

# PROFESSIONAL **system**

Magazin für AV-Systemintegration

**Test**  
aus Ausgabe 04/2019



---

HOCHLEISTUNG FÜR DEN INSTALLATIONSSEKTOR  
**Endstufe Dynacord IPX10:8**

---



Text & Messungen: Anselm Goertz Fotos: Dieter Stork

# Dynacord IPX10:8

*Unser Prüfkandidat, eine achtkanalige Endstufe mit DSP-System und OMNEO-Interface, verspricht Hochleistung und bietet Schnittstellen für die Signalübertragung und Fernsteuerung.*

Die IPX Endstufenserie mit aktuell vier Modellen repräsentiert bei der Straubinger Traditionsmarke Dynacord die höchste Leistungsklasse für den Installationssektor. Die drei vierkanaligen und eine achtkanalige Endstufe sind mit allem ausgestattet, was die moderne Verstärker- und DSP-Technik zu bieten hat. Speziell für Festinstallationen dürfte die Eigenschaft der flexiblen Ausgangskonfigurationen interessant sein, wo es neben den üblichen 70- und 100-V-Direct-Drive und Low-Z-Betriebsarten auch noch die Möglichkeit gibt, zwei oder vier Endstufenwege im Brücken-, Parallel- und auch im Parallel-Brücken-Modus zu betreiben. Damit können dann auch besonders leistungshungrige Lautsprecher und Anlagen in 140-V- oder 200-V-Systemen

gespeist werden. In den verschiedenen Betriebsarten lassen sich so Verstärkerkanäle von 1.250 W bis zu 10 kW konfigurieren. Die IPX-Endstufen eignen sich daher besonders gut für gemischte Anforderungen, wenn z. B. einige größere Lautsprecher niederohmig angesteuert werden sollen, für Randbereiche aber auch noch 100-V-Linien zu versorgen sind. Als weitere typische Einsatzmöglichkeiten sind Line-Arrays zu nennen, wo viele Wege zu versorgen sind und zusätzliche Subwoofer Verstärkerkanäle mit höherer Leistung benötigen.

Zum Test gestellt wurde aus der IPX-Serie das Modell 10:8. Die Typenbezeichnung besagt, dass hier eine Gesamtleistung von 10 kW auf maximal acht Kanäle aufgeteilt wird. Die anderen drei Modelle der IPX-Serie sind vier-

kanalig und haben eine Gesamtleistung von 5, 10 oder 20 kW. Äußerlich sind alle Verstärker identisch und kommen in einem solide aufgebauten 2-HE-Gehäuse mit 463 mm Rackeinbautiefe daher. Die Bedienung kann direkt am Gerät über ein OLED-Display mit 256 × 64 Pixeln und drei Tastern oder, für den kompletten Funktionsumfang, über die IRIS-Net-Software erfolgen. Wie üblich für Installationsgeräte sind alle Anschlüsse mit Euroblock-Leisten ausgeführt. Für die Lautsprecheranschlüsse fallen diese der Leistung entsprechend groß aus, so dass Kabel mit bis zu 6 mm<sup>2</sup> Querschnitt angeschlossen werden können.

Technisch haben die IPX-Endstufen auf allen Ebenen direkt eine ganze Reihe von modernen Features zu bieten. Die Eco-Rail Technik



sorgt für einen besonders niedrigen Leistungsbedarf im Ruhemodus oder bei geringer Auslastung, das Netzteil mit der Smart-PFC-Schaltung überwacht dank eigenem DSP die Stromversorgung und passt das Verhalten des Verstärkers an die Möglichkeiten der Netzversorgung an und der moderne SHARC Audio DSP stellt bei einer durchgängigen Samplerate

von 96 kHz eine nahezu unbegrenzte Menge an Möglichkeiten zur Signalbearbeitung und Überwachung zur Verfügung.

### Die Universalendstufe: acht Kanäle und reichlich Leistung

Zum besseren Verständnis des IPX-Konzeptes bedarf es einiger einfacher Grundlagen des

Endstufendesigns. Vorgegeben werden die Möglichkeiten einer Endstufe durch die maximale Ausgangsspannung und den maximalen Ausgangsstrom. Beides wird primär durch die eingesetzten Halbleiter bestimmt, die über eine SOA (safe operation area) definiert sind. Während die maximal zulässige Spannung ein fester Wert ist, hängt der maximale zulässige



## DSP-SYSTEM UND IRIS-NET

IRIS-Net (Intelligent Remote and Integrated Supervision) ist die alles umfassende Software zur Konfiguration, Überwachung und Bedienung fernsteuerbare Geräte von Bosch. Mit IRIS-Net können auch große Anlagen komplett konfiguriert und gesteuert werden. Der Programmierer kann dabei die zugehörigen Bedienoberflächen erstellen und Zugriffsrechte vergeben. So ist dann auch der komplette Funktionsumfang der IPX-Endstufen über IRIS-Net zugänglich. Die Software kann online, aber auch offline genutzt werden, so dass man sich auch, ohne das Gerät zur Hand zu haben, schon einen guten Überblick über die Funktionen verschaffen kann.

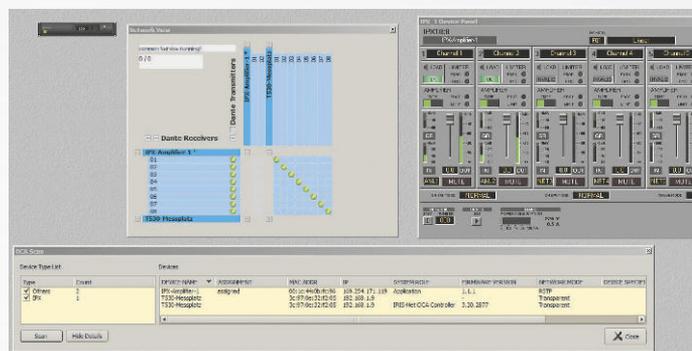
Ist man mit einem Netzwerk verbunden, dann hilft das Tool OCA Scan um alle verfügbaren Geräte zutage zu fördern. Das Tool Dante Configurator kann zur Einrichtung des Dante-Netzwerks genutzt werden. Das Erscheinungsbild entspricht dem des Audinate Dante-Controllers, man hat jedoch den Vorteil der Bedienung direkt aus der IRIS-Net-Software heraus.

Klickt man die IPX an, dann erscheint zunächst die Oberfläche aus **ABB. 02**. Hier sind alle acht Kanäle mit einer Übersicht aufgeführt. Neben Pegelanzeigen für die Ein- und Ausgänge sowie Gain-Reduction gibt es noch Anzeigen für Aktivitäten der Limiter, dem Zustand der Lastüberwachung und der Temperatur des betreffenden Kanals. Für das Netzteil gibt es noch Statusanzeigen und Werte für die Netzspannung und dem aktuell aus dem Stromnetz fließenden Strom.

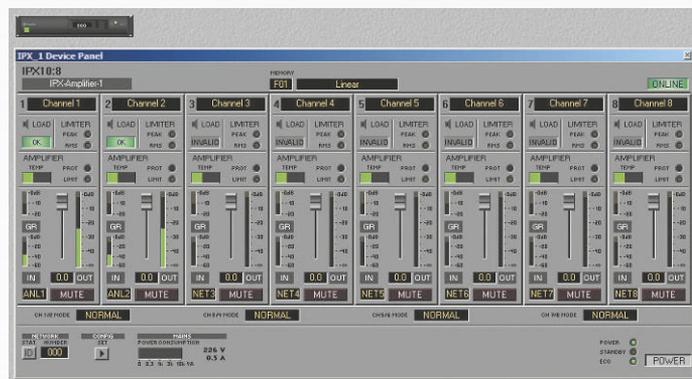
Möchte man ins Detail gehen, dann öffnet sich über den Set-Config-Button ein weiteres Fenster mit sieben Tabs, deren kompletten Inhalt zu beschreiben bei Weitem den Umfang dieses Beitrages sprengen würde. Auf einige wichtige Funktionen wollen wir dennoch eingehen. **ABB. 03** zeigt dazu das Fenster für die Grundeinstellungen der acht Kanäle für die Betriebsarten Bridge, Parallel, Low-Z, 100V ... Im oberen Teil des Fensters sieht man die Grundeinstellungen für die Samplerate und für die Absicherung der Netzversorgung.

Im Speaker Tab lassen sich Frequenz- und Phasengänge der angeschlossenen Lautsprecher aus einer Bibliothek laden. Unter Load kann die Impedanzüberwachung eingestellt und auch eine Referenzmessung durchgeführt werden, mit der dann spätere Messungen im Betrieb verglichen werden. Der Tab Supervision & Test bietet eine große Anzahl von Überwachungsfunktionen, die eingestellt und eingesehen werden können.

Geht man auf den DSP-Tab, dann öffnet sich ein großes Blockschaltbild der Signalverarbeitung in der Endstufe **ABB. 04**. Für die acht Kanäle gibt es für jeden Funktionsblock eine kleine Grafik, in dem



**ABB. 01:** Die IRIS-Net-Arbeitsfläche mit Dante Configurator (oben links), OCA Scan (unten) und Bedienoberfläche der IPX Endstufe (rechts oben)



**ABB. 02:** Bedienoberfläche der IPX10:8 mit allen acht Kanälen



**ABB. 03:** Info- und Konfigurationsfenster des Amps

man die grundsätzliche Einstellung, z. B. eine Filterkurve oder eine Limiter-Kennlinie, erkennt. Ein Klick auf die Grafik öffnet das zugehörige Fenster, wo man dann die kompletten Einstellungen vorneh-

Strom auch von der Temperatur des Halbleiters ab. Je wärmer es wird, umso weniger Strom verträgt das Bauteil. Dieser Zusammenhang lässt sich durch eine einfache harte Strombegrenzung mit einem festen Wert in der Schutzschaltung berücksichtigen oder, wie in

den IPX-Endstufen, durch eine „intelligente“ Schaltung, genannt Junction Temperature Modelling (JTM), die immer passend zur gerade erfassten Temperatur die Strombegrenzung optimal einstellt, so dass die gesamte SOA optimal genutzt werden kann. Ein weiterer limi-

tierender Faktor in einer Endstufe ist das Netzteil, das Spannung und Strom im hinreichenden Maße zur Verfügung stellen muss. Teilen sich mehrere Endstufen ein Netzteil, dann kann die Leistung geschickt verteilt werden, wenn ein Kanal nur wenig Leistung benötigt



ABB. 04 DSP-Tab mit einem Blockschaltbild der Signalverarbeitung

men kann. Der Signal Flow untergliedert sich von der Quellenauswahl über User Control, gefolgt vom Array Control bis zum Speaker Processing. Für die hauseigenen Lautsprecher von Dynacord und EV gibt es für das Speaker Processing fertige Setups. Im Speaker Processing befindet sich neben den üblichen IIR-Filtern für EQ- und X-Over-Funktionen auch ein FIR-Filter-Block, der ein FIR Filter mit 1.024 Taps bei 96 kHz Samplerate verarbeiten kann. Wird bei einer eingestellten Samplerate von 96 kHz ein „48 kHz Filter“-Set geladen, dann erfolgt automatisch eine Konvertierung auf 96 kHz. Die FIR-Filter können auch mit einem einfachen Tool aus IRIS-Net als Hoch- und Tiefpässe generiert werden. Möchte man die FIR zur Equalisierung der Lautsprecherfunktion nutzen, dann geht das aktuell nur für die hauseigenen Lautsprecher mit den vorgefertigten FIR-Presets.

Alle IIR-Filter im Processing können bei 48 und 96 kHz Abtastrate genutzt werden. ABB. 05 zeigt die Unterschiede für ein einfaches Bell-Filter. Der Kurvenverlauf wird abhängig von der Abtastrate kompensiert, so dass die Filterfunktion bis ca. 22 kHz immer genau dem Verlauf eines vergleichbaren analogen Filters entspricht. Würde man diese Kompensation nicht berechnen, dann würden die Kurven mit Annäherung an die halbe Abtastrate gestaucht, was sich vor allem bei 48 kHz auswirken würde. Der Hintergrund ist die Transformation der Filterfunktion von der unendlich ausgedehnten analogen Ebene in die digitale. Die digitale Frequenzachse endet nicht im Unendlichen, sondern bei der halben Abtastrate, so dass

und einem anderen dann entsprechend mehr zur Verfügung steht.

Die Frage ist nun, wie viel Strom und Spannung benötigt werden. Lautsprecher mit niedriger Impedanz, 4  $\Omega$  oder 2  $\Omega$ , benötigen gemäß des ohmschen Gesetzes viel Strom. Ist

der Lautsprecher eher hochohmig – 8  $\Omega$  oder 16  $\Omega$  – dann wird vor allem eine hohe Spannung benötigt. Es wäre somit erstrebenswert, wenn sich eine Endstufe möglichst gut an diese unterschiedlichen Anforderungen anpassen könnte. Die Voraussetzung dafür ist eine

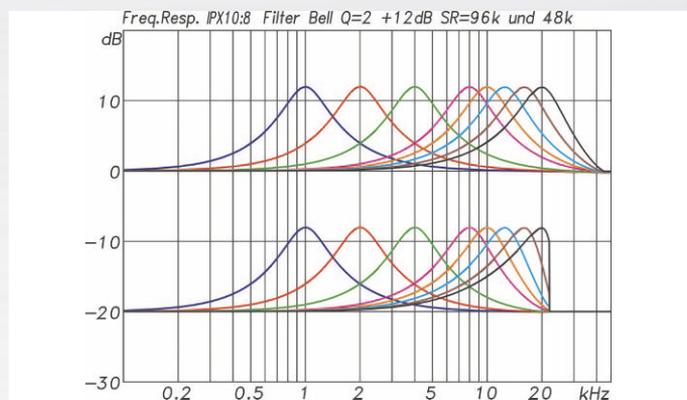


ABB. 05: parametrische Bell-Filter mit Güte  $Q = 2$ , Gain = +12 dB und Mittenfrequenzen von 1 kHz bis 20 kHz, gemessen bei 96 kHz Samplerate (oben) und 48 kHz Samplerate (unten).

durch die Abbildung eines analogen Filters auf die digitale Ebene (Laplace Transformation) die Filterkurve bei hohen Frequenzen gestaucht und somit in ihrem Verlauf verzerrt wird. Vermeiden lässt sich diese Stauchung durch eine Kompensation bei der Berechnung der Filterkoeffizienten, so wie hier geschehen. Die Kompensation funktioniert bis kurz vor der Grenzfrequenz, die der halben Abtastrate entspricht. In ABB. 05 erkennt man den identischen Verlauf der Filterkurven bei 48 und 96 kHz Abtastrate bis ca. 22 kHz. Bei 96 kHz setzt sich der Verlauf dann noch bis 48 kHz fort, hier jedoch ohne weitere Kompensation, wie man am 20-kHz-Bell-Filter erkennt, dessen rechte Flanke oberhalb von 20 kHz anders verläuft als die linke unterhalb von 20 kHz. Im User-Block befinden sich pro Kanal zwölf IIR-Filter, im Array-Block fünf und weitere zehn im Speaker Processing. Die IIR X-Over Filter können für alle bekannten Charakteristika mit Steilheiten bis max. 48 dB/Oct. definiert werden.

Alle Funktionen zur Überwachung der Endstufe und der angeschlossenen Lautsprecher sowie die Pilottonüberwachung und Weiterleitung des Endstufenstatus finden sich im Tab Supervision & Test. Die Funktionen der drei GPIO-Ports können im zugehörigen GPIO-Tab detailliert definiert werden. Über alles betrachtet dürfte das auf einem SHARC 4th Generation Prozessor basierende DSP-System eines der mächtigsten in einer Endstufe mit DSP sein. Trotz der großen Funktionsvielfalt ist es den Entwicklern jedoch gelungen, eine sehr übersichtliche und sofort intuitiv bedienbare Oberfläche zu gestalten, die ihresgleichen sucht. Wer sich gerne selber einen ersten Eindruck verschaffen möchte, kann die IRIS-Net Software, aktuell in der Version 4.0.0 kostenlos von der Dynacord Homepage herunterladen.

hohe maximale Ausgangsspannung in Kombination mit einer sicheren Strombegrenzung und einem flexibel agierenden Netzteil.

Neben den sogenannten Low-Z-Lasten (2, 4, 8 oder 16  $\Omega$ ) gibt es in der Festinstallation aber auch noch die weit verbreiteten 70-V-

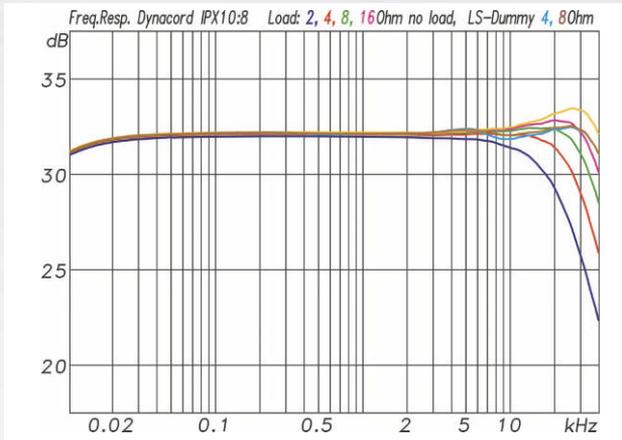


ABB. 06: Frequenzgang mit 2-, 4-, 8- und 16-Ω-Lastwiderständen, ohne Last und mit 4- bzw. 8-Ω-Lautsprecher-Dummy-Loads.

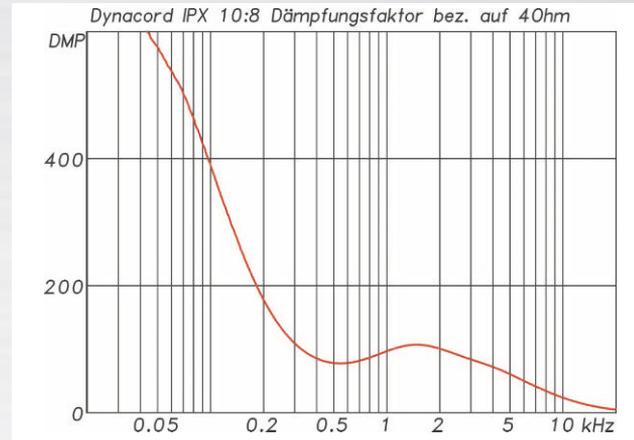


ABB. 07: Dämpfungsfaktor bezogen auf eine 4-Ω-Last, exemplarisch für Kanal 1. Bei 1 kHz beträgt der Wert 100. Im wichtigen tieffrequenten Bereich unterhalb von 200 Hz werden Werte von 200 und mehr erreicht.

(USA) oder 100-V-Linien, die vor allem dann eingesetzt werden, wenn viele Lautsprecher in ausgedehnten Räumlichkeiten über große Entfernungen versorgt werden müssen. Hier sind alle Quellen (Endstufen) und Senken (Lautsprecher) so definiert, dass sie bei 70 oder 100 V (Effektivwert) ihre Nennleistung erreichen. Auf der Lautsprecherseite und bei Verstärkern geringer und mittlerer Leistung geschieht das in der Regel mit Übertragern (Trafo).

Bei den IPX-Endstufen kann, wie auch bei verschiedenen anderen Modellen dieser Leistungsklasse, auf den Übertrager verzichtet werden, da jeder einzelne Kanal bereits in der Lage ist, mit einer maximalen Ausgangsspannung von 150 V<sub>pk</sub> ein 100-V-System im sogenannten Direct-Drive-Modus zu speisen. Der maximale Ausgangsstrom des zum Test gestellten Modells IPX10:8 beträgt 41 A<sub>pk</sub>. Selbst bei einer 4-Ω-Last würde die Endstufe damit nicht an ihr Limit kommen. Reichen Strom und/oder Spannung trotzdem nicht aus, dann können auch zwei Kanäle gebrückt (doppelte Spannung) oder parallel geschaltet (doppelter Strom) werden. So könnten sogar die eher selten anzutreffenden 200-V-Systeme direkt gespeist werden. Ein solches 200-V-System gab es z. B. vor dem Umbau 2018 im Moskauer Luzhniki Stadion mit Kabellängen von der Verstärkerzentrale bis zu den Lautsprechern von über 300 m.

Arbeitet eine Endstufe im Brückenbetrieb, dann kann theoretisch die doppelte Ausgangs-

spannung erreicht werden, was dann auch einen entsprechend hohen Strom zur Folge hat. Im Brückenbetrieb kann die IPX10:8 eine Ausgangsspannung von maximal 300 V<sub>pk</sub> liefern. An einer 4-Ω-Last würde das einen Spitzenstrom von 75 Apk bedeuten, den ein einzelner Kanal nicht mehr liefern könnte. Daher gibt es auch für diesen eher seltenen Fall noch die Variante des Parallel-Brücken-Modus, wo je zwei parallel arbeitende Endstufen in Brücke betrieben werden, die dann einen Spitzenstrom von 82 Apk liefern können. Was zunächst einfach klingt, ist schaltungstechnisch jedoch eine große Herausforderung. Parallel betriebene niederohmige Quellen können zu Ausgleichsströmen führen, die die Ausgangsstufen stark belasten oder auch zerstören können. Der Parallel-Brücken-Betrieb wird daher auch nur von wenigen Geräten und Herstellern beherrscht.

## OMNEO, Dante, OCA, AES70 ...

Zur Ausstattung der IPX-Endstufen gehören zwei OMNEO-Netzwerkschnittstellen, die zum einen das Audiosignal im Dante Audionetzwerk-Format übertragen können und zusätzlich noch die Parameter für die Fernsteuerung und Überwachung der Geräte. OMNEO wurde in einer Partnerschaft von Bosch und Audinate aus Australien entwickelt und 2012 vorgestellt. Die Zielsetzung dabei war es, über eine Standard Ethernet-Verbindung sowohl den Medienkanal im Dante-Format als auch die Systemsteuerungs-Komponente im OCA(Open Control

Architecture)-Format zu übertragen. Dante ist ein weltweit sehr verbreitetes Audionetzwerk, das sich normaler Netzwerktechnik bedient, einfach zu konfigurieren ist und sich gut in vorhandene Netzwerkarchitekturen integrieren lässt. Fast alle Hersteller digitaler Audiogeräte haben heute native Dante-Schnittstellen bereits integriert oder bieten diese als optionale Ergänzung an.

Nicht ganz so bekannt dürfte OCA sein. OCA ist ein Standard für Kontrollparameter der jetzt auch im AES70-Standard definiert ist. OCA kann parallel im Netzwerk zu diversen Medienkanälen wie Dante, AVB, Cobranet usw. betrieben werden. Die OMNEO-Ports können redundant als primärer und sekundärer Port genutzt werden oder als Switch zur Daisy-Chain-Verkabelung. Zur Konfiguration des Dante-Netzwerkes kann die Dante Controller-Software von Audinate oder auch der in der IRIS-Net Software integrierte Dante-Controller genutzt werden. Mit der OMNEO-Schnittstelle können Bosch-Geräte zusammen mit Geräten anderer Hersteller über Standard Ethernet-Verbindungen IP-basiert sowohl das Mediensignal austauschen wie auch die peripheren Kontrollparameter. Da in vielen Gebäuden die entsprechende Infrastruktur bereits vorhanden ist, kann das OMNEO-Netzwerk diese nutzen, was zu einer erheblichen Kostenreduzierung beitragen kann. Die Belastung des Netzwerkes durch Audiodaten ist dabei vergleichsweise gering, wenn man bedenkt, dass 64 Kanäle Audio mit 48 kHz Samplerate und 24 Bit Auflösung

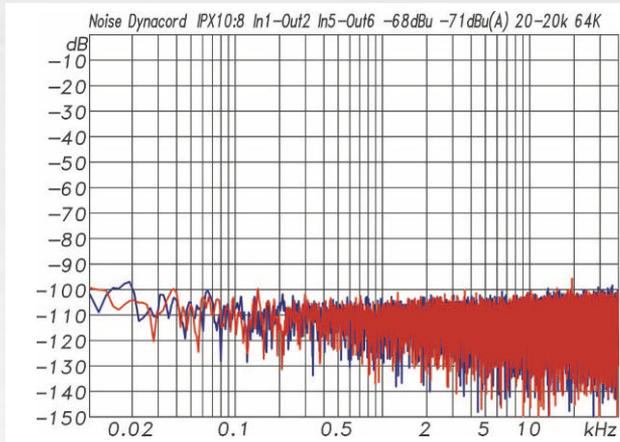


ABB. 08: Störspektrum zweier exemplarischer Kanäle am Ausgang bei Nutzung der analogen Eingänge; Gesamtpegel –68 dBu bzw. 71 dBu(A)

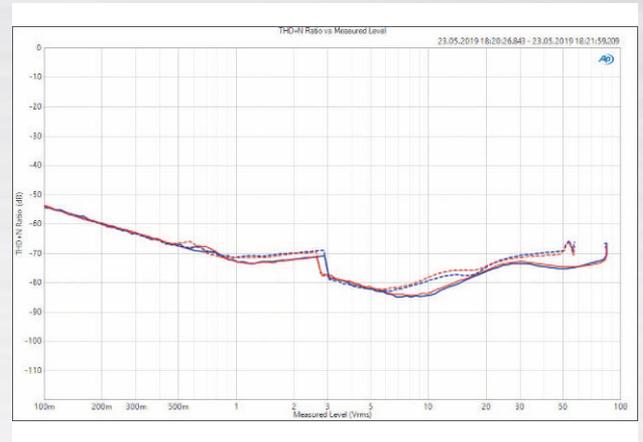


ABB. 09: Klirrfaktor (THD+N) bei 1 kHz mit 8  $\Omega$  (durchgezogene Linie) und 4  $\Omega$  (--) Last in Abhängigkeit von der Ausgangsspannung (x-Achse). Die kleine Sprungstelle bei 3 V entsteht durch die Umschaltung vom normalen Betriebsmodus zurück in den Eco-Modus.

gerade einmal 8 % Auslastung auf einem 1 GBit-Netzwerk erzeugen. Separate Netze sind dafür nicht erforderlich. IT-Experten empfehlen aus Sicherheitsgründen sogar immer öfter, die Audiogeräte in bestehende Netzwerke zu integrieren, da dann alles unter Kontrolle der IT geschieht und die Geräte entsprechend mit überwacht und geschützt werden. Aktuell unterstützen die OMNEO-Geräte noch keine verschlüsselte Übertragung und überprüfen auch nicht die Authentizität der zugreifenden Dante- oder OCA-Controller-Software.

### Frequenzgang und Dämpfungsfaktor

Neben den später besprochenen Leistungswerten einer Endstufe gibt es auch noch die Messwerte zum Frequenzgang, zum Dämpfungsfaktor und Störabstand sowie die Verzerrungswerte.

Beim Frequenzgang kommt es bedingt durch das Schaltungskonzept einer Class-D-Endstufe mit passiven Tiefpassfiltern in den Ausgängen abhängig von der Last zu mehr oder weniger starken Schwankungen am oberen Ende des Übertragungsbereiches. ABB. 06 zeigt dazu die Messungen an der IPX10:8 für rein ohmsche Lasten von 2, 4, 8 und 16  $\Omega$  sowie mit Lautsprecher-Dummies für 4 und 8  $\Omega$  Nennimpedanz und bei offenem Ausgang. Sieht man vom Extremfall 2  $\Omega$  einmal ab, dann liegen die dadurch verursachten Schwankungen bis 10 kHz in einem Bereich von maximal  $\pm 0,3$  dB. An einer 4- $\Omega$ -Last ist der Pegel bei 20 kHz um gerade einmal 0,5 dB abgefal-

len. Werte in dieser Größenordnung sind als völlig unproblematisch zu betrachten. Sieht man sich dazu die zum Vergleich mit den Lautsprecher-Dummies gemessenen Verläufe an, dann kompensiert sich der Höhenabfall ohnehin vollständig durch die bei Lautsprechern typisch zu hohen Frequenzen hin ansteigende Impedanz.

Anders dargestellt könnte man den Pegelverlust bei hohen Frequenzen auch über den frequenzabhängigen Innenwiderstand der Endstufe definieren. Bezieht man den Wert des Innenwiderstandes der Quelle dann noch auf die Lastimpedanz, wird daraus der bekannte Dämpfungsfaktor. Wie sich der auf 4  $\Omega$  bezogene Dämpfungsfaktor für die IPX10:8 in Abhängigkeit von der Frequenz verhält, zeigt ABB. 07. Bei tiefen Frequenzen werden sehr hohe Werte erreicht, unterhalb von 200 Hz beginnend bis auf über 600 ansteigend. Im mittleren Frequenzbereich lässt sich ein Wert von ca. 100 ablesen. Zu den hohen Frequenzen hin fällt die Kurve dann ab, so dass bei 10 kHz noch ein Dämpfungsfaktor von 25 erreicht wird. Wichtig ist ein hoher Dämpfungsfaktor vor allem bei tiefen Frequenzen, wo der Lautsprecher eine gute Kontrolle durch den Verstärker benötigt, um nicht zu lange auszu-schwingen. Werte von 100 für die Endstufe sind jedoch in der Praxis schon mehr als hinreichend, da meist durch Kabel- und Kontaktwiderstände ohnehin noch größere Widerstände auf dem Signalweg entstehen, die einen effektiv am Lautsprecher messbaren

Dämpfungsfaktor von mehr als 25 nur bei kurzen Kabeln und optimalen Steckverbindern möglich machen.

### Störabstand

Kommen wir zum nächsten wichtigen Messwert einer Endstufe, dem Dynamikumfang. Für die Berechnung ist zunächst die maximale Ausgangsspannung zu bestimmen. Diese liegt für die IPX10:8 bei ca. 44 dBu. Dem gegenüber steht der an den Ausgängen zu messende Störpegel, der einmal bei Nutzung der analogen Eingänge und einmal mit Dante gemessen wurde. Die analogen Eingänge wurden dazu mit einem 200- $\Omega$ -Widerstand abgeschlossen. Der so gemessene Störpegel lag bei 68 dBu unbewertet und bei –71 dBu A-bewertet. Nach der Umschaltung auf die digitale Signalzuspielung verbesserten sich die Werte um 3 dB. Legt man den A-bewerteten Störpegel zugrunde, dann wird ein Störabstand von 115 dB analog bzw. 118 dB bei einer Signalzuspielung über das Dante-Netzwerk erreicht. Die zugehörigen Störspektren aus ABB. 08 zeigen ein gleich verteiltes Weißes Rauschen ohne jegliche mono-frequente Komponenten.

### Verzerrungsmessungen

Welche Verzerrungsmessungen sind für Endstufen aussagekräftig und welche Werte sollten dann erreicht werden? Und sind diese überhaupt relevant, wo doch die nachfolgenden Lautsprecher meist ein Vielfaches der Verzerrungen produzieren? Beide Fragen beschäfti-

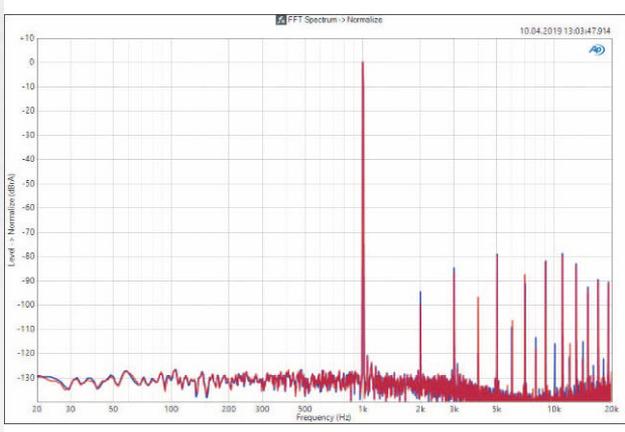


ABB. 10: Ausgangssignal als Spektrum bei 1 kHz mit 8 Ω Last und 600 W pro Kanal

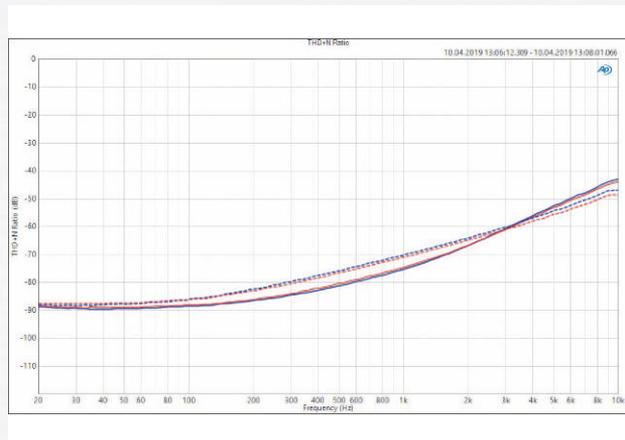


ABB. 11: Klirrfaktor (THD+N) mit 8 Ω (durchgezogene Linie) und 4 Ω (---) Last in Abhängigkeit von der Frequenz bei jeweils 300 W pro Kanal (x-Achse)

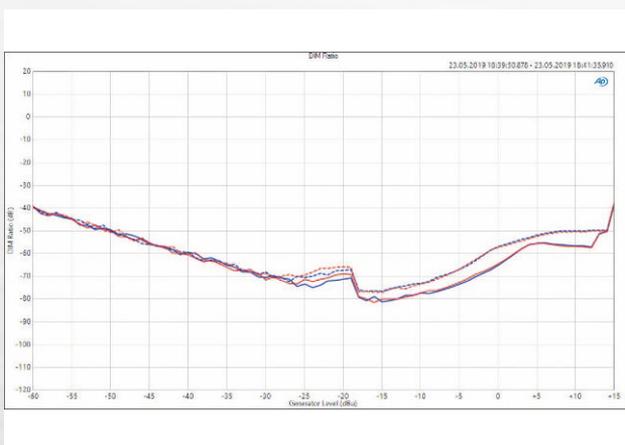


ABB. 12: IMD Messung (DIM) mit 8 Ω (durchgezogene Linie) und 4 Ω (---) Last (CH2,CH6) in Abhängigkeit vom Eingangspegel (x-Achse)

gen die audiophilen Kreise schon seit Langem. Schaut man etwas genauer hin, erkennt man, dass Lautsprecher primär harmonische Verzerrungen 2. und 3. Ordnung erzeugen. Verzerrungen durch Endstufen enthalten jedoch häufig auch Verzerrungsanteile höherer Ordnung, die im Höreindruck weniger gut verdeckt werden und daher leichter auffallen können. Klassische Class-AB-Endstufen kommen dem Ideal von zu höherer Ordnung hin schnell fallenden Verzerrungsanteilen bereits recht nahe. Class-D-Schaltungen sind von ihrem Verhalten her jedoch eher ungünstig und erzeugen oft auch viele Verzerrungsanteile höherer Ordnung. Es gilt also, mehrere Aspekte zu beachten. Den absoluten Wert der Verzerrungen, deren spektrale Zusammensetzung und der Verlauf in Abhängigkeit von der Frequenz.

ABB. 09 zeigt dazu eine erste Messreihe mit den THD+N-Werten in Abhängigkeit von der Ausgangsspannung für eine Belastung von 8 Ω und von 4 Ω, exemplarisch dargestellt für zwei der acht Kanäle der IPX10:8. Die Werte liegen in einem Bereich von -70 bis -80 dB (0,01 %) und damit schon in Regionen, die eigentlich keiner weiteren Diskussion mehr bedürfen und sich mit vielen Class-AB- oder Class-H-Endstufen messen können. Eine unlängst erst gemessene, sehr angesehene Endstufe aus der Studioteknik liegt auch in diesem Wertebereich. Die kleine Sprungstelle bei 3 V entsteht durch die Umschaltung vom normalen Betriebsmodus in den Eco-Modus. Diese Messreihe erfolgte in Stufen vom hohen Pegel beginnend zu niedrigeren Werten hin. Läuft die Messung umgekehrt ab, dann liegt die Sprungstelle bei einem höheren Wert der Ausgangsspannung, wo die Umschaltung vom Eco-Modus zum Normalbetrieb erfolgt.

Sieht man sich das Klirrspektrum aus ABB. 10 an, dann liegen zunächst einmal einzeln betrachtet alle Oberwellen an oder unter der -80-dB-Linie. Die geradzahigen Oberwellen  $k_2, k_4$  etc. zeigen auch die gewünschte fallende Tendenz. Etwas ungünstiger sieht es bei den ungeradzahigen Oberwellen aus. Inwieweit das in dieser Größenordnung überhaupt noch relevant sein kann, ist jedoch fraglich. Nicht unerwähnt bleiben sollte auch, dass das Klirrspektrum dank des Schaltnetzteils völlig frei von Brummanteilen ist.

Weitere THD-Kurven aus ABB. 11 wurden bei konstantem Pegel in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen. Die insgesamt vier Kurven zeigen wiederum die beiden exemplarischen Kanäle der IPX10:8 an 4-Ω- und an 8-Ω-Lasten. Bei 1 kHz finden sich die bekannten Werte aus ABB 09 wieder. Zu tieferen Frequenzen hin fallen die Verzerrungswerte, zu höheren Frequenzen steigen sie gleichmäßig an. Verursacht wird dieses grundsätzlich bei allen Verstärkern zu beobachtende Verhalten durch die bei hohen Frequenzen nachlassende Schleifenverstärkung respektive Gegenkopplung. Bei Class-D-Verstärkern ist dieser Effekt etwas ausgeprägter als bei herkömmlichen Class-AB-Endstufen.

Als abschließende Verzerrungsmessung folgt noch die DIM (Dynamic Intermodulation Distortion)-Messung

# LEISTUNGSMESSUNG

Beim Thema Leistungsmessungen von Endstufen ist es sinnvoll, sich zunächst kurz Gedanken dazu zu machen, was in einer Endstufe passiert und wo die limitierenden Faktoren sind. Liegt ein Audiosignal vor, das verstärkt werden soll, dann kann dieses bis zur Aussteuerungsgrenze der Endstufe geschehen. Diese wird bestimmt durch die vom Netzteil zur Verfügung gestellte Versorgungsspannung, die folglich hinreichend hoch sein sollte, aber natürlich nicht die Spannungsfestigkeit der Halbleiter überschreiten darf. Jetzt kommt noch ein zweiter Aspekt ins Spiel, da die Höhe der Versorgungsspannung auch einen direkten Einfluss auf die Verlustleistung des Verstärkers hat. Klassische Class-AB-Endstufen können daher mit einer mehrfach gestuften oder auch einer nach Bedarf geregelten Spannung versorgt werden, was sich dann Class-H oder Class-G nennt. Bei Dynacord hat man diese Technik auf Class-D-Endstufen adaptiert, bei denen die Endstufe zunächst auf einer niedrigen Versorgungsspannung läuft, die dann bei Bedarf hochgeschaltet wird. Diese als Eco-Rail bezeichnete Technik von Dynacord spart über alles betrachtet bis zu 50% des Energieverbrauches ein, was speziell bei Installationsendstufen im Dauerbetrieb eine deutliche Reduzierung der Betriebskosten bedingt.

Neben der maximal möglichen Spannung kommt dann, abhängig von der Lastimpedanz, der Strom ins Spiel. Wie bereits zu Beginn erwähnt, wacht hier die JTM-Technik darüber, dass der Strom niemals gefährlich hoch, auf der anderen Seite aber auch nicht zu früh limitiert wird.

Als weiteres limitierendes Element ist noch das Netzteil zu betrachten, das eine bestimmte maximale Leistung zur Verfügung stellen kann. Teilen sich mehrere Endstufen ein Netzteil, ist das entsprechend zu berücksichtigen. Moderne Schaltnetzteile können bei wenig Gewicht und Volumen sehr hohe Leistungen liefern, so dass durch das Netzteil nur selten eine Limitierung entsteht. Vielmehr ist das speisende Stromnetz das Problem, das je nach Art der Zuleitung und der entsprechenden Absicherung im 230-V-System typischerweise auf 16 A oder 32 A maximalen Stroms ausgelegt ist. Die IPX-Endstufen sind für den Netzanschluss bereits mit einer „32 A Powercon“-Buchse ausgestattet, so dass mit einem entsprechenden Kabel (3x 4 mm<sup>2</sup>) und einem „32 A CEE“-Stecker auf der anderen Seite auch ein „echter“ 32-A-Anschluss möglich wird. Steht nur ein 16-A-Anschluss zur Verfügung, kann über die Breaker-Einstellung an der Endstufe die Absicherung zwischen 6 und 32 A eingestellt werden. Bei der Einstellung ist zu beachten, ob sich eventuell mehrere Geräte eine Zuleitung teilen. Der DSP des Netzteils berechnet anhand typischer Sicherheitskennlinien, welcher Strom wie lange maximal aus dem Netz gezogen werden kann. Während der Messungen für den Test lag der aufgenommene Strom auch in der 32-A-Einstellung immer nur für wenige Sekunden bei 32 A, danach regelte das Netzteil auf ca. 19 A ab. Mit einem 32-A-Anschluss kann die Endstufe daher auf jeden Fall voll ausgenutzt werden. Ein 16-A-Automat mit C-Charakteristik würde die kurze 32-A-Zeitspanne auch zulassen und bei 19 A Dauerstrom erst nach sehr langer Zeit auslösen. Kritischer dürfte es bei der IPX20:4 sein, deren Netzteil deutlich kräftiger ausgelegt ist.

In der Praxis stellt sich das Thema ohnehin nicht so kritisch dar, da für ein typisches Musiksignal mit einem Crestfaktor von 12 dB oder mehr die mittlere Leistungsaufnahme sehr viel geringer ist. Werden alle acht Kanäle der IPX10:8 mit einem „12 dB Crestfaktor“-Testsignal an 8- $\Omega$ -Lasten voll ausgesteuert, dann liegt die mittlere Leistungsaufnahme bei ca. 2.100 W. Der Wert kann je nach Art des Signals etwas schwanken. Selbst bei einer 4- $\Omega$ -Belastung auf allen Kanälen und voller Aussteuerung bleibt man noch im Rahmen dessen, was ein „230 V/16 A“-Anschluss dauerhaft liefern kann.

Leistungsmesswerte einer Endstufe sind ein viel diskutiertes Thema. Wie wird gemessen, unter welchen Bedingungen, und wie sind die Werte letztendlich zu interpretieren und was bedeuten sie für die Praxis?

Unsere Labormessungen der Ausgangsleistung decken alle Varianten der Belastung einer Endstufe ab. Um vergleichbar mit den Herstellerdaten zu sein, führen wir eine Reihe verschiedener Messungen nach unterschiedlichen Normen für alle möglichen Lastfälle von 2  $\Omega$  (falls zulässig) bis 8  $\Omega$  durch. Im Detail werden folgende Werte bestimmt:

- 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.

Für die sinusförmigen Messsignale fällt die Auswertung leicht. Man erfasst den Effektivwert und berechnet daraus die Leistung. Die Sinuswelle sollte dabei noch nicht sichtbar verzerrt sein. Für die Sinusburst-Signale nach EIAJ oder CEA lassen sich zwei Werte bestimmen. Zum einen der kurzzeitige Effektivwert während der Dauer des Bursts, zum anderen der Effektivwert über alles inklusive der Signalpausen.



aus ABB. 12, 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 des Rechteckanteils fordern die Endstufe deutlich mehr als ein eingeschwungener Sinus bei der THD-Messung. Der DIM-Messung wird daher auch eine relativ große Bedeutung im Zusammenhang mit den klanglichen Qualitäten einer Endstufe zugeschrieben. Die DIM-Werte der IPX10:8 liegen bei -50 bis -80 dB und damit in einem Bereich der in jedem Fall hinreichend und für eine Class-D-Endstufe auch als gut zu bezeichnen ist.

## Netzlast

Die Belastung des Stromnetzes ist bei Endstufen hoher Leistung ein wichtiges Thema. Direkt oder indirekt damit in Zusammenhang stehen die Installationskosten, die Betriebskosten und letztendlich auch die Betriebssicherheit. Drei Aspekte spielen dabei eine Rolle:

### 1. Der Wirkungsgrad

Beim Thema Wirkungsgrad geht es darum, möglichst viel Leistung für die Lautsprecher bereitzustellen, ohne dabei große Verlustwärme zu erzeugen. Ein hoher Wirkungsgrad reduziert den direkten Stromverbrauch aus dem Netz und spart indirekt auch noch Strom, wenn eine externe Kühlung im Einsatz ist, die dann weniger Abwärme aufnehmen muss.

ABB. 16 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 bei kleinen Ausgangsleistungen für den Wirkungsgrad eher geringe Werte. Für die rote Kurve wird daher die Ausgangsleistung nur zu der zusätzlich zur Grundlast aufgenommenen Leistung in Relation gesetzt. Daraus ergibt sich für die IPX10:8 ein guter Wirkungsgrad von etwas mehr als 80 %.

## ÜBERSICHT: DYNACORD / IPX10:8

Leistung 8-kanalig gem.	Sinus 10 s	12 dB CF 60 s	Peak 1 ms
<b>W pro Ch an 4Ω</b>	518	3049	3208
<b>W pro Ch an 8Ω</b>	732	1864	1768
<b>Noise</b>			
	<b>dBu</b>	<b>dB(A)</b>	
analog input	-68	-71	
Dante input	-71	-74	
<b>Dynamik</b>			
	<b>dB</b>	<b>dB(A)</b>	
analog input	112	115	
Dante input	115	118	
<b>f[Hz] (load 4Ω)</b>	<b>20</b>	<b>1 k</b>	<b>20 k</b>
<b>Gain dB</b>	31,8	32,1	31,4
<b>Phase °</b>	20°	0°	-40°
<b>HP-Filter</b>	5 Hz		
<b>TP-Filter</b>	30 kHz		
<b>f[Hz]</b>			
	<b>100</b>	<b>1 k</b>	<b>10 k</b>
CTC dB	87	87	62
CMRR dB	77	77	73
DF rel. 4Ω	390	105	25
<b>THD(f) @ 300 W 8 Ω</b>			
	-90	-75	-42
	<b>Min.</b>	<b>vor Clip</b>	
<b>THD 1kHz</b>	-83	-73	
<b>DIM100</b>	-81	-58	
<b>Leistungsaufnahme</b>			
<b>Standby</b>	18 W		
<b>No signal</b>	100 W		
<b>Full power</b>	2100 W @ 8x 8 Ω bei 12dB CF		
<b>Gewicht in kg</b>			
	16,8		
<b>Bauhöhe HE</b>			
	2		
<b>UVP incl. MwSt.</b>			
	6.990 €		
<b>Firmware</b>			
	IPX10:8 V 1.1		
<b>Netzteil</b>			
	Schaltnetzteil mit Smart PFC		
<b>Schaltung</b>			
	Class-D mit Eco-Rail Technik		
<b>DSP System</b>			
	4th Generation SHARC		
<b>Remote</b>			
	IRIS-Net über OMNEO		



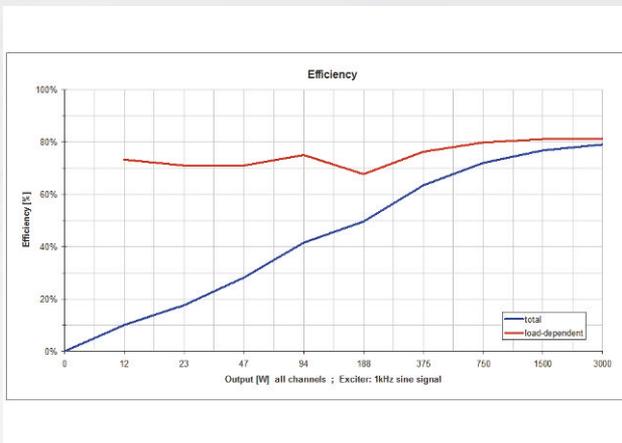


ABB. 16: Wirkungsgrad des Amps in % in Abhängigkeit von der abgegebenen Leistung (x-Achse); in Rot die Kurve ohne Grundlast, die einen sehr guten Wirkungsgrad der Endstufen erkennen lässt.

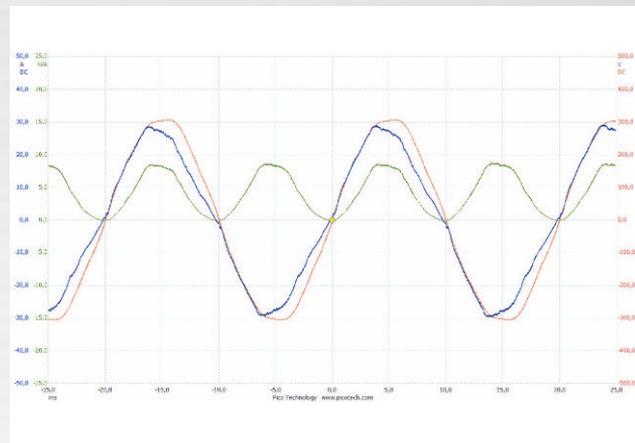


ABB. 17: Verlauf von Netzspannung (rot), Netzstrom (blau) und der daraus berechneten Leistungsaufnahme (grün) mit einem RMS Wert von 4220 VA

## 2. Der Verlauf des Netzstroms

Der aus dem Netz 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. 17 zeigt dazu die Messung der IPX10:8 bei Volllast. Bis auf einen leichten Versatz und ein wenig Verzerrung der Kurvenform folgt der Stromverlauf (blau) dem Spannungsverlauf (rot) sehr gut. Der Powerfactor beträgt 0,99. Erreicht wird ein solcher Wert durch eine aktive prozessorgesteuerte PFC (Power Factor Correction)-Schaltung. Neben dem nahezu idealen Verlauf der Stromaufnahme kommt als weiterer Pluspunkt der bei Dynacord als Smart PFC bezeichneten Schaltung auch noch die exakte Überwachung und Regelung der Stromaufnahme hinzu, die eine Überlastung des Stromnetzes und damit das Auslösen des Leitungsschutzschalters recht sicher zu verhindern weiß.

## 3. Die Grundlast

Der dritte relevante Eckwert zum Thema Netzlast ist die schon erwähnte Grundlast oder Ruheleistung. Dieser Wert ist immer dann wichtig, wenn die Geräte dauerhaft in Betrieb sind, so wie es in vielen Festinstallationen der Fall ist. Die als Grundlast aus dem Stromnetz aufgenommene Leistung der IPX10:8 liegt bei ca. 100 W, die sich im Standby-Modus auf 18 W absenkt. Der Standby-Modus kann entweder am Gerät selber aktiviert bzw. deaktiviert werden oder via Remote über die IRIS-Net-Software.

### Fazit

Mit der IPX-Serie bringt Dynacord vier Installationsendstufen auf den Markt, die in vielerlei Hinsicht Maßstäbe setzen. Die vier- und achtkanaligen Modelle beherrschen alle denkbaren Betriebsmodi mit Bücken-, Parallel- und sogar Brücken-Parallel-Betrieb und eignen sich daher mit Leistungen von 1,25 kW bis 10 kW für alle nur erdenklichen Einsatzzwecke. Hinzu kommt, dass auch Lautsprecherlinien mit 70, 100, 140 oder 200 V problemlos bedient werden können. Mehr Flexibilität geht kaum noch.

Ein weiterer beeindruckender Aspekt ist die absolute Stabilität der Endstufen, die, fast

egal was man macht, immer das maximal Machbare herausholen und stabil arbeiten. Mit Smart PFC, Simulation und Eco-Modus wird zudem das speisende Stromnetz optimal genutzt.

Neben der eigentlichen Funktion als Endstufe gibt es in den IPX-Modellen dann noch den DSP mit OMNEO-Schnittstellen. Dessen Funktionsumfang ist beeindruckend und beinhaltet alles, was man für den sicheren Betrieb von Lautsprechern braucht. Viele Funktionen in einem DSP sind aber immer nur die eine Seite. Zusätzlich ist es den Entwicklern auch noch gelungen, die Bedienung im Rahmen der bewährten und bekannten IRIS-Net-Software so zu gestalten, dass Einstellung und Betrieb intuitiv und sicher von der Hand gehen. Das zugehörige IRIS-Net-Manual benötigt man nur in seltenen Fällen für einige Spezialfunktionen. Auch das Manual an sich ist in seinem Umfang, der Vollständigkeit und Erklärungstiefe als vorbildlich zu bezeichnen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es sich bei den IPX-Endstufen um echte Hightech-Installationsgeräte der gehobenen Leistungsklasse handelt, die allen Anforderungen in puncto Flexibilität, Stabilität und Funktionsumfang voll und ganz gerecht werden. //