

PRODUCTION PARTNER

Fachmagazin für Veranstaltungstechnik

DSP-Verstärker

Linea Research LR44 M20

Vierkanalige Hochleistungsstufe von Linea Research mit DSP-System

Text und Messungen: Anselm Goertz | Fotos: Dieter Stork

Testbericht
aus Ausgabe 4/2016



Alle News rund
um Medien- und
Veranstaltungs-
technik

powered by
**PRODUCTION
PARTNER**
Fachmagazin für Veranstaltungstechnik

» ... Mit der neuen LR Serie bringt der renommierte englische Hersteller Linea Research sechs neue Endstufenmodelle auf den Markt, die es in vielerlei Hinsicht in sich haben ...«



Der englische Hersteller Linea Research spielt schon lange als OEM-Lieferant von Controllern, Endstufen und Elektronikmodulen in der Proaudio-Szene eine wichtige Rolle. Mit den Baureihen LR44 und LR48 bringt man nun weitere Endstufen unter eigenem Label direkt auf den Markt. Wie es die Typenbezeichnungen schon andeuten, handelt es sich um Endstufen mit jeweils vier Eingangswegen und vier (LR44) bzw. acht (LR48) Ausgängen. Der zweite Teil der Typenbezeichnung – M3, M6, M10 oder M20 – benennt die maximale Ausgangsleistung in der Summe aller Kanäle. Das zum Test

gestellte Modell ist die LR44 M20 und somit die leistungsstärkste Endstufe aus der LR-Baureihe. Wer sich in Anbetracht der versprochenen 20 kW Ausgangsleistung und einem einphasigen 32-A-Netzanschluss, der auch im 115-V-Netz funktioniert, etwas wundert, findet im Datenblatt schnell die Erklärung: Die 5 kW pro Kanal liefert der Amp bei Signalen mit 12 dB Crestfaktor als sogenannte Kurzzeit RMS-Leistung, was bedeutet, dass der Mittelwert über eine längere Zeitspanne um den Faktor 8 geringer ist. Auch mit noch etwas Kompression und Verdichtung des Signals kommt man



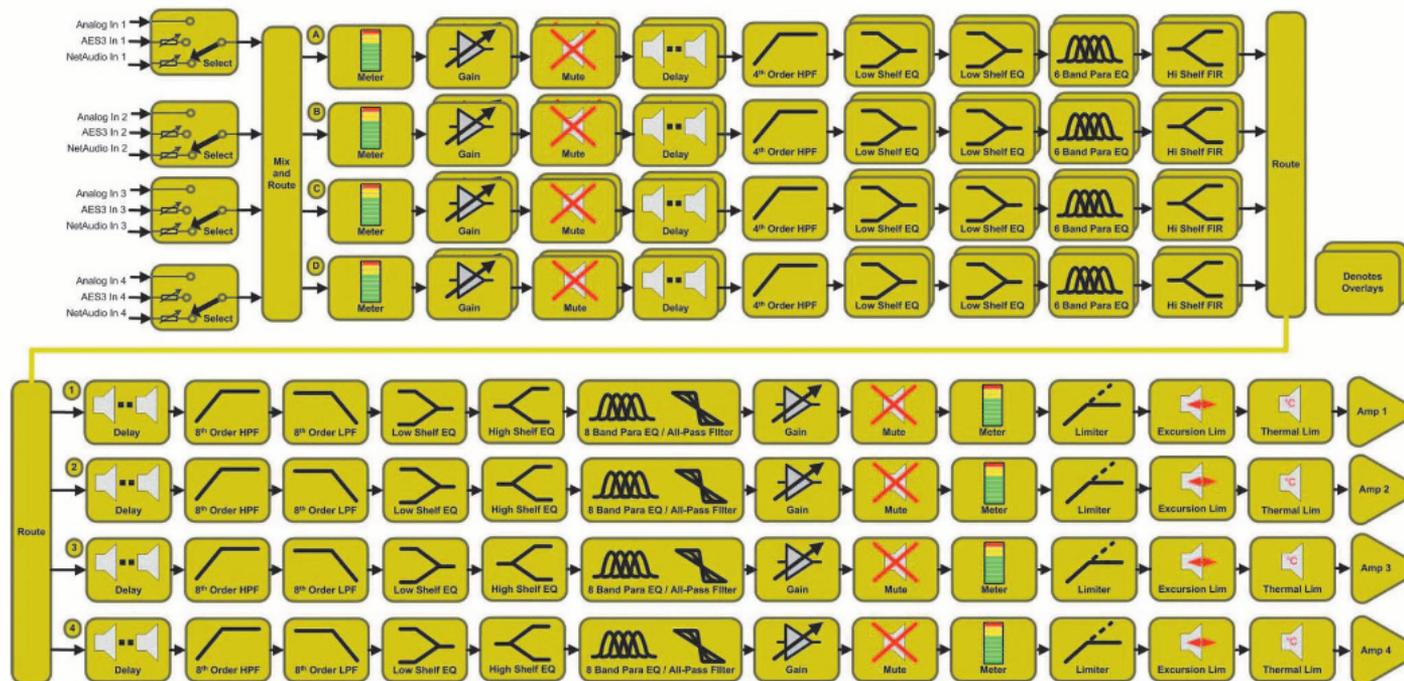
so mit einer Leistungsaufnahme aus dem Stromnetz von 3,6 kW hin. Kurzzeitig können bei C-Automaten ohnehin wesentlich höhere Ströme als der Auslösewert von 16 A entnommen werden.

Die Endstufen der LR Serie sind alle mit einem DSP-System ausgestattet, wie es heute schon fast als Standard bezeichnet werden kann. Die Konfiguration erfolgt ebenso wie die Fernüberwachung der Endstufe via Netzwerk. Möchte man auch das Audiosignal über das Netzwerk zuspieren, dann gibt es

noch ein optionales Dante-Interface, das heute auch bereits mehr oder weniger zum Standard geworden ist.

Aufbau der LR44

Die Zielgruppe der LR44 Anwender ist schon mit einem Blick auf die Frontplatte gut zu erkennen. Mit Hilfe eines Displays, sechs Tastern und zwei Inkrementalgebern können hier alle Parameter des DSP-Systems und der Endstufe auch direkt am Gerät eingestellt werden. Bei Einsätzen in mobilen Installations-



Blockschaltbild der Endstufe LM44 mit je vier Eingangs- und Ausgangszügen – und sehr vielen Funktionen

tionen ist diese Möglichkeit oft gerne gesehen, da man so im Falle eines Falles immer noch direkt eingreifen kann, um Werte zu kontrollieren oder zu verändern. Zusätzlich gibt es auf der Front noch Mute-Taster für die Ausgänge, ein ebenso nützliches wie wichtiges Detail, mit denen man schnell die einzelnen Wege einmal durchtesten kann. Aussteuerungs-, Signal-Present- und Clip-LEDs sind für alle Ein-

und Ausgänge vorhanden. Die Lüftung saugt durch die Staubfilter auf der Frontseite die kühle Luft an, die auf der Rückseite wieder austritt. Auf der Rückseite finden sich vier Speakonbuchsen für die Ausgänge, XLR-Inputs mit Link-Anschlüssen sowie ein serienmäßiger digitaler Eingang im AES3-Format, ebenfalls mit Link-Anschluss. Weitere Anschlüsse sind eine Netzwerkbuchse, ein Aux-Port und drei

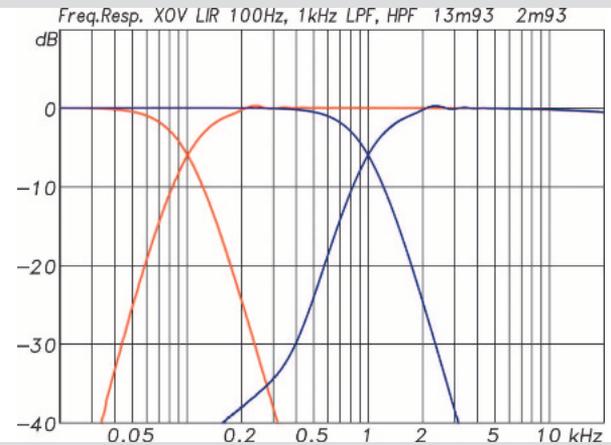
X-Over: den richtigen Filter-Typ wählen



Verschiedene Filtertypen für die X-Over-Funktion. In rot und orange klassische Linkwitz-Riley Filter 4. und 8. Ordnung. In dunkel- und hellblau die eher ungewöhnlichen Hardman Filter, ebenfalls 4. und 8. Ordnung

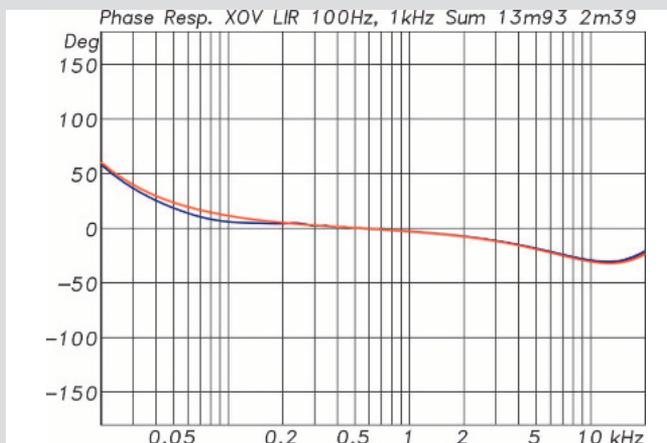
Als X-Over- und Frequenzweichenfilter werden seit langem die bekannten Filtertypen Bessel, Butterworth und Linkwitz-Riley genutzt. Typisch sind Linkwitz-Riley (LR) Filter für die Trennungen zwischen Mittel- und Hochtönern und Butterworth (BW) Filter bei der Ankopplung von Subwoofern. BW bietet ein konstantes Schalleistungsspektrum und LR einen konstanten Pegelverlauf. Bessel-Filter werden eher selten genutzt, sind aber trotzdem in fast jeder Menüauswahl zu finden. Eine Spezialität von Linea Research sind die sogenannten Hardman Filter, die ein ähnliches Verhalten wie LR-Filter zeigen, verbunden mit einer größeren Anfangsteilheit. Im weiteren Verlauf, entfernt von der Trennfrequenz, ist der Verlauf dann weniger steil als der eines vergleichbaren LR vergleichbarer Ordnung.

Die Grafik mit den Frequenzgängen zeigt dazu Beispiele für LR- und Hardman Filter 4. und 8. Ordnung. Filter 8. Ordnung sind jedoch eher unüblich und sollten nur dann eingesetzt werden, wenn die Treiber diese extreme Steilheit unbedingt erfordern. Die damit einhergehende starke Phasendrehung (720°) in einem relativ schmalen Frequenzbereich verursacht entsprechende Gruppenlaufzeitverzerrungen. Hörversuche haben ergeben, dass diese schon gut wahrnehmbar sind.



Linearphasige LIR Filter als X-Over mit 13,93 ms Gesamtlatenz bei 100 Hz (rot) und bei 1 kHz (blau) mit 2,93 ms; Grundlatenz der Endstufe ohne Filter in beiden Fällen jeweils 1,53 ms

Damit sind wir direkt bei den linearphasigen Filtern: Bei Linea Research setzt man auf eine leicht abgewandelte Art von FIR-Filtern und nennt diese „LIR-Filter“ (für Linear Impulse Response). Als Vorzüge gegenüber herkömmlichen FIR-Filtern werden eine geringere Latenz und das Vermeiden des sogenannten Pre-Ringing Vor-Echos genannt (das aber auch nur noch bei suboptimalen Entwurfsmethoden für die FIR-Filter auftritt). „LIR“ ist aber auch „irgendwas anderes als FIR“ und die Marketingabteilung ist dankbar für ein Alleinstellungsmerkmal. Unsere zwei Beispiele zeigen LIR X-Over Filter bei 100 Hz und bei 1 kHz. Die Steilheit der Filter liegt zwischen 20 und 24 dB/Oct. und entspricht somit ungefähr den üblichen Filtern 4. Ordnung. Je tiefer die Trennfrequenz des Filters liegt, umso größer muss die Länge der Filterimpulsantwort sein, was im Falle einer linearphasigen Filterauslegung (sonst nicht!) die Filterlatenz bestimmt. Die LIR-Filter verursachen eine Latenz von mindestens 1,19 ms mit steigender Tendenz bei tieferen Eckfrequenzen. Der Wert ist limitiert auf 30 ms. Die Filter aus dem Beispiel gehen mit einer Latenz von 1,4 ms bei 1 kHz und von 12,4 ms bei 100 Hz einher. Wie viel Latenz von Fall zu Fall praktikabel ist, hängt primär von der Anwendung ab. Bei Bühnenmonitoren dürfte das Limit schon bei 10 ms erreicht sein, bei einer PA an einer großen Bühne dürfen



Phasengänge der Summenfunktionen für die LIR X-Over Filter bei 100 Hz (rot) und bei 1 kHz (blau) incl. Endstufen-Hoch-/Tiefpass

es auch 30 ms sein. Bei der Abwägung der Latenz sollte man jedoch nicht vergessen, dass auch diverse andere Komponenten im Signalweg noch Verzögerungen im Signal mit sich bringen.

Bildet man die Summenfunktion aus den korrespondierenden Hoch- und Tiefpässen, dann entsteht bei den LIR-Filtern daraus ein völlig gerader Verlauf bei 0 dB. Die zusätzlichen Phasengänge zu den Summenfunktionen finden sich in der zugehörigen Abbildung. Die noch verbliebene restliche Phasendrehung am oberen und unteren Ende des Übertragungsbereiches geht auf die Hoch- und Tiefpassfiltereigenschaften der Endstufe an sich zurück und steht nicht mit den X-Over-Filtern im Zusammenhang. Zum Thema der X-Over-Filter findet man auf der Linea Research Homepage auch ein ausführliches White Paper von Paul Williams.

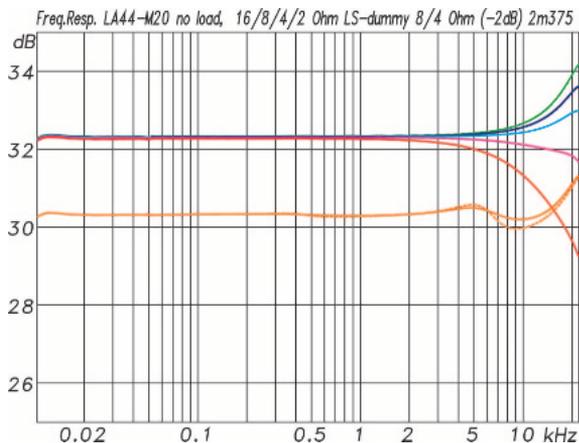
Pins für ein Fehler-Relais. Ist die Dante-Option (mit Brooklyn Modul) eingebaut, kommen zwei Netzwerkschnittstellen für das primäre und sekundäre Dante Netz hinzu.

Signalbearbeitung und Software

An den DSP sind die Erwartungen selbstverständlich hoch, da man bei Linea Research schon seit Jahren mit zu den füh-

renden Anbietern von DSP-Controllern gehört. Wie das Blockschaltbild zeigt, hat man sich beim Funktionsumfang auch nicht gerade zurückgehalten.

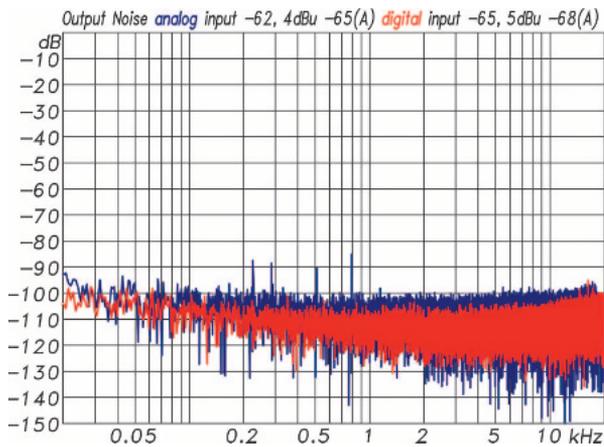
Es beeindruckt aber nicht nur die schiere Menge der Funktionen und Filter, sondern auch einige sehr schöne Details, wie FIR-Shelving Filter, Hardman Filter und Linear Phase X-Over Funktionen. Sehr detailliert ausgeführt sind auch die Limiter und das interne Routing. Als Eingänge können analog, AES3 und Dante für die vier Inputs separat ausgewählt werden. Nachfolgend kann sich jeder der vier DSP-Zweige aus diesen vier Inputs eines oder auch zwei summierte Signale auswählen. Auf Seiten der Endstufen besteht dann nochmals die Auswahl, aus welchen DSP-Zweigen die Endstufen ihr Signal entnehmen.



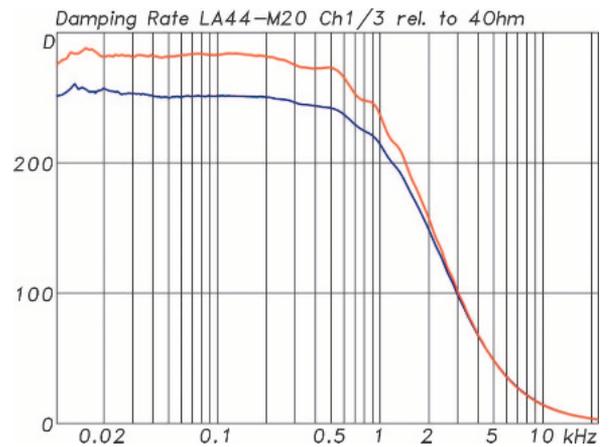
Frequenzgang mit 2 (rot), 4 (rosa), 8 (hellblau) und 16 Ohm (dunkelblau) Lastwiderständen und mit 4 bzw. 8 Ohm Lautsprecher Dummy Loads (orange um -1 dB versetzt dargestellt), grüne Kurve ohne Last (Abb. 1)

Messwerte

Die Verstärkung der Endstufen liegt knapp über 32 dB. Für die maximale Ausgangsspannung von 154 V_s bzw. 109 V_{eff} entsprechend 43 dBu bedarf es daher einer Eingangsspannung von 11 dBu. Die Frequenzgänge der Endstufe in Abhängigkeit von der Last finden sich in Abbildung 1. Zu höheren Frequenzen hin zeigt sich die Tiefpasswirkung der Ausgangsfilter, die sich abhängig von der Last mehr oder weniger stark bemerkbar machen. Mit einem Lautsprecher Dummy gemessen spiegelt sich dessen Impedanzverlauf im Frequenzgang



Störspektrum am Ausgang mit analogem Eingang (rot) $-62,4$ dBu und mit digitalem Eingang (blau) $-65,5$ dBu(A) (Abb. 2)



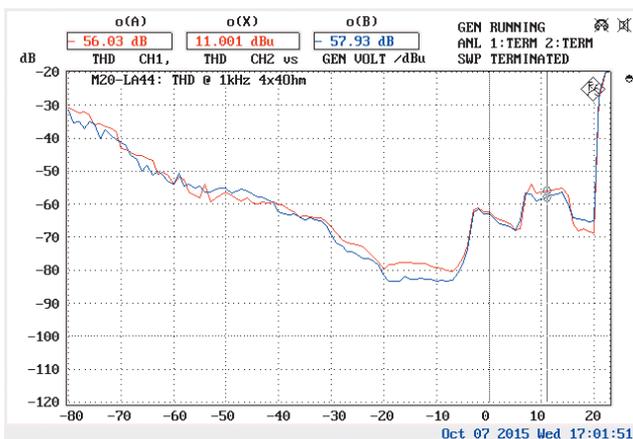
Dämpfungsfaktor exemplarisch für die Kanäle 1 und 3 in Abhängigkeit von der Frequenz bezogen auf eine 4 Ohm Last; bezieht man die Werte auf 8 Ohm, dann verdoppeln sie sich (Abb. 3)

geringfügig wider. Um den Effekt der Tiefpassfilter in den Ausgängen ein wenig zu kompensieren, erzeugt die Endstufe ohne Last eine leichte Höhenanhebung. Für eine 4-Ohm-Last fällt der Pegel bei 20 kHz daher nur um 0,3 dB gegenüber dem Mittel ab.

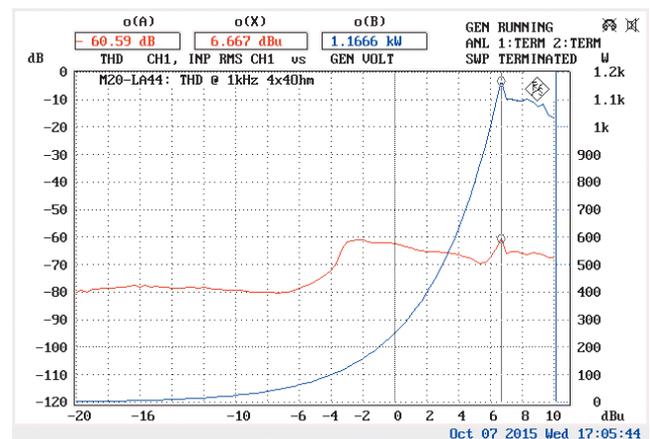
Der Störpegel am Ausgang der LR44 beträgt je nach Art des Eingangs analog oder digital $-62,4$ dBu oder $-65,5$ dBu linear bewertet von 20 Hz bis 20 kHz. In Relation zur maxi-

malen Ausgangsspannung von 43 dBu wird so eine Dynamik von 105 bzw. 108 dB für die analogen oder digitalen Eingänge erreicht. A-bewertet verbessern sich die Werte um ca. 2,5 dB. Die Werte erreichen damit nicht ganz die Angaben aus dem Datenblatt mit 113 dB A-bewertet.

Über den Dämpfungsfaktor finden sich im Datenblatt keine Angaben. Im Labor wurden Messwerte deutlich über 200 bei 100 Hz und bei 1 kHz bezogen auf eine 4-Ohm-Last ermittelt.

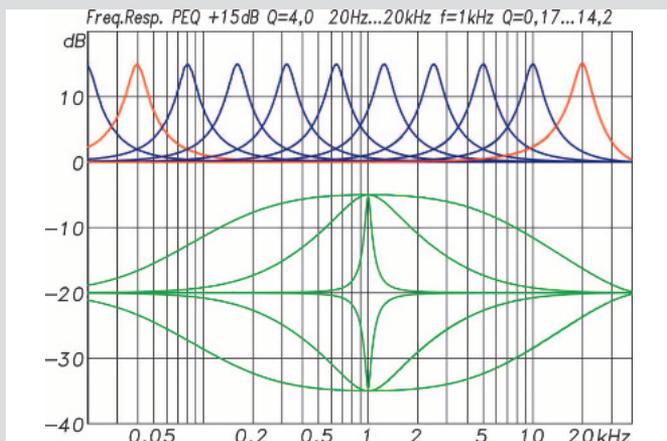


Klirrfaktor (THD) bei 1 kHz und 4×4 Ohm Last (CH1 rot, CH2 blau) in Abhängigkeit vom Eingangspegel (x-Achse) (Abb. 4)



Klirrfaktor (THD) bei 1 kHz und 4×4 Ohm Last in Abhängigkeit vom Eingangspegel, dargestellt sind THD (rot) und Leistung (blau) pro Kanal (Abb. 5)

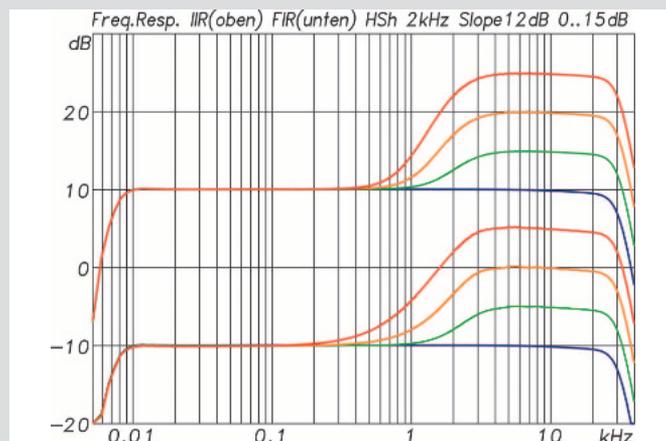
EQs für kohärente Wellenfronten: Was braucht man?



Klassische Bellfilter mit einem weiten Einstellbereich und korrekter Frequenzkompensation

Neben den X-Over-Filtern gibt es in der Linea-Research-Signalarbeitung in jedem der vier Eingangszweige noch je sechs Bell-Filter und je ein High- und Lowshelf-Filter. In den Ausgängen sind es dann noch mal je acht Bell-Filter und auch wieder je ein High- und Lowshelf-Filter. Warum werden diese Filter in den Ein- und Ausgängen benötigt? Für die Abstimmung eines Mehrwegesystems werden zunächst die Filter in den Ausgängen gesetzt, um die einzelnen Wege zu entzerren und auf einen Wunschfrequenzgang zu trimmen. Danach werden die Pegel und Delays, respektive Phasengänge der benachbarten Wege zueinander angepasst. Im nächsten Schritt können dann die X-Over-Filter, also Hoch- und Tiefpässe gesetzt werden. Danach ist der Lautsprecher in sich abgestimmt. Möchte man jetzt noch am Gesamtfrequenzgang Änderungen vornehmen, dann muss dies zwingend in den Eingängen passieren, wozu dann deren Filterblock benötigt wird. Würde man diese Filter in den Ausgängen setzen, dann würde das vorher schon im Ganzen abgestimmte System wieder durcheinander geraten (oder man müsste die Filter mehrfach in allen Ausgängen setzen).

Für herkömmliche IIR-Filter, wie sie für Bellfilter und Shelves genutzt werden, gibt es das bekannte Problem der Kurvenverzerrungen nahe der halben Abtastrate. Wichtig ist es hier zu unterscheiden, dass es sich nicht um Signalverzerrungen im eigentlichen Sinne handelt, sondern lediglich um eine Verzerrung der Filterkurve. Das Filter wird dadurch nicht besser oder schlechter, sondern einfach nur anders in seiner

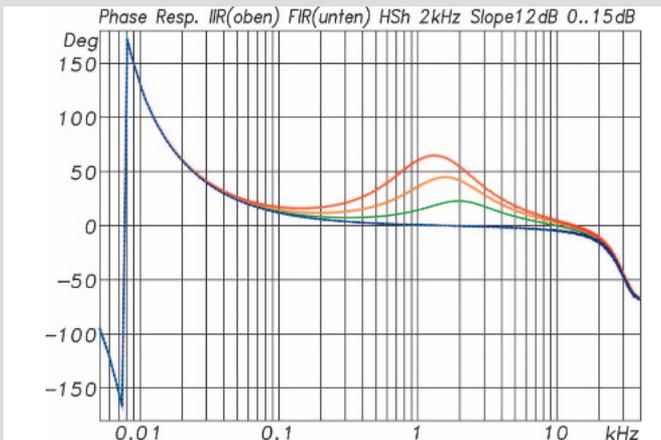


IIR und FIR Highshelf-Filter exemplarisch bei 2 kHz mit 12 dB Slope – oben als IIR-Filter und unten als FIR-Filter: in der Amplitude gibt es nahezu keinen Unterschied

Charakteristik. Für IIR-Filter bedeutet das: Sie weichen von ihrem analogen Pendant ab und klingen anders oder ungewohnt. Das kann auf verschiedene Arten umgangen bzw. gemindert werden. Man kann die Abtastrate erhöhen, so dass der Effekt erst außerhalb des Hörbereiches auftritt oder man kann den Filterverlauf kompensieren. Letzteres ist natürlich nur bis kurz vor der halben Abtastrate möglich. Wie die Kurven der Bell-Filter im oberen Teil der Grafik erkennen lassen, ist bei Linea Research DSP erwartungsgemäß keine Kurvenverzerrung zu erkennen. Der DSP läuft mit 96 kHz und die Kurven sind vermutlich auch noch kompensiert.

Zusätzlich zu den üblichen IIR Shelves gibt es in den Eingangszügen des DSP auch noch FIR Highshelf Filter. Hier gilt das Gleiche wie auch für alle anderen Filter: Dass man das Filter, wenn es als FIR-Filter ausgeführt wird, linearphasig gestalten kann. Für ein Highshelf mit einer unteren Eckfrequenz von 2 kHz geht das sogar besonders gut, d. h. mit einer sehr kurzen Latenz, die hier mit 0,6 ms angegeben wird. Wird ein solches Filter in einem der Eingänge aktiviert, dann werden auch alle anderen Eingangswege mit diesen 0,6 ms beaufschlagt, womit das System in sich passend abgestimmt bleibt.

Die Grafik zeigt die Frequenzgänge der FIR-Shelves (unten) im Vergleich zu den IIR-Shelves oben für Anhebungen von 0 bis +15 dB. Große Unterschiede, wenn überhaupt, gibt es hier keine. Warum gibt es dann die FIR-Shelves überhaupt? Line-Array-Nutzer werden die Antwort schnell parat haben:



Phasengänge der Highshelf-Filter in rot, orange, grün und dunkelblau für die IIR-Variante; die FIR-Shelfs haben einen unabhängig von der Einstellung linearen Phasenverlauf und sind deckungsgleich

Shelfs sind alle deckungsgleich, womit die Kohärenz in der Wellenfront des Line-Arrays erhalten bleibt und sich lediglich, wie gewünscht, die Intensität verändert.

Ist das Line-Array über den Verlauf von oben nach unten zunehmend gekrümmt (gecurvt), dann wird für die oberen Elemente eine andere Filterung im Hochtonbereich benötigt als für die unteren. Typischerweise setzt man dafür Highshelf-Filter ein. Man könnte sich z. B. vorstellen, dass ein Line-Array mit 16 Einheiten in vier Blöcken zu je vier Boxen betrieben wird und diese mit unterschiedlichen Shelves belegt werden sollen. Sind diese als IIR-Filter ausgeführt, dann würden die unterschiedlichen Shelves, unabhängig davon, ob nur im Gain oder nur in der Frequenz oder in beidem unterschiedlich, auch unterschiedliche Phasengänge mit sich bringen. Die kohärente Wellenfront aus dem Line-Array würde damit gestört und das Funktionsprinzip geschwächt werden.

Die nebenstehende Abbildung zeigt nun die Phasengänge zu den vorab dargestellten Amplitudenverläufen. Nur bei den IIR-Shelves gibt es Unterschiede in der Phase. Die FIR-

Mit einem Bezug auf 8 Ohm verdoppeln sich die Werte nochmals. Zu höheren Frequenzen hin lässt der Dämpfungsfaktor allerdings nach, so dass bei 2 kHz noch ein Wert von 150 erreicht wird und bei 10 kHz von 15.

Die Verzerrungsmessungen an der LR44 wurden mit 4 Ohm Belastung an allen vier Ausgängen durchgeführt, dargestellt sind jedoch immer nur zwei Kanäle. Die THD-Kurven aus Abbildung 5 liegen in einer Größenordnung von guten -80 dB und steigen auch nach dem Einsetzen des Limiters kaum über -60 dB an. Erst oberhalb von $+20$ dBu setzt echtes Clipping ein, wenn die analoge Eingangsstufe bzw. der A/D-Umsetzer übersteuert wird. In der vergrößerten Darstellung mit zusätzlicher Leistungskurve in Abbildung 4 ist die Einsatzschwelle für die Limiter bei einer Leistung von ca. 1.100 W pro Kanal zu erkennen. Dieser Wert kann abhängig von der Art der Messung und der Signaldauer schwanken und ist daher nicht exakt mit den Werten aus den Leistungsdiagrammen zu vergleichen.

Die bisherigen Messungen bezogen sich auf Sinussignale bei 1 kHz. Abbildung 5 zeigt nun den Verlauf der THD-Werte in Abhängigkeit von der Frequenz bei konstantem Pegel. Für eine dem entsprechend konstante Leistung von 250 W über der Frequenzachse betrachtet, bestätigt sich der 1-kHz-Wert

aus Abbildung 4 für 250 W mit -62 dB. Bei tiefen Frequenzen liegen die Verzerrungswerte unterhalb von -80 dB und beginnen dann mit ca. 20 dB pro Dekade anzusteigen.

Klanglich wichtiger dürfte das Klirrspektrum sein, das für zwei der vier Kanäle bei 500 W Ausgangsleistung in Abbildung 6 zu finden ist. Die ungeraden Komponenten dominieren und es gibt eine leicht steigende Tendenz zu den höheren Ordnungen hin. Es liegen jedoch alle anderen Klirrkomponten unterhalb von -70 dB entsprechend 0,03 %, was die Sache an sich in ihrer Bedeutung etwas relativiert. Im Datenblatt wird der typische THD-Wert mit 0,05 % entsprechend -66 dB angegeben. Als letzte Kurve zum Thema Verzerrungen gibt es noch die transienten Intermodulationsverzerrungen in Abb. 7. Mit -70 dB wird ein gutes Minimum erreicht. Bis zur Clippinggrenze steigen die Werte jedoch schon bis auf -48 dB an.

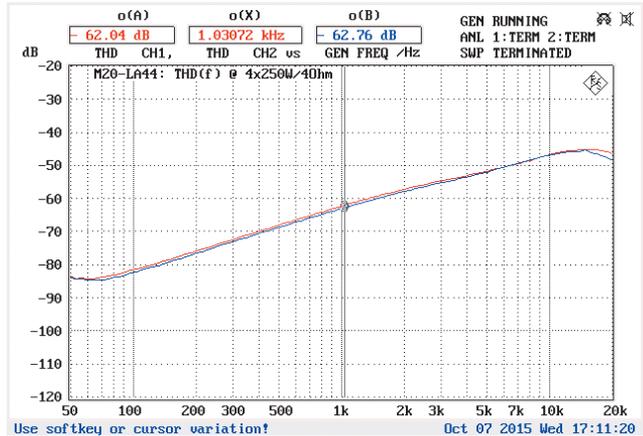
Leistungswerte

Bei den Leistungsangaben für Verstärker kommt es leicht zu Verwirrungen, da je nach Hersteller mit unterschiedlichen Testsignalen gemessen wird. Der entscheidende Wert ist der Crestfaktor des Testsignals (Spitzenwert zu Effektivwert). Für ein Sinussignal liegt dieser bei 3 dB, für das typische EIAJ-

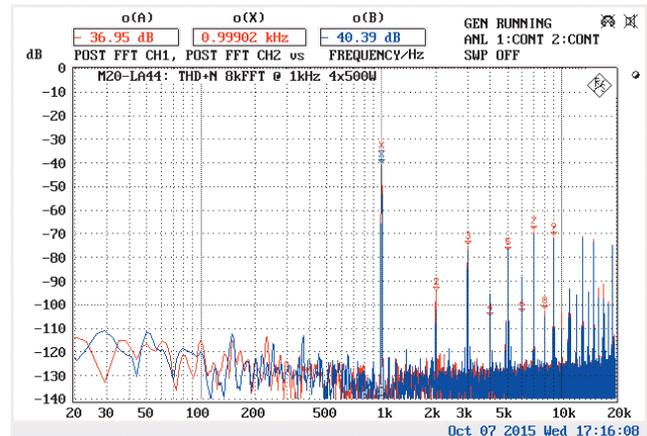
Signal mit einem 8-zu-32-Tastverhältnis bei 10 dB und für ein ebenfalls weit verbreitetes Signal nach CEA-2006 mit +20 dB Bursts in Abständen von 490 ms bei 16 dB. Je nach Wahl des Signals können daher die damit ermittelten Leistungswerte sehr unterschiedlich ausfallen. Bei Linea Research gibt man die Werte lobenswerterweise ganz eindeutig zusammen mit den Crestfaktoren der Testsignale an.

1.500 W an 8 Ohm bei 6 dB Crestfaktor bedeuten 750 W RMS Leistung oder average power. 5.000 W an 2 Ohm bei 12 dB Crestfaktor bedeuten 625 W average power ebenso wie 3.000 W an 4 Ohm bei 9 dB Crestfaktor. In unseren Labortests werden die Leistungswerte für Sinussignale, für ein Rauschen mit 12 dB Crestfaktor und für verschiedene Burst-Signale ermittelt. Gemessen wird immer zunächst die Spitzenspannung als V_s und daraus die Leistung angelehnt an ein Sinussignal bestimmt. D. h. der Spitzenspannungswert wird durch 1,414 geteilt und so zur Leistungsberechnung genutzt. Wird mit einem konstanten Sinussignal gemessen, dann ist das auch gleichzeitig der RMS-Wert im eigentlichen Sinne. Für die diversen Burst-Messungen, die ebenfalls auf Sinussignalen basieren, wird daraus eine Art Kurzzeit-RMS-Wert für den Moment des Bursts, der z. B. bei der 8/32 Burst-Messung 8 ms lang ist. Etwas schwieriger wird es bei den Noise-Signalen mit unterschiedlichen Crestfaktoren, wo es kein sinusförmiges Messsignal mehr gibt. Genau betrachtet gäbe es hier zwei Möglichkeiten die Leistung anzugeben: Entweder als Peak-Leistung direkt aus der Spitzenspannung berechnet oder als RMS-Wert aus dem Effektivwert der Spannung berechnet. Beide Werte wären aber nicht zum direkten Vergleich mit den Ergebnissen der Sinussignal-Messungen geeignet. Daher wird hier zu der etwas ungewöhnlichen Methode gegriffen, den Spitzenwert der Spannung zu messen und die Leistung daraus vergleichbar einem Sinussignal abzuleiten.

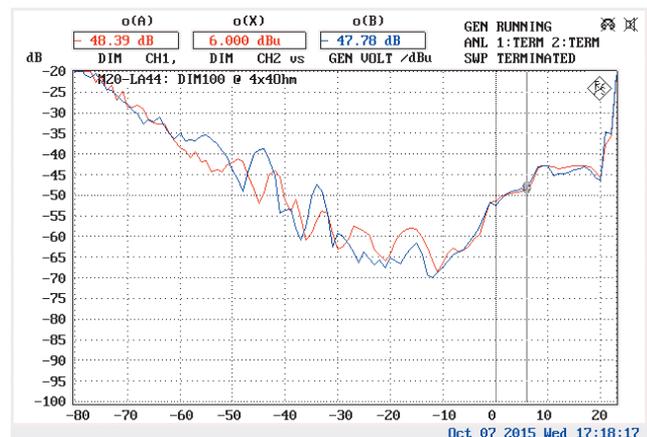
Die Messungen mit konstant anliegenden Sinussignalen aus Abbildung 10 zeigen, was langfristig als RMS-Leistung geht und das sind ca. 1.000 W pro Kanal, vorausgesetzt die Netzstromversorgung spielt mit. Für Signale mit 12 dB Crestfaktor werden Werte entsprechend Abbildung 11 erreicht. Bei jeder Halbierung der Impedanz von 16 Ohm über 8 Ohm und 4 Ohm bis zu 2 Ohm hinab, verdoppelt sich in beeindruckender Weise konsequent die Leistung. Bei 5,5 kW an 2 Ohm für ein Signal mit 12 dB Crestfaktor liegt die RMS-Leistung bei 690 W, so dass der Betrieb zwar knapp, aber doch an einer einzelnen 16-A-Phase möglich wäre.



Klirrfaktor (THD) bei 4×4 Ohm Last (CH1 rot, CH2 blau) in Abhängigkeit von der Frequenz bei einer Leistung von 4×250 W an 4 Ohm (Abb. 6)



Klirrspektrum (THD+N) bei 1 kHz und 4×4 Ohm Last (CH1 rot, CH2 blau) bei einer Leistung von 4×500 W an 4 Ohm (Abb. 7)



Intermodulationsverzerrungen DIM100 an 4×4 Ohm Last (Abb. 8)

Limitier: PA-Leistung optimal kontrollieren

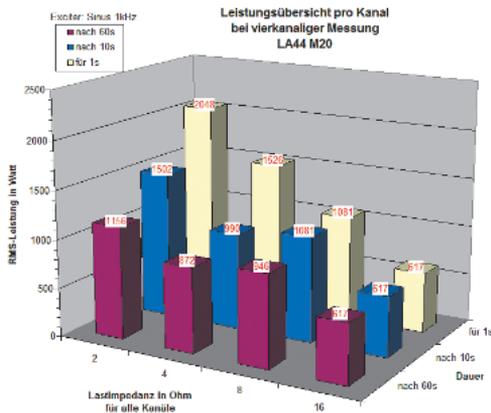
Limitier innerhalb eines Lautsprechercontrollers bieten ein weites Fragenspektrum. Häufig findet man nur als Peaklimiter definierte Limitier vor, die dann zwar – falls sie sich denn richtig einstellen lassen – ein Clipping der Endstufen verhindern. Für einen umfassenden Schutz der Lautsprecher sind sie aber nicht hinreichend. Als Erstes sollte man sich daher fragen: Was kann überhaupt passieren?

- Die Endstufe kann übersteuern. Durch ein hartes Clipping wird nicht nur der Klang böse verzerrt, es können durch die vielen Verzerrungskomponenten im Signal auch Hochtöner und Weichenbauteile überlastet und zerstört werden.
- Der Lautsprecher kann durch zu hohe Spannungsspitzen mechanischen Schaden nehmen. Das kann sich durch ein Abreißen der Schwingspule oder auch durch Risse in der Membran bemerkbar machen. Das Risiko besteht gleichermaßen bei Tieftönern wie auch bei Hochtönern und wird primär durch eine zu große Krafteinwirkung ausgehend von der Schwingspule bedingt.
- Bei Tieftönern besteht zusätzlich die Gefahr des Anschlagens der Schwingspule auf der Polplatte. Die Auslenkung ist stark abhängig von der Frequenz und vom Gehäusekonzept.
- Der Lautsprecher kann thermisch überlastet werden und durchbrennen. Der Vorgang des Aufheizens der Schwingspule geschieht in mehreren Abschnitten mit recht unterschiedlichen Zeitkonstanten.

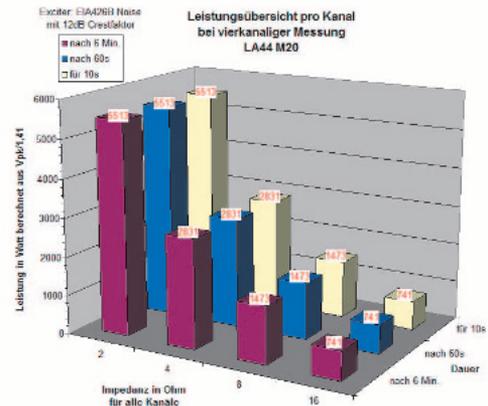
Fasst man das alles zusammen, dann benötigt man einen Peaklimiter, der sich entweder an der Endstufe oder am Lautsprecher orientiert, je nachdem, wer zuerst seine Grenzen erreicht, einen Thermolimiter mit langer Zeitkonstanten oder besser noch mehreren Zeitkonstanten und einen Auslenkungslimiter. Die meisten Endstufen (wie auch die LR44) verfügen für sich schon über mehrfache Limitierung zum Schutz vor Clipping, zu hohen Ausgangsströmen oder vor Überlastung des Netzteils oder auch der Netzversorgung, so dass man sich bei den Einstellungen des Limitiers in der Regel auf die angeschlossenen Laut-

sprecher konzentrieren kann. Hat man nur einen Limiter zur Verfügung, dann wird es schwierig, da sich damit nicht alle Fälle von Überlastung abdecken lassen: Entweder man stellt den Limiter mit einem kurzen Attack auf den Peakwert ein oder mit einer langen Zeitkonstanten auf den thermischen Maximalwert eines Lautsprechers. Meist reicht aber der Einstellbereich der Zeitkonstanten an dieser Stelle nicht aus, so dass es beim Peaklimiter bleibt.

Bei Linea Research kennt man sich dank langer Erfahrung gut mit Lautsprecher-Controllern aus und hat daher direkt pro Ausgang drei Limitier für die Lautsprecher vorgesehen. Das sind ein Peaklimiter mit zusätzlich definierbarem Overshoot, ein Thermolimiter mit Zeitkonstanten bis zu acht Minuten und auch noch ein Auslenkungslimiter für Tieftöner. Für den letztgenannten wird die maximale Ausgangsspannung zusammen mit der Frequenz der maximalen Auslenkung eingestellt. Lautsprecherentwickler kennen diese Werte und können entsprechende Einstellungen vornehmen. Alternativ können der Treiber und das Gehäuseprinzip sowie das Gehäusevolumen in einem Lautsprechersimulationsprogramm eingegeben werden, wo dann eine Kurve für die Auslenkung oder den erreichbaren Maximalpegel erscheint. Bei klassischen Bassreflexboxen liegt die Frequenz der maximalen Membranauslenkung typischerweise ca. eine halbe bis eine Oktave über der Tuningfrequenz. Für den Peaklimiter besteht zusätzlich noch die Möglichkeit der Aufteilung in zwei Frequenzbänder, wenn unterschiedliche Limitierwerte für Hoch- und Tieftöner in einem passiv getrennten 2-Wege-System eingestellt werden sollen. Für die Einstellung des Thermolimiters empfiehlt sich ein eher konservatives Vorgehen, da dieser Limiter in der Regel nur in echten Notfällen wie Feedback oder dauerhafter Überlastung eingreifen muss, es dann aber auch wirklich ernst wird. Ein guter Anhaltspunkt für den Thermolimiter ist der „2 Stunden average power“-Wert nach AES. Für den Peaklimiter kann im Hinblick auf das Testsignal mit 6 dB Crestfaktor als erster Anhaltspunkt der vierfache Wert eingesetzt werden. Vorher ist noch zu prüfen, ob sich die Limitiereinstellung auf echte Spitzenwerte der Ausgangsspannung oder auf einen Kurzzeit-Effektivwert bezieht.



Leistungswerte bei gleichzeitiger Belastung aller Kanäle und Messung mit einem konstant anliegenden Sinussignal (Leistungsangaben als RMS-Werte) (Abb. 10)



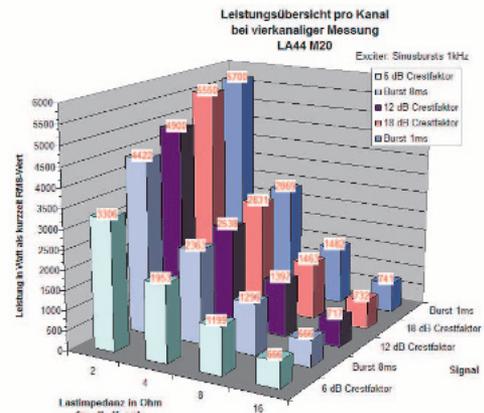
Leistungswerte bei gleichzeitiger Belastung aller Kanäle und Messung mit einem Noise mit 12 dB Crestfaktor (Leistungsangaben als RMS-Werte) (Abb. 11)

Wirkungsgrad

Bei Endstufen in der Leistungsklasse einer LR44 M20 ist die Verlustleistung ein wichtiges Thema. Zum einen geht es natürlich grundsätzlich um das Thema Energieverbrauch, dann aber auch um die Belastung des Stromnetzes bzw. der Generatoren und nicht zuletzt bei der Endstufe selber darum, wie man in einem dicht gepackten 2-HE-Gehäuse die Verlustwärme ableiten kann. Egal welcher Aspekt nun der wichtigste ist: Alles läuft auf die zentrale Frage des Wirkungsgrades hinaus. Betrachten wir unter diesem Aspekt die LR44 M20, dann lassen sich zunächst einige Leistungseckwerte für die Netzseite messen:

Sleep Mode:	4 W
Standby:	55 W
No signal:	200 W
Max.Power 12 dB CF und 4 × 4 Ohm:	2.000 W
Max.Power Sinus:	4.280 W

Der vorletzte Wert mit 2.000 W ist die Leistungsaufnahme, wenn die Endstufe mit einem Signal mit 12 dB Crestfaktor Signal voll ausgelastet wird. Zieht man davon 200 W Grundlast ab und setzt die dann noch verbleibenden 1.800 W ins Verhältnis zu einer abgegebenen Leistung von 1.415 W, dann kommt man auf einen Wirkungsgrad von knappen 80 %.

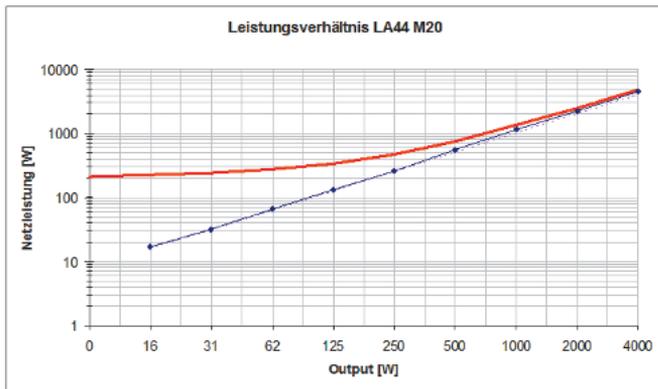


Leistungswerte bei gleichzeitiger Belastung aller Kanäle mit Sinusburst und Burstsignalen mit verschiedenen Crestfaktoren (Leistungsangaben als Kurzzeit-RMS-Werte) (Abb. 12)

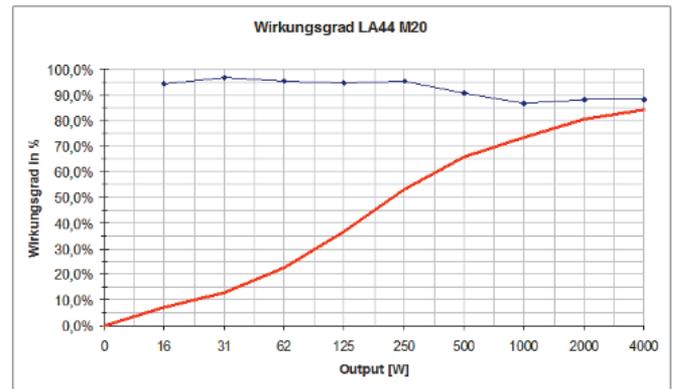
Power Output

Model	44 series M20
Power specification	RMS output power per channel and a nominal ambient temperature
Crest Factor of 4 (12dB), 2-Ohm nominal load	5,000W
Crest Factor of 2.8 (9dB), 4-Ohm nominal load	3,000W
Crest Factor of 2 (6dB), 8-Ohm nominal load	1,500W

Leistungsangaben im Datenblatt mit differenzierten Angaben zum Crestfaktor des Signals (Abb. 9)



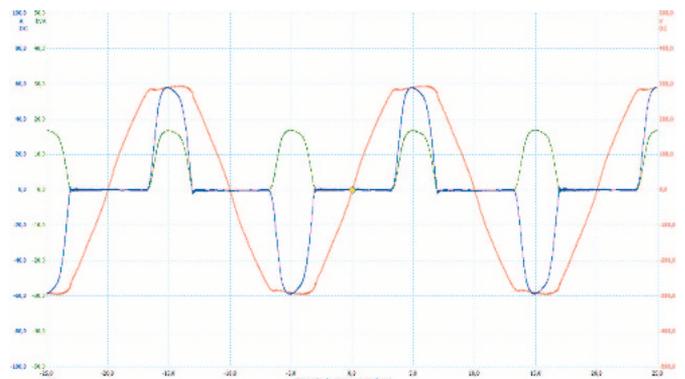
Leistungsverhältnis Abgegebene (x-Achse) in Relation zur aufgenommenen (y-Achse) Leistung als rote Kurve, blau die Werte abzüglich der Grundlast von 200 W, die die Endstufe erzeugt, rosa die Idealkurve für 100 % Wirkungsgrad (Abb. 13)



Wirkungsgrad des Amps in % in Abhängigkeit von der abgegebenen Leistung (x-Achse). In blau die Kurve ohne Grundlast die einen sehr guten Wirkungsgrad der Endstufen erkennen lässt (Abb. 14)

Detaillierte Kurven dazu zeigen die Abbildung 13 und 14. Die relevanten Werte sind neben der Grundlast der Wirkungsgrad und der Effektivwert der abgegebenen Leistung. Der Wirkungsgrad kann je nach Schaltungskonzept wiederum mehr oder weniger stark abhängig von der Aussteuerung des Verstärkers und auch von der Signalform sein. Die rote Kurve in Abb. 13 stellt den Zusammenhang entsprechend der Messreihen zwischen dem Summenwert der abgegebenen effektiven Leistung aller vier Kanäle (x-Achse) und der aus dem Stromnetz aufgenommenen Leistung (y-Achse) dar. Wird keine Ausgangsleistung abgegeben, dann kann man die Grundlast von 200 W ablesen. Die blaue Kurve ergibt sich aus der aufgenommenen Netzleistung abzüglich der Grundlast. Die rosa Kurve dient zum Vergleich und wäre der ideale Verlauf für 100 % Wirkungsgrad, wenn die abgegebene Leistung gleich der aufgenommenen Leistung wäre.

Eine alternative Darstellung zeigt Abb. 14, wo auf der Y-Achse jetzt der Wirkungsgrad aufgetragen ist. Durch die Grundlast fällt der Wirkungsgrad bei kleinen Ausgangsleistungen entsprechend ungünstig aus. Interessanter ist daher die blaue Kurve, die sich ergibt, wenn man die Grundlast für die Berechnung des Wirkungsgrades außen vor lässt. Die Werte fallen hier etwas besser aus als in dem kleinen Rechenbeispiel für Vollaussteuerung mit 12 dB Crestfaktor. Der Unterschied wird darin begründet sein, dass die Messungen für



Leistungsaufnahme (grün) berechnet aus dem Verlauf von Netzspannung (rot) und Netzstrom (blau) mit einem RMS-Wert von 5.980 VA, eine PFC gibt es nicht (Abb. 15)

die Diagramme mit Sinussignalen erfolgten und der Vergleichswert mit einem 12 dB Crestfaktor Noise.

Eine letzte Grafik in Abbildung 15 zeigt den Verlauf der Netzspannung zusammen mit dem von der Endstufe aufgenommenen Strom und der Scheinleistung. Wie sich am Stromverlauf erkennen lässt, gibt es leider keine PFC (Power Factor Correction). Bei dieser Messung wurden $4 \times 900 \text{ W}$ an die

Messwiderstände geliefert. Die aufgenommene Wirkleistung lag bei 4.280 W und die Blindleistung bei 4.160 VA, woraus sich ein Leistungsfaktor von 0,72 berechnet. Die relativ hohe Blindleistung entsteht hier nicht durch Verschiebungsblindleistung (kapazitiv oder induktiv), sondern nahezu ausschließlich durch Verzerrungsblindleistung. Der Stromverlauf hat gegenüber der 50-Hz-Grundwelle einen sehr hohen Oberwellenanteil, eine PFC im Netzteil würde genau das kompensieren.

Fazit

Mit der neuen LR Serie bringt der renommierte englische Hersteller Linea Research sechs neue Endstufenmodelle auf den Markt, die es in vielerlei Hinsicht in sich haben: Die integrierten DSP-Systeme bieten einen großen Funktionsumfang mit vielen sehr gut durchdachten und im Alltag nützlichen Funktionen. Ein Dante-Interface kann integriert werden und die Bedienung über die Podware-Software geht locker von der Hand. Die Leistungswerte der hier getesteten LR44-M20 sind zudem schwer beeindruckend. Die Endstufe ist dabei so ausgelegt, dass bis 2 Ohm hinab eine optimale Auslastung möglich ist. Abgerundet wird das gute Bild durch eine Vielzahl von sinnvollen Zusatzfunktion, wie z. B. der Protokollierung des thermischen Zustandes, des Netzstromes oder auch der Lastimpedanzen der Ausgänge. Darüber hinaus gibt es noch viele weitere Details, die selbst den Rahmen eines solchen bereits umfangreichen Beitrages sprengen würden.

Der Preis für die LR44-M20 von 6.450 € netto als UVP ist in Anbetracht der gebotenen Funktionen und Leistungswerte absolut angemessen. Nicht zuletzt hat auch die Aussage in den Unterlagen des Verstärkers „When you choose Linea you will be working with people who design the products, people who use the products and above all, people who know pro audio“ ihre Berechtigung: Die Geräte werden nicht nur vollständig in England entwickelt, sondern auch dort gefertigt.

Übersicht

Leistung	Sinus	12 dB	Peak
4 Ohm / 4 Ch	10 s	CF	1 ms
		60 s	
in W pro Ch	990	2.831	2.869
Noise	dBu	dBu(A)	
analog/digital	-62,4/-65,5	-65/-68	
Dynamik	dB	dB(A)	
analog/digital	105/108	108/111	
f[Hz]	20	1 k	20 k
Gain dB	32,2	32,3	31,3
Phase °	+60	0	-18
HP-Filter	7 Hz		
TP-Filter	30 kHz		
f[Hz]	100	1 k	10 k
CTC dB Ch1->Ch2	95	80	45
CMRR dB	78	78	72
DF rel. 4 Ohm	250	220	15
THD(f) @			
25 % Power	-82	-62	-47
	Min.	vor Clip	
THD 1kHz	-80	-68	
DIM100	-70	-48	
SMPTE 60/7k	-70	-40	
DFD IEC268	-100	-90	
Leistungsaufnahme	keine PFC		
Sleep	4 W		
Standby	55 W		
No signal	200 W		
Full power	2.000 W @ 4 × 4 Ohm bei 12dB CF		
Gewicht in kg	12,5		
Leistung/Gewicht	906 Watt/kg		
UVP netto zzgl. MwSt.	LR44-M20: 6.450 € Dante Interface: 675 €		
S.Nr.	0AD1458-03-80		
Netzteil	HF-Schaltnetzteil		
Schaltung	Class-D		
Remote	Podware V 6.16.50		

Alle Leistungen bei 4-kanaliger Belastung gemessen, Leistung/Gewicht an 4 Ohm für alle Kanäle summiert bei 12 dB Crestfaktor. Dynamik aus Peakleistung und Noiselevel berechnet. CTC = Übersprechen bei 10 Watt, CMRR = Gleichtaktunterdrückung, DF = Dämpfungsfaktor bezogen auf 4 Ohm