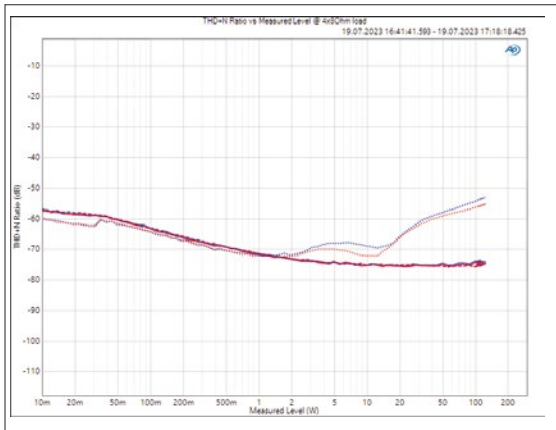
Innenleben

Innenansicht des 5D: oben die vier Endstufen mit ihrem Kühlprofil, unten unterhalb der Abdeckung befindet sich das Netzteil.



Ausgangsfilter

Platine mit den Ausgangsfiltern; darunter befindet sich die DSP-Platine. Etwas im Schatten erkennt man hier bei genauem Hinsehen den ADAU-1466-Sigma-DSP von Analog Devices.



THD über Leistung an 8 Ω

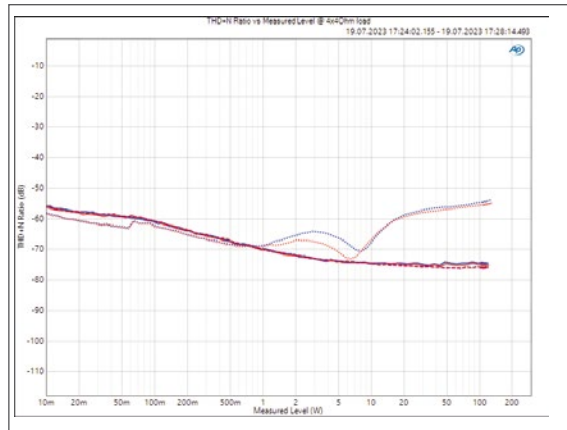
Abb. 11: Verzerrungen (THD+N) in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung (x-Achse in W) an einer 4x8- Ω -Last. Messungen bei 100 Hz (---), 1 kHz (—) und 6,3 kHz (···)

mehr als hinreichend, da meist durch Kabel- und Kontaktwiderstände ohnehin noch größere Widerstände auf dem Signalweg entstehen.

Eine weitere Messung bei Class-D-Verstärkern ist die FFT-Analyse des Ausgangssignals mit einer sehr hohen Abtastrate. Abb. 9 zeigt eine solche Messung des 5D mit einer Abtastrate von 2,5 MHz. Bei dieser Art der Messung werden sowohl die Class-D-Schaltfrequenz wie auch mögliche Störungen innerhalb und auch außerhalb des Audiofrequenzbereiches sichtbar. Für die Messung in Abb. 9 wurde zusätzlich ein 1-kHz-Nutzsignal eingespeist. Die Amplitude des Nutzsignals am Ausgang betrug bei dieser Messung 10 V. Gut zu erkennen ist die PWM-Schaltfrequenz bei 384 kHz mit einer Spannung von 200 mV und deren ganzzahligen Vielfache bis knapp unter der Messgrenze bei 1,25 MHz.

Alle im Weiteren folgenden Messungen wurden mit einem passiven Tiefpassfilter zum APX555, dem AUX-0025, durchgeführt, da ansonsten Störpegel und Verzerrungsmessungen durch die hochfrequenten Anteile der Schaltfrequenz im Signal gestört würden.

Der Störpegel an den Ausgängen des 5D wurde für die analoge Signalzuspielung und für die digitale Zuspielung über das Dante-Netzwerk gemessen. Abb. 10 zeigt das FFT-Spektrum der Messung mit analogen Eingängen exemplarisch für zwei der vier Kanäle, die sich alle identisch verhalten. Der Summenpegel beträgt -68 dBu bzw. $-70,5$ dBu mit A-Bewertung. Dem gegenüber steht eine maximale Ausgangsspannung von $120 V_{pkr}$, woraus sich ein sehr guter S/N von 111 dB mit A-Bewertung berechnet. Bei Nutzung der digitalen Eingänge verbessert sich der Wert um weitere 3 dB. Störende monofrequente Komponenten sind im FFT-Spektrum des gleichverteilten Weißen Rauschens aus Abb. 10 nicht zu erkennen. Würde man an die Ausgänge des 5D einen Lautsprecher mit einer Sensitivity von 95 dB $2,83V/1m$ anschließen, würde daraus ein Störpegel von 10 dBA in 1 m Entfernung resultieren, was auch unter sensiblen Bedingungen unkritisch sein dürfte.



THD über Leistung an 4 Ω

Abb. 12: Verzerrungen (THD+N) in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung (x-Achse in W) an einer 4x4- Ω -Last. Messungen bei 100 Hz (---), 1 kHz (—) und 6,3 kHz (···)

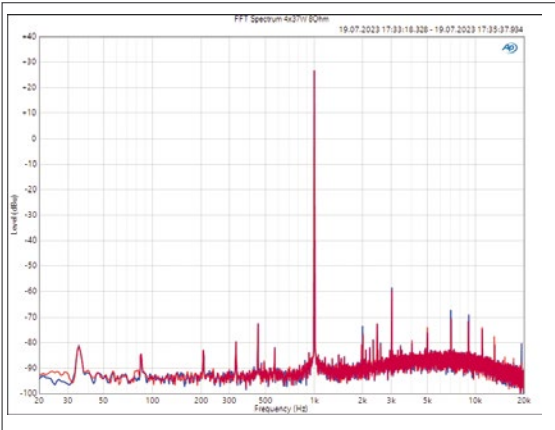
Verzerrungswerte

Die vier folgenden Messungen beschäftigen sich mit dem Verzerrungsverhalten des Verstärkers. Abb. 11 und Abb. 12 zeigen dazu die THD+N-Werte in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung, gemessen bei Frequenzen von 100 Hz, 1 kHz und 6,3 kHz für eine Belastung mit 8Ω bzw. 4Ω bei gleichzeitigem Betrieb aller vier Kanäle. Bei 100 Hz und 1 kHz liegen die Kurven dicht beieinander in einer Größenordnung von -75 dB ($=0,017\%$). Bei 6,3 kHz gibt es einen Anstieg bis auf ca. -55 dB. Die mit einem kontinuierlich anliegenden Sinussignal erreichten Leistungswerte liegen an 8Ω ebenso wie an 4Ω bei ca. 120 W pro Kanal, wenn alle Kanäle gleichzeitig mit diesem Signal betrieben werden.

Die Klirrspektren bei einer Leistung von $37,5$ W pro Kanal, ebenfalls für 8Ω - und 4Ω -Lasten gemessen, finden sich in Abb. 13 und Abb. 14. K_3 ist zwar in beiden Fällen dominant, liegt aber mehr als 80 dB unterhalb der Grundwelle. Verzerrungsanteile höherer Ordnung fallen gegenüber dem K_3 noch weiter ab und sind an der 4Ω -Last etwas ausgeprägter.

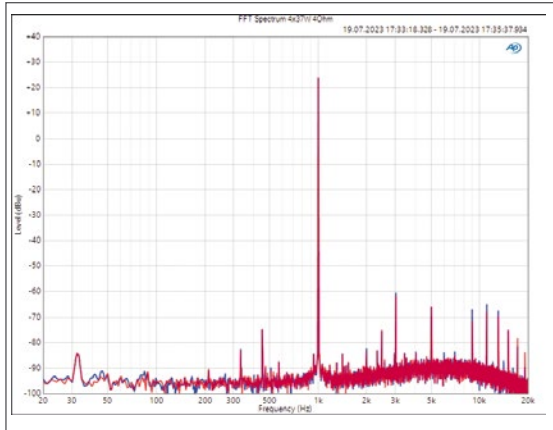
Weitere THD+N-Kurven aus Abb. 15 wurden bei konstantem Pegel und einer Ausgangsleistung von jeweils $37,5$ W pro Kanal in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen. Die insgesamt vier Kurven zeigen zwei exemplarische Kanäle gemessen an 8Ω - und 4Ω -Lasten. Bei 1 kHz und 6,3 kHz finden sich die bekannten Werte aus Abb. 11 und Abb. 12 für eine Leistung von 37 W wieder.

Als abschließende Verzerrungsmessung folgt noch die DIM (Dynamic Intermodulation Distortion)-Messung (Abb. 16), bei der ein 15-kHz-Sinus mit einem steilflankigen 3,15-kHz-Rechteck überlagert wird. Ausgewertet werden die dabei entstehenden Intermodulationsprodukte. Diese Messung fördert vor allem Schwächen bei schnellen transienten Signalen zutage. Die steilen Flanken der Rechteckanteile fordern die Endstufe deutlich mehr als ein eingeschwungener Sinus bei der THD-Messung. Der DIM-Messung wird daher auch eine große Bedeutung im Zu-



FFT-Spektrum an 8 Ω

Abb. 13: Klirrspektrum exemplarisch für Ch1 und Ch3 bei 4×37 W Leistung an einer 4×8 -Ω-Last. Alle Verzerrungskomponenten liegen deutlich unterhalb von -80 dB (0,01%).



FFT-Spektrum an 4 Ω

Abb. 14: Klirrspektrum exemplarisch für Ch1 und Ch3 bei 4×37 W Leistung an einer 4×4 Ω Last

sammenhang mit den klanglichen Qualitäten einer Endstufe zugeschrieben. Sobald hohe Ströme gefordert werden, steigen die transienten Verzerrungen häufig stark an, was hier jedoch nicht der Fall ist. Beim Einsatz des Limiters, bei 0 dBu an 8 Ω bzw. -3 dBu Eingangspegel (x-Achse) an 4 Ω, liegen die Werte mit -58 dB an 8 Ω und -56 dB an 4 Ω in einem für Class-D-Endstufen typischen Bereich.

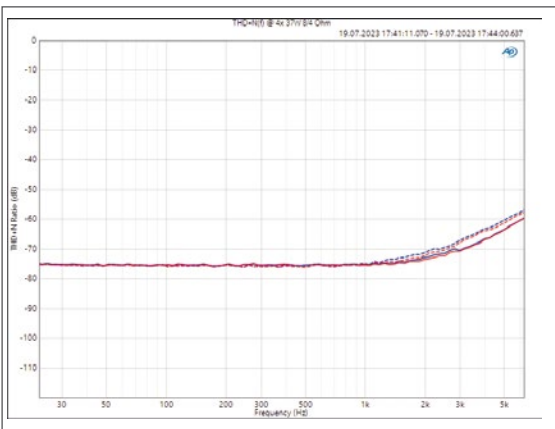
Leistungswerte

Die Messung der Leistungswerte des 5D erfolgte für drei Lastzustände. Alle Kanäle mit einer 8-Ω-Last, alle Kanäle mit einer 4-Ω-Last und nur ein Kanal mit einer 4-Ω-Last. Gemessen wurde mit verschiedenen Signaltypen mit Crestfaktoren von 3 dB (Sinus) bis 16 dB (CEA 20 ms Burst-Test). Die Messungen im Detail sind:

- die Impulsleistung für eine 1 ms dauernde einzelne Periode eines 1-kHz-Sinussignals
- die Sinusleistung bei einem konstant anliegenden 1-kHz-Sinussignal nach einer Sekunde, nach zehn Sekunden und nach einer Minute

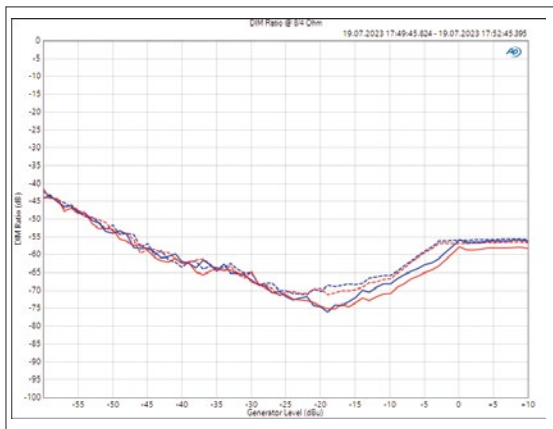
- die Leistung bei einem konstant anliegenden Rauschen mit 12 dB Crestfaktor nach zehn Sekunden, nach einer Minute und nach sechs Minuten
- die Leistung bei einem konstant anliegenden Rauschen mit 6 dB Crestfaktor nach zehn Sekunden, nach einer Minute und nach sechs Minuten
- die Leistung nach EIAJ gemessen mit einem gepulsten 1-kHz-Sinussignal von 8 ms Dauer alle 40 ms. Das Signal hat einen Crestfaktor von 10 dB.
- die Leistung nach CEA 2006 mit einem 1-kHz-Sinussignal, dessen Pegel alle 500 ms für 20 ms einen Pegelsprung von +20 dB erfährt. Das Signal hat einen Crestfaktor von 16 dB.
- die Leistung für einen sich periodisch wiederholenden 1-kHz-Burst einer Länge von 33 ms, gefolgt von einer 66 ms Ruhephase. Der Crestfaktor dieses Signals beträgt 7,8 dB.
- die Leistung für einen sich periodisch wiederholenden 40-Hz-Burst einer Länge von 825 ms, gefolgt von einer 1.650 ms Ruhephase. Der Crestfaktor dieses Signals beträgt ebenfalls 7,8 dB.

→



THD+N über der Frequenz

Abb. 15: THD+N gemessen über der Frequenz jeweils mit 4×37 W Leistung an einer 4×8 -Ω-Last (---) und an einer 4×4 -Ω-Last (---)



Transiente Intermodulationsverzerrungen (DIM)

Abb. 16: Transient Intermodulationsverzerrungen (DIM100) in Abhängigkeit vom Eingangspegel gemessen an einer 4×8 -Ω-Last (---) und an einer 4×4 -Ω-Last (---).



Power per channel load: 4x 4 Ohm

Power (W)

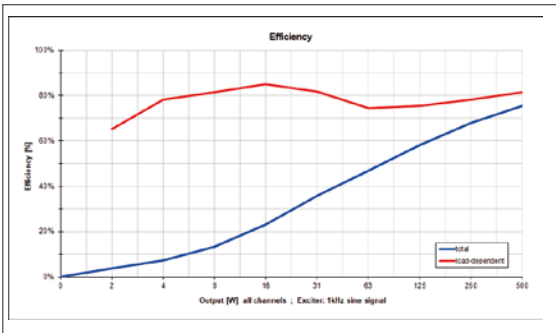
Legend: 100% 50 (red), 50% 100 (grey)

Modulation	5 dB	5 dB	3 dB	3 dB	12 dB	12 dB	12 dB	6 dB	6 dB	6 dB	13 dB	13 dB	7 dB	7 dB
100% 50	1500	200	100	100	1000	1000	1000	500	500	300	550	300	200	200
50% 100	1500	200	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Crestfactor, Pulse Duration

[illegible]

Belastet man den Verstärker nur auf einem Kanal, dann steht eine mittlere Leistung von knappen 250 W für diesen Kanal zur Verfügung. Eine geschickte Konstellation wäre daher z. B., zwei Kanäle mit Subwoofern zu belegen und zwei mit Topteilen, wo dann für die Topteile hinreichend



Effizienz

Abb. 20: Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung. Die blaue Kurve bezieht sich auf die Gesamtleistung und die rote Kurve auf den lastabhängigen Anteil ohne Grundlast. (Bei kleinen Leistung kann es zu messtechnisch bedingten Ungenauigkeiten kommen)

Peak-Reserven vorhanden wären und für die Subwoofer auch im Mittel mehr Leistung zur Verfügung stünde.

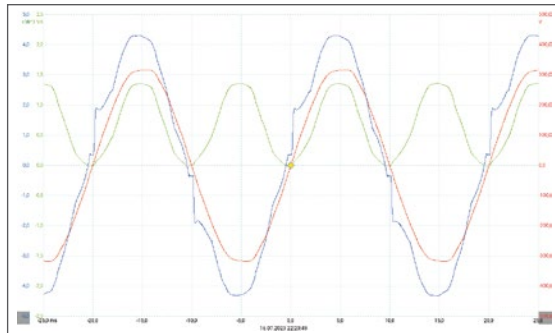
Last im Netz

Die Belastung des Stromnetzes ist auch bei kleineren Endstufen ein nicht zu vernachlässigendes Thema. Wichtige Aspekte sind dabei der Wirkungsgrad, die Netzbelastung (Stichwort Leistungsfaktor) und vor allem bei Dauerbetrieb in Festinstallationen auch die Ruheleistungsaufnahme.

Abb. 20 zeigt dazu mit zwei Kurven den Wirkungsgrad der Endstufe. Die blaue Kurve setzt die Ausgangsleistung in Relation zur insgesamt aus dem Stromnetz aufgenommenen Wirkleistung. Zusammen mit der Grundlast ergeben sich daher bei kleinen Ausgangsleistungen für den Wirkungsgrad eher geringe Werte. Für die rote Kurve wird die Ausgangsleistung nur zu der zusätzlich zur Grundlast aufgenommenen Leistung in Relation gesetzt.

Daraus ergibt sich für die 5D ohne Grundlast ein guter Wirkungsgrad von ca. 80 %. Die Grundlast, also die Leistungsaufnahme ohne Signal, liegt bei ca. 50 W und reduziert sich im Standby-Modus auf weniger als 5 W. Durch die in der R1-Software vorhandenen Funktionen „Auto-Standby“ und „Auto-Wakeup“ kann der 5D zudem besonders energieschonend betrieben werden.

Der aus dem Stromnetz aufgenommene Strom sollte in seinem Verlauf möglichst der Spannung folgen und die Endstufe sich somit vergleichbar einem realen Widerstand als Last für das Stromnetz verhalten. Abweichungen entstehen durch Verschiebungsblindströme (kapazitiv oder induktiv) und durch Verzerrungsblindströme (Oberwellenanteil). Wie gut sich der Stromverlauf dem Spannungsverlauf annähert, wird durch den Leistungsfaktor (PF = Powerfactor) messtechnisch ausgedrückt. **Abb. 21** zeigt dazu die Messung der 5D bei Vollast. Die blaue Kurve für den Strom ist gegenüber der Spannung (rot) nur geringfügig verzerrt. Der Powerfactor beträgt 0,98. In Verzerrungsanteilen (THD) ausgedrückt beträgt der Wert 7 %. Beide Werte sind nahe am Ideal einer realen Last.



Strom- und Spannungsverlauf

Abb. 21: Verlauf von Netzspannung (rot), Netzstrom (blau) und der daraus berechneten Leistungsaufnahme (grün). Der Verzerrungsanteil im aufgenommenen Strom beträgt sehr geringe 7%, was gleichbedeutend damit ist, dass sich der Verstärker am Stromnetz nahezu wie eine ohmsche Last verhält.

Die Eckwerte für die Leistungsaufnahme der 5D-Endstufe sind:

- Standby: <5 W
- Idle: 50 W
- max. mit 12 dB CF Noise: 600 W
- max. mit Sinussignal: 654 W

Die hier gemessenen Werte sind Momentaufnahmen und können je nach Außentemperatur, Vorgeschichte und Signalform geringfügig abweichen. Wird die Endstufe mit einem Signal mit 12 dB Crestfaktor voll ausgelastet, was einer Ausgangsleistung von 4×120 W entspricht, dann beträgt die Leistungsaufnahme 600 W.

Fazit

Mit dem 5D bringt d&b audiotechnik einen kompakten vierkanaligen Verstärker in sein Portfolio, der für Festinstallationen mit kleinem und mittleren Leistungsbedarf prädestiniert ist. Die Leistungswerte sind mit einer Dauerleistung von 4×120 W an 4Ω oder 8Ω und einer gleichzeitigen Peak-Reserve von bis zu 4×900 W optimal dimensioniert, so dass auch Signalspitzen unverzerrt übertragen werden können. Die Ausstattung betreffend bietet der neue 5D alles, was man auch von den großen d&b-Verstärkertypen kennt und mit einem erstmals integrierten Dante-Interface jetzt sogar noch etwas mehr. Für seinen anvisierten Arbeitsbereich eingesetzt, dürfte der 5D somit die optimale Besetzung sein, der seine Aufgabe in den relevanten Systemapplikationen einschließlich d&b-Soundscape-Anwendungen perfekt erledigt. Die volle Systemintegration in den vom Markt geschätzten d&b-workflow sowie die Verwendung auf anderen Systemplattformen durch die Bereitstellung der 5D-Plug-ins unterstreichen zudem den integrativen Systemgedanken. d&b nennt für den 5D einen Preis von 1.900 € netto zzgl. MwSt., was in Anbetracht der gebotenen Leistung sowohl als Verstärker wie auch in allen peripheren Eigenschaften den 5D im Vergleich zu den größeren Verstärkermodellen aus dem Hause d&b für den Planer besonders attraktiv macht.