

# studioemagazin



**Hintergrundbetrachtungen zur Verstärkertechnik  
und zur Energieversorgung tontechnischer Geräte**



NICHT WIR HABEN DIE INDUSTRIE VERÄNDERT, SONDERN SIE!

Durch hochqualitativen Sound für Front und Center haben Sie es geschafft, die Zuschauerwahrnehmung von Filmen grundlegend zu verändern.

Deshalb haben wir den neuen Zoom F4 erschaffen. Somit ist professionelle Klangqualität immer erreichbar.



**zoom** | We're For Creators®

[www.zoom.co.jp](http://www.zoom.co.jp)

Exklusivvertrieb in D, A, CH, PL, EE, LV, LT, BG, HU, BE, NL, L, GR :  
Sound Service European Music Distribution | [www.sound-service.eu](http://www.sound-service.eu) | [info@sound-service.eu](mailto:info@sound-service.eu)



## Posing am Arbeitsplatz

Fritz Fey Chefredakteur Studio Magazin

In früheren Jahren hatte es der Toningenieur leicht, sich auf Fotos eindrucksvoll und bedeutungsschwanger zu inszenieren. Das war gut fürs Ego und jeder konnte sehen, wie wichtig dieser Job ist, selbst, wenn man keine Ahnung von der Materie hatte. Studioteknik war groß und imposant, vom Mischpult über die Bandmaschine bis zu in die Wand eingebauten Doppel-Fünfehrer-Pöten von Lautsprechern. Auch heute noch lassen sich Kollegen gerne vor Großkonsolen mit 72+ Kanälen ablichten. ‚Mensch, was für ein geiler Typ! Ob er wirklich weiß, was alle diese Knöpfe und Schalter bedeuten?‘ Ich will ja niemandem etwas unterstellen, aber mit einer solchen Konsole im Hintergrund fühlt sich das Leben doch gleich viel besser und die Arbeit viel wichtiger an. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie lange es solche Konsolen noch geben kann? Man darf vermuten, dass bestimmte Bauteile irgendwann einfach nicht mehr verfügbar und Restaurationsbemühungen ein Ding der Unmöglichkeit sein werden. Nun sind diese Konsolen ja nicht zu Posing-Zwecken gebaut worden, sondern weil Hardware für unsere Hände nicht kleiner sein darf und man mit ihr wunderbare Aufnahmen und analoge Mischungen machen kann. Nicht umsonst erhalten wir aus dem Markt immer wieder Rückmeldungen, dass Mischpulten aus der Kreidezeit der Tonstudioteknik neues Leben durch umfangreiche Restaurationsarbeiten eingehaucht wurde: Harrison, Neve, MCI, SSL, Helios und selbst längst vergessene, aber dennoch extrem begehrte TG-Pulte aus einer Phase, als EMI noch selbst Mischpulte entwickelte, stehen in so mancher Regie ‚up to specs‘ wie aus dem Ei gepellt da. Wir werden diese Schätze irgendwann verlieren, unwiederbringlich. Dann wird das fehlende Fotomotiv noch das kleinste Problem sein. Wenn wir den Posing-Effekt noch etwas weiterspinnen – was findet man heute noch Imposantes in einer Tonregie? Ja, genau, mit 19-Zoll-Outboard vollgestopfte Racks, im Rücken des Arbeitsplatzes, der nur noch ein paar Bildschirme, kompakte Nahfeldmo-

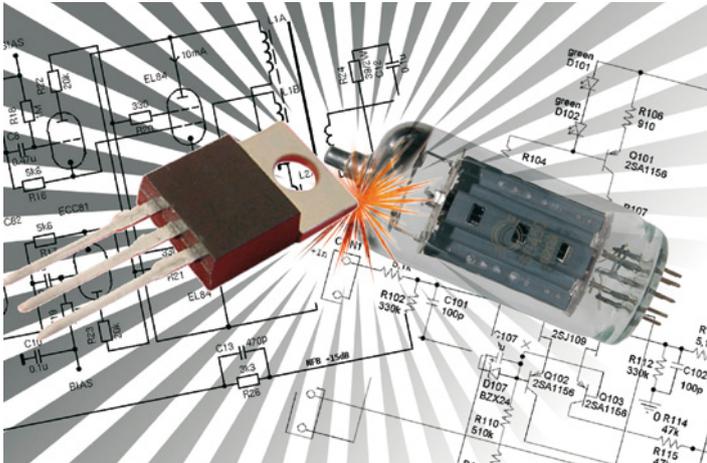
nitore, eine Tastatur und eine Maus zu bieten hat. Komplette abgeschrieben ist eine große Bedienoberfläche jedoch keinesfalls, da sie einem durchaus ernstem ergonomischen Hintergrund folgt. Avid S6 oder Yamaha Nuage, um zwei prominente Beispiele zu nennen, verkörpern den Gedanken, dass Mischarbeit doch irgendwie einer einstudierten Choreografie gleichkommt, die möglichst viel an einem erwarteten Platz auffindbar macht und möglichst viele Informationen auf einmal liefern kann, ohne dass man sie irgendwo aktiv abrufen müsste. Das ist keine Materialverschwendung, hat auch nichts mit Posing zu tun, sondern erfüllt unseren Wunsch nach einem unserer Anatomie entsprechenden Arbeitsumfeld. Ich weiß, man kann das alles auch ‚in the box‘ machen, ohne physikalisch vorhandene Regler, mit einem durch die Maus gesteuerten Cursor, der anatomisch betrachtet einem Finger an der rechten oder linken Hand entspricht. Unsere Fähigkeiten zur Anpassung, die wir damals brauchten, um von einem Ende eines Analogpultes bis zum anderen vier Meter Wegstrecke zurückzulegen und das auch noch gut zu finden, greift auch im umgekehrten Fall, alles mit wenigen Zentimetern Mausbewegung zu steuern, und dabei unser Konzentrationsvermögen zu strapazieren, ohne es wirklich zu bemerken.

Da unser Studio Magazin am Ende eines jeden Monats erscheint, ist diese Ausgabe die letzte, die Sie vor Weihnachten erhalten werden. Wir haben wieder ein turbulenten Jahr erlebt, das in seinem Verlauf einige erdrutschartige Nachrichten von Firmenübernahmen zu verbuchen hatte: Black Magic kaufte Fairlight, die Music Group kaufte die TC Group, Samsung kaufte Harman, um die prominentesten Beispiele zu nennen. Ich möchte mich im Namen des gesamten Studio-Magazin-Teams für Ihre Lesertreue bedanken. Wir werden unseren Weg weitergehen, trotz aller Widerstände, die sich hier und da aufgetan haben und weiterhin aufzutun werden. Ihnen allen ein schönes Weihnachtsfest, verbunden mit ein paar erholsamen Tagen!

**6 Die Kunst der Verstärkung - Teil 1**

**Hintergrundbetrachtung zur Verstärkertechnik**

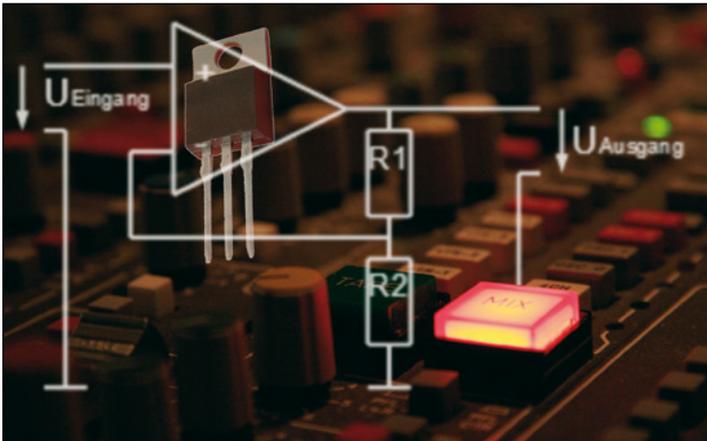
Friedemann Kootz



**18 Die Kunst der Verstärkung-Teil 2**

**Hintergrundbetrachtung zur Verstärkertechnik**

Friedemann Kootz



**26 Möge die Kraft mit Euch sein**

**Betrachtungen zur Energieversorgung  
tontechnischer Geräte - Teil 1**

Friedemann Kootz



**Jetzt Studio Magazin Abonnent werden!**

**Studio Presse Verlag GmbH**  
Geschäftsführer Fritz Fey

**Verlags- und Redaktionsanschrift**  
Beethovenstraße 163-165  
D-46145 Oberhausen  
Telefon (0208) 606064  
Fax (0208) 601631  
E-Mail: info@studio-magazin.de  
www.studio-magazin.de

**Herausgeber + Chefredakteur**  
Fritz Fey  
fritz@studio-magazin.de

**Redaktion**  
Friedemann Kootz

friedemann@studio-magazin.de  
Jürgen Wirtz  
juergen@studio-magazin.de  
Michael Kemkes  
michael@studio-magazin.de  
Marcus Döring  
marcus@studio-magazin.de

**Finanzen und Abonnenten**  
Ulrike Meurer  
uli@studio-magazin.de

**Anzeigenleitung und Druckunterlagen**  
Fritz Fey  
fritz@studio-magazin.de

**Layout/Titeldesign**  
Patrizia Casagrande  
patrizia@studio-magazin.de

**Bankverbindungen**  
Geno-Volks-Bank Essen e.G.  
Konto: 560 327 301, BLZ 360 604 88  
PostGiroamt Essen  
Konto: 6072-435

**Jahresabonnement Studio Magazin**  
Inland: 70,- Euro inkl. Versandkosten und MwSt.  
Ausland: 85,- Euro inkl. Versandkosten zzgl. MwSt.  
Kündigung: 6 Wochen vor Ablauf des Bezugszeitraumes schriftlich beim Verlag  
Der Abonnementspreis wird jährlich im voraus in Rechnung gestellt

Nachdruck oder Verwendung in elektronischen Medien, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlages. Für unverlangt eingesandte Fotos und Manuskripte wird keine Haftung übernommen. Namentlich gekennzeichnete Beiträge entsprechen nicht unbedingt der Meinung der Redaktion.

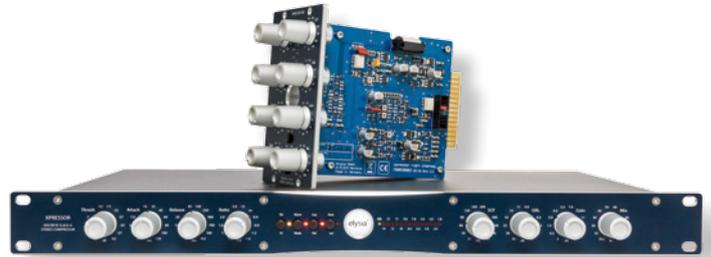
**Erfüllungsort und Gerichtsstand**  
ist Oberhausen  
Anzeigen haben keinen Einfluss auf redaktionelle Inhalte  
Copyright beim Verlag

**Produktion MedienConcept**

**32 Möge die Kraft mit euch sein**

**Betrachtungen zur Energieversorgung  
tontechnischer Geräte - Teil 2**

Friedemann Kootz



**38 Möge die Kraft mit euch sein**

**Betrachtungen zur Energieversorgung  
tontechnischer Geräte - Teil 3**

Friedemann Kootz



**48 Möge die Kraft mit euch sein**

**Betrachtungen zur Energieversorgung  
tontechnischer Geräte - Teil 4**

Friedemann Kootz

NETWORK. AUDIO. VIDEO. CONTROL.  
smart IP live production infrastructure.



**NEW!**



**mc<sup>2</sup>56xc**  
Xtra Control Console



**KICK 2.0**  
Automated microphone and mixing control  
for close-ball applications



**RELA**  
Radio in the Bag.



**LCU**  
Commentary 2.0  
- now also for OB truck  
applications

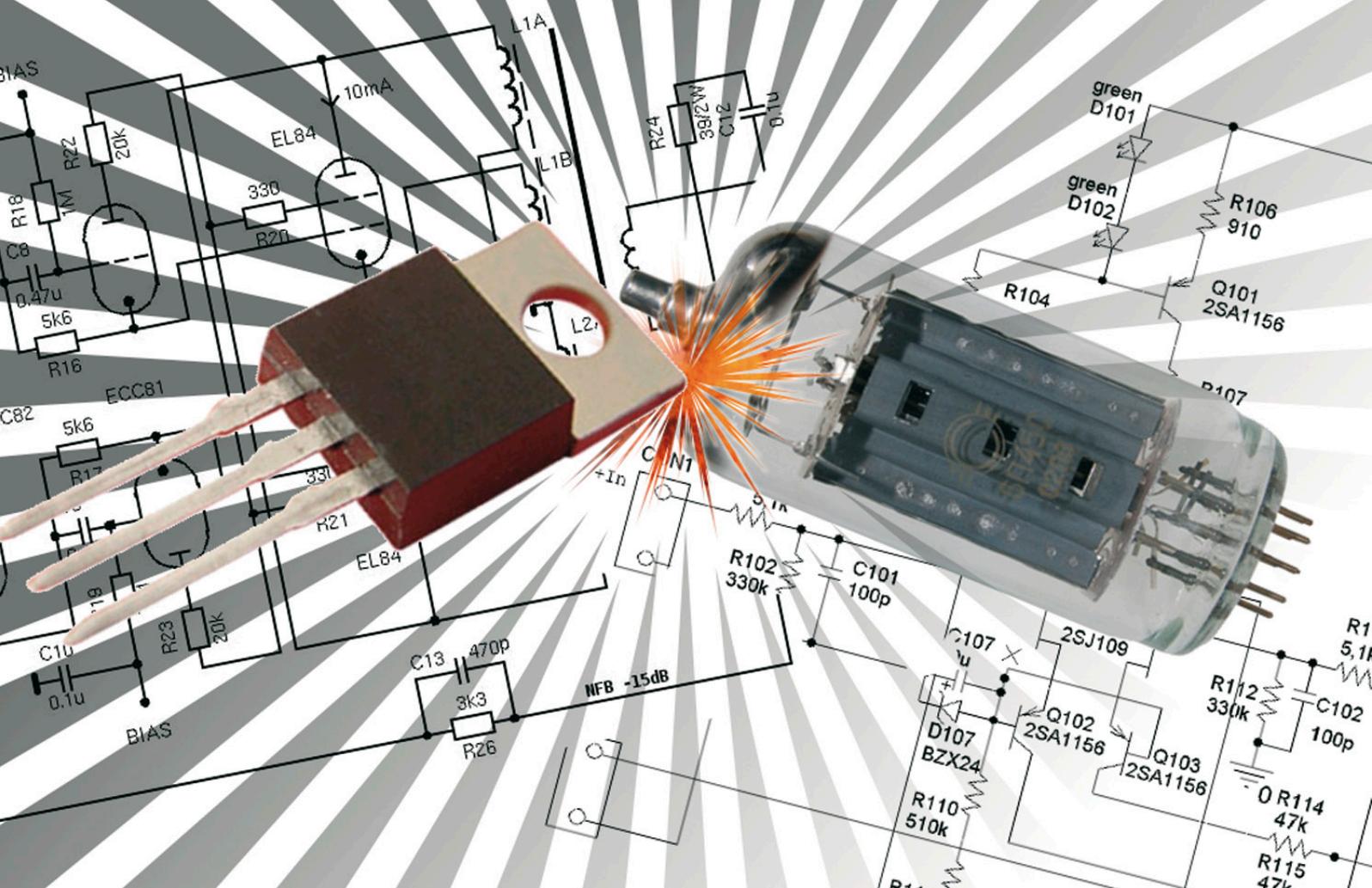
**WATCH THE VIDEO!**

Champs du Sound:  
Behind the scenes of  
Bastille Day 2016 in Paris



[www.lawo.com](http://www.lawo.com)





FRIEDEMANN KOOTZ ABBILDUNGEN: FRIEDEMANN KOOTZ, DIVERSE

# Die Kunst der Verstärkung - Teil 1

HINTERGRUNDBETRACHTUNG ZUR VERSTÄRKERTECHNIK

Von den nun inzwischen ausführlich besprochenen Filtern soll es in den nächsten Folgen weiter zu den Dynamikprozessoren gehen. Auf diesem Weg liegen die Verstärker, denn sie stellen die Grundlage jeder Dynamikregelung dar und sind natürlich auch entscheidend, wenn es darum geht, all die notwendigen Pegelanpassungen vom Mikrofon bis zum Lautsprecher vorzunehmen. Wie viele Komponenten in der Tontechnik haben auch Verstärker Eigenschaften, die kontroverse Diskussionen anregen, welche zum Teil mit hoher Emotionalität geführt werden. Manche Anwender kriegen bereits leuchtende Augen, wenn Sie die Bezeichnung ‚Class A‘ nur lesen. Auch Röhrenverstärker haben ihren besonderen Ruf und die Erwähnung von sogenannten Digitalverstärkern führt nicht selten zu Abwehrreaktionen. Aber wie kommt es eigentlich dazu und haben die verschiedenen Technologien wirklich ein pauschales Urteil verdient? Na kommen Sie, Sie ahnen doch schon, wie diese Frage in diesem Artikel beantwortet werden wird: Es kommt darauf an...

## Grundlagen zum Durchbeißen

Ein Verstärker ist eine elektronische Schaltung, die ein Signal in ihrem Pegel verändert. Zwar impliziert der Begriff Verstärker eine Vergrößerung des Signalpegels, dies muss jedoch nicht zwingend der Fall sein. Dennoch soll es bei den in dieser Ausgabe besprochenen Verstärkern tatsächlich um Pegel erhöhende Baugruppen gehen. Namentlich sind hier die Mikrofonvorverstärker und die Leistungsverstärker (Endstufen) zu nennen, die sich prinzipiell gar nicht so sehr unterscheiden, jedoch völlig unterschiedliche Leistungsbereiche abdecken. Mikrofonvorverstärker dienen der Verstärkung des sehr geringen Ausgangssignals eines Mikrofons, welcher im Bereich weniger Millivolt bis weniger Volt liegt. Wir betrachten ein fiktives Mikrofon mit einer Empfindlichkeit von 25 mV/Pa (das Mikrofon gibt also 25 mV Spannung ab, wenn ein Signal mit 94 dB, bezogen auf die definierte Hörschwelle von 20 µPa, anliegt), mit dem Gesang aufgezeichnet wird, der maximal 100 dB erreicht. Das Ausgangssignal soll mit einem Wandler digitalisiert werden, der seinen 0 dBFS Bezug bei +18 dBu hat. Die genannten 100 dB entsprechen also einer Ausgangsspannung von 50 mV (6 dB entsprechen einer Verdopplung). Die Bezugsspannung für 0 dBu liegt bei 775 mV, wodurch klar wird, dass +18 dBu einer Spannung von 6,2 V zuzuordnen sind. Das Mikrofonsignal muss also um den Faktor 124 ( $124 * 0,05 = 6,2$ ) verstärkt werden. Mikrofonverstärker sind Spannungsverstärker. Ihre Ausgangsleistung ist sehr gering und genügt nicht, um Lautsprecher zu betreiben. Am anderen Ende der Kette finden sich die sogenannten Leistungsverstärker oder auch Endstufen. Sie sind Stromverstärker und liefern an ihrem Ausgang sehr hohe Leistungen bis zu einigen Kilowatt. In diesem Bereich sollte die Gefahr eines elektrischen Schlags bitte nicht unterschätzt werden!

## Verstärkungselemente - Röhre

In Audioverstärkern gibt es zwei Bauteile, die zur Verstärkung herangezogen werden: Die Elektronenröhre und den Transistor. Letzterer kann in sehr verschiedenen Ausführungen vorliegen und auch in komplexere Bauteile, zum Beispiel Operationsverstärkern, integriert sein. Als Grundlage für das Verständnis von Verstärkern muss zunächst erklärt werden, was innerhalb dieser beiden Bauelemente eigentlich passiert. Auf die Röhre sei an dieser Stelle nur kurz eingegangen, da André Christ ihre Funktion im diesjährigen Analogsonderheft ab Seite 40 hervorragend erläutert hat. Innerhalb der Röhre bewegen sich Elektronen durch ein Vakuum von einer Kathode zu einer Anode. Die-



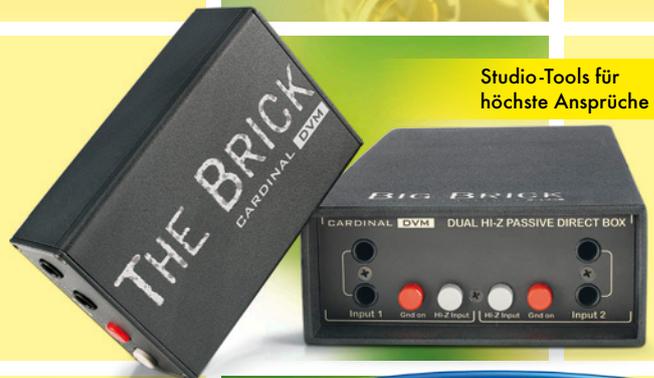
## Ohrenschmaus...

für professionelle Studioanwendungen

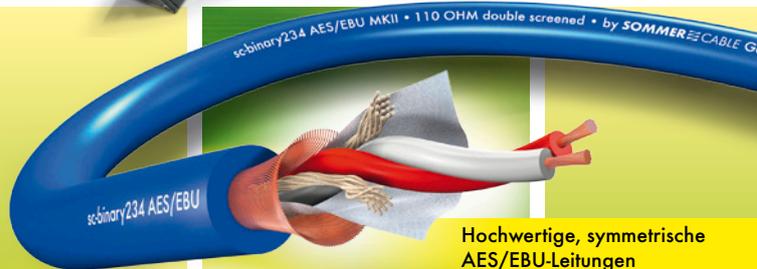
- Klangoptimierte Mikrofon- und Instrumentenkabel
- Mehrfach geschirmte High-End-Multipaarkabel
- Große Auswahl an SDI-/ HDTV-Videoleitungen
- Hartvergoldete Qualitäts-Steckverbinder von HICON und NEUTRIK
- Individuell konfigurierbare Verteilsysteme für Studioteknik
- Professioneller Support



Koaxkabel für 6G, 3G, MADI etc.



Studio-Tools für höchste Ansprüche



Hochwertige, symmetrische AES/EBU-Leitungen



Integrated Systems Europe

Amsterdam, NL  
7. - 10. Feb. 2017  
Stand 1-N117

**SOMMER CABLE**

GRATISKATALOG ANFORDERN!

SOMMER CABLE GmbH

Audio • Video • Broadcast • Medientechnik • HiFi  
info@sommercable.com • www.sommercable.com

ser Elektronenfluss entsteht, da die Kathode mit hohen Spannungen geheizt wird und eine thermische Emission die Elektronen in einer Art Wolke aus dem Kathodenmaterial austreten lässt. Legt man eine Spannung, die sogenannte Anodenspannung an, wandern die Elektronen zur negativ geladenen Anode und verursachen so einen Stromfluss, der als Anodenstrom bezeichnet wird. Diese einfachste Röhrenart wird als Röhrendiode bezeichnet und kann nicht als Verstärker arbeiten. Sie stellt aber einen Gleichrichter dar, da die Elektronen nur von Kathode zu Anode, nicht aber in die andere Richtung wandern können. Um eine Röhre zur Verstärkung zu nutzen, muss sie zur Triode erweitert werden, bei der der Elektronenfluss geregelt werden kann. Hierzu wird zwischen Kathode und Anode ein Gitter eingesetzt, durch welches die Elektronen im Normalfall ungehindert hindurch können. An das Gitter wird nun die zu verstärkende Wechselspannung angelegt. Durch die Polung und Stärke dieser Spannung

werden entweder mehr oder weniger Elektronen aus der Wolke angezogen zur Anode zu wandern. Ist das Gitter positiv geladen, steigt der Anodenstrom an. Bei negativer Ladung sinkt der Anodenstrom ab. Der Anodenstrom kann so in einem relativ weiten Bereich geregelt werden, besitzt aber zwei Grenzbereiche, in denen Nichtlinearitäten entstehen. Erstens: Der Elektronenstrom wird zu stark gebremst. Wird der Anodenstrom zu gering, kommt er an einen Punkt, an dem er relativ abrupt abreißt. Zweitens: Der Anodenstrom wird zu stark angeregt. Eine Kathode kann in einem Zeitabschnitt nur eine begrenzte Anzahl Elektronen freisetzen. Wird das Gitter sehr stark positiv geladen, so können eventuell nicht mehr genug Elektronen ‚nachgepumpt‘ werden und der Anstieg beginnt sich abzuflachen. Dieser Bereich stellt die sogenannte Sättigung dar. Im Extremfall steigt der Strom überhaupt nicht mehr an, obwohl die Gitterspannung immer positiver wird. Solch ein Effekt kann bei

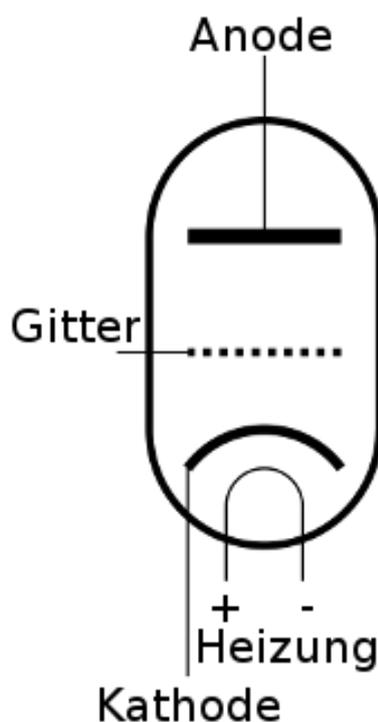
starken Röhren auch dadurch ausgelöst werden, dass das Netzteil nicht genug Anodenspannung zur Verfügung stellen kann. Wichtig ist, dass es sich bei den Angaben um die physikalische Stromrichtung handelt. Eine negative Ladung bedeutet also, dass mehr Elektronen als am Bezugspunkt vorhanden sind, eine positive Ladung entsprechend einen Elektronenmangel gegenüber dem Bezugspunkt. Die Röhre stellt einen Stromverstärker dar, aus dem mit Hilfe eines Parallelwiderstands eine Spannungsverstärkung gewonnen werden kann. Die Funktionalität einer Röhre kann mit zusätzlichen Gittern enorm erweitert werden.

## Verstärkungselemente - Transistor

In der Gruppe der Transistoren gibt es zwei unterschiedliche Bauformen, die für den Audibereich relevant sind: Feldeffekttransistoren (FET) und Bipolartransistoren (BJT). Innerhalb beider Gruppen gibt es eine sehr große Anzahl verschiedener Abwandlungen, auf die nicht genauer und einzeln eingegangen werden kann. Die Funktion eines Transistors soll am Beispiel eines Sperrschicht-Feldeffekttransistors (JFET) erläutert werden. Wer das Prinzip einer Elektronenröhre verinnerlicht hat, kann auch die Prinzipien eines Transistors leichter verstehen. Die vermeintlich so unterschiedlichen Geschwister haben in der Realität mehr gemeinsam, als man im Allgemeinen annimmt. Auch in einem Transistor regelt die zu verstärkende Spannung einen Stromfluss. Aber zunächst noch einen Schritt zurück. Ein Sperrschicht-Feldeffekttransistor besteht aus einem Halbleiterkristall, in den Fremdatome als Ladungsträger eingebracht wurden. Dieses Einbringen wird als Dotieren bezeichnet.



Abbildung 1: Die klassische Elektronenröhre in einer eingestaubten Variante



Schematische Darstellung einer Triodenröhre

# Apogee Element Series



Legendäre **Klangqualität**.  
Thunderbolt™ **Performance**.  
Einzigartige **Steuerung**.

## Element 24

2 analoge Eingänge + 4 analoge Ausgänge

## Element 46

4 analoge Eingänge + 6 analoge Ausgänge

## Element 88

8 analoge Eingänge + 8 analoge Ausgänge



Die neuen Element 24, 46 und 88 sind einzigartige Thunderbolt Audiointerfaces für den Mac und vereinen dabei die besten Eigenschaften einer Vielzahl anderer Apogee Produkte wie Symphony I/O Mk II, Ensemble Thunderbolt und Groove mit einem neuen, revolutionären Bedienkonzept.

Dank dem Fokus auf die elementaren Hardwaremerkmale stellt die neuartige Element Control Software-Steuerungsumgebung das Herzstück der Element Serie dar.

Alle Interfaces der Element Serie können untereinander frei kombiniert werden und stellen so ein einzigartiges, modular skalierbares und an die persönlichen Bedürfnisse adaptierbares Aufnahmesystem mit unvergleichlichen Klangeigenschaften und überragender Performance sowie exzellentem Preis/Leistungsverhältnis dar.



Designed in California  
Built in the U.S.A.  
Certified Green Business

Mehr Informationen zur  
Apogee Element Series  
hier: [www.apogeedigital.com](http://www.apogeedigital.com)

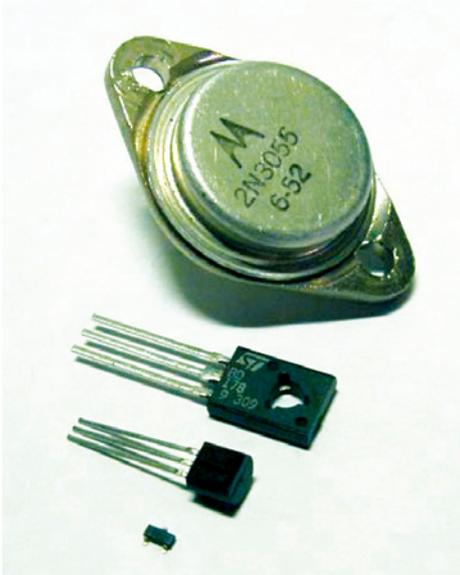


Abbildung 2: Transistoren in verschiedenen Leistungsklassen und Bauformen (Quelle Wikipedia)

net. In einem JFET wird der größte Teil des Halbleiters mit sogenannten Elektronen-Donatoren, als Atome die Elektronen abgeben können, dotiert. Dies wird n-Dotierung genannt und lässt den Halbleiter elektrisch leiten. Beide Enden des Halbleiters bekommen einen Anschluss, die als ‚Quelle‘ (Source - S) und als ‚Abfluss‘ (Drain - D) bezeichnet werden. Die Strecke zwischen S und D wird n-Kanal genannt. In ihm kann ein Strom fließen. In zwei gegenüber liegende Wände des ansonsten n-dotierten Halbleiters wird je ein Bereich eingebracht, der mit positiven Ladungsträgern versetzt wurde. Diese als p-dotiert bezeichneten Bereiche können Elektronen aufnehmen. Die beiden Zonen sind nicht mechanisch voneinander isoliert. An der Grenze zwischen der p- und der n-Zone beginnen die unterschiedlichen Ladungsträger in das jeweils andere Gebiet zu diffundieren. Dieser Ladungstransport erzeugt ein elektrisches Feld, welches dem Ladungstransport selbst entgegen wirkt. Durch dieses Gleichgewicht entsteht zwischen den beiden Bereichen eine sogenannte Raumladungszone, in der

sich positive und negative Ladungsträger gegenüber stehen und dadurch nach außen neutral erscheinen. Diese Raumladungszone (RLZ) stellt eine Sperrschicht dar, die keinen Ladungstransport erlaubt. Die Größe der RLZ wird unter anderem durch die Temperatur beeinflusst, kann aber vor allem durch das Anlegen einer Spannung zwischen n und p gesteuert werden. Steigt die Spannung, so wird die Sperrschicht vergrößert, sinkt sie ab, schrumpft die Sperrschicht zusammen. Zu diesem Zweck werden Anschlüsse an die p-Zonen montiert, die als ‚Tor‘ (Gate - G) bezeichnet werden, genauer aber die Torsteuerung darstellen. Die Steuerspannung wird also zwischen S und G angelegt und regelt die Ausdehnung des Sperrbereichs innerhalb des Halbleiters. Je größer der Sperrbereich, desto weniger Strom kann von S zu D fließen. Berühren sich die gegenüberliegenden Sperrbereiche, so ist der Stromfluss nahezu vollständig abgeregelt. Abbildung 3 zeigt einen JFET in

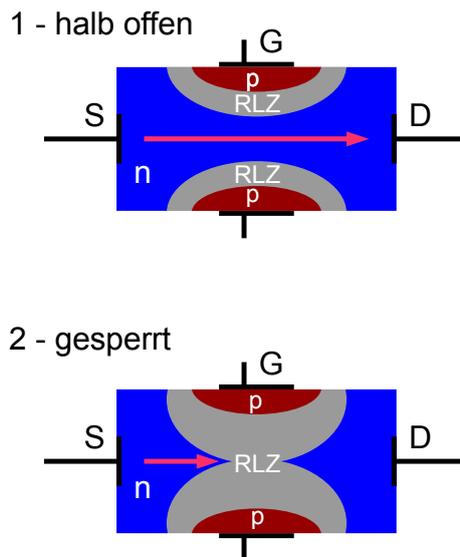


Abbildung 3: Ein JFE-Transistor in zwei Spannungszuständen. Die Stärke der Einschnürung regelt den Stromfluss (roter Pfeil). Er wird bei durchgehender Ausdehnung der RLZ (fast) vollständig gesperrt. Bitte beachten Sie, dass die beiden p-Schichten einen hier nicht gezeigten, gemeinsamen Gate-Anschluss haben.

zwei Spannungszuständen. Nach diesem grundsätzlichen Prinzip arbeiten alle Transistorbauformen, wobei es sehr unterschiedliche Anordnungen der n- und p-Schichten geben kann. Die Anschlüsse für Source, Drain und Gate werden bei Bipolartransistoren als Emitter (E), Kollektor (C) und Basis (B) bezeichnet.

Soweit soll dies als Grundlage genügen. Interessant ist, dass die auf beiden Bauelementen basierenden Verstärker ebenfalls viele Gemeinsamkeiten aufweisen. Transistor und Röhre könnten theoretisch ganz allein als Verstärker arbeiten. In der Praxis funktioniert dies natürlich nicht, da eine riesige Anzahl Störgrößen auf das Signal einwirken und das Ergebnis vollkommen unbrauchbar gestalten würden. Die Ansteuerung des jeweiligen Verstärkerelementes kann dabei auf verschiedene Arten geschehen, die mit Betriebs-Klassen bezeichnet werden. Analoge Audioverstärker können in den Klassen A, B, AB, sowie G und H gebaut werden. Die Klasseneinteilung erfolgt anhand der Verschiebung des Arbeitspunktes. Auf Klasse D-Verstärker wird später gesondert eingegangen. Die Klassen C, E und F werden für Anwendungen außerhalb des Audiobereichs genutzt.

## Klasse A-Betrieb

Das berühmte ‚Class A‘. Viele Lobeshymnen wurden gesungen und ältere Geräte in Class A-Technik umgibt bisweilen der Dunst der Perfektion. Dabei stellt der Class A-Betrieb eigentlich die unterste Stufe der Verstärkerevolution dar. Er wird zum Beispiel bei Eintaktverstärkerstufen genutzt, bei denen nur ein Verstärkerelement die komplette Wechselspannung verstärkt. Abbildung 4 zeigt die stark vereinfachte Darstellung einer Eintaktverstärkerstu-

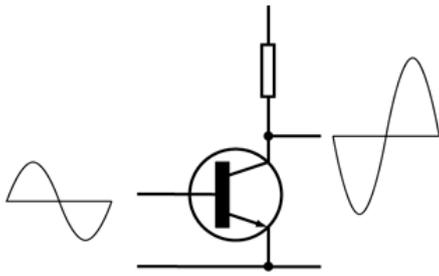


Abbildung 4: Die stark vereinfachte Darstellung einer Eintaktverstärkerstufe (Quelle Wikipedia)

fe. Wie bereits erwähnt, besitzen sowohl Röhren, als auch Transistoren eine Kennlinie, an deren Randbereichen stärkere Nichtlinearitäten auftreten, die das Nutzsignal verzerren können. Es ist daher sinnvoll, diese Randbereiche gar nicht erst für die Verstärkung zu nutzen. Die einfachste Methode dies zu realisieren liegt darin, den Arbeitsruhepunkt der Wechselspan-

nung mit einer permanenten Gleichspannung anzuheben und in die Mitte des linearsten Abschnittes (eine vollständige Linearität ist faktisch in keinem Bereich wirklich gegeben) der Kennlinie zu verschieben. Das bedeutet, dass die positive und negative Halbwelle der Wechselspannung komplett in den positiven Bereich verschoben werden und in beiden Richtungen in den Bereichen ober- und unterhalb des Arbeitspunktes schwingen. Für diese Verschiebung, muss ständig ein Strom durch die Schaltung fließen, auf den die zu verstärkende Wechselspannung aufmoduliert wird. Aus diesem Grund gelten Verstärker im Klasse A-Betrieb als „Stromfresser“ und werden sehr warm. Sie verbrauchen permanent mehr als 60 bis 70 Prozent ihrer Maximalleistung, auch wenn die Ausgangsleistung gleich Null ist. Am Ausgang des Verstärkers muss gege-

benenfalls die Gleichspannung, zum Beispiel über einen Koppelkondensator, abgetrennt werden, damit die Wechselspannung wieder in den positiven und negativen Bereich schwingen kann und der angeschlossene Abnehmer nicht mit Gleichspannung belastet wird. Die Nachteile dieser Betriebsart liegen also in der geringen Effektivität, die sich im Bereich von 30 Prozent bewegt, auch wenn ihr theoretisches Maximum 50 Prozent betragen könnte. Sie werden daher heute aus gutem Grund nur noch in Einzelfällen als Leistungsverstärker genutzt. In Kleinleistungsverstärkerstufen ist ihre Verwendung deutlich weniger kritisch und so werden sie zum Beispiel in Kopfhörerverstärkern und Mikrofonvorverstärkern bis heute eingesetzt. Durch die fehlenden Übernahmeverzerrungen wird ihnen eine besondere klangliche Stärke nachgesagt (siehe



MAY 22 2016

RUPERT NEVE DESIGNS

# Shelford Channel

VINTAGE-SCHALTUNGEN IM MODERNEN GEWAND

- Channelstrip mit dem Besten aus Rupert Neves genialer Entwickler-Feder
- Großartiger PreAmp mit Übertrager-Verstärkung im 1073-Stil
- „Best of the Classics“-Inductor-EQ mit Highlights aus 1064 und 1073
- Vielseitiger Diodenbrücken-Kompressor nach 2254-Art
- Dual-Tap Übertrager-Ausgangsstufe mit variabler Silk-Funktion
- **Der brandneue Shelford Channel: Unschlagbare Möglichkeiten, attraktiver Preis!**



distributed by  
**MEGA AUDIO**  
[www.megaaudio.de](http://www.megaaudio.de)

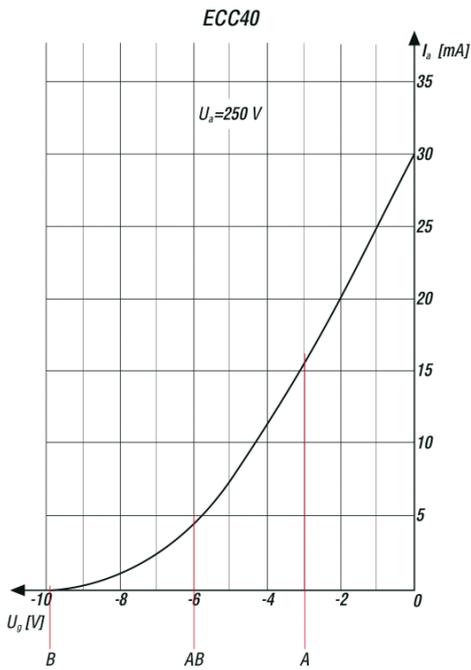


Abbildung 5: Die Kennlinie einer Röhre mit den Arbeitspunkten für A, B und AB Betrieb. Bitte beachten Sie, dass die Darstellung den Sättigungsbereich der Röhre nicht darstellt (Quelle Wikipedia)

Gegentaktverstärkerstufen). In einem Röhrenverstärker gibt es zwei Unterarten der Klasse A-Technik: Das Gitter wird bei Röhren mit einer negativen Spannung betrieben und bremst den Elektronenstrom stets aus. Die maximale Verstärkung wird durch den Anodenstrom bei abgeschalteter Gitterspannung bestimmt. Diese Betriebsart bekommt die Unterbezeichnung Klasse A1. Alternativ ist es möglich, die Gitterspannung bei Signalspitzen leicht in den positiven Bereich schwingen zu lassen, wodurch die Röhre für einen kurzen Moment mehr Leistung ausgeben kann, da der Elektronenstrom an-

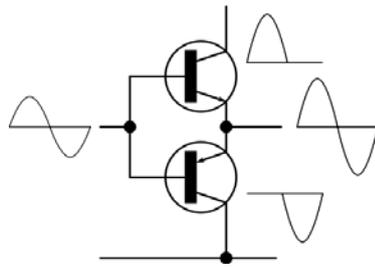


Abbildung 6: Die stark vereinfachte Darstellung einer Gegentaktverstärkerstufe mit idealisiertem Ausgangssignal (Quelle Wikipedia)

geregt wird. Diese Betriebsart wird mit der Unterbezeichnung Klasse A2 bezeichnet. Sie hat den Nachteil, dass die Röhre in ihren Sättigungsbereich gerät und bei langen Signalspitzen nicht mehr genug Elektronen bereitgestellt werden können, was zu Verzerrungen führt.

## Gegentaktverstärkerstufen

Nutzt man statt eines einzelnen Verstärkerelementes gleich mehrere, so kann eine sogenannte Gegentaktstufe aufgebaut werden. Das Prinzip dahinter ist recht einfach und kann sowohl für Röhren als auch Transistoren übernommen werden. In der Verstärkerstufe arbeiten zwei Verstärkerelemente in umgekehrter Polung, wobei je eines die positive und negative Halbwelle des Signals verstärkt. Der Vorteil besteht also darin, dass die volle Verstärkerleistung für eine Halbwell-

le genutzt wird und die Schaltung somit eine theoretisch doppelt so große Ausgangsleistung wie eine Eintaktverstärkerstufe aufweist. Gegentaktstufen können in den Betriebsklassen B und AB arbeiten. Die Klasse B-Verstärkung funktioniert ohne die Verschiebung des Arbeitspunktes. Wie wir bereits wissen, weist der untere Teil einer Verstärkerkennlinie einen Bereich auf, in dem die Verstärkung nicht mehr linear ist, sondern mehr oder weniger stark abbricht. Kleine Spannungen werden also stark verzerrt. Da eine Wechselspannung permanent den Nullpunkt durchquert, wird dieser untere Grenzbereich in jeder Wellenperiode durchlaufen und das für jede Halbwelle zweimal. Durch die Aufteilung der Welle in zwei Halbwellen entstehen Verzerrungen bei jedem Nulldurchgang, abwechselnd in beiden Verstärkerelementen und immer im Bereich um den Nullpunkt, also dem Übergabepunkt zwischen beiden Bauelementen. Deshalb werden diese Verzerrungen auch Übernahmeverzerrungen genannt. Sie haben einen sehr starken Einfluss auf die Signalqualität, weshalb im Audibereich faktisch keine Schaltungen im B-Betrieb genutzt werden. Um diesem Problem aus dem Weg zu gehen, muss der Arbeitspunkt der beiden Stufen wieder in den linearen Bereich verschoben werden. Allerdings braucht diese Verschiebung natürlich nicht bis zur Mitte des quasi-linearen Bereichs erfolgen, sondern nur etwas oberhalb der stärksten

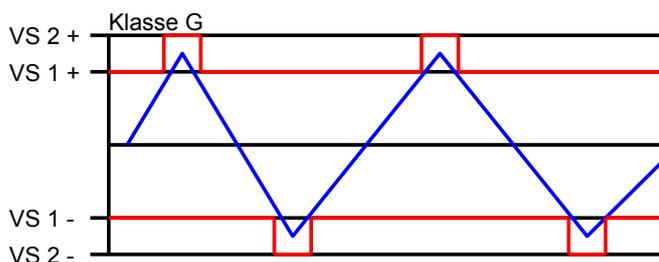


Abbildung 7: Bei Klasse G wird die Versorgungsspannung bei erhöhtem Bedarf auf ein höheres Niveau geschaltet

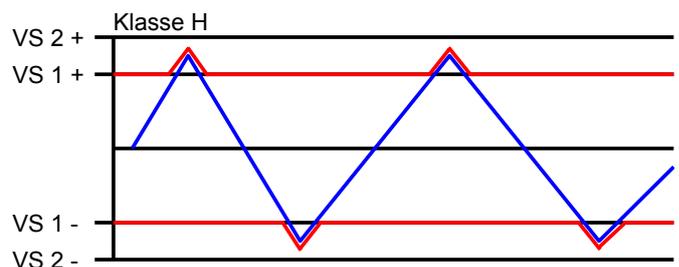


Abbildung 8: Bei Klasse H wird die Versorgungsspannung oberhalb der benötigten Spannung nachgeführt

Nichtlinearitäten liegen. Dieser Punkt befindet sich auf der Kennlinie in etwa auf der Hälfte zwischen linearem Mittelpunkt (A-Punkt) und dem Ausschaltpunkt (B-Punkt). Er wird als AB-Punkt bezeichnet. Abbildung 6 zeigt eine idealisierte Gegentaktstufe. Werden die beiden Gegentaktstufen gegeneinander betrieben, so muss der Ausgang nicht mit einem Koppelkondensator getrennt werden, da die Spannung bei gleichem Ruhestrom zwischen beiden Stufen 0 Volt beträgt. Dies setzt jedoch den sehr genauen Abgleich der beiden Verstärkerelemente voraus und kann bei Fehlern an einer der beiden Stufen zu einem Gleichstromfluss am Ausgang führen, durch den nachfolgende Geräte beschädigt oder sogar zerstört werden können. Wurde die Schaltung in Röhrentechnik realisiert, wird der Ausgang meistens mit einem Übertrager abgetrennt, da sonst die praktischen Lastimpedanzen am Lautsprecher nicht effektiv nutzbar wären. Dieser Übertrager schützt nachfolgende Schaltungen auch im Falle eines Defektes vor gefährlichen Gleichströmen. Röhrengegentaktstufen können ebenfalls in zwei Untergruppen AB<sub>1</sub> und AB<sub>2</sub> arbeiten, die den Untergruppen der Klasse A ähneln. Die Vorteile der Betriebsklasse AB liegen in einer deutlich höheren Effektivität bei relativ geringen Übernahmeverzerrungen, die in modernen Verstärker-

designs noch weiter kompensiert werden können. Durch den geringen Ruhestrom werden sie nicht sehr heiß. Bei kleinen Leistungen beginnen manche AB-Stufen in einer Art Pseudo-A-Betrieb zu arbeiten. Aus diesem Grund sind die Qualitätsunterschiede bei geringen Leistungen viel geringer und es fällt schwerer, einen Unterschied zwischen einer Klasse A-Stufe und einer Klasse AB-Stufe, zum Beispiel mit einem Kopfhörer, herauszuhören. Der Schaltungsaufwand für Gegentaktstufen ist natürlich deutlich höher. Dennoch stellen Sie den Standard im Leistungsbereich dar. Dies liegt vor allem daran, dass Klasse A-Endstufen enorm große Kühlkörper benötigen und ab einem bestimmten Punkt nicht mehr ausreichend passiv gekühlt werden können. Vom Stromverbrauch abgesehen ist der Materialaufwand für eine Klasse A-Stufe daher nicht mehr so gering, wie man es zunächst annehmen würde.

## Weitere Schaltungskonzepte

Um die Effektivität von analogen Verstärkern weiter zu steigern, muss direkt in die Arbeit der Stromversorgung eingegriffen werden. Alle bisher beschriebenen Betriebsklassen werden mit einer (symmetrischen oder unsymmetrischen)

## BREAKOUT!

Die Cordial-DSUB-Breakout-Kabel bieten massenhaft Anschluss in vielen Varianten. Ob XLR-male-female oder DSUB, analog oder digital.



**CORDIAL**  
we are cable



einzelnen Audiospannung betrieben. Diese liegt im ein- bis zweistelligen Voltbereich. Erreicht die Verstärkung ihr Maximum, kann eine weitere Erhöhung der Leistung nur durch eine Steigerung des Stroms erreicht werden, was nur in gewissen Grenzen möglich ist. Also sollte die Versorgungsspannung relativ hoch sein, was wiederum zu einem hohen Ruhestrom führt. Wir befinden uns also in einer Art Teufelskreis der Verlustleistung, aus dem mit einer statischen Spannungsversorgung nicht ausgebrochen werden kann. Dieses Problem wird mit den Betriebsklassen G und H adressiert. Vom Netzteil werden mehrere Spannungen bereit gestellt, von denen bei geringer Beanspruchung nur die kleinste zur Versorgung genutzt wird. Die anderen Spannungen befinden sich im Leerlauf. Treten Signalspitzen auf, schaltet der Verstärker für kurze Zeit auf ein höheres Spannungsniveau und kann dadurch die benötigte Betriebsspannung beziehen. Der Unterschied zwischen den beiden Klassen G und H liegt in der Realisierung der Nachführung der Betriebsspannung. Der Verstärker schaltet bei Klasse G im Bedarfsfall auf ein höheres Spannungsniveau um, welches so lange beibehalten wird, bis die Leistungsspitze durchlaufen wurde (Abbildung 7). Für die Dauer der Belastung bleibt das Spannungsniveau konstant und die Verstärkerstufe verbraucht mehr Strom. Es kann vorkommen, dass der Verstärker im Umschaltmoment für einen Sekundenbruchteil nicht die Spannung erhält, die er für eine weitere Erhöhung benötigt. Dadurch kann es zu Nichtlinearitäten kommen. Wurde der Umschaltmoment überschritten, stellt das Gerät wieder genug Headroom zur Verfügung. Diese Umschaltung der Spannungsversorgung kann in mehreren Stufen vollzogen werden. Im Unterschied dazu wird die Spannung in einem nach Klasse H arbeitenden Verstär-

ker bei Überschreitung des Spannungsniveaus permanent nachgeführt (Abbildung 8). Die Spannungsversorgung wird dadurch aufwändiger. Das Spannungsniveau bewegt sich immer in einem kleinen Sicherheitsabstand oberhalb der benötigten Betriebsspannung der Verstärkerstufen. Diese Technik ist wirtschaftlich am besten mit Schaltnetzteilen zu realisieren. Durch die permanente Nachführung der Spannung werden relativ hohe Anforderungen an die Netzteile gestellt, um Verzerrungen wirksam zu vermeiden. Beide Klassen arbeiten sehr effektiv. Die Betriebsklasse G stellt eine Alternative für gehobene Klangansprüche bei hohem Wirkungsgrad dar, während Klasse H zum Beispiel für batteriebetriebene Mobilgeräte (Autoradioendstufe) noch geeigneter ist.

## „Digitalverstärker“

Die Grundlage eines Digitalverstärkers im Audibereich stellt die sogenannte Pulsweitenmodulation dar. Obwohl die Bezeichnung „Digitalverstärker“ eigentlich nicht korrekt ist, da das Modul durchaus vollständig analog aufgebaut sein kann, erscheint sie insofern sinnvoll, als dass das Prinzip dem einer echten Digitalschaltung stark ähnelt. Die Transistoren werden im D-Betrieb immer nur zwischen den Zuständen ‚aus‘ und ‚voll offen‘ umgeschaltet. Dies entspricht den Zuständen 0 und 1 einer binären Digitalschaltung. In einem analogen Verstärker wird die Ausgangsleistung dadurch gesteuert, dass eine Art elektrisches Ventil einen größeren Stromfluss bremst. Dies funktioniert sowohl mit Gleich- als auch mit Wechselspannungen. Ist das Ventil offen, fließt viel Strom, ist es geschlossen, fließt wenig oder kein Strom mehr. Zwischen diesen beiden Grenzen gibt es eine unendliche Anzahl Zwischenstufen. Bei dieser Art der Regelung sind die effektive und tatsächliche Spannung gleich. Bei einem Digitalverstärker ist diese Bedingung nicht mehr gegeben. Die Spannung wird hier mit einer sehr hohen Frequenz in kleine Abschnitte zerlegt. Die so entstehende Rechteckwelle sehr hoher Frequenz (Frequenzen über 100 kHz) besitzt eine effektive Maximalspannung, die die Obergrenze der Verstärkung darstellt. Diese liegt zwar etwas unterhalb der Plateaus der Rechteckwelle, arbeitet jedoch sehr effektiv und kann im Bereich von wenigen Prozent unterhalb des theoretischen Maximums liegen. Digitalverstärker können so einen Gesamtwirkungsgrad von über 70 bis 80 Prozent erreichen. Die Regelung erfolgt immer nach ‚unten‘. Das heißt, die effektive Spannung kann nur reduziert werden. Dies geschieht durch Modulation der Pulsweite (PWM) der Rechteckwelle. Je schmäler die Impulse des Rechtecks werden, desto weniger

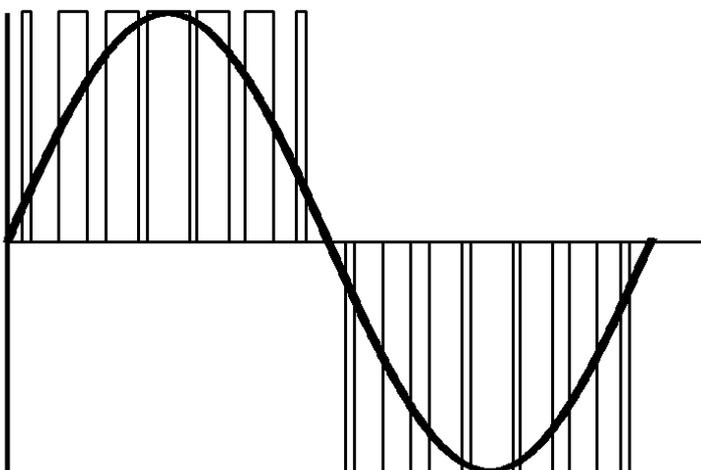
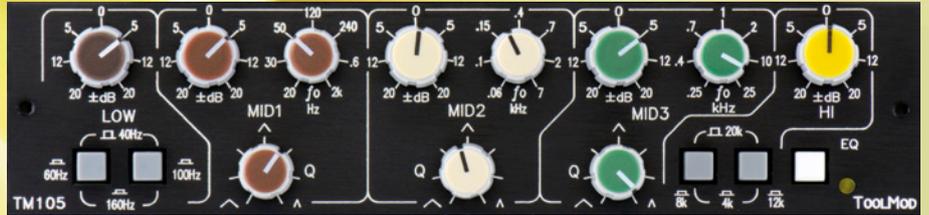


Abbildung 9: Die aus einer Pulsweitenmodulation resultierende effektive Spannung (Quelle Wikipedia)



**Transparent und warm** TM101 Mikrofonverstärker mit Übertrager, zusätzlichem Line-Eingang, Höhen- und Tiefensperre mit 24 dB/Okt



**Universell** TM105 5-Band EQ, Technologie aus unseren großen Produktionsmischpulten



**Nicht nur für Vocals** TM109 Voice-EQ mono, vier Bänder, regelbare Tiefensperre, umschaltbare Flankensteilheit im Shelving-Betrieb, zuschaltbarer Übertrager, High-Roll-Off und umschaltbarer Slew Rate



**Laut und sauber** TM112b VCA Compressor, Parallel-Kompression, Crest-Umschaltung, Envelope-Regelung für problemlose Bass-Kompression



**Vintage-Style** TM114 FET-Compressor, symmetrisch aufgebaute Regelung und Side-Chain-Processing



**„LA'-Touch** TM111 Opto Compressor mit Niveaufilter und Parallelkompression



**Schnell und unhörbar** TM115b Limiter, Dynamic Release und LF-Attack



**Gegen null** TM116 Noise-Gate, extrem schnell, integrierte Filter, umfangreicher Parameter-Eingriff



**Dynamik mit Extras**

TM119 Voice-Compressor, ausgeklügelte Extra-Funktionen mit separat aufgebautem Limiter

# ToolMod – Das analoge Audio-Plug-In-System

Beliebig kombinierbar in verschiedenen Rahmengrößen für Aufnahme und Mischung in horizontaler oder vertikaler Anordnung mit +30 dB Headroom und 120 dB Dynamik

**adt-audio**



Abbildung 10: Die Adam SX-Serie gehört zu den Lautsprechern mit gemischten PWM- und AB-Verstärkern

Strom wird übertragen. Abbildung 9 zeigt den resultierenden Spannungsverlauf einer PWM. Diese Pulsweitenmodulation kann auch für andere Anwendungen genutzt werden. Sie kennen sicher das Phänomen flimmernder LEDs auf Keyboards und anderen technischen Geräten in Internetvideos. Die Helligkeit der LEDs wird ebenfalls mit einer PWM-Schaltung gesteuert. Da LEDs sehr schnell reagieren, flimmern sie tatsächlich, was das Auge auf Grund seiner Trägheit in der Realität aber nicht wahrnimmt. Da Videos mit einer nicht zur Schaltfrequenz synchronen und relativ geringen Bildfolge aufgezeichnet werden, wird die LED mal im ein- und mal im ausgeschalteten Zustand fotografiert und das Flimmern wird deutlich sichtbar. Bei schlecht realisierten und mit langsamen Schaltfrequenzen ausgeführten PWM-Schaltungen ist dieses Flimmern auch mit bloßem Auge erkennbar. Wer auf dem Weihnachtsmarkt schnell den Kopf bewegt wird merken, dass viele der aufgehängten LED-Lichterketten ebenfalls durch Flimmern auffallen. Zurück zum

Klasse D-Betrieb eines Audioverstärkers. Die Effektivspannung am Ausgang der Schaltung entspricht proportional dem Eingangssignal der Pulsweitenmodulation, ist jedoch mit der hohen Schaltfrequenz überlagert. Aus diesem Grund muss dem Ausgang ein Tiefpassfilter nachgeschaltet werden, welches die unerwünschten Frequenzen entfernt. Das eigentliche Problem stellen jedoch nicht die hochfrequenten Störanteile selbst, sondern ihre Intermodulationsprodukte dar. Diese können nicht alle mit Filtern entfernt werden, da sie zum Teil bis ins Audioband hineinreichen. Es müssen also andere Lösungen gefunden werden, um die Entstehung von Intermodulationsverzerrungen direkt zu verringern. Mit steigender Audiofrequenz wird es schwieriger hohe Leistungen zu erzeugen. Hierfür müsste die Schaltfrequenz drastisch erhöht werden, was sehr schnelle Bauteile erfordert. Da diese jedoch zurzeit noch aufwändig und teuer sind, haben sich einige Hersteller von aktiven Studiomonitoren dazu entschieden, gemischte Verstärker zu verwenden (Abbildung 10). Für den Hochtonbereich kommen leistungsfähige AB-Endstufen zum Einsatz. Für den Bassbereich kann jedoch eine sehr effektiv arbeitende Digitalendstufe verwendet werden. Die Schaltfrequenz muss hier nicht übertrieben hoch sein, was die Unterdrückung von Intermodulationen deutlich erleichtert. Auch der Einsatz eines Glättungsfilters am Ausgang spielt hier keine negative Rolle, da das Nutzsignal sowieso durch eine Frequenzweiche im Hochtonbereich abgetrennt wurde. Obwohl Digitalverstärker in den ersten Jahren ihrer allgemeinen Verbreitung keinen besonders guten Ruf genossen haben, wird ihr Einsatz mit der Zeit immer stärker akzeptiert. Zumindest im Bassbereich konnte durch Hörvergleiche und

Messungen nachgewiesen werden, dass ein Unterschied zu einer analogen Endstufe bei guten Designs nicht mehr wahrgenommen werden kann. Gerade Subwoofer benötigen sehr viel Leistung, die mit Endstufen in Klasse D-Betrieb extrem effizient und vor allem auch mit geringem Platz- und Kühlaufwand bereitgestellt werden kann.

## Temperaturdrift und Gegenkopplung

Verstärkerelemente sind weder linear, noch besonders stabil. Vor allem Transistoren sind sehr empfindlich gegen Hitze und verschieben ihren Arbeitspunkt mit zunehmender Erwärmung. Vor allem Verstärker in Gentakttechnik bekommen große Probleme durch die Temperaturveränderung im Laufe des Betriebs, da die Hitze unterschiedlich auf die symmetrisch angeordneten Bauteile einwirkt. Die Hersteller von Operationsverstärkern versuchen daher, die Gesamtschaltung um die Ausgangsstufe gleichmäßig zu erwärmen, indem sich die unterschiedlichen Komponenten gegenseitig heizen und so eine ausgeglichene Gesamttemperatur über die komplette Schaltung herrscht. Dies hilft die Verschiebungen weitgehend zu kompensieren. Andere Nichtlinearisierungen können mit einer Gegenkopplung ausgeglichen werden. Hierbei wird das Ausgangssignal des Verstärkerelementes über einen Rückkoppler (zum Beispiel ein Widerstandsteiler) erneut auf seinen Eingang geführt und zwar so, dass es dem Eingangssignal entgegenwirkt. Dies führt zu einer Reduzierung der maximalen Verstärkung. Die Verstärkung eines Transistors und einer Röhre ist für sich gesehen nicht frequenzlinear. Bei niedrigen Frequenzen steigt die Verstärkung an, oder umge-

kehrt, bei hohen Frequenzen zeigt der Verstärker das Verhalten eines Tiefpassfilters. Die Gegenkopplung ist ebenfalls frequenzabhängig und wirkt dem Filterverhalten entgegen. Das bedeutet, dass der Frequenzgang des Verstärkers auf Kosten der Spannungsverstärkung idealisiert wird. Eine gute Sache also, die jedoch sehr genau geplant sein muss, da sie sich sonst negativ auf die Qualität auswirken kann. Die Gegenkopplung muss mindestens genauso schnell wie die Ausgangsstufen sein, damit es nicht zu Phasenverschiebungen kommen kann, die die Gegenkopplung zur Mitkopplung verschieben und bis zur Selbstoszillation der Verstärkerschaltung führen können. In manchen Anwendungsfällen ist es daher sinnvoll, die Gegenkopplung auf ein Minimum zu reduzieren. Dies ist zum Beispiel bei einigen Röhrenschaftungsarten sinnvoll. Puristen

lehnen die Gegenkopplung manchmal generell ab, was allerdings wieder eine unsinnige Verallgemeinerung schlechter Erfahrungen darstellt und oft auch gar nicht stimmt. In der Praxis gibt es nämlich nur sehr wenige Schaltungsdesigns, die wirklich ganz ohne Gegenkopplung auskommen.

## Schlussbetrachtung

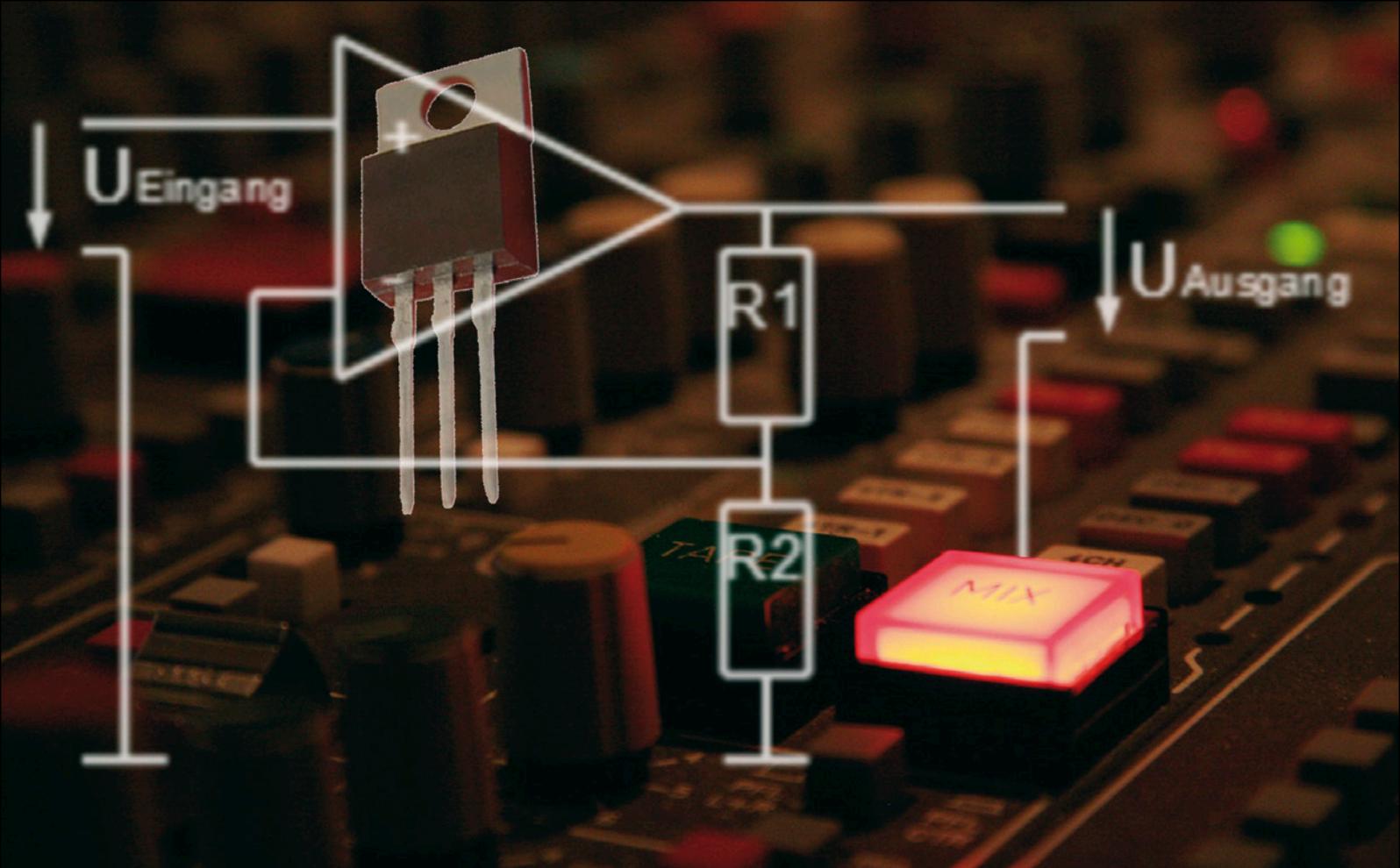
Wenn Sie dies hier lesen, dann haben Sie es geschafft, sich durch die trockene Welt der elektrotechnischen Grundlagen von Verstärkerschaltungen durchzuarbeiten. Das alles ist natürlich nur ein sehr grober Überblick und nützt an dieser Stelle nur dem etwas, der sich für die Diskussion über Klangqualität von Verstärkern mit den technischen Grundlagen wappnen möchte. Wie so oft stellt sich heraus, dass es keine technische Lösung

gibt, die in jeder Hinsicht perfekte Ergebnisse liefert. Alle Ideen haben immer auch eine Schattenseite, die so weit wie möglich kompensiert werden oder zumindest erst in ihrer Relevanz bewertet werden muss. Das Propagieren von Betriebsklassen nützt einem aufgeklärten Anwender genauso wenig wie die Festlegung eines Gerätes auf eine bestimmte Musikrichtung... Es kommt wie immer darauf an, wie gut die Entwickler mit den bestehenden Problemen umgehen konnten. Hier trennt sich die Spreu vom Weizen. Für den praktischen Versuch empfehlen wir dringend auch die Grenzbereiche der Leistung zu testen. Hören Sie sehr leise und hören Sie so laut, wie Sie es in der Praxis maximal tun würden, um die Stärken und Schwächen einer Endstufe kennenzulernen. Und bitte - bleiben Sie kritisch und verlassen Sie sich auf ihre Ohren!



**ANALOG  
FOR  
NOW PEOPLE**





FRIEDEMANN KOOTZ ABBILDUNGEN: FRIEDEMANN KOOTZ, DIVERSE

# Die Kunst der Verstärkung - Teil 2

HINTERGRUNDBETRACHTUNG ZUR VERSTÄRKERTECHNIK

Willkommen zurück beim Hintergrundthema Verstärkertechnik, zu dem es noch Einiges, sehr Spannendes zu sagen gibt. Doch ein paar Worte von mir als Autor vorweg. Interessanterweise fragen mich immer wieder einmal Leser, woher ich das weiß was ich schreibe. Die Frage ist nicht ganz einfach zu beantworten. Es ist so, dass ich natürlich nicht zu all den Themen, über die in dieser Hintergrundserie gesprochen wurde, von vornherein das so tief gehende Detailwissen besessen habe, welches ich in meinen Ausführungen und Schlussfolgerungen für Sie preisgebe. Das Wichtigste neben solidem Grundwissen ist die Recherche. Recherche ist vor allem dann der Schlüssel zu guten Artikeln, wenn man glaubwürdige und hochwertige Quellen hat. Das Netzwerk des Studio Magazins gibt mir die Möglichkeit, mich zu fast allen Themen mit hochkarätigen Fachleuten kurzschließen zu können. Diese Verbindungen sind in vielen Jahren gewachsen und einer der großen Vorteile, den Sie als Studio Magazin Leser völlig unbemerkt jeden Monat genießen können. Zugegeben, manchmal lehne ich mich mit meinen Schlussfolgerungen etwas weit aus dem Fenster – dies jedoch nicht, weil ich der Meinung bin, die Weisheit mit großen Stimmgabeln zu mir genommen zu haben, sondern weil ich Sie, liebe Leser, herausfordern möchte, mit mir und uns zu diskutieren. Jedes Mal, wenn ich in meiner praktischen Tätigkeit mit Mikrofonen und Geräten umgehe, gewinne ich an Erfahrung und Wissen hinzu. Dieses Wissen gehört mir nicht allein und ich möchte es Ihnen weiter geben. Aber – wir Tonmeister, Toningenieure, Techniker, Mediengestalter und Produzenten sind keine passiven Tonkonsumenten, sondern wir sind Tonschaffende. In meiner zweiten Rolle als Fachredakteur freue ich mich daher, wenn meine Leser ebenfalls nicht nur passiv konsumieren, sondern auch ihre Meinung einbringen!

Nun aber wirklich zurück zur Verstärkertechnik. Bevor es in diesem Teil endlich um die Anwendung von Verstärkern gehen soll, müssen wir leider noch einmal tief in die Elektrotechnik eintauchen. Ich hoffe, Sie haben so viel Spaß daran wie ich, auch wenn es diesmal wieder eine wirklich harte Nuss wird.

## Bipolartransistor

Zu Recht wurde ich von einem Kollegen darauf hingewiesen, dass der Bipolartransistor für die Audiotechnik sehr wichtig ist und daher eine etwas ausführlichere Beschreibung verdient, als er sie bisher erhalten hat. Der Unterschied zwischen einem Feldeffekttransistor (FET) und einem Bipolartransistor besteht vornehmlich in seiner Ansteuerung. FETs werden, wie in der letzten Folge beschrieben, über eine Spannung zwischen Quelle (Source - S) und Tor (Gate - G) gesteuert. Bei einem Bipolartransistor erfolgt diese Ansteuerung durch einen Strom. Aber etwas genauer soll es schon sein:

Ein Bipolartransistor besteht aus drei Schichten. Diese können entweder in der Reihenfolge npn oder pnp vorliegen, was in der Praxis einen Unterschied bei der Polung macht, in der Theorie aber nicht beachtet werden muss. Für diese Erklärung betrachten wir einen npn-Transistor. Wie bereits beim Feldeffekttransistor beschrieben, stehen die Buchstaben n und p für die unterschiedlich dotierten Halbleiterschichten. Die drei Kontakte des Bipolartransistors werden als Emitter (E), Kollektor (Collector - C) und Basis (B) bezeichnet. Kollektor und Emitter kontaktieren jeweils einen der beiden äußeren n-Bereiche, die Basis B kontaktiert die deutlich dünnere p-Schicht in der Mitte. Wird ein Strom zwischen Emitter und Kollektor geschaltet, wird dieser zunächst in beide Richtungen (nicht ganz vollständig, aber auch dies soll hier keine Rol-

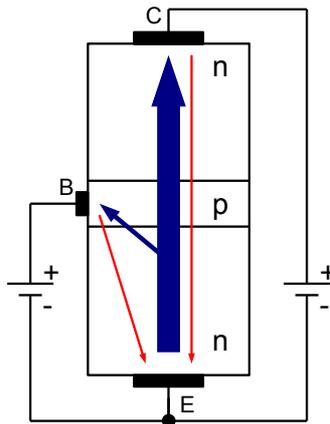


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines npn-Bipolartransistors. Rot zeigt die technische Stromrichtung, blau die Richtung des Elektronenstroms

le spielen) gesperrt, da die beiden Übergänge von p zu n eine Barriere für die Elektronen darstellen. Legt man nun eine Spannung von größer 0,6 V zwischen Basis und Emitter an, so fließen die Elektronen aus der mittleren n-Schicht ab und ermöglichen es dadurch den in der Emitter-p-Schicht vorhandenen Elektronen in die n-Schicht überzutreten. Es kann ein Strom zwischen Basis und Emitter fließen, die erste der beiden Sperrschichten wurde aufgehoben. Da die p-Schicht jedoch sehr klein ist, fließen die meisten Elektronen durch sie hindurch und werden von der Kollektorseite angezogen. Etwa ein Prozent der Elektronen fließt über den Basiskontakt ab, die rest-

lichen 99 Prozent werden von der Kollektor-p-Schicht angezogen und überwinden die zweite Sperrschicht. So kann der Kollektor-Strom ebenfalls fließen. Ändert sich der Basis-Strom, so ändert sich der Kollektor-Strom im gleichen Verhältnis. Abbildung 1 zeigt die schematische Darstellung eines npn-Transistors. Der Transistor arbeitet als eine Art stromgesteuerter Widerstand. Nun wird auch der Unterschied zwischen einem Feldeffekttransistor und einem Bipolartransistor deutlich. Ein Feldeffekttransistor verringert den Stromfluss mit steigender Steuerspannung (erschließt), ein Bipolartransistor verringert den Widerstand gegen den Stromfluss mit steigendem Steuerstrom (er öffnet).

## Die Klassengesellschaft

In der letzten Ausgabe betrachteten wir die verschiedenen Verstärkerklassen. Dabei ging es um die prinzipiellen Schaltungsvarianten, ungeachtet ihrer Anwendungsgebiete. Für die Nutzung in Endstufen wurden einige Vor- und Nachteile genannt. Im Bereich der Line- und Mikrofon-Pegel eignen sich jedoch nur noch Schaltungen in den Klassen A und AB, wodurch die Variationsbandbreite ein gutes Stück zusammenschrumpft. Dies hat deshalb weniger Relevanz, da die Leistungen in diesem Bereich in einem

# GERÄT KAPUTT?

## Dann brauchen Sie einen Audio-Service!

Reparatur · Wartung · Restaurierung  
von Studio- und Musik-Equipment

**Audio-Service Ulrich Schierbecker GmbH**

Telefon +49 (0)40 85 17 70 - 0 · Fax +49 (0)40 8 51 27 64  
mail@audio-service.com · www.audio-service.com

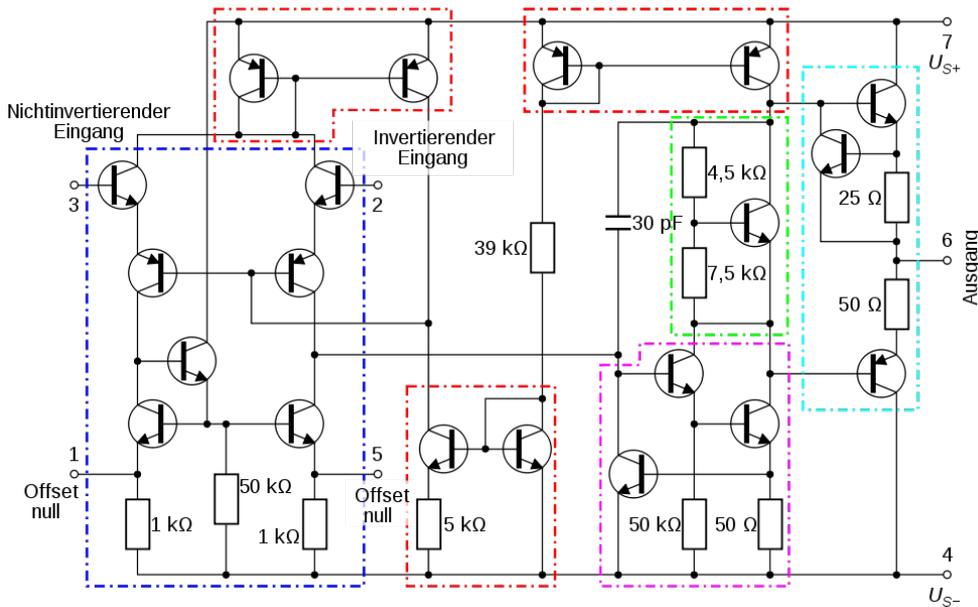


Abbildung 2: Ein Klassiker von innen: So sieht der Schaltplan des 741 OpAmps aus

wirklich kleinen Rahmen liegen und nicht so groß werden, wie in einem Leistungsverstärker. Ausgenommen davon sind zum Beispiel Mischpulte, in denen die schiere Masse an Funktionsgruppen den Stromverbrauch deutlich nach oben treiben. Viel Strom klingt gut, an dieser Weisheit ist leider manchmal etwas dran. Die Verstärkerfunktionsabschnitte in einem Operationsverstärker arbeiten ebenfalls in Klasse A- oder AB-Betrieb.

## Operationsverstärker

Da die grundlegenden Eigenschaften eines Verstärkerelementes (also Transistor oder Elektronenröhre) nun aus dem ersten Teil dieser Serie bekannt sind, können wir einen Schritt weiter gehen und die nächst größere Ebene betrachten. Der Operationsverstärker (OpAmp) ist eine von vielen Möglichkeiten analoge Audiosignale zu verarbeiten. Er stellt eigentlich einen Differenzverstärker (dazu später mehr) dar, der manchmal mit Zusatzfunktionen erweitert wurde. OpAmps arbeiten meist dabei nur im Bereich kleiner Leistung und sind daher nur sehr bedingt für die Anwendung in Endstufen geeignet. Auch wenn es Lösungen für

diese Leistungsschaltungen gibt, betrachten wir im Weiteren den Bereich der Mikrofon- und Line-Pegel. Im Inneren besteht er aus den Funktionen (nicht unbedingt Bauteilen, siehe Abschnitt Integration) verschiedener aktiver und passiver Bauteile, vor allem Transistoren (sehr selten Röhren), Widerständen und Kondensatoren. Die genaue Verschaltung zu erklären würde zum Einen den Rahmen dieser Serie sprengen, zum Anderen gibt es eine schier unendliche Zahl von Schaltungsvarianten innerhalb eines OpAmps. Einige Typen haben sich jedoch im Audiobereich durchgesetzt und werden immer wieder verwendet. Abbildung 2 zeigt den 741 OpAmp – einen Klassiker, der seit über 40 Jahren gebaut wird, inzwischen jedoch als veraltet gilt. Generell ist ein OpAmp nichts anderes als ein Funk-

tionsblock in einer Schaltung, der als zusammengefasste Komponente zur Verfügung steht. Er kann natürlich auch ohne physikalische Trennung in einer Gesamtschaltung realisiert werden. In diesem Fall würde er jedoch meist nicht unbedingt als OpAmp bezeichnet. Spannend an diesem Funktionsblock ist die Tatsache, dass er nur durch seine äußere Beschaltung für viele verschiedene Funktionen genutzt werden kann. Er kann als invertierender oder nichtinvertierender Verstärker, Filter, Impedanzwandler, Strom- oder Spannungsquelle, Summierer, Instrumentenverstärker und für viele andere Funktionen eingesetzt werden. Da sich unsere Serie konkret um die Möglichkeiten von Verstärkern dreht, ist es interessant einmal zu schauen, wie ein OpAmp zur Verstärkung genutzt werden kann. Dazu muss die generelle Funktion zunächst verstanden werden. Ein OpAmp besitzt nur sehr wenige Anschlüsse. Entscheidend sind dabei zwei Anschlüsse für die Spannungsversorgung (meist, aber nicht zwingend, symmetrisch ausgeführt), ein invertierender (-) und ein nichtinvertierender (+) Signaleingang und der Signalausgang. Ohne weitere Beschaltung arbeitet ein OpAmp so, dass er die an den beiden Eingängen anliegenden Spannungen miteinander vergleicht und die eventuell vorhandene Differenz um einen sehr hohen Faktor verstärkt. Liegt am einen Eingang eine Spannung von 0,1 V und am anderen eine Spannung von -0,1 V an, so würde die Schaltung 0,2 V als Differenz nehmen und um den eingestellten Verstärkungs-

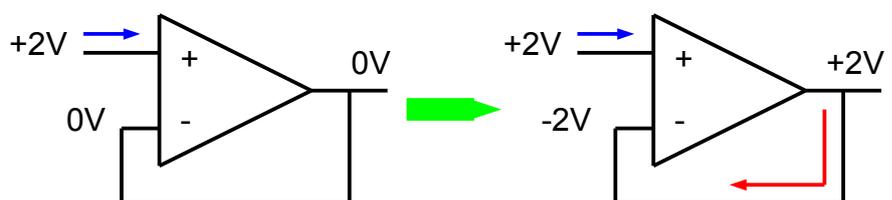


Abbildung 3: Die Eingangsspannung wird verstärkt und auf den Eingang rückgekoppelt. Dadurch arbeitet der OpAmp als Spannungsfolger

faktor vergrößert am Ausgang abgeben. Den Verstärkungsfaktor nennt man auch Geradeausverstärkung. Die Geradeausverstärkung ist generell sehr hoch, sie kann zum Beispiel bei 1:10.000 oder sogar noch höher liegen. Damit würden die 0,2 V Differenz, die am Eingang anliegen, auf rund 2000 V verstärkt, was die Versorgungsspannung natürlich nicht zulässt. Der Ausgang des OpAmps wird also bis zu seiner physikalischen Grenze, knapp unterhalb der Versorgungsspannung, ausgesteuert und gerät in die Sättigung. In dieser Geradeausverstärkung kann der OpAmp also selbst bei kleinsten Spannungsdifferenzen nur als Komparator arbeiten. Seine Schaltstellungen sind: Ausgang 0 V – beide Eingangssignale sind gleich. Dieser Zustand spielt praktisch keine Rolle. Ausgang maximal Positiv – das Signal am nichtinvertierenden Eingang ist größer. Ausgang maximal negativ – das Signal am inver-

tierenden Eingang ist größer. Nur, was können wir in der Audiotechnik mit dieser Komparatorfunktion anfangen? Die Antwort ist: fast nichts, es sei denn, wir benötigen einen elektronischen Schalter oder einen einfachen A/D-Wandler. Wie aber wird nun aus diesem Schaltchaos ein Verstärker? Der Trick liegt in der Rückkopplung. Ein extrem vereinfachtes Bild soll uns beim Verständnis helfen: Der Ausgang des OpAmps wird mit dem invertierenden Eingang (-) kurzgeschlossen. Am nichtinvertierenden Eingang (+) soll eine Spannung von 2 V anliegen. Die Geradeausverstärkung will die 2 V auf 20.000 V verstärken, die Spannung wird jedoch auf den invertierenden Eingang zurückgeführt und wirkt dort der Differenz zwischen den beiden Eingängen entgegen. Also stoppt die Verstärkung nach einem kurzen Anstieg auf dem Wert des Eingangspegels. In dieser Schleife bleibt der Verstärker gefangen und die

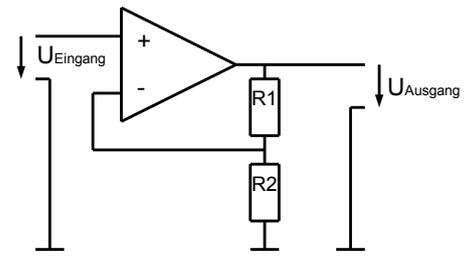


Abbildung 4: R1 und R2 bilden einen Spannungsteiler, mit dessen Hilfe der OpAmp zum Verstärker wird

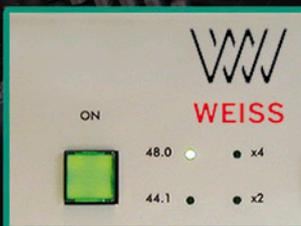
Ausgangsspannung entspricht fast genau der Eingangsspannung, da jeder Versuch der weiteren Ausregelung durch die Rückkopplung unterbunden wird. Abbildung 3 zeigt diese Regelschleife. Die Geschwindigkeit, mit der dieser Spannungsanstieg am Ausgang vollzogen wird, bezeichnet man als Anstiegsgeschwindigkeit oder Slew Rate. Sie wird in Volt pro Mikrosekunde angegeben und stellt eines der wichtigsten Auswahlkriterien für OpAmps im Audiobereich dar. In die-



Vertrieb / Service für professionelle Studiotechnik



**Recording**



**Mixing**



**Mastering**

sem Betriebszustand ist der OpAmp für die Audiotechnik schon nützlicher, auch wenn er noch immer nicht als Verstärker arbeitet. Abhilfe kann hier zum Beispiel ein aus Widerständen aufgebauter Spannungsteiler im Rückkopplungsweg schaffen. Dieser sorgt dafür, dass die Rückkopplungsspannung kleiner ist, als die Ausgangsspannung. Abbildung 4 zeigt einen solchen Spannungsteiler. Der Verstärker kann nun über die Eingangsspannung hinaus regeln und verstärkt das Signal somit. An dieser Stelle arbeitet unser OpAmp endlich als Verstärker und verstärkt das Eingangssignal ohne dessen Polarität zu ändern. Diese Betrachtung ist natürlich extrem vereinfacht. In der Praxis müssen OpAmps gegen Eigenschwingungen und andere Störgrößen, sowie im Frequenzgang kompensiert werden. Zusätzlich muss eine Anpassung der Ein- und Ausgänge für die vorhergehenden und nachfolgenden Stufen realisiert werden und der Widerstand im Rückkopplungsweg regelbar werden. Erst dann hat man einen funktionierenden Verstärker auf Basis eines OpAmps geschaffen. Dies alles soll uns jedoch nicht weiter interessieren, da es wirklich zu weit führen würde. Nicht umsonst ist auch die Entwicklung einer gut klingenden Schaltung eine Kunst. Viele talentierte Schaltungsdesigner ermöglichen es uns, aus verschiedenen Klangfarben zu schöpfen.

## Integration

Der Transistor als eigenständiges Bauteil wird zwar bis heute in vielen hochpreisigen Schaltungen eingesetzt, aber auch im Audiobereich hat es sich bewährt, komplexe Schaltungen in einen fertigen Baustein zu integrieren. Diese Bausteine nennt man integrierte Schaltungen (Integrated Circuits - ICs) und die Verschaltung von Transistoren und anderen Bauteilen zu komplexen Verstärkerbausteinen stellen unsere Operations-

verstärker (OpAmps) dar. Die Geschichte des Operationsverstärkers ist dabei älter als die des Transistors selbst, denn OpAmps, bzw. der Differenzverstärker als dessen erste Stufe, existierten bereits zu Zeiten, als die Röhre noch das einzige elektrische Verstärkerelement war. Natürlich ist die Funktionalität dieser frühen OpAmps gegenüber ihren modernen Pendanten deutlich eingeschränkt. Dies geht schon bei der Größe los, denn ein moderner OpAmp in SMD-Bauweise kann heute so klein wie ein einzelnes Beinchen einer 12AX7 Röhre sein. Zum Vergleich zeigt Abbildung 5 einen Röhren-OpAmp aus dem Jahr 1952. Dabei basieren die Ressentiments gegenüber OpAmps wieder zu großen Teilen auf der Verbreitung von technischen Missverständnissen. Nicht umsonst arbeiten in vielen Geräten, mit denen tausende von Hits produziert wurden, OpAmps in unüberschaubarer Zahl. Aber die quasi unendliche Verfügbarkeit und ihr kleiner Preis versprühen nicht unbedingt den Charme von Exklusivität, wohingegen eine diskret, also aus einzelnen Bauteilen, aufgebaute Schaltung die Vorstellung von besonders ausgewählten oder gar hochpreisigen Komponenten weckt. Andersherum gefragt, gibt es denn Schaltungen, die nur mit OpAmps realisiert werden können? Die Antwort ist ein klares ‚Ja‘. Denn es ist natürlich möglich fast jede Schaltung diskret aufzubauen, die Nachteile treten jedoch sehr schnell zum Vorschein. Hier ist in erster Linie der Platzbedarf zu nennen. Die Vorstellung ein Mischpult mit der Funktionalitätsvielfalt und den Möglichkeiten eines ADT oder SSL diskret zu realisieren, führt zu einem Platzbedarf, der bei den wenigsten Anwendern zur Verfügung stehen würde. Das Argument ‚früher wurde es ja auch so gemacht‘ ist dabei nur die halbe Wahrheit, denn der Funktionsumfang eines diskreten Niveaumischpultes aus den 1970er Jahren ist deutlich geringer als der eines heu-



Abbildung 5: K2-W – ein Operationsverstärker mit zwei 12AX7 Röhren aus dem Jahr 1952

tigen Studiopultes. Bei kleinen Mischpulten oder 19-Zoll-Geräten fällt dieser Punkt natürlich weniger schwer ins Gewicht. Viel entscheidender ist jedoch das Wärmeproblem. Innerhalb eines OpAmps arbeiten mehrere Transistoren, die zum Teil sehr genau aufeinander abgestimmt werden müssen. Gerade bei Inverterstufen benötigt man zumindest zwei Transistoren, deren Betriebswerte so wenig wie möglich voneinander abweichen. Bei diskreter Umsetzung bekommt man schon Probleme mit dem Temperaturdrift. Hierzu müssen die Transistoren zum Beispiel thermisch gekoppelt werden. Die Lösung stellen hier unter anderem diskrete OpAmps dar. Ein berühmtes Beispiel für diese Technik ist der API 2520 OpAmp (Abbildung 6), der in vielen Geräten des Herstellers genutzt wird. Die diskreten Bauteile sind hier auf eine sehr kleine Platine gelötet und anschließend in einer Kunstharzmasse vergossen. Ob dieses Eingießen aber zu Problemen mit der Wärmeleitung nach außen führt, ist umstritten, auszuschließen ist es jedenfalls nicht. Industriell gefertigte OpAmps haben hier einen Vorteil. Der Grund liegt natürlich darin, dass durch den Verzicht auf separate Bauteile eine enorm große Palette von Anordnungsmöglichkeiten für

die einzelnen Funktionsabschnitte innerhalb des Silizium-Wafers besteht. Die gesamte Schaltung ist nicht in einem Gehäuse untergebracht, sondern das Gehäuse ist oftmals Teil der Schaltung. Abbildung 7 zeigt verschiedene Bauformen. So können Wärmeleitfähigkeit und einige Probleme schon in der Entwicklung vermieden werden. Durch künstliche Alterung kann auch das Driften der Parameter von vornherein deutlich vermindert werden. Dies ist bei diskreten Systemen schwieriger und so verändern sie ihre Eigenschaften über ihre Lebensdauer, aber auch durch die aktuelle Umgebungs- und Betriebstemperatur zum Teil stärker als integrierte Schaltungen. Manche OpAmps sind auch mit der Möglichkeit ausgestattet von außen kalibriert zu werden. Eine solche Nachregelung kann nach einer gewissen Betriebszeit durchaus sinnvoll sein. Ganz praktische Vorteile von IC-OpAmps liegen in der War-

tung und Instandsetzung. Viele OpAmps werden auf Sockeln gesteckt verarbeitet. Wird ein Defekt diagnostiziert, sind sie sofort als Ganzes, meistens für wenige Cent, ausgetauscht und das Gerät ist wieder betriebsbereit. Viele noch heute verwendete ICs sind schon viele Jahre am Markt und ihre Verfügbarkeit ist für weitere Jahre gewährleistet. Einige Typen können sogar direkt durch weiterentwickelte Alternativen ersetzt werden. Einen Defekt in einem diskreten OpAmp oder der entsprechenden Ersatzschaltung zu



Abbildung 6: Der seit Jahren von API gebaute und verbaute diskrete OpAmp 2520

finden, ist hingegen ein deutlich größerer Aufwand und entsprechend teurer, vor allem, wenn der ganze Operationsverstärker getauscht werden muss.

## Anwendung

Da diese Serie zur Verstärkertechnik sozusagen die Vorstufe zur Betrachtung der Dynamikbearbeitung darstellt, soll dieser Blick auf die vielen Möglichkeiten der Anwendung einer Verstärkerschaltung direkt in den Bereich der Regelverstärker gerichtet werden. Regelverstärker finden sich nicht nur in Kompressoren, Gates und ihren Verwandten, sondern auch in vielen automatisierten Mischpulten, die nicht mit Motorreglern, sondern mit VCAs arbeiten. Die Abkürzung VCA stammt aus dem Englischen und steht für Voltage Controlled Amplifier, also einen spannungsgesteuerten Verstärker. Dieser VCA ist wieder eine übergeordnete Schaltung

[www.jungeraudio.com](http://www.jungeraudio.com)

# SMART AUDIO

Intelligent and complementary audio algorithms that optimize performance for higher efficiency and increased automation

**jünger**  
when audio matters

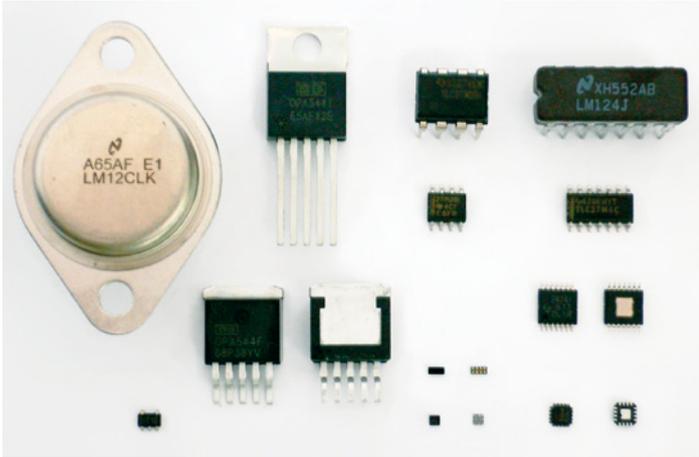


Abbildung 7: Verschiedene Bauarten integrierter OpAmps

und besteht in vielen Fällen aus einem OpAmp, der von einer Steuerspannung in seiner Verstärkungshöhe geregelt wird. Allerdings werden im Audiobereich meistens bereits fertige VCA-Bausteine verwendet. Die bekanntesten davon sind die VCAs des Herstellers THAT Corp, die die Produktion der nicht mehr existenten dbx-Halbleiterabteilung übernommen haben. Diese VCAs haben den Vorteil, dass sie direkt mit einer Gleichspannung gesteuert werden können, deren Spannungswert unmittelbar mit der Verstärkung in dB zusammen hängt. Die Schwierigkeit besteht darin, diese Gleichspannung möglichst konstant zu halten, da Schwankungen sofort zu einer Pegeländerung führen würden. Aber auch in Kompressoren und anderen Dynamikstufen können VCAs verbaut werden, die als Regelement arbeiten. Hierbei wird zur Steuerung jedoch keine Gleichspannung verwendet, sondern eine vom Eingangssignal abgeleitete Wechselspannung.

## Regelnde Alternativen

Der VCA ist natürlich nur eine Möglichkeit von sehr vielen, um eine Dynamikbearbeitung durchzuführen. Auf Grund der in der letzten Ausgabe beschriebenen Funktion des Feldeffekttransistors (FET) als ‚Schließer‘, gehört er wohl zu den am meisten verwendeten Regelementen überhaupt. Im einfachsten Fall wird hier eine vom Audiosignal abgeleitete Spannung auf den Gate-Anschluss des FET gelegt. Je nach Pegel dieser Steuerspannung beginnt der FET die Audiospannung zwischen Source und Drain zu reduzieren. Natürlich muss die Steuerspannung zuvor auf das gewünschte Regelverhalten angepasst werden, denn sonst würde seine Funktion der eines einfachen Pegelstellers entsprechen und keinen Zeit- und Schwellwertbezug aufweisen. Eine weitere, sehr beliebte Regeltechnik stellt die Steuerung über eine optische Schaltung dar. Dieser Begriff klingt etwas komplex, dabei ist ihre Funktion recht einfach zu verstehen. Die Schaltung besteht aus einer Lichtquelle (eine

Leuchtdiode, eine Glühlampe oder eine Elektrolumineszenz-Folie) und einem Lichtsensor (ein Fotowiderstand, Fototransistor, Fozelle etc.). Legt man eine Steuerspannung an der Lichtquelle an, verändert diese dem Signal folgend ihre Helligkeit. Direkt davor ist das Sensorelement montiert, welches auf die Helligkeitsunterschiede reagiert und die Nutzspannung regelt. Der Ausdruck Nutzspannung ist hier absichtlich gewählt, denn es muss sich nicht unbedingt um die Audiospannung handeln. Es ist durchaus auch möglich die geregelte Spannung zur Steuerung eines weiteren Regelementes, also zum Beispiel eines VCAs oder eines FETs zu nutzen. Die besondere Eigenschaft dieser optischen Regelung besteht darin, dass sie bereits ohne weitere Beeinflussung einen zeitlichen Faktor in die Regelung einbringt. Da die Lichtquelle deutlich träger als die Steuerspannung ist, reagiert sie leicht verzögert (bei einer Glühlampe sogar relativ stark) auf Spannungsschwankungen. Dadurch entsteht eine feste Einschwingzeit (Attack), die nicht ohne weiteres von außen zu beeinflussen ist. Da die meisten Lichtquellen zusätzlich die Eigenschaft haben nachzuleuchten, entsteht eine Rückstellzeit (Release), die jedoch ebenfalls fest von den Eigenschaften des verwendeten Bauelementes abhängt. Zusammen mit einem einfachen Schwellwertschalter kann eine solche optische Regelung einen reizvoll klingenden Kompressor bilden. Ein berühmtes Gerät dieser Bauart ist der LA-2A von Teletronix. Sein optisches Element ‚T4‘ weist besondere Regeleigenschaften auf, die ihn bei vielen Anwendern populär gemacht haben. Zu seinem angenehmen Klang tragen allerdings auch der nachgeschaltete Röhrenverstärker und die verwendeten Übertrager einen Großteil bei. Man sollte sich auch hier nicht darauf versteifen, dass ein einzelnes Element den Hauptteil zu einem Klangbild beiträgt. Es ist, wie immer, die gelungene Kombination. Zu guter Letzt (natürlich ist die Grenze für reale Kompressoren, dank exotischer Regler und unendlich vieler Kombinationsmöglichkeiten noch lange nicht erreicht) kann natürlich auch eine Röhre als Regelement verwendet werden. Auch eine Röhre ist ein Regler, der bei steigender Steuerspannung seine Verstärkung reduziert. Auch hier benötigt man entsprechende Schaltungen zur Beeinflussung des Zeitverhaltens und der Schaltschwelle. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit die Steuerspannung ebenfalls mit Röhren zu bearbeiten, die Sättigung der Regelröhren als Klangfarbe zu implementieren, die Regelung mit einem optischen Element zu steuern und viele weitere Kombinationen. Auf dem Papier ist der Aufwand gering. Die Realität sieht freilich komplett anders aus.

## Summierung

Die Summierung mehrerer Audiokanäle ist prinzipiell nicht sehr schwierig. Im ersten Schritt wird jeder Kanal über einen Wider-

stand auf einen gemeinsamen Punkt zusammengeführt und im zweiten Schritt dieser Summenpunkt auf einen Verstärker geführt, der den entstandenen Pegelverlust ausgleicht. Den Pegelverlust kann man mit einem einfachen Beispiel errechnen: 24 Kanäle sollen summiert werden, wobei der Pegelverlust von einem normalen Line-Verstärker aufgeholt werden soll. Die Parameter der einzelnen Kanal-Widerstände müssen also einerseits so gewählt werden, dass die Ausgangsimpedanz für den nachfolgenden Verstärker nicht zu groß, andererseits die Eingangsimpedanz für den Treiber (zum Beispiel D/A-Wandler) nicht zu klein wird. Bei 11 kOhm Eingangswiderständen pro Kanal ergibt sich folgender Eingangsgesamtwiderstand:  $11000/24 = \sim 458 \text{ Ohm}$ ,  $458 + 11000 = 11458 \text{ Ohm}$

Der entstehende Pegelverlust errechnet sich damit:  $20 * \log(458/11458) = -27,96 \text{ dB}$  Diese rund 30 dB müssen nach der Summierung aufgeholt werden. Hierfür gibt es nun die Möglichkeit, die Summenverstärkung auf zwei Arten durchzuführen. Die klassische Variante ist die Spannungssummierung. Diese hat den Nachteil, dass sich der Pegel am Summenverstärkerausgang ändert, wenn ein Kanal hinzugeschaltet oder vom System getrennt wird. Dies lässt sich dadurch umgehen, dass ein Kanal beim Abschalten automatisch auf einen Blindwiderstand gelegt wird, dessen Wert dem Ausgangswiderstand des vorhergehenden Geräteausgangs entspricht. Dies ist entsprechend aufwändig und funktioniert spätestens in dem Moment nicht mehr, wenn ein Pegelpotentiometer im Signalweg liegt, dessen Widerstand vom aktuell eingestellten Wert abhängt. Für ein unveränderliches System ist es also kein Problem, für wechselnde Beschaltung jedoch nicht ohne weiteres zu gebrauchen. Als Alternative steht die Stromsummierung zur Verfügung. Hier wird ein OpAmp als invertierender Verstärker verwendet, dessen Eingang mit einer völlig beliebigen Anzahl Kanälen gefüttert werden kann. Dies geht, da das Summensignal auf den invertierenden Eingang gelegt wird, zu dem auch die Rückkopplung des OpAmp-Ausgangs erfolgt. Liegt nun eine Spannung am Eingang an, wird diese vom Ausgang des OpAmps sofort kompensiert. Es entsteht ein oV-Potential am invertierenden Eingang, welches auch als virtuelle Masse bezeichnet wird. Der Verstärker arbeitet also auf dem Potential der Masse, ohne dass eine reelle Masseverbindung bestehen würde. Dadurch arbeitet der Verstärker als reiner Stromverstärker. Natürlich ist die Betrachtung der virtuellen Masse als wirkliches oV-Potential physikalisch nicht ganz richtig. Dies ist aber für das Verständnis nicht entscheidend. Der Vorteil wird jedoch deutlich: Egal welche Spannungshöhe am Eingang anliegt, sie wird vom Verstärker kompensiert und auf oV zurück geführt. Die Verstärkung des Stroms bleibt konstant, egal wie viele Kanäle aktuell an den Verstärker angeschlossen wurden. Diese Technologie hat einen großen Nachteil, sie ist sehr

empfindlich gegen äußere Störungen. Die virtuelle Masse hat ihren Bezugspunkt auf der Potentialhöhe der wirklichen Masse des Systems und Störungen auf der Masse (Brummen, Hochfrequenzstörungen) werden so in den Verstärker übertragen. Wir erinnern uns, dass winzige Spannungen am Eingang eines Operationsverstärkers zu starken Reaktionen des Ausgangs führen. Auf diese Weise können Störungen im System zu echten Problemen werden.

## Schlussbetrachtung

Die Welt der Verstärkertechnik ist, genau wie alle anderen Gebiete der Tontechnik, komplex und niemals schwarzweiß. Lösungen haben immer auch einen Pferdefuß und keine Technologie besitzt nur Vorteile. Viele auf den ersten Blick einfache Konstruktionen offenbaren auf den zweiten Blick eine nicht geahnte Komplexität und, meiner Meinung nach noch entscheidender: viele Vorurteile basieren auf schlechten Erfahrungen mit einzelnen Geräten. Ein gesundes Mittelmaß aus Nostalgie und Fortschrittsdenken lässt uns noch kreativer arbeiten. Warum soll man sich eigentlich Gedanken darum machen, ob ein Gerät diskret, mit OpAmps, mit Röhren oder gar VCAs aufgebaut ist, wenn es doch gut klingt? Richtig, sollte man gar nicht. Viel Freude weiterhin!



**CLC – Continuous Loudness Controls** neuer Batch-Modus macht das Organisieren, Analysieren und das dynamische Loudness-Prozessieren von Audio-Dateien schnell und bequem.



Möge die

# KRAFT

mit Euch sein

## BETRACHTUNGEN ZUR ENERGIEVERSORGUNG TONTECHNISCHER GERÄTE - TEIL 1

Ja, wir wagen es mal wieder. Sitzen in Charons Boot, über den Styx. Hades fest im Blick. Kerberos empfängt und mustert uns. Er schöpft Verdacht, aber wir müssen weiter! Auf der Suche nach unserer einzigen Liebe. Werden wir je zurückkehren? Und werden wir sie mit uns bringen können? Oder verhindert ein hastiger Blick zurück, dass sie endlich dem Schlund der Hölle entrinnen und an das Tageslicht gelangen wird: Eurydike, oder wie wir sie nennen, die Nymphe der Wahrheit über die Stromversorgung tontechnischer Geräte.

FRIEDEMANN KOOTZ, ABBILDUNGEN: FRIEDEMANN KOOTZ



Ja, dünnes Eis. Das wissen wir doch. Und wir werden mit Sicherheit auch nicht noch einmal den einen Fehler machen, mit dem wir den Pfad der reinen Lehre einst verlassen haben. Tatsächlich geht es uns auch überhaupt nicht darum, Zweifler von irgendetwas zu überzeugen oder Anhänger bloßzustellen. Im Gegenteil soll diese Serie einen weitestgehend neutralen Blick auf das Thema anbieten. Die neutralste Instanz in unserem Verlag ist Kollege Audio Precision. Und so soll er als Stellvertreter der Objektivität verraten, was sich denn eigentlich messtechnisch erfassen lässt, wenn man nach den Auswirkungen der Stromversorgung auf die Audioqualität sucht.

## Einführung

Dass die Stromversorgung eines Gerätes einen Einfluss auf seinen Klang hat, ist vermutlich den meisten Anwendern völlig klar. Es genügt ein sehr rudimentäres Wissen über Elektronik um dies zu erkennen. Nehmen wir als einfaches Beispiel einen Class-A Verstärker. Ein idealer Verstärker hat die Aufgabe, eine Wechselspannung am Eingang in eine Wechselspannung am Ausgang umzusetzen, die sich ausschließlich im Spannungspegel von der Eingangsspannung unterscheidet, also einen Verstärkungsfaktor aufweist. Jegliche Abweichung von der idealen Verstärkung provoziert lineare, nichtlineare oder intermodulierende Verzerrungen. Der Ver-

stärkungsfaktor wird durch die Stromversorgung physikalisch begrenzt. Verlangt die Konfiguration mehr Strom als das Netzteil liefern kann, so ist eine lineare Verstärkung (konstanter Verstärkungsfaktor) nicht mehr möglich. Der Ausgangspegel kann nicht mehr erhöht werden, obwohl es das Eingangssignal verlangen würde. Das System verzerrt. Nun kann es verschiedene Ursachen haben, warum das Netzteil nicht genug Leistung bereitstellt. Es kann falsch dimensioniert sein, ein Designfehler des Gerätes. Es kann aber auch instabil sein, so dass die Leistung zwischenzeitlich zusammenbricht und es kurzzeitig zu Verzerrungen kommt. Dieser Zusammenhang zwischen Stromversorgung und Verstärker gilt universell und für jede Anwendung. Wenn die Stromversorgung, auch temporär, zu klein ausgelegt ist, können Schaltungen ihre technischen Spezifikationen nicht ausreizen. Der Headroom könnte sinken, der Frequenzgang sich verschlechtern, der Rauschpegel steigen. Dabei kommt es zu zwei entscheidenden Fragen. Erstens, in wie weit lassen sich solche Effekte tatsächlich aufzeigen und zweitens, sind sie entdeckt, was kann man dagegen tun? Um all dies ein wenig zu sortieren, haben wir versucht, dem Problem mit verschiedenen Experimenten auf den Pelz zu rücken.

## Problem 1: Schlechte Gerätenetzeile

Ein Phänomen wird vor allem in der Hi-Fi- und sogenannten High-End-Szene bis ins Unendliche diskutiert. Die ‚Sauberekeit‘ des Stroms. Die grundlegende Theorie dabei ist, dass der im Gerät eingehende Wechselstrom einer möglichst perfekten Sinuskurve folgen soll. Die Notwendigkeit für die spektrale Reinheit der Wechselspannung wird im Störungspotential zusätzlicher Obertöne oder Einstreuungen gesehen. Das klingt im ersten Moment plausibel, hat jedoch einen Pferdefuß. Denn, neben der Transformation auf eine geringere Spannung, ist die wichtigste Aufgabe des Gerätenetz-

„Die besten Shelves, die ich je gehört habe.“

Dan Suter (Xavas, Seven, Eluveitie)

TUBE-TECH  
Gear For Life



„Der Tube-Tech HLT 2AM wurde schnell zu meinem meistbenutzten Mastering-EQ, da er sehr ruhig, präzise und tight ist, aber trotzdem eine schöne Größe und einen euphorisierenden Touch mitbringt. Das Feature-Set ist bestechend und führt zu sehr musikalischen und natürlichen Ergebnissen. Die Shelves sind schlicht die besten, die ich je gehört habe.“





teils die Gleichrichtung. Vom Wechselstrom zum Gleichstrom. Nach hinten heraus gibt es also gar keinen Sinus mehr. Der gleichgerichtete Wechselstrom kann natürlich gleichermaßen mit Störungen ‚verunreinigt‘ sein. Möglicherweise sogar mit welchen, die es vom Eingang durch das Netzteil hindurch geschafft haben und somit tatsächlich aus dem Primärstromkreis (Hausanschluss) stammen. Solche Störungen wären für die Hersteller von Systemen zur primärseitigen Stromaufbereitung die entscheidende Tür in den Markt, mit denen wir uns in einer späteren Ausgabe beschäftigen werden. Betrachtet man es jedoch ganz genau, so liegt der Fehler eigentlich im Gerätenetzteil, welches das Störspektrum zur Sekundärseite hindurchgelassen hat. Allerdings ist ein anderes Problem entscheidender und das ist die bei Linearnetzteilen (also die klassischen, mit großem Trafo) prinzipbedingt entstehende Brummspannung. Bei der Gleichrichtung werden im ersten Schritt die beiden Halbwellen des Wechselstroms in die gleiche Richtung ‚geklappt‘. Anschließend werden die daraus resultierenden ‚Berge‘ und ‚Täler‘ mit Kondensatoren geglättet. Die Restwelligkeit, die die Gleichspannung am Ausgang überlagert, wird als Brummspannung bezeichnet. Sie ist in ihrer Signalform komplex und weist hierzulande meist einen Grundton von 50 oder 100 Hz (doppelte Netzfrequenz) auf. Der Aufwand der Glättung kann enorm sein, zahlt sich aber aus, denn je geringer die Welligkeit ist, desto größer wird der Abstand zwischen Nutz- und Brummspannung und desto geringer wird ihr Störpotential. Bei Schaltnetzteilen treten wiederum andere Störungen auf, die wir in Teil 1 außen vor lassen. Wir werden also im ersten Schritt versuchen, einen Unterschied in der Versorgungsgleichspannung zu finden. Dafür untersuchen wir in diesem ersten Teil zwei Linearnetzteile. Direkt und indirekt.

## Experiment 1: Rauschspektren

Da eine der größten Schwierigkeiten darin liegt, gleiche Verhältnisse für einen Vergleich zu schaffen, haben wir uns entschieden ein populäres Cassetten-System zu nutzen. Das API 500er System erlaubt es, die gleichen Verbraucher in unterschiedlichen Gehäusen, mit entsprechend unterschiedlich auf-

gebauten Netzteilen einzusetzen. Als hochwertiger Kandidat stand uns eine original API Lunchbox aus der aktuellen ‚High Current‘ Generation zur Verfügung. Sie bietet sechs Steckplätze und ein im Gehäuse verbautes Netzteil. Ausgeliehen wurde sie uns freundlicherweise, zusammen mit einer kleinen Auswahl an Modulen, von Andrew Myburgh von KMR Audio Berlin. Als Budget-Gegenstück konnten wir auf einen Juiceblock3 von SM Pro Audio zurückgreifen, der sich bisher noch ungenutzt im Fundus unseres Verlagsstudios fand. Er bietet ein sehr kompaktes Gehäuse mit lediglich drei Steckplätzen und ein externes Steckernetzteil, welches nicht direkt in die Steckdose gesteckt wird (Wandwarze), sondern noch einen Meter Zuleitung mit Eurostecker aufweist. Allerdings kann dieses Netzteil keine symmetrische Spannung von +/-16 Volt zur Verfügung stellen, der Hersteller muss hier also ein paar Tricks und Kniffe anwenden. Als Steckkarten nutzen wir Xpressor 500 von Elysia, welcher uns neben der Steckkartenvariante auch als eigenständiges Gerät im eigenen 19-Zoll-Gehäuse vom Hersteller zur Verfügung gestellt wurde, sowie zwei von KMR Audio geliehene Vorverstärker von JLM und Avedis Audio. Der ursprüngliche Plan sah vor, dass neben dem eigentlichen Testmodul Xpressor 500 weitere Module im Rahmen stecken, die das Netzteil belasten sollen. Durch die unterschiedliche Ausstattung mit Steckplätzen ist dieser Vergleich jedoch nicht ganz fair, da das Netzteil der API Lunchbox für sechs Steckplätze ausgelegt ist und somit deutlich mehr Strom zur Verfügung stellen können muss, als das kleine Netzteil des Juiceblock3. Aus diesem Grund befindet sich bei den Messungen jeweils nur ein Modul im Rahmen, die übrigen Steckplätze bleiben unbelegt. Im Zweifel werden also erkennbare Tendenzen bei höherer Belastung durch mehr Steckkarten auch zu schlechteren Ergebnissen in der Praxis führen. Dieser erste Versuch kann nicht unterscheiden, ob Störungen von außen durch das Netzteil hindurchkommen, oder ob das Netzteil selbst die Quelle der Störungen ist. Diesen Punkt versuchen wir erst später zu differenzieren.



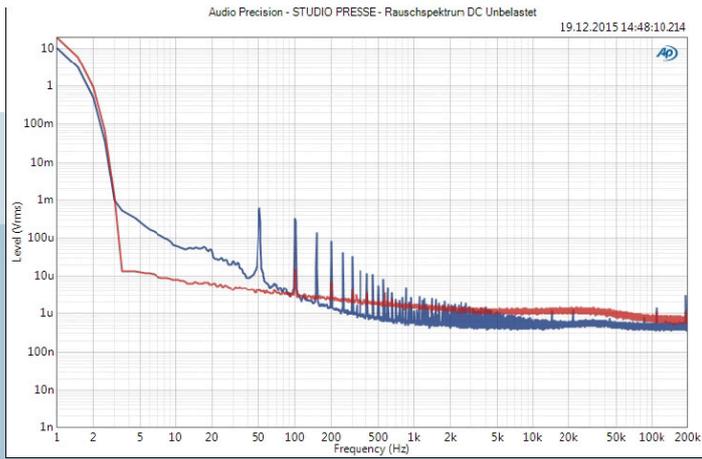


Diagramm 1: Spektrum der beiden unbelasteten Stromversorgungen von SM Pro Audio Juicebox3 (blau) und API Lunchbox 6B (rot)

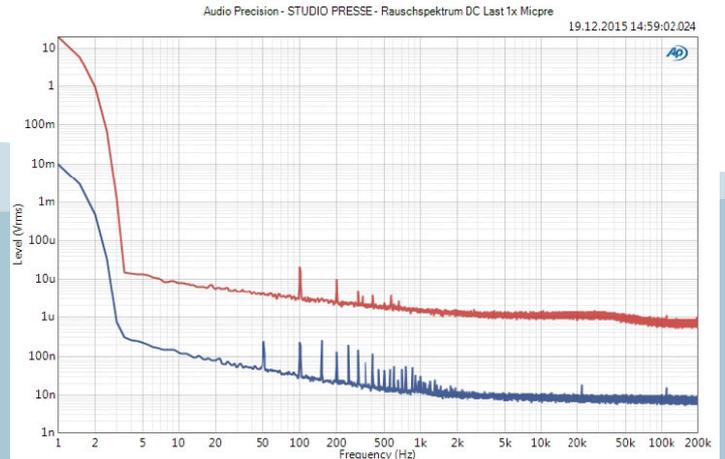


Diagramm 2: Spektrum der beiden belasteten Stromversorgungen von SM Pro Audio Juicebox3 (blau) und API Lunchbox 6B (rot), wenn ein Vorverstärkermodul eingesteckt wurde

## Experiment 1: Ergebnisse im DC

Zunächst werfen wir in Diagramm 1 einen Blick auf die unbelastete Stromversorgung beider 500er-Rahmen. Die blaue Kurve repräsentiert die Juicebox3, die rote entsprechend die API Lunchbox. Beide Testrahmen waren dabei gleichzeitig mit der normalen Hausstromversorgung verbunden, die das Studio speist. An dieser Versorgung hängt zusätzlich eine Wohnung mit Küche, Bad und drei Wohnräumen. Reichlich Potential für allerlei eingehende Störungen auf der Primärseite der beiden Rahmen. Die Messungen erfolgten direkt an den Buchsenleisten auf der Geräterückwand, an dem Punkt also, wo die Stromversorgung die Module erreicht. Um eine vollständige Abtrennung zu erreichen, lief das Audio Precision APx555 für alle Messungen im Batteriebetrieb an einer USV (unterbrechungsfreie Stromversorgung) der Firma Furman. Sie wurde uns vom deutschen Furman-Vertrieb Trius Music zur Verfügung gestellt und wird in einer späteren Folge dieser Serie noch weitere Rollen einnehmen. Das Ergebnis ist dabei recht eindeutig. Die beiden Speisungen unterscheiden sich deutlich. Die Rauschunterdrückung ist beim API spektral gesehen ausgeglichener, vor allem im unteren Frequenzbereich ist sie deutlich größer. Störspitzen finden sich ebenfalls deutlich weniger. Aber das alles hat noch gar nichts zu sagen. Spannender wird es, wenn das Netzteil auch tatsächlich etwas zu tun bekommt, also belastet wird. Zu diesem Zweck haben wir beide Rahmen mit je einem JLM Dual 99V 500 Mikrofonvorverstärker bestückt, der auf maximale Verstärkung (75 dB) gestellt wurde. Um einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Steckkarten auszuschließen, wurden die Messungen doppelt durchgeführt, mit jeweils vertauschten Modulen, so dass sich Unterschiede hier sofort gezeigt hätten. Das Ergebnis ist in Diagramm 2 zu betrachten. Die Versorgungsspannung in der Juicebox3 bricht ein. Lässt man diesen Fakt außen vor, so

zeigt sich unter Last auch das praktische Gesicht des Störspektrums. Der Abstand zwischen der DC-Spannung und dem Störspektrum bei 3 kHz liegt mit der API-Lunchbox bei 142 dB. Die Juicebox3 bringt es hier auf 120 dB. Weiter unten, bei 30 Hz liegt der Abstand für API bei rund 130 dB, bei der Juicebox3 werden hier rund 105 dB erreicht. Hinzu kommen die auch diesmal durchgelassenen und im Netzteil entstandenen Störspitzen. Das alles ist noch recht theoretisch, denn bisher ist keineswegs aufgezeigt, dass es eine Auswirkung auf das Audiosignal hat. Praktisch betrachtet sind die hier betrachteten Störabstände auch gar nicht so schlecht.

## Experiment 1: Ergebnisse im Audiosignal

Schauen wir uns also als nächstes das Rauschspektrum des Vorverstärkers in beiden Gehäusen an. Um Unterschiede von Cassette zu Cassette ausschließen zu können, haben wir die Messungen diesmal nacheinander mit demselben Modul in beiden Rahmen gemacht. Der Eingang war mit einem 200 Ohm Widerstand abgeschlossen. Für normale Messungen eher ungewöhnlich, beginnen wir das betrachtete Spektrum diesmal bei 1 Hz, denn wir wollen ja auch sehen, in wie weit es die Versorgungsgleichspannung mit all ihren Störungen in das Audiosignal hinüberschafft. Diagramm 3 zeigt das Ergebnis. Zu einem DC-Offset (Gleichspannungsversatz) des Audiosignals kann es bei diesem Modul nicht kommen, denn wir haben es mit einem Übertrager-Design zu tun, welches vom Prinzip her keine Gleichspannung nach außen lässt. Schauen wir zunächst auf das reine Rauschverhalten. Hier lässt sich keinerlei Unterschied zwischen den beiden Rahmen erkennen. Für die Juicebox3 konnten wir einen Rauschpegel RMS unbewertet von 20 Hz bis 20 kHz von -53,6 dBu ermitteln, der zugehörige Quasi-Peak Messwert liegt bei -42,7 dBu. Un-

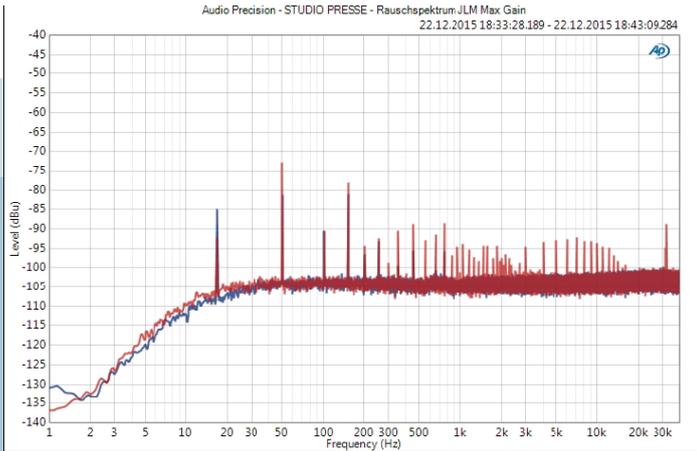


Diagramm 3: Rauschspektrum am Audioausgang des JLM Mikrofonvorverstärkers bei maximaler Verstärkung. Juicebox3 (blau) und API Lunchbox 6B (rot)

ter gleichen Bedingungen messen wir bei der API Lunchbox die vergleichbaren Werte von -53,3 dBu RMS und -42,5 dBu Quasi-Peak. Ein Unterschied, der vielleicht gerade groß genug ist, die Messgenauigkeit zu überschreiten. Die Vermutung, dass sich durch die unterschiedlichen Stromversorgungen eventuell die absolute Lage des Rauschteppichs verschieben könnte, ließ sich zumindest in diesem Experiment nicht bestätigen. Die allgemeine Aussage, dass eine verbesserte Stromversorgung auch einen Rückgang im breitbandigen Rauschpegel verursachen kann, stimmt hier nur, wenn man keine spektrale Differenzierung durchführen kann. Und auch dann ist sie äußerst gering, wenn überhaupt nachweisbar. Die einzelnen Störspitzen sind charakteristisch hingegen erstaunlich deutlich unterschiedlich ausgeprägt. An ihrer Frequenz lässt sich auch schlussfolgern, dass es sich hierbei um Einstreuungen handelt, die in einem Verhältnis zur Brummspannung stehen. In der Praxis wäre eine ähnliche Übertragung auch über das Magnetfeld des Eingangstrafos möglich. Bei unseren beiden Probanden sollten diese jedoch weit genug von den Steckkarten entfernt sein.

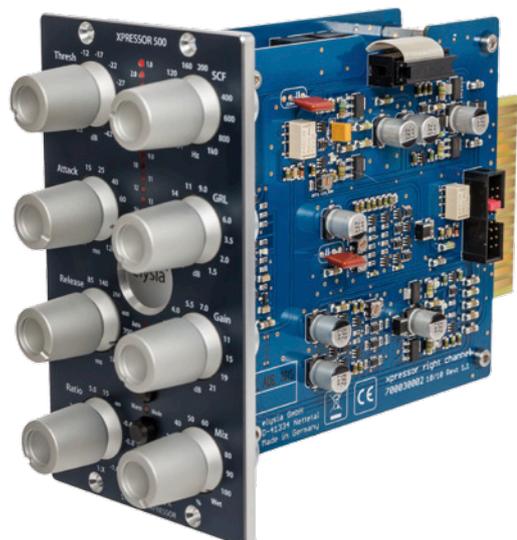
## Experiment 2: Headroom und Verzerrungsspektrum im Audiosignal

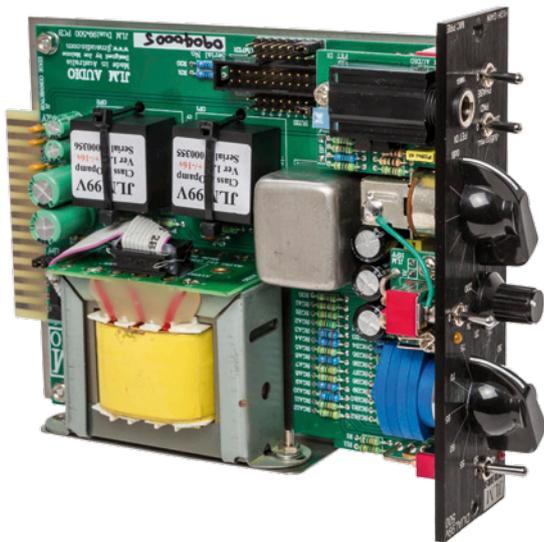
Wie bereits erwähnt, ist die Stromversorgung unmittelbar für die Fähigkeiten eines Gerätes im Hochpegelbereich mitverantwortlich. Dies äußert sich in der Praxis durch zwei verschiedene Effekte. Erstens den nutzbaren Headroom bei der praktischen Aussteuerung und zweitens die Kennlinie im Übersteuerungsbereich und damit die Impulsabbildung. Steht nicht genug Strom zur Verfügung, so kann das Signal nicht mehr adäquat verstärkt werden und verzerrt. Dies kann auch einen Einfluss haben, wenn man sich mit dem Signal eigentlich im verzerrungsarmen Bereich befindet, denn kurze Tran-

sienten können das System auch kurzzeitig überfordern. Auch bei hohen Pegeln müsste sich also ein Unterschied ergeben, wenn man das Verzerrungsverhalten desselben Moduls vergleicht. Für diesen Versuch wechseln wir das Modul, da wir den Einfluss der Übertrager des JLM-Vorverstärkers vermeiden wollen. Stattdessen kommt nun Elysias Xpressor 500 zum Einsatz.

## Experiment 2: Ergebnisse im Audiosignal

Als erstes werfen wir also einen Blick auf die Kennlinie des Xpressor 500, wenn er in die Übersteuerung läuft. Die Einstellungen wurden dabei so gewählt, dass es keine eigentliche Regeltätigkeit gibt, sich die Schaltung jedoch komplett im Signalweg befindet. Natürlich ist das Verzerrungsverhalten in erster Linie von der Schaltung selbst und seinen Komponenten bestimmt (und vom Schaltungslayout, wie uns Bruce Hofer im Interview in dieser Ausgabe erläutert hat). Es lässt sich hier also keinerlei absolute Aussage treffen, sondern nur der Vergleich zwischen den beiden Rahmen ziehen. Der Eingangspegel wird bis hinauf zu +30 dBu getrieben, um das System möglichst maximal zu belasten. Eine Chance haben 500er Module bei hohen Pegeln eigentlich generell nicht, aber wir wollen die Grenzbereiche gut sehen können. Ein erkennbarer Unterschied zeigt sich bereits in der Kennliniendarstellung in Diagramm 4. Die API-Lunchbox tritt etwas später in die Übersteuerung ein, was jedoch vorwiegend daran liegt, dass hier eine etwas höhere Betriebsspannung zur Verfügung gestellt wird. Auf den Kurvenverlauf haben die beiden Netzteile keinen Einfluss. Es ist ohnehin fraglich, in wie weit man bei starker Übersteuerung noch zwischen den verschiedenen Effekten differenzieren kann. Wir nehmen nun mit +20 dBu einen exemplarischen Pegel im Grenzbereich der Spannungsversorgung eines 500er Rahmens und betrachten die Unter-





schiede im Klirrspektrum des Xpressor 500 in beiden Rahmen. Die beiden Diagramm 5 und 6 unterscheiden sich dabei nur darin, dass die X-Achse logarithmisch oder linear abgebildet wird. In der logarithmischen Darstellung zeigt sich interessanterweise, dass die API-Lunchbox deutlich weniger Störkomponenten unterhalb des Stimulus produziert, als die Juicebox3. Vor allem die angrenzenden Seitenbänder des Testsignals sind viel geringer ausgeprägt. Der Unterschied ist hier sehr hoch zu bewerten. Auch in der linearen Darstellung zeigen sich deutliche Unterschiede im Pegel der einzelnen Klirrkomponten, sowie in der Dichte der Seitenbandstörungen der einzelnen harmonischen Obertöne. Die API Lunchbox ist bei diesem Experiment deutlich störungsärmer. Eine qualitative Aussage kann an dieser Stelle dennoch nicht gemacht werden; aber die Unterschiede sollten zumindest auch akustisch differenzierbar sein.

## Zwischenfazit Teil 1

Diese erste Testreihe sollte nicht zu vorschnellen Urteilen führen und wir haben hier auch tatsächlich etwas plakativ auf zwei sehr unterschiedliche Preiskategorien gesetzt. Aber es zeigt sich, dass zumindest für die hier vollzogenen Versuche kein eindeutiger Favorit heraussticht. Das sagt weder etwas darüber aus, welcher Rahmen besser klingt, noch lässt sich spekulieren, dass günstig nicht immer schlecht sein muss. Die Welt kann zum Beispiel ganz anders aussehen, wenn die Rahmen stärker belastet werden. Die Spezifikationen des 500er Systems sind nämlich leider nicht sehr restriktiv und selbst an die wenigen Bedingungen (zum Beispiel die maximale Stromaufnahme pro Modul) halten sich manche Hersteller nicht. Hinzu kommen anekdotische Aussagen, wie die von Andrew Myburgh, der uns berichtete, dass die ältere Generation API-Lunchbox durchaus große Probleme hatte, die Phantomspeisung für sechs angeschlossene Mi-

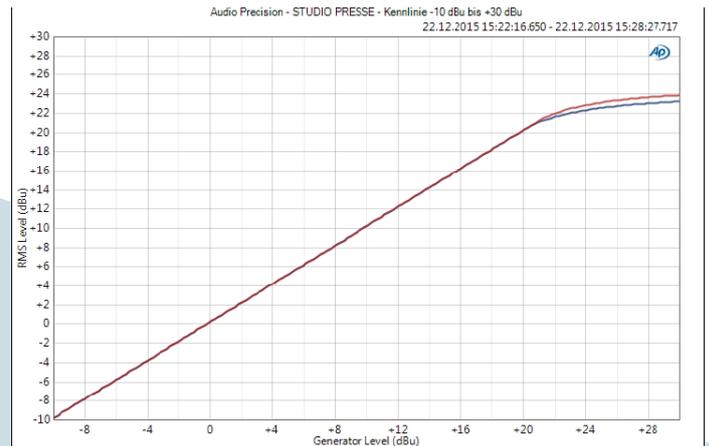


Diagramm 4: Kennlinie des Elysia Xpressor 500 bei Eingangspiegeln bis +30 dBu, Juicebox3 (blau) und Lunchbox (rot)

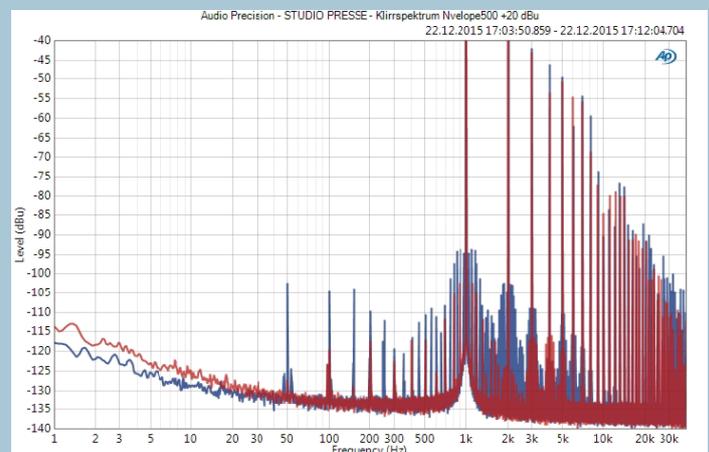
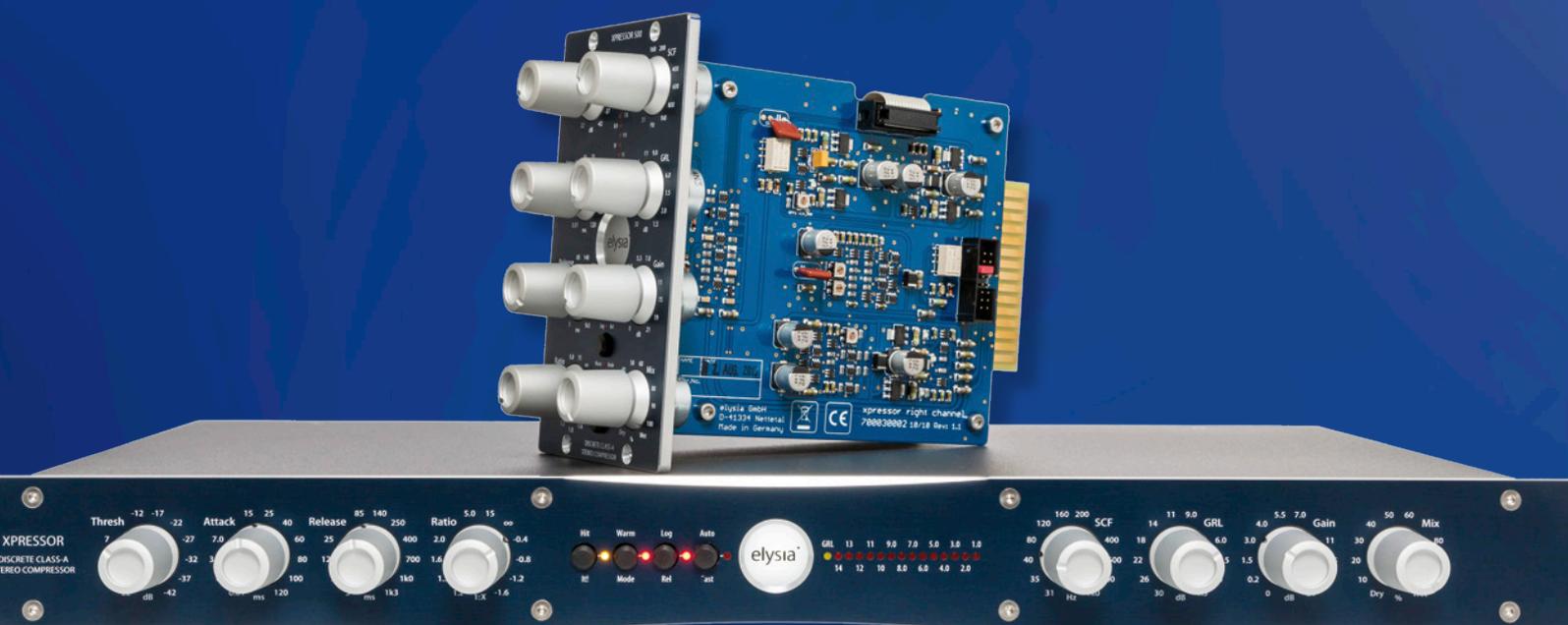


Diagramm 5: Klirrspektrum des Xpressor 500 bei +20 dBu Eingangspiegel, logarithmische Darstellung. Juicebox3 (blau) und Lunchbox (rot)



Diagramm 6: Klirrspektrum des Xpressor 500 bei +20 dBu Eingangspiegel, lineare Darstellung. Juicebox3 (blau) und Lunchbox (rot)

krofone zu stemmen. Wir können das nicht prüfen, halten es aber aufgrund unserer Erfahrung für glaubwürdig. Auch diesen Aspekt werden wir versuchen unter die Lupe zu nehmen, in einer späteren Folge dieser Serie. Und es soll natürlich nicht ausschließlich auf das API-Stecksystem eingegangen werden.



Möge die

# KRAFT

mit Euch sein

## BETRACHTUNGEN ZUR ENERGIEVERSORGUNG TONTECHNISCHER GERÄTE - TEIL 2

Im Nachklang des ersten Teils dieser Serie wurde ich geprüft. Mir wurde die süße Frucht der Versuchung angeboten; ‚Hier, hör doch mal! Hörst du nicht auch Unterschiede?‘. Und obwohl ich noch so neugierig war (es immer noch bin), musste ich der Versuchung widerstehen, um das ganze Projekt gar nicht erst in Ansätzen in die falsche Richtung laufen zu sehen. Wir bleiben dabei – es gilt zu messen, was die Stromzuführung, Netzteile und andere Komponenten des komplexen Systems der Energieversorgung tontechnischer Geräte für einen Einfluss auf ihren Klang, beziehungsweise ganz neutral – ihre technischen Daten, haben können.

FRIEDEMANN KOOTZ, ABBILDUNGEN: FRIEDEMANN KOOTZ

Und natürlich wurde die Zeit seit dem ersten Teil genutzt, um sich rückzukoppeln und neue Experimente zu erdenken. Dabei gab es Austausch mit verschiedenen Weltanschauungen. Vom überzeugten Nutzer wasserschlauchdicker Stromkabel, bis hin zum trockenen Physiker. Zu den spannendsten Unterhaltungen gehörte die mit unserem lieben Freund Gerd Jüngling von ADT-Audio. Seine Erfahrung mit der Stromversorgung großer Mischkonsolen führte am Ende zu einigen Erkenntnissen, die auf den ersten Blick frustrieren und auf den zweiten eine hohe Motivation nach sich ziehen. Um es herunter zu brechen, könnte man es so zusammenfassen: Es gibt nichts, was es nicht gibt. Je größer die fließenden Ströme, je unüberschaubarer die Rahmenbedingungen und je schlechter die Planung einer guten Strom-Infrastruktur, desto höher die Wahrscheinlichkeit für negative Effekte. Letztere sind im harmlosesten Fall tonale oder geräuschhafte Störungen im Audiosignal (zum Beispiel Brummen, Zirpen, stark gefärbtes Rauschen), im schlimmsten Fall Brände und Stromschläge. Während wir uns mit letzteren Problemen in diesem Rahmen hier nur am Rande beschäftigen wollen, geht es darum zu messen, welche klanglichen Auswirkungen einfache Entscheidungen in der täglichen Arbeitspraxis haben können. Dabei machen wir einzelne Experimente, die zum Teil aufeinander aufbauen, manchmal aber auch ganz isoliert gesehen werden können.

Im ersten Teil der Serie haben wir uns mit dem Vergleich zweier sogenannter Lunchboxes im API 500 Format beschäftigt. Die Unterschiede beider Gehäuse waren dabei sehr deutlich. Man muss sich klar machen, dass die Unterschiede in der Praxis nicht immer die gleiche Relevanz aufweisen werden, jedoch auch extremer werden können. Entscheidend ist hier natürlich die Bestückung der Rahmen und damit die Last auf dem Netzteil. Es kann zu Modulkombinationen kommen, die vom Gehäuse überhaupt nicht verkraftet werden und manche Modulhersteller interpretieren die technischen Vorgaben des Formates etwas großzügig. Die Lösung, beide Testrahmen nur mit einem Modul zu belasten, war daher ein Kompromiss. Wäre es nicht interessanter auch ein vom Hersteller des Steckmoduls spezifiziertes Netzteil in den Vergleich einbeziehen zu können? Glücklicherweise gibt es die wunderbare Firma Elysia aus Nettetal, die einen Teil ihrer Produkte als 500er Modul und im eigenen 19-Zoll-Gehäuse anbietet. Das kleine Geheimnis dabei ist, dass auch das 19-Zoll-Gerät das gleiche ‚Audiomainboard‘ nutzt, wie das 500er Modul. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ein genialer Schachzug, da nur eine Variante gefertigt werden muss. Und auch für unseren Test ein absoluter Glücksfall. Im ersten Experiment vergleichen wir also die gleichen Parameter, wie beim letzten

## Sicherheitsaspekte bei der Polung

Die deutsche Schuko-Steckdose ist recht alt, aber flexibel und vergleichsweise sicher. Bei seiner Einführung war eine Verpolungssicherheit noch nicht notwendig. Dies hat sich über die Jahre geändert, denn inzwischen sind die Hausinstallationen alle als sogenannte TN-Systeme aufgebaut. An der Steckdose liegen damit ein Außenleiter, ein Neutralleiter und eine Schutz-erde an. In Kombination mit einpoligen Netzschaltern, wie sie selbst in hochwertigen Audiogeräten zum Teil verbreitet sind, können sich jedoch Probleme ergeben. Je nach Steckerpolung wird nicht der Außenleiter, sondern der Neutralleiter unterbrochen. Das bedeutet, dass das Gerät auch im ausgeschalteten Zustand noch unter Spannung steht und der Strom im Fehlerfall über den Benutzer abfließen könnte (defekte Schutz-erde). Zwar ist seine Funktion damit nicht gegeben (sprich, es ist aus), aber es kann neben der Gefahr durchaus zu harmloseren, ungewünschten Effekten kommen. Aktivlautsprecher, die ausgeschaltet leise vor sich hin musizieren, können zum Beispiel eine Folge davon sein. Generell sind zweipolige Netzschalter zu präferieren, aber eine Umrüstung steht meistens in keinem Verhältnis. Wird beim Anschluss auf die Polung geachtet, so ist dem Problem bereits Einhalt geboten. Wichtig ist dabei auch, dass zuführende Mehrfachsteckdosen und Verlängerungskabel ebenfalls in ihrer Polung überprüft werden. Trennt der Netzschalter den Außenleiter, so ist das Gerät nur noch mit zwei nicht spannungsführenden Leitern verbunden und damit definitiv vom Stromfluss getrennt.

Mal, aber diesmal mit Elysias Xpressor in beiden Varianten. Zugegeben, noch besser wäre es gewesen, tatsächlich die Karten innerhalb des Gerätes auszutauschen und in das API-Rack zu setzen. Wir haben den Aufwand der kompletten Zerlegung beider Module jedoch (bisher) gescheut.

## Experiment 3: Rauschspektrum Standalone vs. 500er Modul

Dass sich hier Unterschiede ergeben, wissen wir bereits aus dem letzten Test. Und die Einschränkungen, dass wir Absolutwerte nicht vergleichen können, da es sich nicht um dieselbe, sondern nur die gleiche Hardware handelt, ist uns sehr klar. Dennoch lohnt sich der Blick auf das Rauschen schon, denn signifikante Unterschiede, zum Beispiel in der Brummspannung, wären ein gutes Argument für die Variante mit eigenem Netzteil. Als Kandidat für die Lunchbox nutzen wir wieder das originale API-Produkt mit sechs Steckplätzen, welches uns

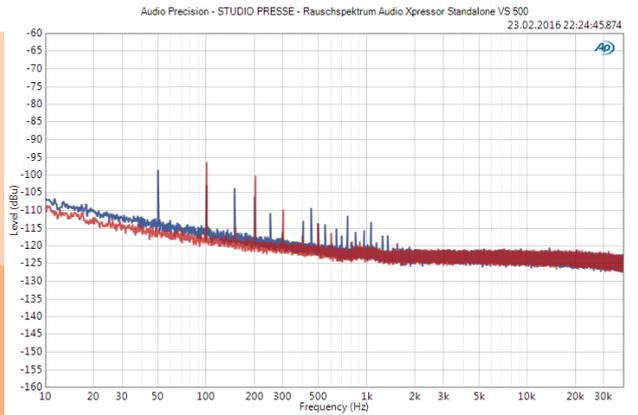


Diagramm 1: Rauschspektrum des Elysia Xpressor 500 in der API Lunchbox (rot) gegen das 19-Zoll-Gerät (blau)

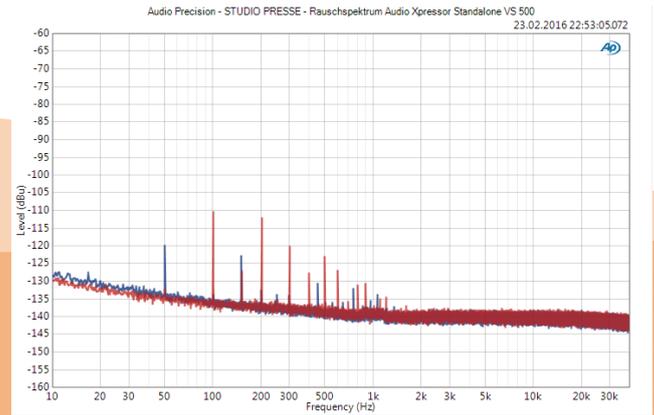


Diagramm 2: Das gleiche Rauschspektrum wie in Diagramm 1, bei minimaler Aufholverstärkung beider Module. Die Unterschiede treten hier deutlicher zutage

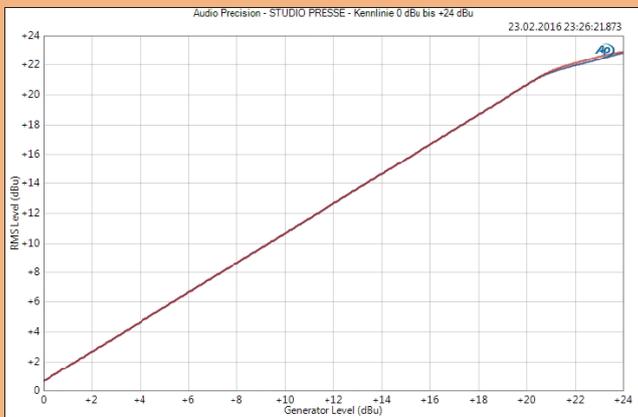


Diagramm 3: Kennlinie des Xpressor 500 (rot) und des 19-Zoll-Gerätes (blau). Unterschiede ergeben sich erst außerhalb des spezifizierten Pegelbereichs



Diagramm 4: Xpressor als 19-Zoll-Gerät erreicht bestimmte THD+N Werte rund 0,2 dB eher als das API-Modul. Allerdings ist ein Exemplarunterschied hier nicht auszuschließen

KMR-Audio Berlin geliehen hat. Mit dem Abgleich der Einstellungen zwischen den beiden Modulen hatten wir es nicht ganz leicht. Wir haben uns daher entschieden, alle Potentiometer an ihren linken oder rechten Anschlag zu setzen. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die grundlegenden Unterschiede zwischen beiden Modulen ausschließlich durch Bauteiltoleranzen verursacht werden.

### Experiment 3: Ergebnisse im Audio

Mit der ersten Messung ergibt sich ein etwas enttäuschendes Bild. Nicht weil wir unbedingt einen Unterschied finden wollten, sondern weil wir nicht sicher sind, wie wir das Ergebnis interpretieren können. Diagramm 1 zeigt die Rauschspektren beider Xpressor-Varianten. Ein Unterschied ist sowohl in der Ausprägung der leichten Störna-



deln zu erkennen, als auch im Anstieg in den Tiefen. Die Unterschiede sind absolut gesehen jedoch minimal, denn man muss sich vor Augen führen, dass wir hier mit einer Messmethodik allerhöchster Genauigkeit aufwarten. Die Standalone-Variante scheint etwas mehr Rauschenergie in den Tiefen zu haben, während die Lunchbox ein paar mehr Obertöne im

Rauschen versteckt. Vergleicht man jedoch die Absolutwerte, so zeigt sich ein identisches Ergebnis. Der Rauschpegel beider Geräte liegt bei -72,9 dBu RMS unbewertet (20 Hz bis 20 kHz) und auch die Quasi-Peak-Messungen nach ITU-468 sitzen mit gleichen -62 dBu im passenden Abstand. Aber ganz aufgeben wollen wir diese Messung noch nicht. Im nächsten Schritt wurde die Verstärkung auf ihren Minimalwert herunter gesetzt, so dass eventuelle Störreinstreamungen nicht von einem, meist sehr sauberen, Verstärkerrauschen maskiert werden können. Das Ergebnis ist in Diagramm

2 abgebildet und liefert das erwartete Verhalten. Die Lunchbox zeigt hier nun eine deutlichere Tendenz zu einzelnen Störnadeln, als die abgestimmte Hardware. Ein Blick auf die Rauschpegel zeigt tatsächlich ebenfalls einen kleinen Unterschied. Die Lunchbox liefert nun einen Rauschpegel von  $-89,7$  dBu RMS ungewichtet (20 Hz bis 20 kHz), während der Xpressor-Standalone mit  $-90,1$  dBu etwas darunter liegt. Mit  $-78,6$  dBu (Lunchbox) und  $-79$  dBu (Xpressor-Standalone) ist der Unterschied im Quasi-Peak noch etwas ausgeprägter.

## Experiment 4: Headroom und Verzerrungsspektrum im Audiosignals

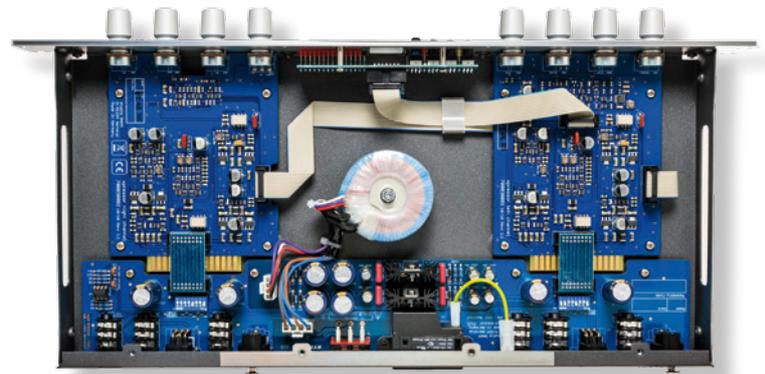
Am anderen Ende des Dynamikumfangs findet sich die Verzerrungsgrenze. Sie hängt unmittelbar von den Fähigkeiten des Netzteils ab. Da Elysia die gleiche Hardware verwendet, werden auch für beide Konfigurationen die gleichen Spannungen von  $\pm 16$  Volt benötigt. Schauen wir also auch bei dieser Konfiguration, wie sich die beiden Systeme an ihrer oberen Grenze verhalten.

### Experiment 4: Ergebnisse im Audiosignals

Das obere Ende der Dynamik scheint ein umgekehrtes Bild zur Rauschmessung zu liefern. Die in Diagramm 3 gezeigte Kennlinie verläuft bei der Lunchbox etwas länger linear, als beim Standalone-Gerät. Diese Feststellung muss jedoch unter dem Aspekt betrachtet werden, dass beide Module den vom Hersteller spezifizierten Maximalpegel von  $+21$  dBu bereits passiert haben. Bis zu diesem definierten maximalen Eingangsspegel verlaufen die Kurven absolut identisch. Dennoch lässt sich feststellen, dass die beiden Module etwas unterschiedlich reagieren, wenn man auf den Verlauf des THD+N über den Pegel in Diagramm 4 schaut. Es zeigt sich, dass das 19-Zoll-Gerät einen bestimmten THD+N-Wert bei rund  $0,2$  dB weniger erreicht, als das Lunchbox-Modul. Aber auch diese Unterschiede lassen sich nicht einwandfrei auf eine Ursache zurückführen. Mit etwas Frustration im Bauch lassen wir diese Vergleichs-Methodik daher zunächst links liegen und widmen uns weiteren Experimenten. Wenn unsere Geduld ausreicht und Elysia uns die Erlaubnis zum Zerlegen gibt, werden wir zu diesem Experiment nochmals zurückkehren.

### Experiment 5: Polarität des Netzsteckers

Es gehört zum kleinen Einmaleins jedes Hi-Fi-Enthusiasten, sich mit der richtigen Polarität der Stromzuführung sei-



nen einzelnen Anlagenkomponenten beschäftigt zu haben. Die Szene kennt hierfür den Begriff des ‚Ausphasens‘. Allerdings funktioniert Ausphasen mit Phasenprüfer und Voltmeter nur mit zweipoligen Stromanschlüssen ohne Schutzleiter. Dennoch bleibt die Überlegung, ob es nicht auch bei Anschlüssen mit drei Leitern nützlich sein kann. Und warum auch nicht, denn die in Deutschland verwendeten Typ-F Schuko-Steckdosen erlauben die Nutzung mit beiden Polaritäten. Einfacher haben es da die Franzosen und die Polen. Sie nutzen den sogenannten Typ-E, bei dem der Schutzleiter nicht über zwei Schleifkontakte an der Seite, sondern einen Stift kontaktiert wird, der aus der Buchse herausragt. Da dieser Stift nicht zentral, sondern versetzt sitzt, kann der Stecker in Buchsen dieser Bauart nur in einer Richtung eingesteckt werden. In der Konsequenz haben also alle Verbraucher an der Unterverteilung die gleiche, richtige (siehe Kasten ‚Sicherheitsaspekte bei der Polung‘) Polung. Da die beiden Systeme in den meisten Fällen kompatibel sind und universelle Zuleitungen für beide Typen bei den meisten Herstellern mitgeliefert werden, spricht nichts dagegen, sich eine solche Verteilung im Studio anzuschaffen. Aber hat das überhaupt einen Vorteil? Schließlich haben wir es mit Wechselstrom zu tun, bei dem die Polarität eigentlich keinen Einfluss haben dürfte. Entscheidend ist das ‚eigentlich‘ in diesem Satz, denn ganz von der Hand zu weisen ist ein Einfluss der Polung nicht immer. Keine Rolle sollte sie bei modernen Schaltnetzteilen spielen. Und auch Netzteile, die nur eine Spannung produzieren, sind weniger anfällig für derlei Effekte. Ein Einfluss lässt sich aber zumindest theoretisch nachweisen, wenn man es mit einem symmetrischen Linear-Netzteil zu tun hat. Also zum Beispiel die Art Netzteil, welche in unserer Lunchbox oder dem 19-Zoll-Xpressor verbaut sind. Erzeugt werden hier je  $+16$  Volt und  $-16$  Volt. Die Transformation der 230 Volt Netzspannung übernehmen Ringkerntransformatoren. Anschließend werden die Spannungen gleichgerichtet und geglättet. Je nach Polarität am Eingang kann sich am Ausgang eine unterschiedlich große

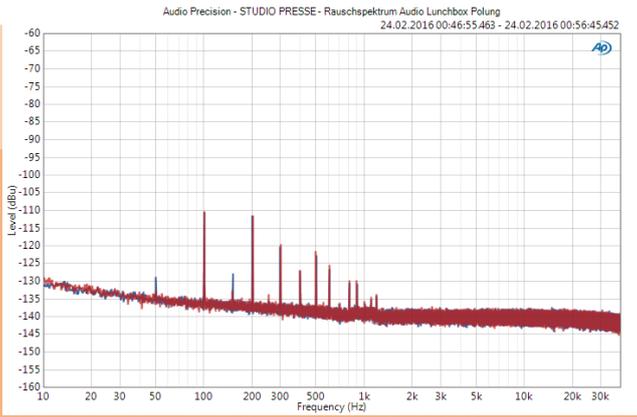


Diagramm 5: Die API Lunchbox reagiert mit veränderten tonalen Störungen auf eine Umpolung des Stromkabels

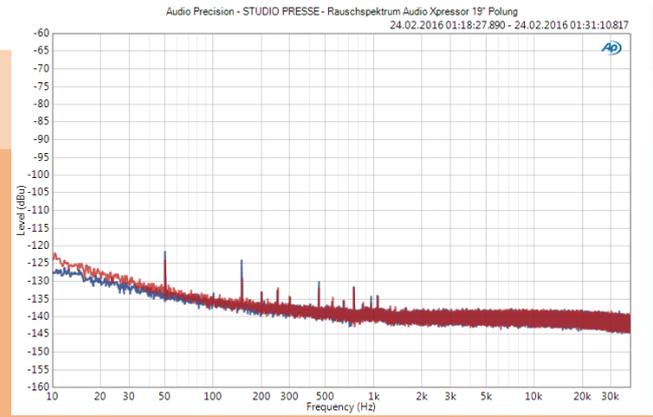


Diagramm 6: Und auch beim Xpressor Standalone gibt es einen messbaren Unterschied zwischen beiden Polungsvarianten

Brummspannung ergeben, die theoretisch auch im Audiosignal nachweisbar sein könnte.

## Experiment 5: Ergebnisse im Audiosignals

Für den ersten Versuch haben wir unsere Lunchbox mit dem Xpressor 500 hergenommen und zwei direkt aufeinander folgende Messungen des Störgeräuschkpektrums durchgeführt. Der Unterschied zwischen beiden Messungen lag ausschließlich in der Polung des Netzsteckers. Auch die Zeitabstände zwischen allen Messungen wurden so kurz es möglich war gehalten. Um sichergehen zu können, dass das Ergebnis reproduzierbar ist, haben wir beide Messungen jeweils doppelt ausgeführt. Das beobachtete Ergebnis war dabei fast identisch. Die relevanten Unterschiede zwischen beiden Polaritäten waren also stabil nachweisbar. Diagramm 5 zeigt das Ergebnis. Interessanterweise ist das breitbandige Rauschen in der einen Polungsrichtung etwas besser, während es sich mit den Maximalpegeln der einzelnen Brummkomponenten genau anders herum verhält. Auch wenn der Unterschied mal wieder nicht sehr groß ist, er ist nicht von der Hand zu weisen und lässt sich diesmal eindeutig auf die Stromversorgung zurückführen. Ein guter Grund, den Versuch auch mit dem Elysia Xpressor in der 19-Zoll-Version durchzuführen. Denn theoretisch herrschen hier elektrisch vergleichbare Voraussetzungen. Diagramm 6 zeigt das entsprechende Ergebnis dieses Versuchs. Auch hier lässt sich ein Unterschied erkennen. Interessanterweise ergab sich bei diesem Experiment

eine spannende Randbeobachtung. Im ersten Durchgang hatte ich mich bei den Kanälen verlickt und aus Versehen den 19-Zoll-Xpressor gemessen, während ich die Polung der nicht an der Messung beteiligten Lunchbox änderte. Und auch wenn er nur sehr gering ausfiel, auch hier ließ sich ein Unterschied reproduzierbar nachweisen. Das Ergebnis ist in Diagramm 7 dokumentiert. Es gibt also einen rückwirkenden Einfluss auf das Netz, zumindest für direkt benachbarte Verbraucher an einer Dose. Und diese Rückwirkung lässt sich beeinflussen. Diese Beobachtung war die Ursache, nach weiteren Effekten um die Polung zu suchen.

## Experiment 6: Polarität mehrerer Geräte

Um den Einfluss der Polung auf eine Gruppe mehrerer Geräte zu betrachten, haben wir einen Teil der analogen Bearbeitungskette unseres Black Flag Mastering-Studios herangezogen. Die Kette besteht aus einem Merging Hapi als D/A- und A/D-Wandler, sowie den dazwischen liegenden Geräten ADT-Audio Toolmod Kompressor und Equalizer (in einem Toolmod-Rahmen) und einem API 5500 Equalizer. Die Kette hat also fünf Stufen und drei unabhängige Netzteile unterschiedlicher Bauart. Hapi wird von einem Schaltnetzteil gespeist, das Toolmod von einem hochwertigen Linearnetzteil im externen Gehäuse und der API von einem internen Netzteil mit Ringkerntrafo. Letzteres verursacht ein Problem im Übertrager des zweiten Kanals und koppelt dort eine Brummstörung ein. Hier ergibt sich also eine kleine Schwachstelle des Sys-



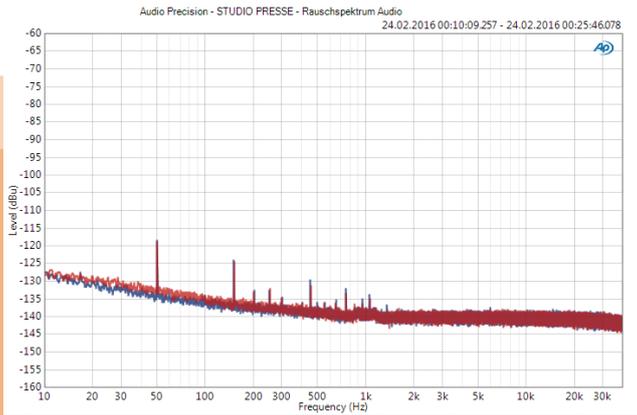


Diagramm 7: Die Kombination der beiden Geräte an einem Schuko-Verteiler wirkt sich ebenso aus. Zu sehen ist das veränderte Rauschspektrum des 19-Zoll-Gerätes, wenn die nicht gemessene Lunchbox umgepolt wurde

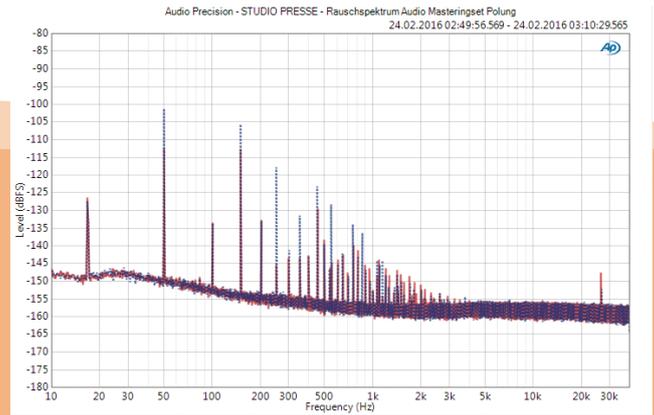
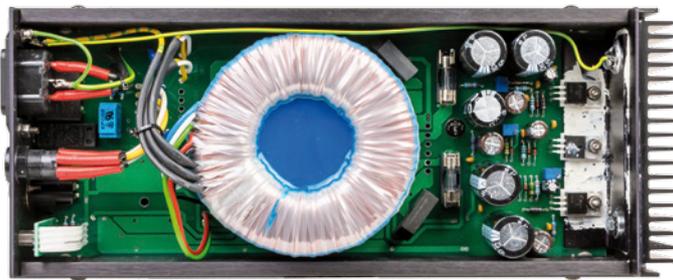


Diagramm 8: Die Auswirkung der Polung auf die Kombination mehrerer Geräte ist deutlich. Hier zu sehen der Unterschied zwischen der Gleich- und Gegenpolung des ADT-Audio Toolmod und des API 5500 Equalizers



tems. Eine interessante und doch noch überschaubare Kombination an analogen Geräten und zwei Wandlerkarten.

## Experiment 6: Ergebnisse

Das Ergebnis ist dabei eindeutig. Achtet man bei der Stromversorgung der drei Geräte auf eine gleiche Polung, so sinkt die Brummstörung signifikant ab. Der Unterschied ist in Diagramm 8 gut zu sehen und auch in absoluten Zahlen sehr deutlich. Die gleiche Polung aller Geräte in die eine Richtung führt zu einem Rauschpegel von  $-104,2$  dBFS RMS ungewichtet (20 Hz bis 20 kHz) im einen Kanal und  $-105,2$  dBFS im anderen Kanal. Beide Quasi-Peak nach ITU-468 Werte liegen bei  $-96,7$  dBFS. Dreht man die Polarität für alle drei Netzteil gemeinsam um, so sinken die RMS-Pegel auf  $-105,6$  dBFS im einen und  $-106,5$  dBFS im anderen Kanal, während die Quasi-Peak Pegel faktisch gleich bleiben. In der Konsequenz bedeutet dies, dass die Einstreuungen im tieferen Frequenzbereich (Brummspannung) zurückgegangen ist, was sich ja im Spektrum beobachten ließ. Im dritten Versuch wurde die Polung ‚gemischt‘. Das Rauschen beziehungsweise das komplette Störsignal steigt auf  $-103,8$  dBFS RMS im ersten und sogar  $-100,2$  dBFS im anderen Kanal. Ein drastischer Unterschied. Durch verschiedene Polungskombinationen zeigte sich aber auch, dass das Schaltnetzteil des Wandlers kaum einen Einfluss ausübt. Entscheidend ist die Kombination der

beiden Linearreglernetzteile der Analoggeräte und auch deren absolute Lage.

## Zwischenfazit des zweiten Teils

Die Unterschiede in unseren Beobachtungen sind in dieser Ausgabe deutlich geringer geworden, wenn man sie mit denen des ersten Teils vergleicht. Ich kann dabei kaum Hoffnung auf Besserung machen, denn wir haben noch eine lange Liste an Experimenten auf dem Zettel, deren Einfluss wohl eher geringer werden wird. Die rühmliche Ausnahme war unser Komplettsystem, bei der sich das ‚Umpolen‘ tatsächlich messtechnisch deutlich äußerte. Für diesen Teil kann man zusammenfassen, dass es sich zumindest messtechnisch lohnen kann, alle Geräte mit der gleichen Polung anzuschließen. Dies sicherzustellen ist gar nicht so einfach. Bei abgewinkelten Schuko-Steckern ist es noch leichter, bei gerader Kabelzuführung nicht mehr ganz. Hier kann man sich am ‚Loch‘ für den Typ-F Erdkontakt orientieren. Kleiner Aufwand, großer Nutzen. Groß? Sie fragen sich schon wieder, ob man irgendetwas davon hören kann? Das fragen wir uns auch...





FRIEDEMANN KOOTZ,  
ABBILDUNGEN: FRIEDEMANN KOOTZ

# Möge die **Kraft** mit euch sein

## BETRACHTUNGEN ZUR ENERGIEVERSORGUNG TONTECHNISCHER GERÄTE - TEIL 3

So ist das nun also mit dem Gesetz der Serie. Hat man einmal damit angefangen, kommt man nicht mehr drum herum und muss immer weiter. Und wir halten uns daran, auch wenn es diesmal ein wenig gedauert hat bis zum dritten Teil – hier ist er nun. Ein weiteres Kapitel bei der Betrachtung der Stromversorgung im Rahmen der Tontechnik. Dieses Thema scheint auf der einen Seite eine unfassbare Vielfalt an Schwerpunkten und interessanten Aspekten zu haben, auf der anderen Seite umstrahlt es weiterhin die Aura des Geheimnisvollen. Je mehr wir in der Redaktion über das Thema erfahren, je mehr wir mit Fachleuten und Anwendern reden, desto deutlicher wird: alles kann, nichts muss. Voodoo, alles Voodoo! Schreien die einen und sie haben in ihrer Aussage nur einen Fehler, nämlich das Wort ‚alles‘. Ersetzt man es durch ein ‚viele‘ kommen wir der Wahrheit schon näher. Voodoo allerdings nicht, weil wir hier die Grenzen der Physik verlassen würden, sondern weil die Vielzahl an Effekten und Problemen schlicht nicht mehr mit einfachen Modellen und Vorstellungen erfasst und überschaut werden kann. Deshalb sind die meisten Menschen mit dem Thema, zu Recht, überfordert. Magie, denken sie, Zauber, Hexerei. Ihre Konsequenz daraus ist jedoch nicht etwa schreiend davon zu laufen, sondern stattdessen mit Vitalwasser bei Vollmondschein geweihte, von Nonnen durch Seilspringen verdrillte Spezialstromkabel zu kaufen.

Damit sich unsere Leser nicht in dieser Gruppe Anwender wiederfinden, soll es nun also analytisch und messtechnisch weitergehen mit unserem aktuellen Lieblingsthema. Wer die ersten beiden Ausgaben der Serie verfolgt hat weiß, dass wir bisher vor allem Module für das 500er Kassettensystem von API genutzt haben. Dies hatte zwei Gründe, denn erstens sind direkte Vergleiche für uns sehr einfach handhabbar, auf der anderen Seite ist es sehr verbreitet und damit praxisnah. Auch diesmal werden wir uns noch schwerpunktmäßig damit beschäftigen, dann soll es aber auch erst einmal gut sein mit API 500. Wie bereits im Musikmessebericht angekündigt, haben wir uns von Elysia die Erlaubnis geholt, zu Versuchszwecken ein Gerät zu zerlegen, damit es sowohl im hauseigenen 19 Zoll-Gehäuse, als auch in einer API-Lunchbox getestet werden kann. Die Lunchbox, ein 500V-Rackträger (zehn Steckplätze) und das zugehörige Netzteil wurden uns freundlicherweise von Roger Schult und Erwin Strich ([www.es-proaudio.de](http://www.es-proaudio.de)) zur Verfügung gestellt. Von Roger Schult kam ebenfalls ein selbst entwickeltes Alternativnetzteil, welches wir mit dem originalen API-Netzteil vergleichen wollen. Wir werden auch diesmal wieder alle Versuche in einzelne Experimente gliedern, was zum Beispiel auch eine anschließende Diskussion über bestimmte Aspekte erleichtert, zu der ich jeden Leser einladen möchte. Für die elektrischen Messungen stand uns ein Fluke 175 True RMS Multimeter zur Verfügung, welches uns freundlicherweise von Jünger Audio geliehen wurde. Audioseitig konnten wir natürlich auf unser bewährtes Audio Precision APx555 zurückgreifen, welches vom Stromnetz, und damit von den Testgeräten, durch einen Trenntrafo weitestgehend separiert wurde.

## Experiment 3-B: Die Zerlegung des Elysia

Da wir im zweiten Teil unzufrieden waren mit dem Vergleich zwischen dem Xpressor 500 und seinem 19 Zoll-Gegenstück, gehen wir nun diesmal den Schritt weiter und vergleichen ein und das selbe Modul mit beiden Gehäusearten. Dies ist möglich, da sich, wie schon berichtet, im 19 Zoll-Gerät die gleichen Platinen verbergen, wie im 500er Modul. Auch diesmal waren alle Potentiometer an den Anschlag gestellt um sicher zu gehen, dass sich während des Umbaus der beiden Module keine ungewollten Veränderungen ergeben. So wurde der direkte und diesmal unverfälschte Vergleich des Standalone-Gerätes mit der 500er-Kartenversion möglich. Gemessen haben wir wieder das Rauschniveau und -spektrum im Audiosignal, sowie direkt an der Versorgungsspannung. Darüber hinaus nahmen

wir verschiedene Klirrspektren bei Vollaussteuerung (+22 dBu, die Pegelgrenze knapp unter 0,05 % THD+N) und einen Amplituden- und Phasengang. Als Proband kam eine 500er Lunchbox mit eingebautem Netzteil und sechs Steckplätzen zum Einsatz. Allerdings diesmal nicht aus der High Current-Serie, sondern aus der ersten Generation, dessen internes Netzteil etwas weniger Strom liefern kann. Allerdings wird dieser Unterschied erst bei einer Bestückung mit mehreren Modulen relevant. Die Lunchbox war ausschließlich mit den auseinandergenommenen Xpressor-Platinen belegt und lieferte eine Lastspannung von 32,42 Volt am Eingang der Module. Der Xpressor im 19 Zoll-Gehäuse mit einer Höheneinheit wird von einem Linearnetzteil mit Ringkerntransformator gespeist. Die belastete Versorgungsspannung des Standalone-Gerätes lag bei 31,88 Volt. Übrigens haben wir diesen Versuch an mehreren Tagen wiederholt, um Unterschiede in der Netzspannung als Einfluss ausschließen zu können. Trotzdem unsere Netzspannung zwischen 228 und 232 Volt schwankte, ergaben sich hier keinerlei Unterschiede.

## Experiment 3-B: Ergebnisse im DC

Auch in diesem Fall lässt sich ein Unterschied zwischen beiden Stromversorgungen bereits im Rauschspektrum der Versorgungsspannung selbst erkennen. Diagramm 1 zeigt die beiden Messungen. Es ist zu erkennen, dass sowohl das breitbandige Grundrauschen, als auch die einzelnen Nadeln unterschiedlich ausgeprägt sind. Die Lunchbox, mit der roten Kurve, muss hier gegenüber dem 19 Zoll-Gerät zurückstecken. Und das obwohl bei letzterem eine Störnadel bei 50 Hz hinzugekommen ist. Auf die Ursache dafür werden wir noch später zu sprechen kommen. Es bleibt die Frage, ob sich der hier sichtbare Unterschied auch im Audiosignal bemerkbar machen kann.

## Experiment 3-B: Ergebnisse im Audiosignal

Und wir können die Antwort auch direkt hinterher schicken, ja, er kann. Der direkteste Nachweis findet sich natürlich im Grundrauschen des Audiosignals und hier entdecken wir eine interessante Besonderheit in Diagramm 2. Während das breitbandige Rauschen bei der Lunchbox (rote Kurve



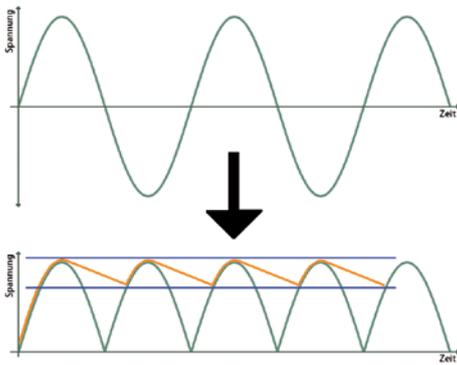
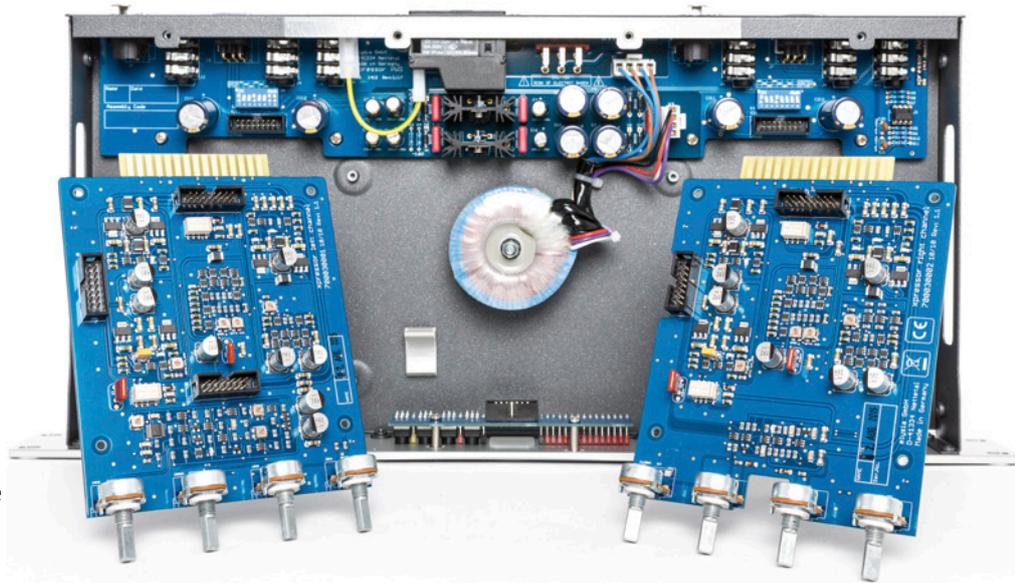


Abbildung 1: Zweiweggleichrichtung – Die positive und negative Halbwellen der Netzspannung werden zu einer pulsierenden Gleichspannung gleichgerichtet



ve) nur wenig höher liegt, sehen wir einen deutlichen Unterschied in den tonalen Störungen. Es ist erkennbar, dass das 19 Zoll-Gerät mehr Energie bei 50 Hz aufweist, dafür aber bei höheren Frequenzen deutlich weniger Störungen verursacht. Diese Beobachtung ist sehr wichtig für die Praxis, denn 50 Hz werden nur in geringem Maße durch die Brummspannung verursacht. Bei der Gleichrichtung werden die beiden Halbwellen der Netzwechselspannung in eine Richtung ‚geklappt‘. Anschließend werden damit Kondensatoren geladen, die die verbleibende Wellenstruktur glätten, dargestellt in Abbildung 1. Am Ende bleibt dennoch eine pulsierende Störspannung übrig, die die Gleichspannung überlagert. Sie wird Brummspannung genannt und hat, durch das Umklappen, ihren Grundton bei der doppelten Netzfrequenz, hierzulande also bei 100 Hz. Natürlich gelangen auf diesem Weg auch 50 Hz ‚Untertöne‘ in die Gleichspannung, aber eben nur geringfügig. Die meisten 50 Hz-Störungen sind stattdessen durch parasitäre Induktion vom Netztransformator selbst verursacht. Dieser sitzt bei Elysias Xpressor viel näher an den Platinen, als dies in einer Lunchbox der Fall ist. Solche Induktionseffekte lassen sich leicht identifizieren, wenn zum Beispiel ein Kanal, der lokal näher am Netzteil sitzt, stärker von einer Brummstörung belastet ist. Auch in einer Lunchbox würde der Steckplatz am Trafo am stärksten bei 50 Hz brummen. Aus diesem Problemumfeld stammen auch die verbreiteten Empfehlungen zum physischen Drehen eines Ringkerntrafos (bitte nicht ohne Fachkenntnis selbst durchführen) um Brummstörungen zu senken. Dies verändert nicht die elektronische Brummspannungsunterdrückung des Netzteils, sondern nur die parasitäre Induktion durch das magnetische Wechselfeld. Bei manchen Geräten macht dies jedoch schon viel

aus, wie wir auch später im Abschnitt über den API 5500 Equalizer erfahren werden. Es lässt sich festhalten, dass die eigentliche Brummspannungsunterdrückung im Elysia Standalone-Xpressor offensichtlich die der API Lunchbox übertrifft. Gute Voraussetzungen für bessere Audioqualität und mehr Dynamik. Aber natürlich ist dies nur ein Aspekt der Stromversorgung. Gerade bei solch vergleichsweise begrenzten Spannungen wie den +/-16 Volt des API-Systems müssen wir einen genauen Blick auf die obere Lastgrenze werfen. Diagramm 3 zeigt daher das Klirrspektrum bei Volllaussteuerung in beiden Gehäusen. Die Volllaussteuerung liegt bei +22 dBu. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Obertonstruktur in der Lunchbox drastisch stärker ausgeprägt ist. Einen besseren Eindruck auf die Größe des Unterschieds vermittelt Diagramm 4, in dem dieselbe Messung auf den für uns relevanten Frequenzbereich reduziert ist. In absoluten Zahlen sieht es so aus, dass die Lunchbox bei +22 dBu einen THD+N von 0,134 % (20 Hz bis 20 kHz) verursacht. Im 19 Zoll-Gerät lag dieser Wert bei 0,04 %. Und noch ein Detail können wir dieser Messung entlocken. Diagramm 5 zeigt den unteren Teil des Spektrums. Hier ist zu erkennen, dass es die 100 Hz-Brummspannungsoberwelle in das Praxissignal hinein schafft, während der 50 Hz Grundton des 19 Zoll-Gerätes im breitbandigen Rauschen untergeht. Mit eigenem Netzteil kann Elysia also tatsächlich mehr Dynamikumfang aus dem Modul herausholen, auch wenn der Unterschied in der Praxis nur sehr minimal ist. Im Dunstkreis der Stromversorgung wird immer wieder auf das Thema der Impulsfestigkeit hingewiesen. Es lohnt sich also hier einen Blick drauf zu werfen. Da das Modul mit beiden Netzteilen unterschiedlich stark in die Verzerrung

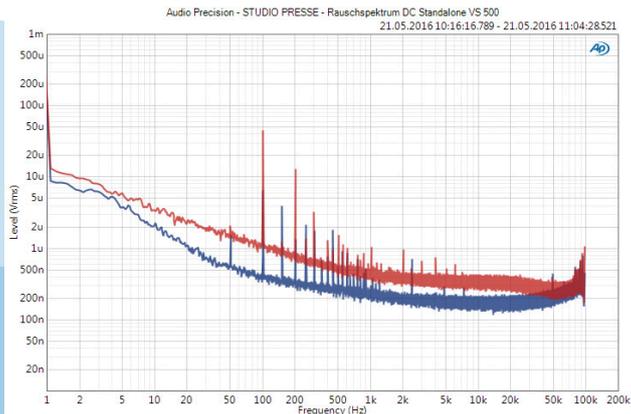


Diagramm 1: Rauschspektrum im DC, Elysia Xpressor im 19 Zoll-Gehäuse (blau) und im API 500V Rack (rot)

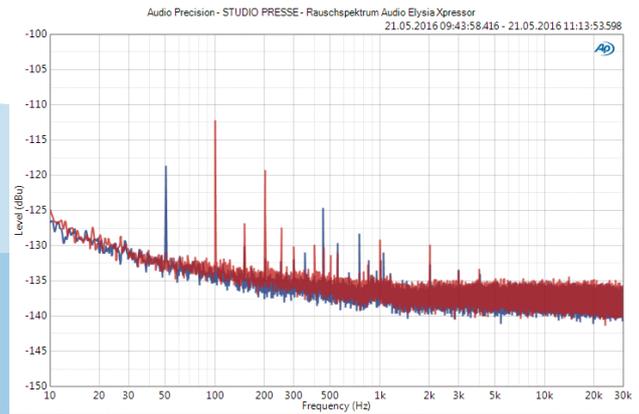


Diagramm 2: Rauschspektrum im Audiosignal, Elysia Xpressor im 19 Zoll-Gehäuse (blau) und im API 500V Rack (rot)

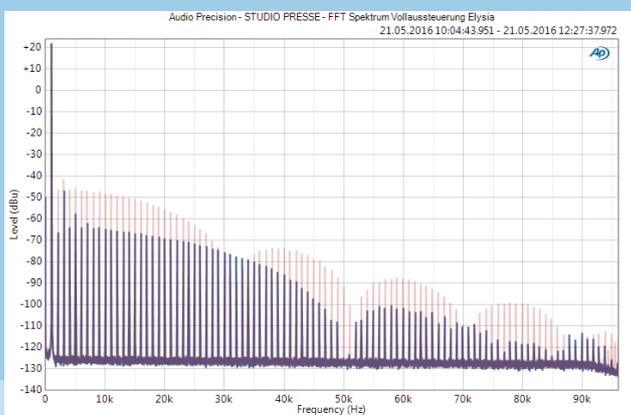


Diagramm 3: Klirrspektrum unter Vollaussteuerung (+22 dBu), Elysia Xpressor im 19 Zoll-Gehäuse (blau) und im API 500V Rack (rot)

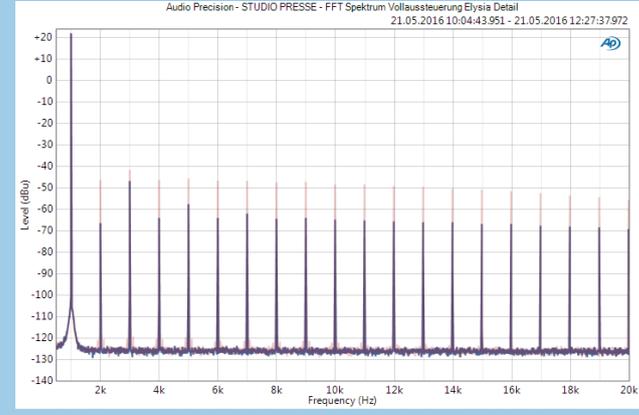


Diagramm 4: Klirrspektrum in linearer Darstellung unter Vollaussteuerung (+22 dBu), Elysia Xpressor im 19 Zoll-Gehäuse (blau) und im API 500V Rack (rot)

geht, ist klar, dass es einen Unterschied geben muss. Es ist jedoch sehr schwer, diesen zu quantifizieren. Da die Impulsantwort eines Systems direkt mit seinen Frequenzgängen zusammenhängt, haben wir einen Blick auf den Amplitudenfrequenzgang unter Vollaussteuerung geworfen. Sollte das Netzteil in seiner Stromlieferfähigkeit an seine Grenzen kommen, müsste dies theoretisch in Form eines Einbruchs in den Höhen sichtbar werden. Das Ergebnis ist in Diagramm 6 abgebildet. Einen signifikanten Unterschied konnten wir in dieser Disziplin nicht ausmachen. Der absolute Versatz fällt mit 0,001 dB nicht ins Gewicht und vielleicht sogar aus dem Rahmen der Messgenauigkeit. Damit fällt das Fazit gemischt aus, denn auch, wenn wir einen Unterschied durchaus feststellen konnten, wird dieser in der Praxis nur wenig Relevanz haben. Es gilt aber zu bedenken, dass die Lunchbox mit zunehmender Anzahl Module stärker belastet wird und die Messwerte so zwangsweise schlechter werden. Dieses Schicksal bleibt dem Standalone-Xpressor erspart.

## Experiment 7: Leitungslänge

Die letzten Meter sind entscheidend! Dieser Satz ist natürlich als kleine Provokation gemeint, denn es geht uns keineswegs um die letzten Meter von der Steckdose zum Gerätenetzteil, sondern dahinter. Unser API 500V (das V steht übrigens nicht für Volt) Testrahmen ist nicht wie die Lunchbox mit einem internen Netzteil ausgestattet, sondern wird über ein externes Netzteil (API L200 PSU, lineare Version) versorgt. Die Zuleitung ist dabei fest montiert und von Hause aus knapp 1,8 Meter lang. Da die Stecker pinkompatibel zu denen an unserem ADT-Audio Mastering-Rahmen sind, wollten wir wissen, ob sich eine Verlängerung der Zuleitung bereits messtechnisch auswirken kann. Praxisrelevanz hat eine solche Verlängerung durchaus, ist es doch nicht unüblich, Netzteile in isolierte Technikräume, oder zum Beispiel zwischen die Wände eines mehrschaligen Studioaufbaus, zu verbannen. Mit zwei Verlängerungen von je drei Metern kommen wir also auf eine Leitungslänge von insgesamt rund 7,8 Metern. Das klingt, als

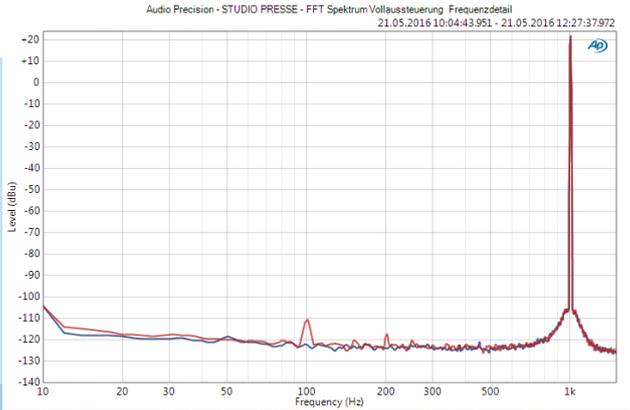


Diagramm 5: Klirrspektrum unterhalb des Stimulus, unter Vollaussteuerung (+22 dBu), Elysia Xpressor im 19 Zoll-Gehäuse (blau) und im API 500V Rack (rot)

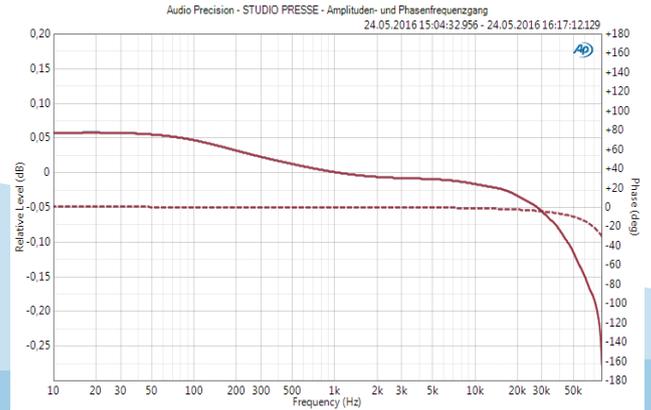


Diagramm 6: Amplituden- und Phasengang, Elysia Xpressor im 19 Zoll-Gehäuse (blau) und im API 500V Rack (rot)

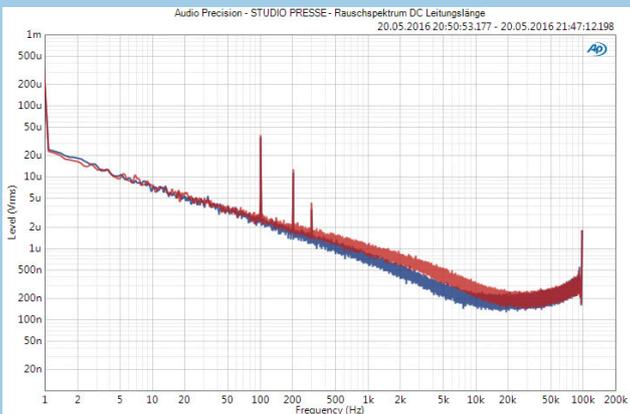


Diagramm 7: Rauschspektrum im DC, minimale (rot) und maximale (blau) Leitungslänge zwischen API 500V und L200

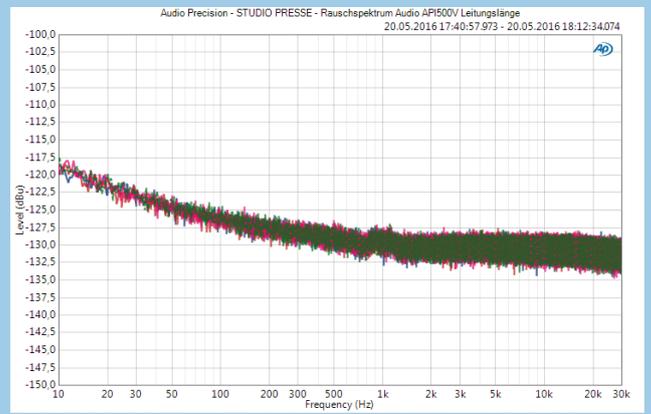


Diagramm 8: RaAuschspektrum im Audiosignal, alle Leitungslängen und geschlaufte Kabelführung

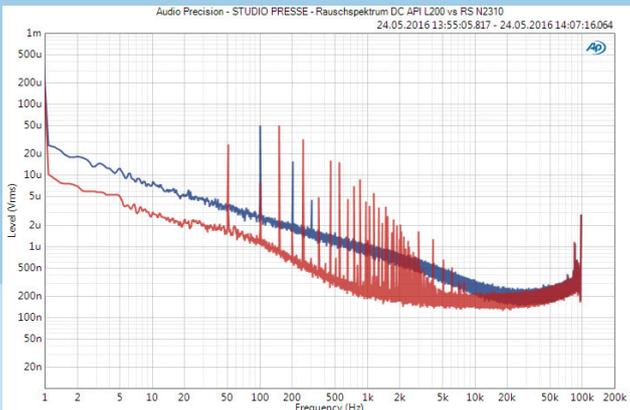


Diagramm 9: Rauschspektrum im DC, API L200 (blau) und RS N2310 (rot)

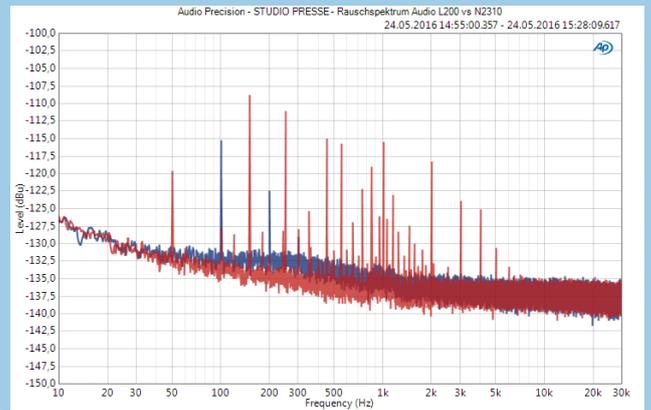


Diagramm 10: Rauschspektrum im Audiosignal, API L200 (blau) und RS N2310 (rot)

sei es schon eine ganz schöne Strecke für etwas ‚mickrige‘ +/-16 Volt. Als Last hatten wir einen Elysia Xpressor mit hoher Pegelreduktion, sowie zwei Roger Schult W2395 Filtermodule in den Rahmen eingesetzt.

## Experiment 7: Ergebnisse im DC

Zunächst betrachten wir die Ergebnisse der Messung bei Standardlänge. Die Spannung des Netzteils blieb unter

Last, wie auch lastfrei nahezu unverändert bei 32,5 Volt. Die erste Verlängerung auf insgesamt 4,8 Meter ließ die Spannung lediglich auf 32,51 Volt abfallen. Die zweite Verlängerung, auf insgesamt 7,8 Meter, brachte die Spannung schließlich auf ihren finalen Wert von 32,48 Volt. Das ist nicht viel und sollte sich eigentlich nicht auf die Audioqualität auswirken können. Ein längeres Stromkabel verursacht also nicht prinzipiell Probleme. Dennoch wollten wir noch etwas gemein sein und haben das lange Kabel in en-

---

---

gen Schlaufen gelegt. Wir hatten erwartet, dass die induktiven Effekte hier schon einen gewissen Einfluss haben, was sich messtechnisch aber nicht nachweisen ließ. Auch die Spannung blieb stabil bei 32,48 Volt. Ein Blick auf das Diagramm 7 zeigt, dass sich im Rauschspektrum der Versorgungsspannung mit der größten Kabellänge sogar verbessert. Dabei war es egal, ob das Kabel gerade auslag oder in Schlaufen gewickelt wurde. Die rote Kurve zeigt die kürzeste Kabellänge, die blaue die größte. Die leichte Betonung des Rauschens im Bereich von 100 Hz und 10 kHz verschwindet mit größeren Kabellängen.

## Experiment 7: Ergebnisse im Audiosignal

---

Da sich die Spannung und damit der Stromfluss kaum verändert hatten, war auch nicht mit Verschlechterungen im Audiosignal zu rechnen. Dies konnte durch zwei Messungen bestätigt werden. In Diagramm 8 ist zunächst das Rauschspektrum im Audioband zu sehen. Die drei Messungen bei verschiedenen Kabellängen, sowie bei geschlaufener Kabelführung unterschieden sich in keiner Weise. Aber auch beim Klirrspektrum an der Aussteuerungsgrenze lässt sich kein Unterschied bei den verschiedenen Messungen erkennen, so dass wir hier auf ein Diagramm verzichten können. Natürlich ist die Last ein wichtiger Aspekt dabei. Hätten wir den Rahmen weiter ausgereizt, hätten sich vielleicht andere Ergebnisse ergeben. Da unsere Experimente immer nur exemplarisch sein können, ist es jedoch schwierig zu entscheiden, zu welchen Lasten nun zu greifen wäre.

## Experiment 8: Alternatives Netzteil

---

Als Nutzer einer Lunchbox ist man natürlich auf das Netzteil des Herstellers festgelegt. Da wir bereits Unterschiede zwischen verschiedenen Netzteilen direkt nachweisen konnten, wird klar, dass Lunchbox nicht gleich Lunchbox ist. Es lohnt sich hier also, auf hohe Qualität zu achten. Für Anwender eines 500er Rackeinschubträgers wie dem 500V von API gibt es eine weitere Alternative. Es gibt Hersteller von externen Netzteilen, die bei gleicher Pinbelegung und Spannung alternativ zum Original eingesetzt werden können. Die Umrüstung erfordert dann natürlich kein elektrisches Wissen, sondern nur das Umstecken einer fünfpoligen XLR-Verbindung. Einer dieser Anbieter ist Roger Schult, dessen Netzgerät N2310 (in der Version ohne Phantomspeisung) für unseren Vergleich zur Verfügung

stand. Schauen wir also nach, ob derselbe Rahmen, mit denselben Modulen, am selben Stromnetz mit zwei verschiedenen Netzteilen auch verschiedene Ergebnisse liefern kann.

## Experiment 8: Ergebnisse im DC

---

Das N2310 liefert +/-16 Volt bei maximal 2,2 Ampere und weist laut Angaben des Herstellers eine Restwelligkeit von weniger als 0,6 mV auf. Das ist sehr wenig, aber wir können es nicht mit den technischen Daten des original API L200 Netzteils vergleichen, denn diese Daten sind schlicht nicht verfügbar. Selber messen macht schlau, also schauen wir uns an, was das Fluke-Messgerät für Aussagen treffen kann. Der 500V-Rahmen war dabei mit zwei Filtermodulen und zwei Xpressor Stereo-Kompressoren belastet, also waren sechs von zehn Steckplätzen belegt. Für das API L200 messen wir eine Lastspannung von 32,48 Volt, sowie eine Restwelligkeit von 0,1 mV. Beim RS N2310 liegt die Lastspannung bei 32,4 Volt und die Restwelligkeit misst ebenfalls 0,1 mV. Man sollte sich hier nicht über den Unterschied zur Herstellerangabe wundern, sondern lediglich die beiden Netzteile in Relation zueinander setzen. Die absoluten Unterschiede können durch andere Messmethodiken bedingt sein und spielen kaum eine Rolle. Das Rauschspektrum beider Netzteile im Vergleich findet sich in Diagramm 9. Das Ergebnis ist extrem spannend, denn das breitbandige Rauschniveau ist beim N2310 signifikant niedriger, als im L200. Auf der anderen Seite ist die Ober-tonstruktur hier weitaus deutlicher ausgeprägt. Es wird also interessant zu sehen, welche der beiden Eigenschaften sich mit mehr Relevanz im Audiosignal niederschlägt.

## Experiment 8: Ergebnisse im Audiosignal

---

So deutlich der Unterschied im Spektrum der Versorgungsspannung auch war, im Rauschspektrum des Audiosignals wird er auf jeden Fall etwas relativiert. Gemessen wurde wieder an einem Xpressor-Modul, unter gleichen Einstellungen wie bei den vorherigen Tests. Das Ergebnis in Diagramm 10 zeigt in die gleiche Richtung wie die Messungen an der Gleichspannung. Das breitbandige Rauschen ist beim N2310 im wich-



tigen Abschnitt des Spektrums zwischen rund 50 Hz und rund 2 kHz ein gutes Stück niedriger als beim L200. Allerdings schauen auf der anderen Seite deutlich mehr tonale Nadeln aus dem Rauschteppich heraus, so dass der gewonnene Vorteil weitestgehend verloren geht. Absolut gesehen erreichen der Xpressor und das Netzteil N2310 mit -89,9 dBu RMS ungewichtet (20 Hz bis 20 kHz) eine Verbesserung von 0,3 dB gegenüber dem gleichen Messwert mit dem API L200. Beim Quasi-Peak nach CCIR liegt N2310 mit -78,9 dBu immerhin noch 0,2 dB vorn. Das sind alles kleine Abstände, aber bei einem Gespräch mit Roger Schult erzählte er uns, dass er an der Brummspannungsunterdrückung noch Möglichkeiten zur Feinabstimmung sieht. Mit unserem getesteten Prototypen (Seriennummer 0001) sind die technischen Grenzen hier vielleicht noch nicht ausgereizt. Und tatsächlich musste ich etwas lachen, als er sagte, dass im Prototyp der Trafo noch nicht auf die optimale Position gedreht wurde. Die Vermutung, dass parasitäre Induktion die Ursache für die tonale Störung ist, wird von der 50 Hz Oberwelle im Spektrum unterstützt. Aber beim Gespräch mit Roger Schult wurden wir noch auf einen anderen Fakt aufmerksam gemacht. Das uns zur Verfügung stehende API L200 Netzteil ist ein klassisches Linearnetzteil mit Transformator. API hat sich aus Kostengründen irgendwann dazu entschieden unter gleichem Namen und im fast gleichen Ge-

häuse Schaltnetzteile zu verbauen. Äußerlich lassen sich die beiden an einigen Details unterscheiden. Am offensichtlichsten sind die fehlenden Feinsicherungen der +/-16 Volt Spannungen beim Schaltnetzteil, sowie weiterhin die Tatsache, dass beim klassischen Netzteil oben zwei Transistoren auf den Kühlkörper geschraubt wurden, die beim Schaltnetzteil natürlich fehlen. Das Linearnetzteil ist von API nicht mehr lieferbar und dies war für Roger Schult auch der Anlass zur Entwicklung des Alternativnetzteils. Das heißt, dass die von uns verglichene Instanz eigentlich nicht mehr verfügbar ist. Abbildung 2 zeigt das heute lieferbare L200, darin verbergen sich drei Schaltnetzteile, je eines für jede Spannung. Damit kommen wir zurück zu unserem linearen L200, denn unsere Analyse ist noch nicht abgeschlossen. Wir wollen natürlich noch auf das Verhalten an der Spannungsgrenze schauen. Bei Vollaussteuerung von +22 dBu erreichen beide Netzteile einen THD+N von 0,029 %. Schaut man auf das Klirrspektrum in Diagramm 11, so entdeckt man einen kleinen Vorteil des N2310. Der Blick in das untere Ende des Spektrums in Diagramm 12 zeigt dann einen der Gründe, warum sich die Verbesserung nicht im Absolutmesswert niederschlägt. Hier sind die kleinen Nasen der Brummstörung zu sehen, die den Vorteil im Klirrspektrum wieder wettmachen. Schaut man sich den Verlauf des THD+N über den Eingangspegel an, so entdeckt man keinen relevanten Unterschied zwischen beiden Netzgeräten, weshalb wir auch hier auf eine Darstellung verzichten. Als Fazit bleibt uns die Feststellung, dass es mit dem N2310 nun also ein mindestens gleichwertiges Alternativnetzteil zum alten, linear regelnden API L200 gibt. Im Zweifel kann das N2310 noch ein bisschen besser werden, während das alte L200 nicht mehr erhältlich ist. Ob es das L200 in der Schaltvariante überflügeln kann, wissen wir (noch) nicht. Aber der Blick in sein Innenleben zeigt uns drei Industrieschaltnetzteile, deren Optimierung auf die Bedürfnisse im Audibereich zumindest auf den Prüfstand gestellt werden darf.



Abbildung 2: Das API L200 in der Version als Schaltnetzteil, Foto: Volker Mayer

## Experiment 9: API 5500 Tweaking

Wer den zweiten Teil der Serie gelesen hat, erinnert sich, dass in unserem Berliner Studio ein API 5500 Mastering-Equalizer seinen Dienst tut, dessen integriertes Netzteil leider viele Störungen im Rauschspektrum des Gerätes verursacht. Nun wissen wir, dass ein Teil der Störungen tatsächlich als Einkopplungen des Netztrafos in die Kanalübertrager auftreten. Da das Gerät auf dem klassischen API 550 Equalizer-Design basiert, und somit vom Kassettenmodul abgeleitet worden ist, wird es ebenfalls mit +/-16 Volt gespeist. Die Idee, das interne Netzteil zu Umgehen und mit einem exter-

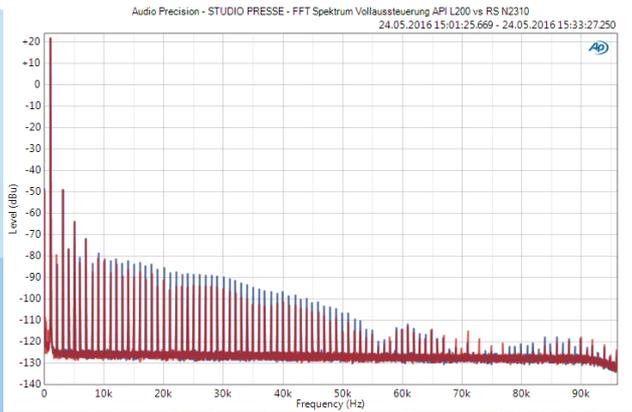


Diagramm 11: Klirrspektrum unter Vollaussteuerung (+22 dBu), Elysia Xpressor im API 500V Rack, gespeist durch L200 (blau) und N2310 (rot)

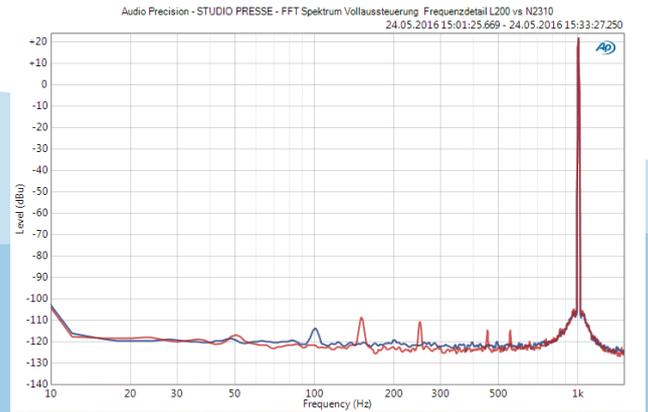


Diagramm 12: Klirrspektrum unterhalb des Stimulus, unter Vollaussteuerung (+22 dBu), Elysia Xpressor im API 500V Rack, gespeist durch L200 (blau) und N2310 (rot)

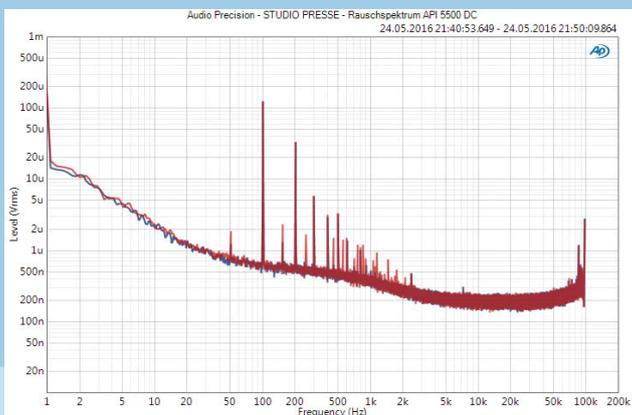


Diagramm 13: Rauschspektrum im DC, API 5500, Kanal 2, Netztrafo innerhalb (rot) und außerhalb des Gehäuses (blau)

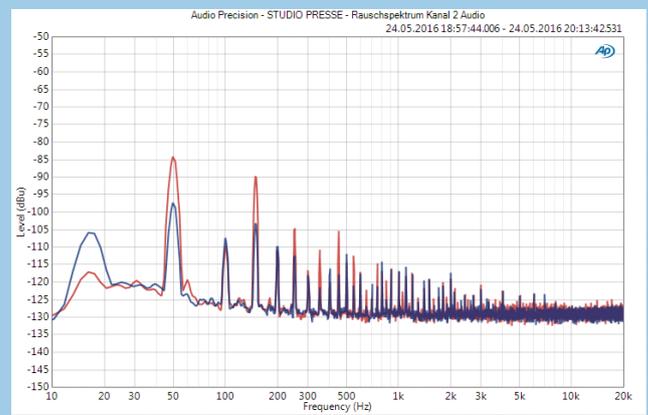


Diagramm 14: Rauschspektrum im Audiosignal, API 5500, Kanal 2, Netztrafo innerhalb (rot) und außerhalb des Gehäuses (blau)

nen 500er Netzteil zu speisen lag also nahe. Leider benötigt der 5500 eine weitere Spannung zur Relaispeisung mit +24 Volt. Ein direkter Anschluss des externen Netzteils ist also nicht möglich. Stattdessen haben wir einen Zwischenversuch eingeschoben. Angeregt durch einen Beitrag von Jan Ohlhorst ([www.finemastering.de](http://www.finemastering.de)) im Gearslutz-Forum haben wir den größten Störer des Netzteils, den Ringkerntrafo, aus dem Gehäuse entfernt. Auf diese Weise können die Einstreuungen reduziert werden. An dieser Stelle sei aber nochmal darauf hingewiesen, dass diese Experimente auf gar keinen Fall ohne Fachkenntnis am eigenen Gerät durchgeführt werden sollten. Netzspannung birgt immer Gefahr für Leib, Leben und Studio! Was sich natürlich dabei nicht verändert, ist die Brummspannung, denn sie entsteht erst im elektronischen Teil der Schaltung, hinter dem Trafo.

## Experiment 9: Ergebnis im DC

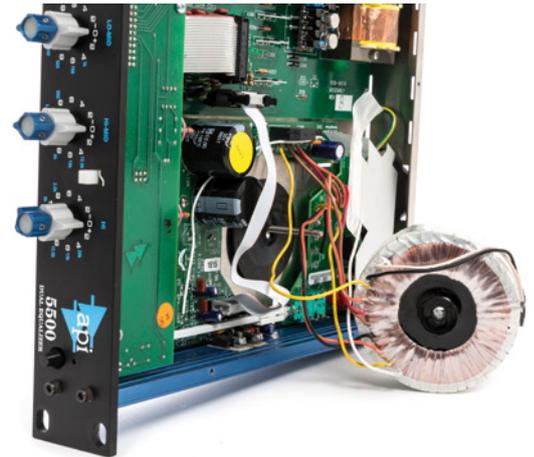
Und die ist leider auch nicht zu unterschätzen. Das interne Netzteil des API 5500 liefert eine Lastspannung von 32,88 Volt. Dabei können wir eine Brummspannung von

5,2 mV messen. Dass das Entfernen des Trafos aus dem Gehäuse tatsächlich keinen Einfluss auf die Brummspannung hat, beweist Diagramm 13. Die Störungen im Spektrum der Ausgangsspannung haben sich fast nicht verändert. Entscheidend ist aber die physische Abwesenheit des Trafos und dafür müssen wir auf die Veränderungen im Audiosignal schauen.

## Experiment 9: Ergebnis im Audiosignal

Dass die Verbesserungen rein auf die Induktion des Trafomagnetfeldes zurückzuführen sind, zeigt sich unter anderem daran, dass es keinerlei Veränderungen der





technischen Daten gibt, die nicht im Zusammenhang mit dem Rauschsignal stehen. Frequenzgänge, Klirrspektren, THD; alle Messwerte ohne die kleinste Regung. Die Kabel vom und zum Trafo sind nur wenige Zentimeter lang. Dem entsprechend konnten wir ihn, zumindest für das Experiment, nicht sehr weit vom Gehäuse wegführen. Im unmodifizierten Zustand liegt der Rauschpegel des am stärksten betroffenen, zweiten Kanals (er liegt näher am Netztrafo als Kanal 1) bei  $-80,3$  dBu RMS ungewichtet (20 Hz bis 20 kHz). Der zugehörige Quasi-Peak-Pegel nach CCIR (ITU468) misst sich bei  $-73,3$  dBu. Nur allein durch die Herausnahme des Trafos aus dem Gehäuse konnten wir den breitbandigen Rauschpegel auf  $-89,6$  dBu RMS ungewichtet (20 Hz bis 20 kHz) senken und auch der Abstand zum Quasi-Peak-Pegel steigt von 7 dB auf knapp 9 dB ( $-80,4$  dBu). Schaut man sich das Rauschspektrum in Diagramm 14 an, so sieht man, dass die Grundwelle bei 50 Hz deutlich stärker abgesunken ist. Ihr Pegel fällt um bis zu 13 dB, abhängig von der geometrischen Ausrichtung des Ringkerntrafos. Würde

man die Kabel verlängern und den Trafo deutlich getrennt in einem vernünftige Gehäuse unterbringen, so wäre die geometrische Ausrichtung nicht mehr so wichtig. Sehr schön zu sehen ist auch, dass die Vielfachen von 50 Hz, also die induzierten Oberwellen, im Pegel sinken, während 100 Hz und seine Vielfachen stabiler bleiben.

## Fazit Teil 3 und Ausblick

Je mehr individuelle Experimente wir durchführen, desto verworrenere wird unser Bild vom Einfluss der Stromversorgung auf die Audioqualität. Man muss wohl pragmatisch rangehen und auf den Verstand hören. Prinzipiell sind Einflüsse und Störungen immer möglich. Wenn die Lösung aber zu einfach klingt und intuitiv am Grundverständnis der Physik kratzt, sollte man schlicht Abstand nehmen und auf erprobte Maßnahmen zurückgreifen. Ein sauberes Erdungskonzept, eigene Audiophase, hochwertige Stromkabel mit angemessenem Querschnitt und guten Steckverbindungen,

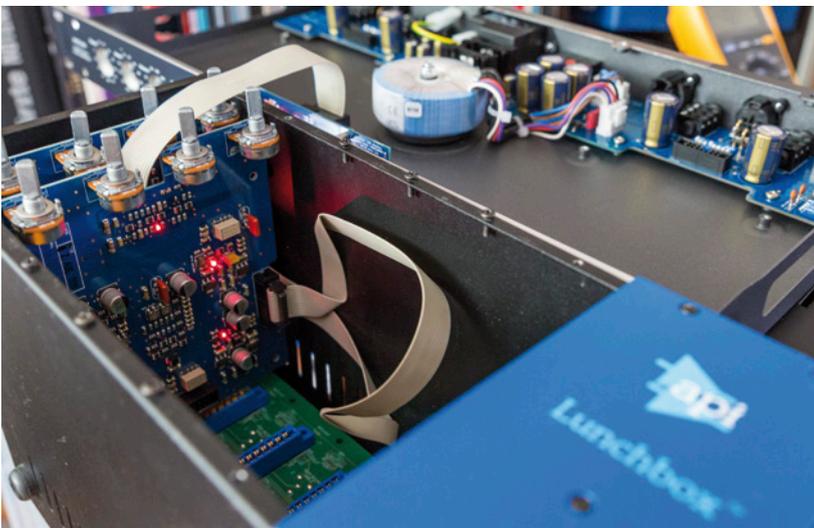
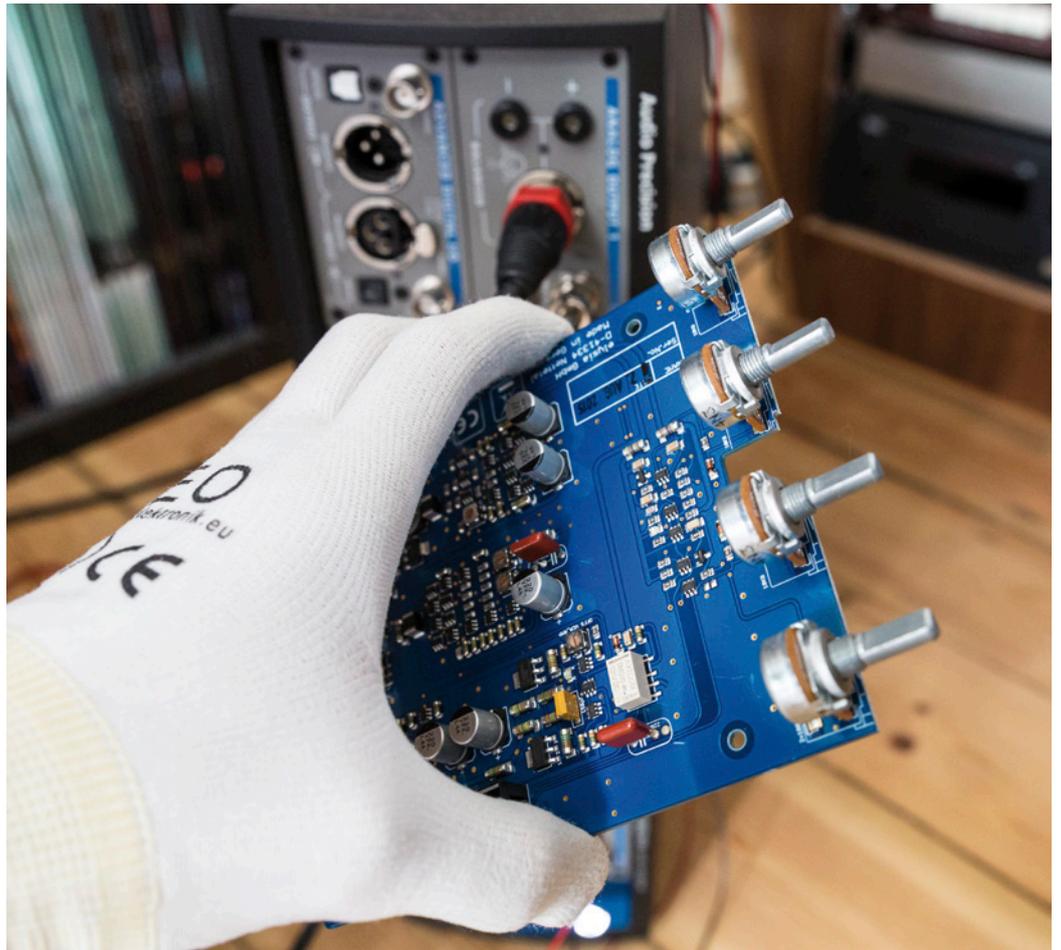


Abbildung 3: Der fliegende Aufbau wurde zur Messung noch mit einem Metalldeckel zum EMV-Schutz versehen



Abbildung 4: Seltener Einblick; geöffnetes Netzteil einer API Lunchbox

Einschaltsequenzen oder getrennt schaltbare Kreise sind die Grundkomponenten für sauberen Strom und sollten eigentlich seit Jahrzehnten Standard sein. Ausgehend von dieser Basis können nun Optimierungen an den richtigen Stellen vorgenommen werden. Hier im Berliner Verlagsstudio zum Beispiel wird unser API 5500 Equalizer in Zukunft noch einige Optimierungen über sich ergehen lassen müssen. Das Verlängern einiger Kabel, ein externes Gehäuse für einen Trafo. Das alles erledigt ein versierter Techniker in kürzester Zeit und für kleines Geld. Wenig Aufwand, großer Erfolg. Wer kein Geld ausgeben kann, der möge zunächst forschen, ob ein Netztrafo einen Teil der Brummstörung induziert und kann dann sogar ohne Geldeinsatz durch



Positionsänderung des Trafos einige Dezibel herauskitzeln. Und noch etwas kann getan werden, ohne dass Geld im Spiel ist. Wer die verschiedenen Geräte im Rack geschickt miteinander kombiniert, kann Induktionen durch Magnetfelder von Netztrafos in benachbarten Geräten vermeiden. Ein bisschen Tauschen und Rücken kann hier Wunder wirken, zum Beispiel, wenn alle Geräte mit Netzteil auf einer bestimmten Geräteseite zusammen montiert werden. Denn abschirmen lassen sich Magnetfelder nicht mit einfachen Metallen, sondern nur mit Speziallegierungen, die eine gewisse magnetische Undurchlässigkeit aufweisen (Mu-Metall). Diese sind aber sehr teuer und außerdem können nicht alle Gehäusedeckel damit abgedeckt werden, denn schließlich muss die Konvektion zur Kühlung noch möglich bleiben. Aufwand und Nutzen stehen also beim Tauschen innerhalb des Racks im deutlich günstigeren Verhältnis. Das alles hat nichts mit Hexerei zu tun, sondern mit passenden Schlussfolgerungen, zu denen diese Serie anregen soll. Während des Verfassens dieses Artikels zog über Berlin ein kräftiges Gewitter auf, welches im Redakteur ein unbehagliches Gefühl aufsteigen ließ. Schließlich war das gesamte Studio eingeschaltet und das Haus ist nicht mit einer aufwändigen, mehrstufigen Blitzschutzanlage ausge-

stattet. Stattdessen hängt die Technik derzeit an einem Furman Power Conditioner, der uns von Trius Music zur Verfügung gestellt wurde und nun schon seit dem Beginn dieser Serie auf seinen Testbericht wartet. Ob dessen Überspannungsschutz im Falle eines Blitzschlags tatsächlich etwas geholfen hätte, werden wir in der nächsten Folge genauer betrachten. Und dann schauen wir auch, ob die Filtertechnik in solchen Stromaufbereitern einen Einfluss auf die Strom- und damit Audioqualität haben kann. Es bleibt also spannend.



Abbildung 5: Das API L200 in der klassischen Version lässt sich an den zwei Transistoren auf dem Kühlkörper erkennen



FRIEDEMANN KOOTZ, ABBILDUNGEN: FRIEDEMANN KOOTZ, FURMAN

# Möge die Kraft mit euch sein

BETRACHTUNGEN ZUR ENERGIEVERSORGUNG  
TONTECHNISCHER GERÄTE - TEIL 4

Ich bin ein großer Freund von Science Fiction-Filmen. Ich habe auch überhaupt keine Probleme damit, dass die Physik und andere Naturwissenschaften dabei im besten Falle großzügig ausgelegt, in den meisten Fällen jedoch um neue Prinzipien erweitert und zurecht gebogen werden. Das einzige Prinzip, das die Autoren und Regisseure einhalten sollten, ist das der Konsistenz. Ich mag es nicht, wenn eine eingeführte Regel im nächsten Moment gebrochen wird. Beispielsweise habe ich vor kurzem den Film *Sunshine* gesehen, in dem ein Raumschiff zur Sonne entsendet wird. Es ist geschützt von einem Hitzeschild. Alles, was sich davor herumtreibt ist erwartungsgemäß dem Untergang geweiht. Nur, als ein zweites Raumschiff in diesem Film in den Reflex des Schirms des ersten Schiffs navigiert wird, passiert...genau, nichts. Ähnlich geht es mir gelegentlich, wenn ich mich auf Internetseiten von Audioherstellern umsehe, die die Randbereiche der Physik für sich entdeckt haben und darüber im Sinne ihrer Produkte argumentieren. Viele davon scheinen nicht einmal zu ahnen, dass sie, würden ihre Theorien für die kleine Audiowelt zutreffen, die Welt aus den Fugen gehoben und mindestens einen bis mehrere Nobelpreise gewonnen hätten. Audio gehorcht den selben Regeln wie der Rest der technischen Welt. Sie ‚nur für Audio‘ zu relativieren geht nicht. Ganz oder gar nicht. Konsistenz, Freunde! Wer aber die physikalischen Prinzipien in Frage stellt, muss schon sehr sehr gute Gründe dafür vorbringen. Und, kennen Sie einen Audiohersteller mit Nobelpreis?

Wir bleiben unserer Linie daher treu und messen weiter. Für Leser die die vorherigen Teile nicht verfolgt haben, die Serie verfolgt das Ziel die Auswirkungen der Stromversorgung tontechnischer Geräte auf die Audioqualität zu quantifizieren. Dabei wird nicht gehört, sondern ganz streng gemessen. Ganz auf dem Boden der etablierten Parameter. Die Vorgehensweise gliedert sich dabei in einzelne Experimente, die zum Teil aufeinander aufbauen. Zur besseren Orientierung nummerieren wir sie komplett durch, so dass ein älteres Experiment jederzeit referenziert werden kann. In dieser Folge verlassen wir den Bereich der bisher allgemeinen und (weitestgehend) markenunabhängigen Betrachtung ein wenig und beschäftigen uns mit einer konkreten Produktserie. Es handelt sich dabei um mehrere Geräte des US-amerikanischen Herstellers Furman, der in Deutschland durch den Vertrieb Trius Music vertreten wird. An dieser Stelle sei den dortigen Kollegen besonders für ihre Geduld gedankt, denn man hat uns die Geräte bereits zur Verfügung gestellt, als sich die Serie noch in der Planungsphase befand. Dementsprechend stehen die Kartons nun schon seit Monaten bei uns bereit, endlich unter die Lupe genommen zu werden. Das Portfolio von Furman gliedert sich in verschiedene Produktserien, wobei es grundsätzlich immer die Varianten für Märkte mit 120 Volt bei 60 Hz und die bei uns üblichen 230 Volt mit 50 Hz Wechselfrequenz gibt (markiert durch ein E am Ende der Produktbezeichnung). Zur Verfügung standen uns vier Produkte. Durch die Vielzahl an daraus entstehenden Messvarianten konnten wir jedoch nicht alle vollständig betrachten. Kern unserer Untersuchung war der P-1400 AR E. Zusätzlich hatten wir mit dem kompakten AC-210 A E und dem 19 Zoll breiten PL-Pro DMC E zwei ‚klassische‘ Power Conditioner, deren Aufgaben sich im Bereich der Stromverteilung, Filterung und dem Überspannungsschutz ansiedeln. Darüber hinaus bietet der erwähnte P-1400 AR E zusätzlich eine Spannungsstabilisierung an. Die wichtigsten technischen Ausstattungsmerkmale der jeweiligen Geräte finden sich in den entsprechenden Textkästen.

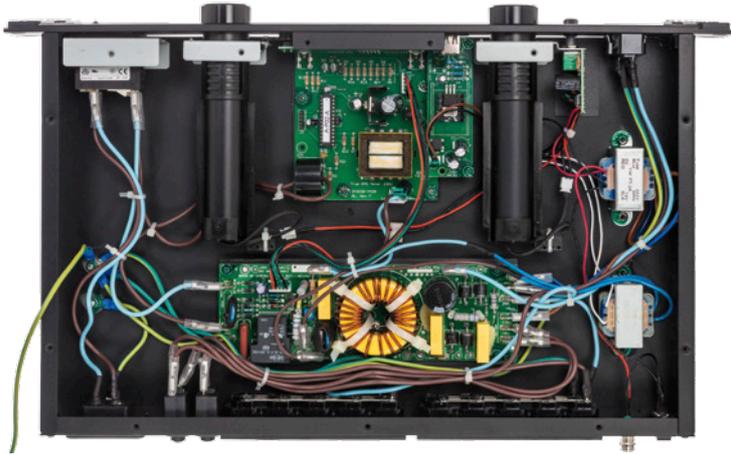
## Furman F 1500-UPS E

Als viertes Gerät hat uns Trius Music mit F1500-UPS E eine vollwertige unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) zur Verfügung gestellt, die wir jedoch nicht auf ihre ‚Audiofähigkeiten‘ untersucht haben. Dennoch seien hier einige Worte zum praktischen Betrieb erwähnt, denn wir hatten durchaus die Gelegenheit sie einzusetzen. Die F1500-UPS E nutzt Batterien zur Überbrückung eines Netzausfalls, die



P-1400 AR E Innenansicht

sich bereits durch das enorme Gewicht des Gerätes bemerkbar machen. Sie weist eine sehr schnelle Zuschaltautomatik auf, die im Testbetrieb zuverlässig verhindern konnte, dass Geräte bei Unterbrechung des Netzstroms ausgingen. Dies trifft sowohl auf die Studioteknik, als auch Computer und Peripherie zu. Die Umschaltung war nicht zu bemerken. Die Lücke ist also kurz genug, dass die Stromspeicher in den Gerätenetzteilen die Überbrückung zuverlässig garantieren können. Wird der Einsatz der USV notwendig, so kann dies natürlich auf verschiedene Arten signalisiert werden. Eine Abschaltsteuerung für Computer ist ebenfalls vorgesehen, so dass im Notfall Daten gespeichert und die Rechner automatisch heruntergefahren werden können. Auch die Wiederinbetriebnahme bei Rückkehr der Stromversorgung ist vorgesehen. Hat man die USV im Regieraum stehen, so bemerkt man den Einsatz der Batterien auch akustisch, denn ein recht lauter Lüfter verdeutlicht, dass der Wechselrichter angesprungen ist und Kühlung verlangt. Dies sei nicht als Kritik verstanden, denn schließlich handelt es sich bei einer USV um ein Gerät für den Havariefall, welches nicht für den Dauerbetrieb gedacht ist. Die Qualität der Wechselspannung (Sinuskurve) am Ausgang liegt dabei, technisch durch die Wechselrichtung bedingt, etwas unter der des Netzstroms. Man darf eine USV nicht mit einer Batteriespeisung verwechseln, denn bei letzterer entfällt die Wechselrichtung und die Geräte werden direkt mit Gleichstrom bei Niederspannung versorgt. Eine USV hält Geräte mit 230 Volt für eine gewisse Zeit am Leben, um die ordnungsgemäße Ausschaltung zu garantieren. Die Restlaufzeit der Batterien wird in einem Display angezeigt. Hat man sich für den manuellen Betrieb entschieden, sollte man sich also rechtzeitig vor Ablauf mit dem Ausschalt-



PL-PRO DMC E Innenansicht

ten der angeschlossenen Geräte befassen. Außerdem ist es nicht ratsam bis zum letzten Moment damit zu warten, denn schließlich ist die Restlaufzeit lastabhängig und kann sich durchaus unabsehbar verkürzen. Die Ausschaltreihenfolge kann über zwei hintereinander priorisierte Ausgangsbänke beeinflusst werden.

Damit lassen wir die USV hinter uns und werfen nun einen Blick auf die Fähigkeiten von P-1400 AR E.

## Experiment 10 – Vergleich P-1400 AR E gegen Steckdosenleiste

In diesem Versuch haben wir die bereits bekannte Signalkette aus unserem Studio heran gezogen. Begonnen wird die Reihe von einem ADT-Audio TM204 Equalizer, gefolgt von einem TM222 Kompressor. Beide weisen einen extrem hohen Dynamikumfang auf und werden von einem externen, sehr hochwertigen Netzteil des Herstellers mit Strom versorgt. In der Sidechain des Kompressors arbeitet ein externer Equalizer, der sich also nicht im Audioweg befindet, aber durchaus einen Einfluss haben kann, wenn es um die

Einwirkungen seines Netzteils geht (Verbindungen über Audioground und Schutzleiter). Es folgt ein API 5500 Equalizer, dessen klangliche Qualitäten hoch sind, dessen Netzteil aber einige Schwachstellen aufweist und die Signalqualität daher leider verschlechtert (siehe dritter Teil der Serie). Hier haben wir es sowohl mit induktiv eingekoppelten Störungen, als auch einer erhöhten Brummspannung, auf Grund nicht optimal gestalteter Glättungs- und Filterschaltungen, zu tun. Ebenfalls angeschlossen ist ein Merging Hapi Wandler, der sich jedoch nicht in der Signalkette befindet, da unser Audio Precision APx555 an seiner Stelle analog angebunden wurde. Auch hier gilt es, die Signalkette dennoch vollständig zu halten und das Schaltnetzteil über die Schutzleiterverbindung als möglichen Einfluss zu betrachten. Den Vergleich haben wir sehr direkt angestellt. Alle Geräte waren, natürlich gleich gepolt, entweder an den P-1400 AR E oder an eine einfache Steckdosenleiste (Bau marktqualität) angeschlossen. Beim P-1400 AR E wurde in erster Linie eine der beiden Anschlussbänke verwendet. Die Aufteilung hätte sonst eine unüberschaubare Anzahl Kombinationsmöglichkeiten ergeben, allerdings waren wir doch Neugierig und haben zumindest einen Durchgang gemacht, bei dem die ADT-Audio Geräte auf die eine und der API-Equalizer auf die andere Bank gesteckt war. Alle Messungen wurden mehrfach wiederholt. Eine zeitraubende Aufgabe, denn ein komplett konfigurierter Messdurchgang nimmt gut 20 Minuten in Anspruch. Interessant war es, vor allem den Einfluss auf das Verhalten an den beiden Grenzen zu untersuchen. Werden also zum Beispiel Signalstörungen im Rauschteppich besser unterdrückt? Ebenso spannend ist die Übersteuerungsgrenze. Lassen sich Geräte mit aufbereiteter Stromzufuhr höher aussteuern? Wir werden sehen. Die Netzspannung in unserem Studio ist solide. Zum Messzeitpunkt konnten wir keine unüblichen Schwankungen beobachten, sie lag zwischen 230 und 234 Volt.

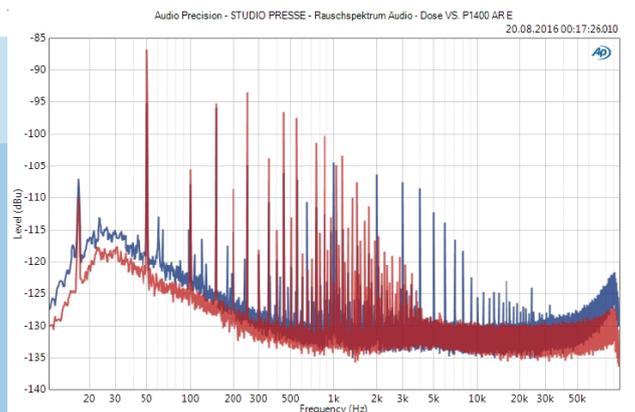


Diagramm 1: Spektrum des Rauschens der Signalkette bei Speisung aus der Steckdose

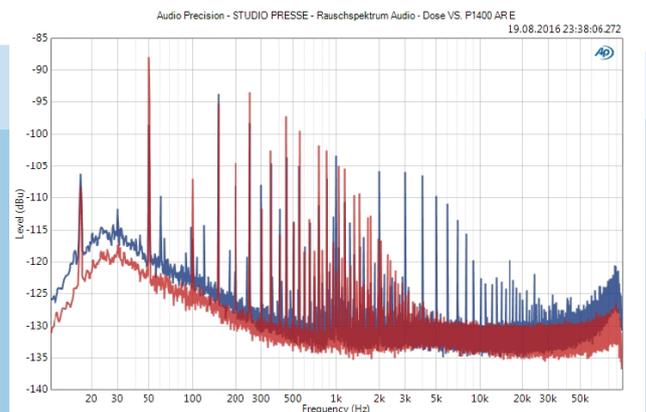


Diagramm 2: Spektrum des Rauschens der Signalkette bei Speisung aus P-1400 AR E



PL-PRO DMC E Power Conditioner ohne Stabilisierung, Foto: Furman

## Experiment 10 – Ergebnis im Audiosignal

Wir steigen direkt ein mit dem Rauschteppich beim Betrieb an der Steckdosenleiste. In Diagramm 1 findet sich nicht nur Rauschen, sondern eine leider sehr ausgeprägte Störstruktur, die hauptsächlich durch das Netzteil des API 5500 Equalizers verursacht wird. Die Ursachen dafür sind bekannt, sie liegen in Aufbau und Anordnung des Netzteils, vor allem dessen Ringkerntransformator. Das Ergebnis mit dem P-1400 AR E in Diagramm 2 ist daher nicht unerwartet. Ein Unterschied in der Ausprägung der Störung lässt sich hier nur im Rahmen der zeitlichen Varianz erkennen. Eine Verbesserung der Gesamtsituation ergibt sich nicht. Und auch der breitbandige Rauschpegel ist konstant geblieben. Um die Verzerrungsgrenze der Signalkette zu untersuchen schauen wir auf den Messwert des THD über den Pegel. Der Referenzpunkt (0 dB<sub>RG</sub>) unserer Messung lag bei +30 dBu. Diagramm 3 zeigt die Kurven beider Kanäle bei Betrieb an der Steckdosenleiste. Der Vergleich zum P-1400 AR E in Diagramm 4 fällt hier etwas enttäuschender aus. Schließlich ist die Erweiterung des Dynamikumfangs durch eine höhere Spannungsstabilität zumindest denkbar. Vielleicht ist unsere Stromversorgung ja von Hause aus schon zu stabil?

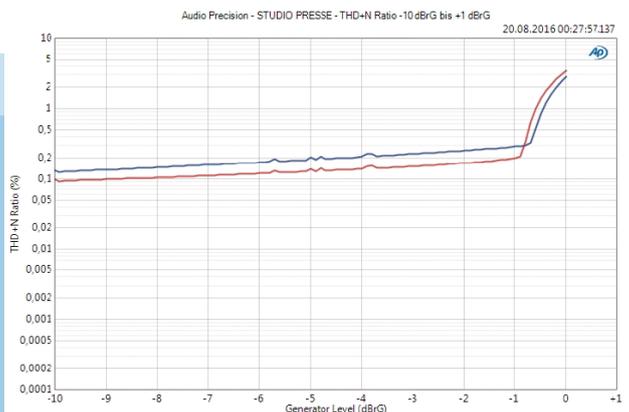


Diagramm 3: THD+N an der Aussteuerungsgrenze bei Speisung aus der Steckdose

## Experiment 11 – P-1400 AR E bei Unterspannung

Auch für dieses Experiment greifen wir auf die selbe Signalkette zurück. Diesmal geht es wirklich ans eingemachte für den Power Conditioner mit seiner Spannungsstabilisierung. Über einen Stelltrafo reduzieren wir die Netzspannung im ersten Schritt auf rund 210 Volt. Im zweiten Durchgang quälen wir das System noch etwas stärker und reduzieren auf 190 Volt. Nach Angaben des Herstellers wird die Ausgangsspannung bei 230 Volt, +/- 10 Volt gehalten. Dies zeigt jedoch, dass beim vorherigen Versuch keine weitere Stabilisierung wirksam war. Die Anzeige auf der Front bestätigt die anliegende Unterspannung aus dem Stelltransformator. Dieses Experiment hat verschiedene Aspekte. Zunächst ist es interessant zu sehen, in wie weit sich eine Unterspannung überhaupt auf die Netzteile der Geräte, und damit die Audioversorgung, auswirkt. Die Netzversorgungsspannung ist in Europa, natürlich, in Normen geregelt, in denen auch Spannungsschwankungen mit ihren Maximalwerten beschrieben sind. Hierzulande haben wir es mit einer Spannung von 230 Volt +/- 10 % zu tun. Schwankungen im Rahmen von 46 Volt (!) gelten also als normgerecht. Eine generelle Reduzierung dieser Schwankungen auf einen Hub von maximal 20 Volt (praktisch deutlich weniger) klingt in der Theorie also nach einer guten Sache.

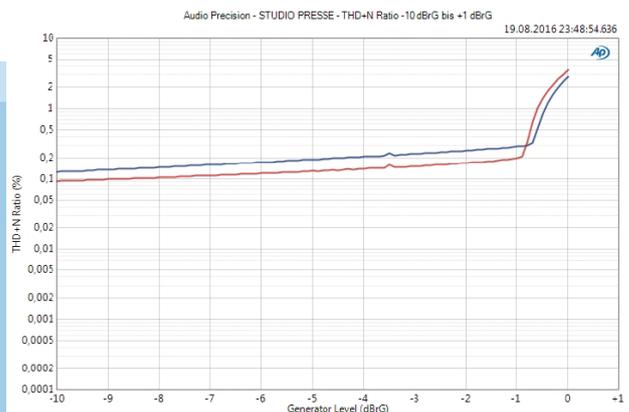


Diagramm 4: THD+N an der Aussteuerungsgrenze bei Speisung aus P-1400 AR E

## P-1400 AR E

Power Conditioner mit Spannungsstabilisierung mit folgenden technischen Einrichtungen:

- Spannungsstabilisierung
- Zwei unabhängige Anschlussbänke mit insgesamt elf IEC-Buchsen
- Maximal 6 Ampere Ausgangsstrom gesamt
- Schutz gegen Spannungsspitzen
- Über- und Unterspannungsabschaltung
- Entstörfilter

## F1500-UPS E

Unterbrechungsfreie Stromversorgung mit folgenden technischen Einrichtungen:

- Batteriebackup mit 1500 AV und Lastmanagement für zwei Ausgangsbänke mit unterschiedlicher Priorität
- Umfangreiche Steuerschnittstellen für Kommandos zur Datensicherung, Herunterfahren und Rückkehr zum Normalbetrieb via USB, Infrarot, BlueBolt oder RS232
- Schutz gegen Spannungsspitzen
- Über- und Unterspannungsabschaltung
- Entstörfilter

Bei 190 Volt verlassen wir natürlich auch den Normbereich und simulieren somit eine tatsächliche Störung in der Energieversorgung. Je nach Gegend in der das Studio steht, kann dies durchaus passieren, wenn Lastspitzen die örtlichen Versorger an ihre Grenzen bringen. Allerdings muss

man hier wirklich relativieren, denn im Einzugsgebiet des Studio Magazins sollten derlei Unterspannungen eher selten vorkommen. Nicht zu verwechseln ist Unterspannung mit kurzzeitigen Spannungsschwankungen, die wir gesondert betrachten möchten.

## Experiment 11 – Ergebnisse im DC

Die Spannungsstabilisierungsschaltung des P-1400 AR E arbeitet mit einem sogenannten Spartransformator. Bei diesen Trafos sind die Primär- und Sekundärwicklung in Reihe geschaltet. Es kann sich auch um eine einzige Spule handeln (daher der Name), die mit mehreren, im Fall des P-1400 AR E acht, Abgriffen versehen wird. Zwischen den ‚Primär-Anschlüssen‘ der Spule und den Abgriffen können unterschiedliche hohe Spannungsniveaus entnommen werden. Im normalen Betrieb liegt das Spannungsverhältnis zwischen Ein- und Ausgang bei 1:1. Die Eingangsspannung wird permanent von einem Microcontroller überwacht. Ändert sie sich, so schaltet der Controller auf den Abgriff, dessen Ausgangsspannung dem 230 Volt Zielwert am nächsten liegt. Die Abbildung 9 aus der Bedienungsanleitung bildet das Schaltverhalten grob ab. Die Umschaltung erfolgt theoretisch sehr schnell und im Nulldurchgang der Welle. Es sollten hierbei also keine Störungen auftreten. Diese Realisierung der Stabilisierung hat mehrere große Vorteile. Sie ist sehr schnell und weist nur eine sehr geringe Verlustleistung auf. Außerdem produzieren Spartransformatoren keine störenden Oberwellen im Frequenzspektrum der Ausgangsspannung, einer der größten Nachteile von Dimmern. Der größte Schwachpunkt dieser Schaltung liegt darin, dass sie nicht in der Lage ist die Wechselfrequenz zu beeinflussen. Sollte diese, zum Beispiel beim Einsatz eines Stromgenerators, im wahrsten Sinne, aus dem Takt kommen, so wird dies auch zum Aus-

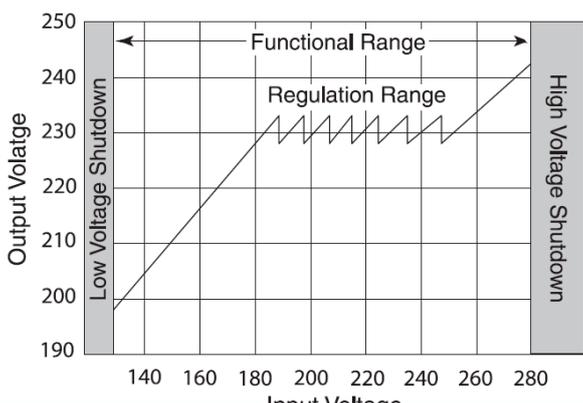


Abbildung 9: Schaltverhalten der Stabilisierung, Abbildung: Furman Handbuch

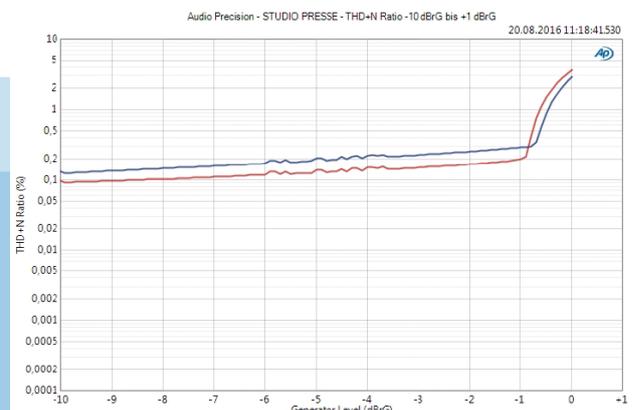


Diagramm 5: THD+N an der Aussteuerungsgrenze bei Speisung aus der Steckdose bei Unterspannung 190 Volt



PL-PRO DMC E Rückansicht

gang durchgereicht. Kein Nachteil, aber ein wichtiger Punkt bei der Planung einer elektrischen Installation ist die Tatsache, dass ein Spartransformator keine galvanische Trennung erreicht. Netz und Verbraucher sind weiterhin gekoppelt, auch wenn sie auf unterschiedlichen Spannungsniveaus liegen. Die Ausgangsspannung des P-1400 AR E wurde mit einem Fluke True RMS Multimeter überprüft. Die Ergebnisse waren nicht nur für die Messung bei Unterspannung, sondern ebenso bei der folgenden Überspannung exzellent. Der Messwert stand bei unseren Versuchen stabil im Bereich von 226 bis 236 Volt. Die Stabilisierung ist erwartungsgemäß extrem zuverlässig. Nach dem Einschalten steht die angepasste Ausgangsspannung nahezu Verzögerungsfrei zur Verfügung. Wird die untere Fanggrenze von etwa 175 Volt unterschritten, meldet das System einen Fehler. Die Schaltung bleibt dann auf der höchsten Kompensationsstufe stehen und kann weiteren Spannungsabfall nicht mehr auf 230 Volt kompensieren, hält sie aber natürlich um gut 50 Volt höher, als am Eingang.

## Experiment 11 – Ergebnisse im Audiosignal

Bricht die Versorgungsspannung ein, so kann ein Verstärker seine maximale Amplitude nicht mehr erreichen, er gerät in die Sättigung. Nun ist die Eingangsspannung nicht gleichbedeutend mit dem, was aus dem Netzteil hinten raus kommt und so schauen wir zunächst, ob sich ein Ein-

bruch der Stromversorgung überhaupt bemerkbar macht. Diagramm 5 relativiert diese Erwartung deutlich. Zu sehen ist abermals die Aussteuerungsgrenze, gemessen mit THD+N über den Pegel. Auch dieser Wert hat sich gegenüber dem Betrieb mit regulären 230 Volt nicht verändert. Die beteiligten Netzteile erreichen also von sich aus eine so gute Stabilisierung, dass das Netz kaum einen Einfluss hat. Dementsprechend ist auch keine Veränderung beim Einsatz des an sich technisch hervorragend funktionierenden P-1400 AR E, mit seinen 230 Volt Ausgangsspannung zu erwarten, was sich in Diagramm 6 auch bestätigt. Aus Neugierde haben wir einen Blick auf das Verzerrungsverhalten über die Frequenz bei Vollaussteuerung geworfen. Vielleicht tut sich ja etwas in den Höhen? Aber die Diagramme 7 und 8 nehmen auch hier jegliche Illusion. Dennoch müssen wir hier etwas relativieren. Eine Auswirkung auf ein wirklich schlecht stabilisiertes Netzteil (billige Steckernetzteile) ist nicht auszuschließen. Wir werden ein solches Ergebnis nachreichen.

## Experiment 12 – P-1400 AR E bei Überspannung

Dieses Experiment hat uns zugegebenermaßen herausgefordert. Die eigene Signalkette mit Überspannung zu quälen ist kein so schönes Gefühl. Aus diesem Grund haben wir die Belastung auch im Rahmen gehalten und sie bei rund 250 Volt begrenzt. Das eingebaute Messgerät des

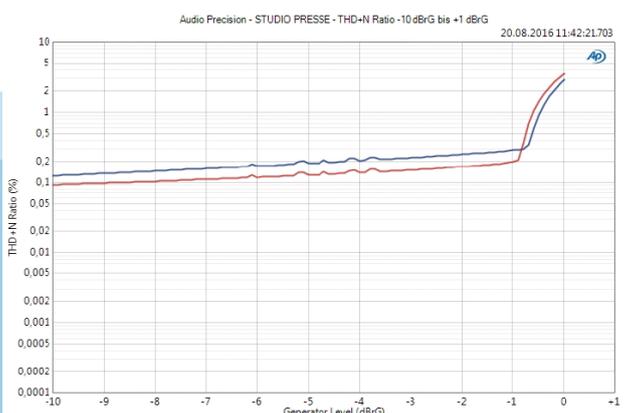


Diagramm 6: THD+N an der Aussteuerungsgrenze bei Speisung aus P-1400 AR E bei Unterspannung 190 Volt

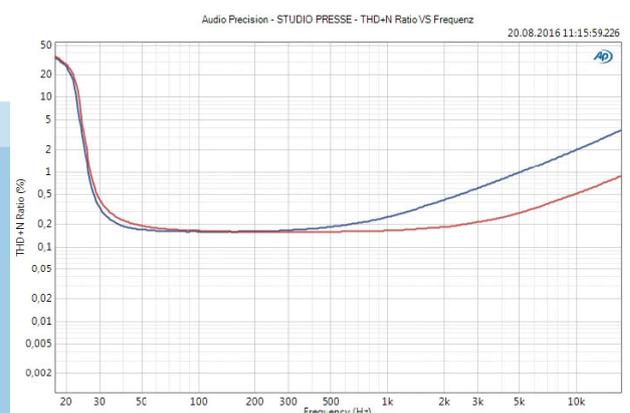


Diagramm 7: THD+N bei Vollaussteuerung über die Frequenz bei Speisung aus der Steckdose und Unterspannung 190 Volt



P-1400 AR E Rückansicht

## PL-PRO DMC E

Power Conditioner mit folgenden technischen Einrichtungen:

- Zwei unabhängige Anschlussbänke mit insgesamt elf IEC-Buchsen
- Maximal 16 Ampere Ausgangsstrom gesamt
- Schutz gegen Spannungsspitzen
- Über- und Unterspannungsabschaltung
- Entstörfilter

## AC-210 A E

Kompakter Power Conditioner mit folgenden technischen Einrichtungen:

- Zwei IEC-Buchsen
- Maximal 10 Ampere Ausgangsstrom gesamt
- Schutz gegen Spannungsspitzen
- Über- und Unterspannungsabschaltung
- Entstörfilter

P-1400 AR E zeigte 248 Volt, während wir mit dem Fluke Multimeter eine Spannung von 251 Volt ermittelt haben. Damit liegt sie noch innerhalb des Normbereichs, aber gut 10 Volt über der geregelten Ausgangsspannung des Furman. So bleiben wir natürlich weit unterhalb der Klemmspannung für den Spannungsspitzenchutz, der erst bei 375 Volt zuschlägt und auch die Überspannungsabschaltung reagiert erst bei 275 Volt. Die ‚Fanggrenze‘ der Stabilisierung liegt mit rund 264 Volt (Herstellerangaben) deutlich oberhalb unserer Testspannung.

## Experiment 12 – Ergebnisse im DC

Die in Experiment 11 beschriebenen Ergebnisse treffen entsprechend auch auf das Verhalten bei statischer Überspannung zu. Die höchste auf rund 230 Volt kompensierbare Eingangsspannung liegt hier bei etwas über 260 Volt. Da die Schutzabschaltung bei einer Spannung von oberhalb 275 Volt auslöst und die Ausgänge abschaltet, liegt

die maximale Überspannung am Ausgang immer innerhalb der normgerechten 253 Volt. Diese muss jedes in der EU zugelassene Netzteil aushalten. Die stabilisierte Ausgangsspannung wurde am Fluke mit 231 Volt ermittelt. Auch hier funktioniert die Stabilisierung also hervorragend. Eine nicht direkt messbare Verbesserung durch die Reduzierung der Überspannung könnte die Erhöhung der Lebensdauer der beteiligten Komponenten darstellen. Es ist bekannt, dass manche ältere Geräte durchaus Probleme mit der Versorgung im Rahmen der genormten 230 Volt, anstelle der 220 Volt zu Zeiten ihrer Konstruktion, haben. Hier hilft eine Spannungsstabilisierung zumindest drastische Belastungen zu unterbinden.

## Experiment 12 – Ergebnisse im Audiosignal

Die Frage bei diesem Experiment ist, an welcher Stelle man eine Überspannung als Audiomesswert überhaupt bemerken könnte. Die maximale Aussteuerung könnte theoretisch steigen, ein eher unwahrscheinlicher Fall. Stattdessen schauen wir auf den Verlauf des reinen Verzerrungsmesswertes THD (ohne N) über den praktischen Dynamikumfang der höchsten 40 dB Aussteuerung, in den Diagrammen 9 und 10. Auch hier zeigt sich keine Veränderung, ebenfalls nicht gegenüber dem entsprechenden Messwert bei 190 Volt Unterspannung in Diagramm 11. Auch die Rauschwerte ohne und mit Stabilsierung bleiben im Rahmen der zeitlichen Abweichung, mit einem Unterschied von 1 dB, in beiden Kanälen in unterschiedlicher Richtung. Die Quasi-Peak-Messung, die hier noch aussagekräftiger ist, zeigt eine vernachlässigbare Varianz von 0,5 dB.

## Experiment 13 – P-1400 AR E Spannungsschwankungen

Wie bereits erwähnt dauert ein vollständiger Messdurchgang rund 20 Minuten. Dadurch war es nicht möglich Spannungsschwankungen über eine volle Messung zu beobachten, die erstens wollten wir nicht 40 Minuten lang am Stelltrafo drehen und zweitens könnten wir so nicht garantieren, dass sich die Schwankungen bei beiden versuchen gleich auswirken. Stattdessen haben wir die vorher-

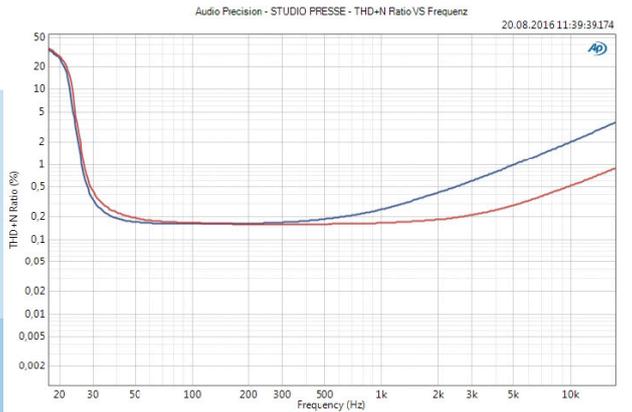


Diagramm 8: THD+N bei Vollaussteuerung über die Frequenz bei Speisung aus P-1400 AR E und Unterspannung 190 Volt

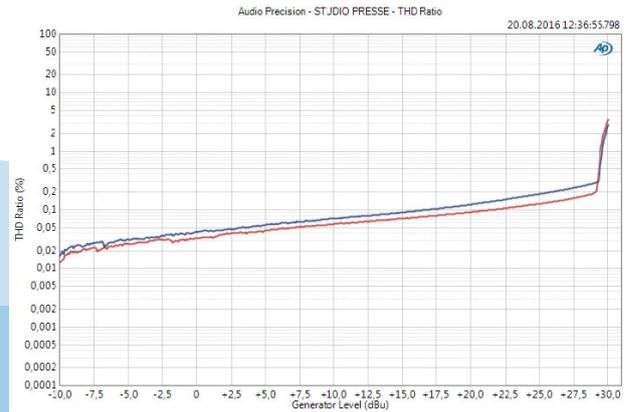


Diagramm 9: THD über den Pegel der wichtigen 40 dB unter Vollaussteuerung bei Überspannung 250 Volt, Speisung aus der Steckdose

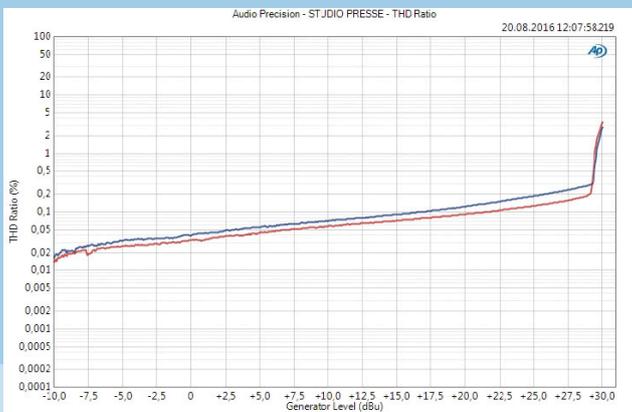


Diagramm 10: THD über den Pegel der wichtigen 40 dB unter Vollaussteuerung bei Überspannung 250 Volt, Speisung aus P-1400 AR E



Diagramm 11: THD über den Pegel der wichtigen 40 dB unter Vollaussteuerung bei Unterspannung 190 Volt, Speisung aus der Steckdose

rigen Messungen ausgewertet und nachgesehen, in welcher Messung Schwankungen am ehesten Auswirkungen zeigen könnten. Die Wahl fiel auf das Verzerrungsspektrum bei Vollaussteuerung. Damit war der zeitliche Rahmen ertragbar und bei konstanter Veränderung müssten sich die beiden Konfigurationen weitestgehend ähneln. Zumindest drastische Auswirkungen müssten so sichtbar werden. Die Spannung wurde im Bereich von 190 bis 250 Volt variiert. Die Veränderung lag im Bereich von etwa 60 Volt pro Sekunde. Einmal rauf und runter dauerte also etwa zwei Sekunden.

## Experiment 13 – Ergebnisse im DC

Die driftende Spannung wird durch die beschriebene Stabilisierungsschaltung zu einem schaltenden Signal gewandelt. Die Wellenform der Umhüllenden ähnelt einem runden Sägezahn. Je nach Intensität der Schwankung kann dieser Effekt unschön werden. Ob sich jedoch eine resultierende Modulation innerhalb von 10 Volt stärker auswirkt, als eine

rein stufenlose Schwankung kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

## Experiment 14 – P-1400 AR E Störungsfilterung

Die bisherigen Versuche haben sich weitestgehend auf die Spannungsstabilisierung bezogen. Ein klassischer Power Conditioner hat jedoch auch die Aufgabe das Spektrum der Stromversorgung zu filtern. Dies betrifft nicht nur bereits aus der Steckdose kommende Störungen, sondern auch Rückwirkungen von Abnehmern, die sich am selben Netzabschnitt befinden. Also Störungen, die durch die Netzteile anderer Geräte entstehen und in das Netz zurück wirken. Solche Rückwirkungen sind unvermeidbar, können jedoch meistens von den Filtern der Netzteile beseitigt werden. Hat es also Vorteile, wenn man diese Störungen vor dem Netzteil bereits entfernt hat oder ist dies nicht notwendig? Wie alle Dinge auf dieser Welt weisen auch Störungen im Netz ein Frequenzspektrum auf, welches gefiltert werden kann. Die Filter des P-1400 AR E dämpfen Störsi-

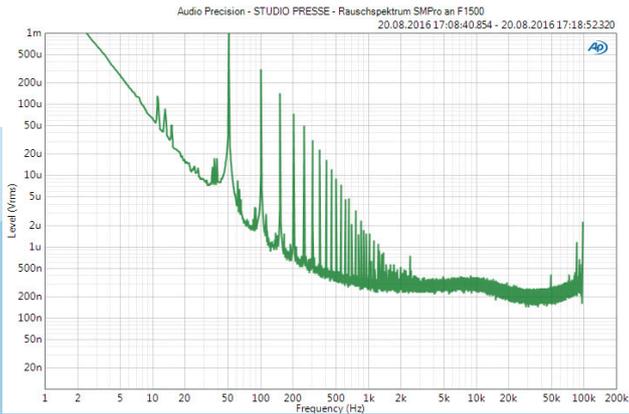


Diagramm 12: Spektrum der Stromversorgung +/- 16 Volt durch ein Steckernetzteil, Speisung aus F1500-USV E

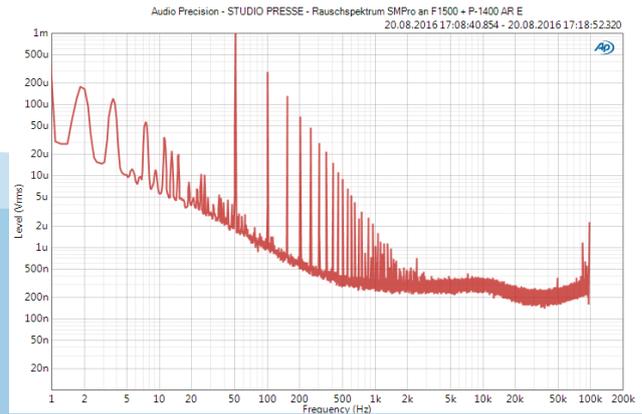


Diagramm 13: Spektrum der Stromversorgung +/- 16 Volt durch ein Steckernetzteil, Speisung aus F1500-USV E mit Filterung durch P-1400 AR E

gnale mit 10 dB bei 10 kHz ab. Bei 100 kHz werden 40 dB erreicht. Die große Frage ist, ob solche Hochfrequenzstörungen überhaupt eine Chance haben sich auf das Audiosignal auszuwirken. Unsere Vorgehensweise in diesem Experiment nutzt ein weiteres Gerät des Herstellers, nämlich den F 1500-UPS E als Stromquelle. Der Sinus am Wechselrichter ist, wie erwähnt, nicht perfekt und so schleichen sich einige Obertöne in die Wechselspannung. Nachgeschaltet wird der P-1400 AR E, der sich nun mit diesen Störungen befassen soll. Als Versuchsobjekt haben wir das externe Steckernetzteil einer alten SMPPro Juiceblock Lunchbox genommen und dessen Ausgangsspannung im Spektrum betrachtet.

## Experiment 14 – Ergebnis im DC

Um die Fähigkeiten bei der Spannungstabilisierung auf der elektrischen Seite zu beurteilen, konnten wir leider nicht direkt am Ausgang des P-1400 AR E messen, denn unser Audio Precision APx555 verträgt keine 230 Volt Eingangsspannung. Stattdessen haben wir nur hinter dem Steckernetzteil gemessen, dessen Schaltungsaufwand zur Aufbereitung des herunter transformierten Stroms sehr spartanisch ist. Ein wirklich einfacher Aufbau, der mit der wahrscheinlich minimal möglichen Filterung und Glättung auskommt. Genauer genommen handelt es sich um ein Netzteil, welches eine symmetrische +/- 16 Volt Versorgung bereit stellt. Solche einfachen Modelle kommen gelegentlich bei Budget orientierten Produkten zum Einsatz, womit nicht automatisch alle Steckernetzteile verteufelt seien. Es kommt hier sehr auf die Qualität des Produktes und den Aufwand an. Aber die Messung im Spektrum der +/-16 Volt liefert uns überraschende Ergebnisse. Der Vergleich zwi-

schon Diagramm 12 und 13 zeigt einen deutlichen Unterschied in der Intensität des breitbandigen Rauschens. Interessanterweise im tieferen Frequenzbereich, in dem wir eigentlich die geringste Veränderung erwartet hätten. Aber wir konnten die Veränderung auch mehrfach nachmessen. Die Ansicht des Spektrums scheint einen geringeren Spannungspegel bei DC zu implizieren. Dies konnten wir mit dem Fluke Multimeter nicht verifizieren, die Spannung bleibt auf dem selben Niveau.

## Experiment 14 – Ergebnis im Audiosignals

Leider müssen wir das Ergebnis dieser Messung beim nächsten Mal nachreichen, denn während der Messungen ist das uns zur Verfügung stehende 500er Audiomodul kaputt gegangen, so dass wir die Messreihe nicht beenden konnten.

## Fazit Teil 4 und Ausblick

Das Fazit für diese Ausgabe zu ziehen ist nicht ganz einfach. Es lässt sich ganz klar festhalten, dass Furman ein seriöser Hersteller hochwertiger Produkte ist. Die angepriesenen Funktionen sind, soweit wir sie prüfen konnten, alle vorhanden und funktionieren wunderbar. Vor allem Experiment 14 zeigt deutlich den positiven Einfluss der Filterung auf die Ausgangsspannung. Unter den Power Conditionern sind besonders jene zu empfehlen, die eine Spannungstabilisierung anbieten, hier also der P-1400 AR E. Vor allem in Gegenden, in denen es häufiger zu Schwankungen und Spannungseinbrüchen kommt, im Englischen spricht man von Brownouts. Auch wer mit seiner Technik viel reist oder



F1500-UPS E Unterbrechungsfreie Stromversorgung

in verschiedenen Veranstaltungssälen unterwegs ist, sollte sich wirklich überlegen einen solchen Helfer fest im Rack zu installieren. Aber, wer sich von einem solchen Gerät auch ein tatsächliches Mehr an Audioqualität erhofft, der sollte überlegen, ob er nicht lieber an anderer Stelle investiert. Unser Test war so ausgelegt, dass die von uns provozierten Netzstörungen auf ein hochwertiges und ein mittelmäßiges linear geregeltes Netzteil, sowie zusätzliche Geräte mit Schaltnetzteilen eingewirkt haben. Und dennoch konnten wir faktisch keine relevanten Veränderungen in den gemessenen Audioparametern feststellen. Erstaunt hat uns dabei vor allem, dass die maximale Aussteuerbarkeit, die ja direkt von der Audiospannung abhängt, auch bei drastischen Unterspannungen komplett unbeeindruckt blieb. Vielleicht war unser gutes Netzteil von ADT-Audio einfach wirklich zu gut und das von API noch zu gut. Wir wissen es nicht, halten unsere Auswahl aber für studiopraxisrelevant. So oder so können wir attestieren, dass man die Fähigkeiten eines gemeinen Standardnetzteils nicht unterschätzen sollte. Die meisten Probleme ‚von außen‘ werden gut unterdrückt. Entscheidender ist es, dass das Netzteil seinem eigenen Abnehmer keine selbst produzierten Störungen mit gibt. Denn ein Power Conditioner kann eine Brummspannung nicht senken, sie wird einzig durch das

Netzteil selbst verursacht. Und auch der größte Teil des Rauschens einer Schaltung entsteht erst hinter dem Netzeingang. Wer es mit Geräten zu tun hat die mit wirklich schlechten Netzteilen arbeiten, der sollte zunächst diese Geräte oder wenigstens die Speisung austauschen. Es gibt genug Fachleute, die hervorragende externe Netzteile bauen können, die sich mit wenig Aufwand an nahezu jede Anwendung anpassen lassen. Die Verbesserung in der Audioqualität ist dann nachweisbar und plausibel. Natürlich gehört Furman nicht in die höchste Kategorie der edlen High-End-Firmen, aber es stellt sich schon die Frage, an welcher Stelle ein Netzfilter oder -stabilisator großartig anders arbeiten sollte, als die hier vorgestellten Modelle. Geht man nicht an die Gleichspannung, also durch ein anderes Netzteil oder sogar eine Batteriespeisung, dann wird das Klangergebnis wohl immer in erster Linie vom Gerät selbst abhängen. Am Ende kann man den Test vielleicht so zusammen fassen: Furmans Power Conditioner sind hochwertige Problemlöser. Man sollte jedoch zunächst klären, ob man ein Problem hat und wenn ja, ob es auf diese Weise lösbar ist. In der nächsten Folge werden wir auch nochmal auf die Fähigkeiten des Überspannungsschutzes eingehen. Ein Aspekt, der zwar nicht direkt mit der Audioqualität zu tun hat, aber für die Betriebssicherheit enorm wichtig ist.



AC-210 A E Power Conditioner für mobile Anwendungen

**MasteringWorks**  
High-end audio gear distribution

**MULTI-STATION 3 BAY**

Sterling, GUZALSKI SWIST, roechrupel, DANGEROUS MUSIC

www.masteringworks.com

**elysia**

*Klänge auf höchstem Niveau veredeln oder ordentlich durch den Wolf drehen – Alles eine Frage des karacters.*

**KARACTER**  
DISCRETE CLASS-A STEREO SATURATOR

elysia.de

**3ER**  
Professionelle Audiotechnik

- Installation
- Konfektion
- Bestückung
- CAD
- Restauration
- Sonderanfertigung
- Modifikation
- Prototypen
- Akustikplanung

**3ER Professionelle Audiotechnik**  
Nils Dreyer  
Tel.: +49 (0)172 23 101 74  
E-Mail: info@3er-audio.de  
Internet: www.3er-audio.de

**Das Standardwerk zur analogen Tontechnik**

**Die analogen Hitmaschinen**  
2. Auflage  
Tonstudioteknik – die vergangenen 65 Jahre

Dieses Buch stellt die 200 bekanntesten Studiokomponenten (Bandmaschinen, Mischpulte und Analog-Hall) der vergangenen 65 Jahre vor – präsentiert mit technischen Daten und 458 Abbildungen. **2. Auflage**

**Ein Buch mit Zukunft!**  
**Nachdruck wegen Nachfrage!**

**Die analogen Hitmaschinen**  
Tontechnik – die vergangenen 65 Jahre  
Karl-Hermann von Behren

Softcover, 240 Seiten, 458 Abbildungen, DIN A 4,  
€ 29,80, ISBN 13: 978-3-9807636-4-6  
life media Verlag Tonstudio GmbH,  
Fax (49) 0 42 03/74 87-36,  
Mail: life-media@t-online.de  
www.life-media.eu

**Neumann KH 310**  
Aktiver, geschlossener 3-Wege Monitor  
**1899,- €/Stck.**

**Neumann KH 120**  
Aktiver 2-Wege Bi-Amp Monitor  
ab **649,- €/Stck.**

**E-trap**  
Aktiver Tieftonabsorber  
**1899,- €/Stck.**

**BAG END**

**HÖRZONE**

Hörzone GmbH  
Balanstraße 34 · 81669 München  
Tel. 089-721 10 06 · info@hoerzone.de  
[www.hoerzone.de](http://www.hoerzone.de)

... in Schwarz und Weiß, ab Lager lieferbar!

**roger schult**  
german audio lab

professionelles studio equipment  
www.rogerschult.com | info@rogerschult.com

W2377, W2395, W2395c, W2377, W2377

**tad**  
tontechnik arno düren

Planung & Installation von  
Audio-, Video- und Medientechnik

Raderbroich 38 41352 Korschenbroich info@tadnet.de www.tadnet.de  
Fon: +49 (0) 2161 649290 Fax: +49 (0) 2161 649297

**Studio** Messung | Planung | Module | Montage

**mbakustik**  
Büro für Raumakustik

Studio: Studio 6.0 München

www.mbakustik.de

habst.de • +49 (0) 30 695 34 895

**HABST**  
KABELANFAKTUR

**Master Clocks**  
**Signalverteiler**  
**Formatkonverter**  
**Abtastratenwandler**  
**Referenzgeneratoren**

**studio essentials!**

Für

- A/V Recording
- Post Production
- Rundfunk
- Bühne

**MTX-MONITOR V3B-4.2**

hochwertiger analoger Monitor-Controller  
8 Stereoeingänge sym. + unsymmetrisch  
div. Monitorfunktionen inkl. Summierung  
Fernbedienung optional

THD+N 1 kHz +18 dBu 0,00017% !!  
Dynamik unbewertet über 125 dB  
Frequenzgang 10 Hz..60 kHz +/- 0,01 dB  
leistungsstarker Kopfhörerverstärker

INFOS: www.funk-tonstudioteknik.de E-MAIL: funk@funk-tonstudioteknik.de

**FUNK TONSTUDIOTECHNIK** D-10997 BERLIN PFUELSTR.1A TEL. 030-38106174 FAX 030-6123449

**APEL TON**

www.apelton.de

**Service · Know-How · Erfahrung**  
Restaurierung · · · Überholung · · · Einmessung  
analoger Verstärker Effektgeräte Bandmaschinen  
Dipl.-Ing. Ulrich Apel VDT · Brückweg 23 · 53947 Nettersheim  
Telefon 02440/959340 · Mobil 0170/9013523 · uli.apel@web.de

dedicated to audio

1958 2008

www.gotham.ch

Linkes Ohr.  
Rechtes Ohr.  
Audiotools.



Audiotools Studioteknik  
Berndt H. Bauer

**MOBILE RECORDING**



[www.thein-productions.com](http://www.thein-productions.com)

**THEIN** Mobile Recording  
Am Fuchsberg 20  
D-28816 Stuhr  
Tel. 04206-297 087

- α modular
- α preisgünstig
- α bis 1800 mm
- α AB
- α ORTF
- α DECCA
- α Surround




[mikrofonschiene.de](http://mikrofonschiene.de)

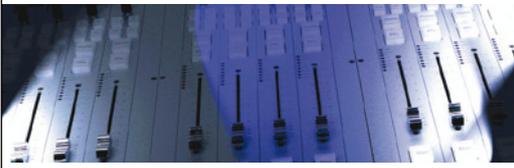
**OTZ TRONICS**  
ANALOG  
DIGITAL  
AUDIO

- umfassende und kompetente Projektbetreuung von der ersten Beratung bis zum fertiggestellten Tonstudio
- Umbauten und Spezialanfertigungen
- Studioservice
- ausgewählte Audioprodukte

Tel.: 02833 / 9 26 51 Fax.: 02833 / 9 26 52  
Net: <http://www.otz.com> e-mail: [support@otz.com](mailto:support@otz.com)

Bernhard Ramroth Sevelener Str. 9 47647 Kerken

**CHECK OUT!**



Manufacturer of Broadcast Equipment

AIRMATE-USB  
AIRENCE-USB  
AIRLAB MK2  
LYRA  
AXUM  
TELEPHONE HYBRIDS



[www.d-r.nl](http://www.d-r.nl) [info@d-r.nl](mailto:info@d-r.nl) +31 294 418014

**kabeltronik®**



**Richtig gute Verbindungen**

Distribution und Fertigung von Spezial- & Standardkabel-Lösungen. Kundenspezifische Sonderkonstruktionen auch in kleinen Chargen.

Gerne erreichen Sie uns unter:  
[info@kabeltronik.de](mailto:info@kabeltronik.de) | [www.kabeltronik.de](http://www.kabeltronik.de)

**Pursuit of Excellence**  
Ein Name, ein Programm

Solid State Logic  
SOUND || VISION

**Zaor**

*Pearl Mikrolaboratorium*

Mit unseren Edelmarken haben wir ein anspruchsvolles Vertriebs-Portefeuille für Kunden, die nicht das günstigste Angebot suchen, sondern Lösungen, die langfristig Freunde und Wertigkeit vermitteln. Gerne beraten wir sachkundig, liefern Testgeräte, planen Sonderanfertigungen und, und...



Hier ein Möbel, welches speziell für die Matrix von SSL entworfen wurde, es gibt auch bereits eine Version für Mackie D8b.

SSL ist eigentlich jedem ein Begriff, nur Pearl Mikrofone aus Schweden sind ein echter Geheimtip! Die rechteckige Grossmembran klingt sehr offen und natürlich, Frequenzgang ist praktisch linear. Unbedingt testen!



Wir engagieren uns für unsere Kunden und ruhen nicht ehe SIE mit der Lösung zufrieden sind.

Darauf gebe ich ihnen mein Wort!



Klaus Gehlhaar, Musiker, Produzent und ProAudio-Experte seit 30 Jahren

P.o.E. sarl

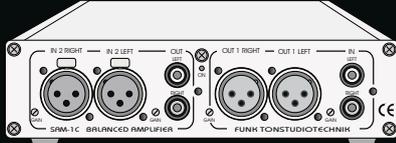
Informationen unter  
0172 673 5644 [info@zaor.de](mailto:info@zaor.de)  
[www.zaor.de](http://www.zaor.de)  
[www.pearl.poe-music.com](http://www.pearl.poe-music.com)  
[www.solidstatelogic.com](http://www.solidstatelogic.com)



# SAM-1C SAM-2C

analoge Audio-Konverter  
für höchste Ansprüche

- \* Brummschleifen beseitigen
- \* Audiosignale symmetrieren
- \* Audiosignale asymmetrieren
- \* Audiosignale summieren
- \* Audiosignale verteilen
- \* Audiopegel absenken
- \* Audiopegel verstärken
- \* Impedanz anpassen
- \* Massepotential-Unterschiede ausgleichen
- \* SAM-1C: 2..4 Audiokanäle SAM-2C: 4..10 Audiokanäle THD+N bis zu -122 dB !!



analoge Symmetrier- und Differenzverstärker mit der höchsten Störsignalunterdrückung ihrer Klasse

INFOS: [www.funk-tonstudioteknik.de](http://www.funk-tonstudioteknik.de) E-MAIL: [funk@funk-tonstudioteknik.de](mailto:funk@funk-tonstudioteknik.de)  
**FUNK TONSTUDIOTECHNIK** D-10997 BERLIN PFULSTR.1A TEL. 030-38106174 FAX 030-6123449

# D.A.I.S.

Digital Audio Interconnection System



Digitale Router-Systeme

Modifikationen

Interfaces

Studioequipment

Problemlösungen

**AUDIO-SERVICE**  
Ulrich Schierbecker GmbH

Schnackenburgallee 173  
22525 Hamburg

Tel.: +49-(0)40-851 770-0  
Fax: +49-(0)40-851 27 84

[mail@audio-service.com](mailto:mail@audio-service.com)

[www.audio-service.com](http://www.audio-service.com)

# STUDIO MONITORING SOLUTIONS

Our focus, your mix.



Vertrieb D&A: KORG & MORE – a Division of Musik Meyer GmbH

[krksys.com/de](http://krksys.com/de)

Sie haben bestimmt schon von uns gehört.

SST - Schallplatten Schneid Technik Brüggemann GmbH - [www.sst-ffm.de](http://www.sst-ffm.de)  
seit 1969

**MANGER**  
PRÄZISION IN SCHALL

„Achtung Suchtgefahr!“

Studiomagazin 11/11

Reference  
Studio Monitor  
**MSMc1**

[www.manger-msw.de](http://www.manger-msw.de)

# PASSIVER HIGH-END STUDIOMONITOR



**VERDADE**  
STUDIOMONITORE

HANDMADE IN GERMANY

[WWW.SKY-AUDIO.DE](http://WWW.SKY-AUDIO.DE)

Vertrieb

Direktvertrieb



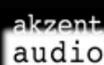
Pendulum Audio



Smart Research Ltd  
[www.smartresearch.co.uk](http://www.smartresearch.co.uk)

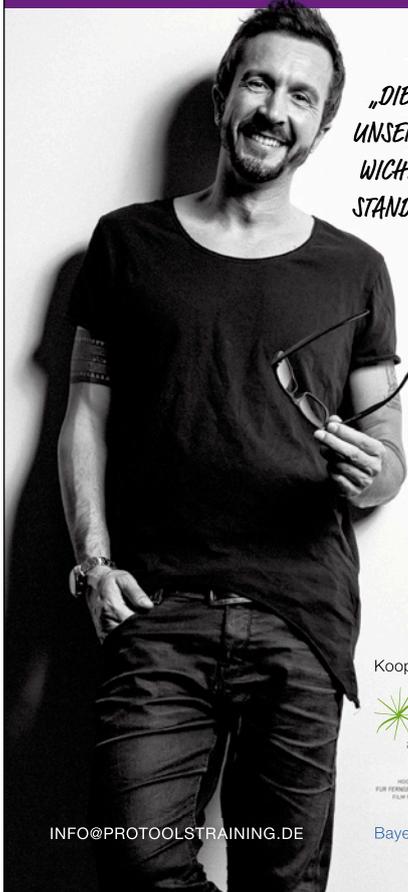


slate pro audio



akzent audio • Jean Hund • Tulpenweg 4 • 76571 Gaggenau  
T 07225 913730 • [mail@akzent-audio.de](mailto:mail@akzent-audio.de) • [www.akzent-audio.de](http://www.akzent-audio.de)

**► PROTOOLSTRAINING.DE**



*„DIE INDIVIDUELLE BETREUUNG UNSERER TEILNEHMER IST MIR WICHTIGER ALS DAS VERMITTELN STANDARDISIERTER INHALTE. DIE OPTIMIERUNG DES BESTEHENDEN WORKFLOWS STEHT DABEI IMMER IM VORDERGRUND.“*  
Lars Kischkel, ProToolsTraining.de

Special Bundle:  
**BROADCAST PRODUCTION**  
Training Package aus Pro Tools, RX und S6

Kooperationspartner:



INFO@PROTOOLSTRAINING.DE

# XL2 Audio- und Akustik Analysator

**von Profis für Profis!**

XL2 bietet kompromisslose Funktionalität für die Überprüfung und Wartung kompletter Audio-Systeme. Er analysiert:

- Audio Signale mit Frequenz- und Pegelmessung von 10 µV bis 25 V
- Klirrfaktor mit Eigenverzerrung von < -100 dB (0.001 %) typ.
- Schallpegel mit Güteklasse 1. Erfüllt alle Anforderungen der DIN 15905 mit Grenzwerten
- Terzpegel mit Logging Funktionen
- Nachhallzeit mit Terzauflösung
- Echtzeit FFT
- Polarität von Lautsprechern u. Kabel



Weitere Informationen unter:  
[www.nti-audio.com](http://www.nti-audio.com)

**NTI AUDIO** Schweizer Qualität

**NEUMANN.BERLIN**



TLM 102

Smart. Sweet. Powerful.

Georg Neumann GmbH • Ollenhauerstraße 98 • 13403 Berlin • Germany • [www.neumann.com](http://www.neumann.com)

**adebar acoustics**

## Forsell Technologies SMP-2



Deutscher Vertrieb durch  
[www.adebar-acoustics.de](http://www.adebar-acoustics.de)

**Unser Ziel: Die perfekte Übertragung von Ton-signalen.**

Unsere innovativen Kabel werden in der Schweiz hergestellt und befriedigen höchste Ansprüche an die Klangqualität. Symmetrische und unsymmetrische Signalkabel, Lautsprecherkabel, Netzkabel: Wir bieten in jedem Fall aussergewöhnliche Lösungen an.

S.E.A. Vertrieb & Consulting GmbH  
Auf dem Diek 6  
D-48488 Emsbüren  
Tel. +49 59 03 93 88-0  
E-Mail [info@sea-vertrieb.de](mailto:info@sea-vertrieb.de)  
[www.sea-vertrieb.de](http://www.sea-vertrieb.de)

weitere Informationen unter [www.vovox.com](http://www.vovox.com)



**FOR-TUNE** Vertrieb für professionelle Studioteknik

Zuverlässige Verbindungen!



**CANFORD**

For-Tune Vertrieb • Krummenackerstr. 218 • D-73733 Esslingen/Neckar  
Tel.: 0711-46915185 • Fax: 0711-46915187 • <http://www.for-tune.de>

[www.profi-mikrofonschiene.de](http://www.profi-mikrofonschiene.de)

OCT-Surround/INA5



DECCA-Tree



- flexibles Baukastensystem
- ein System für alle Konfigurationen
- hohe Stabilität bei geringem Gewicht
- Spannweiten bis 4m
- Montage auf Stativ oder hängend
- Winkelskala für ORTF, EBS, NOS, DIN, XY
- integrierte Zugentlastung
- unverlierbare Verbindungselemente



Hirscher Datentechnik GmbH  
Wöhrder Hauptstr. 31 · 90489 Nürnberg  
Tel. +49 (0) 911 58866-70  
[info@profi-mikrofonschiene.de](mailto:info@profi-mikrofonschiene.de)

**STELLER-ONLINE**  
pro audio und computertechnik



Professionelle  
Audio PC-Systeme  
Audio und Video  
Workstations  
Studiotechnik  
und Software  
Individuelle Beratung  
und Support

[www.steller-online.com](http://www.steller-online.com) | Tel.: +49 (0) 61 42 / 55 00 850

**VERTIGO SOUND**  
DISCRETE VCA COMPRESSION



[www.vertigosound.com](http://www.vertigosound.com)  
distributed by [www.hestudiotechnik.de](http://www.hestudiotechnik.de)

[www.solid-state-logic.com](http://www.solid-state-logic.com)

**SSL.**  
Let's make **music.**



**Duality & AWS 900+**



Die neuen Standards für Musikkonsolen

**XLogic**



Analoge Bearbeitung von SSL im Rack

**C200 HD & C300 HD**



Digital und intuitiv mit Workstationsteuerung

**I/O Range**



Umfangreiches I/O-Angebot

**Matrix**



Integriert und steuert Vintage  
und Workstation(s)

**Duende**



SSL-Prozessoren in ihrer Workstation

Ob Home-, Projektstudio oder kommerzieller Multiplex - vom  
Workstationbeschleuniger bis zur definitiven Musikkonsole, unsere  
sämtlichen Produkte haben ein Ziel: ihre Kreativität zu entfesseln.

Entdecken sie die volle Bandbreite der SSL-Klangbearbeitung unter  
[www.solid-state-logic.com](http://www.solid-state-logic.com)

**Music.**  
**This is SSL.**

**Solid State Logic**  
SOUND | | VISION

SSL Germany; Direktkontakt Pulte: +49 175 721 4520 Direktkontakt sonstiges: +49 172 673 5644